

برای این که جامعه‌ای دسترسی آسان و ارزان‌تر به فناوری نو داشته باشد، نیازمند رشد و پیشرفت است. برای رشد و پیشرفت جامعه نیز داشتن دانش، توانایی، مهارت و زیرساخت‌های لازم و البته تلاش هدفمند و آگاهانه افراد خبره و کاردان ضروری است. در این کلاس درس به بررسی نقش شیمی در رشد و پیشرفت جامعه خواهیم پرداخت.

دستاوردهای شیمی در جهان

تلاش انسان و راهکارهای عملی او برای یافتن پاسخ پرسش‌های ذهنی خود در گذر زمان، منجر به تولید و انباشت دانش و فناوری شده است. دانش شیمی یکی از این دانش‌ها است که نقش پررنگی برای گذر از تنگناها و رسیدن به زندگی مدرن امروزی داشته است. به عنوان مثال، استفاده از مبدل کاتالیستی در خودرو و کود شیمیایی سبز (کود شیمیایی که دوست‌دار محیط زیست است) و همچنین تبدیل مواد شیمیایی خام به مواد ارزشمند از جمله فناوری‌هایی به شمار می‌رود که در آن‌ها دانش شیمی نقش پررنگی دارد. البته این فقط بخش کوچکی از نقش شیمی در فناوری‌های مختلف است.

توجه: مبدل کاتالیستی قطعه‌ای است که در مسیر گازهای خروجی از خودروها قرار می‌گیرد و باعث حذف یا کاهش آلاینده‌ها می‌شود.

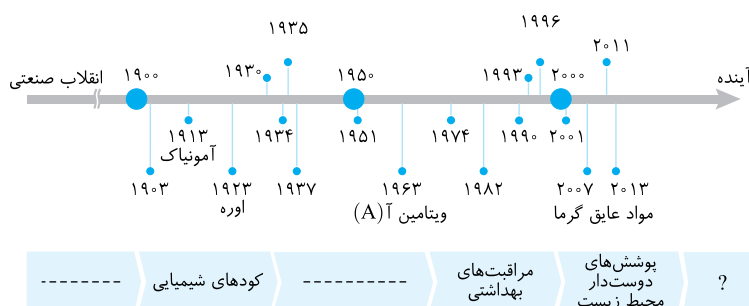
برخی از دستاوردهای شیمی در جهان عبارتند از:

- ۱- فناوری تصفیه آب: مانع گسترش بیماری‌های واگیرداری از جمله وبا در جهان شده است. از فصل اول به یاد داریم که وبا نوعی بیماری واگیردار است که به دلیل آلوده شدن آب و نبود بهداشت شایع می‌شود.
- ۲- فناوری تولید پلاستیک: صنعت پوشاک و صنعت بسته‌بندی (غذا، دارو و ...) را دگرگون ساخت.
- ۳- فناوری شناسایی و تولید مواد بی‌حس‌کننده و آنتی‌بیوتیک‌ها: راه را برای جراحی‌های گوناگون هموار کرد.
- ۴- فناوری‌های شناسایی و تولید کودهای شیمیایی مناسب: نقش چشمگیری در تأمین غذای جمعیت جهان دارد.
- ۵- فناوری تولید بنزین: به حمل و نقل سرعت بخشید و فناوری مبدل‌های کاتالیستی که آلودگی ناشی از مصرف آن را کاهش داد.
- ۶- فناوری صفحه‌های نمایشگر: گسترش فناوری صفحه‌های نمایشگر در وسایل الکترونیکی مدیون دانش شیمی است.

فراورده‌های حاصل از فناوری‌های شیمیایی در گذر زمان

با گذشت زمان نیازهای انسان برای داشتن یک زندگی همراه با آسایش و رفاه تغییر می‌کند و چالش‌های جدیدی برای انسان به وجود می‌آید، انسان برای برطرف کردن و حل هر یک از این چالش‌های تازه و حیاتی به دانش و فناوری‌های پیشرفته‌تری نیاز دارد. علم شیمی در هر زمان با توجه به نیازهای جوامع مختلف سعی کرده با تولید محصولات جدید به یاری انسان‌ها بیاید.

نمودار زیر برخی فراورده‌های حاصل از فناوری‌های شیمیایی را در گذر زمان نمایش می‌دهد:



با توجه به این نمودار و مطالب عنوان شده در کتاب درسی می‌توان به نتایج زیر رسید:

- ۱- با توجه به کارآمدی علوم تجربی، بسیاری بر این باورند که این علوم و از جمله دانش شیمی و فناوری‌های آن می‌توانند با تولید محصولات جدید ضمن پاسخ‌گویی به نیازهای جدید انسان، آینده‌ی روشنی را نیز برای جهان رقم بزنند.
- ۲- همان‌طور که استفاده‌ی درست از دانش و فناوری آسایش و رفاه را در زندگی تأمین می‌کند، استفاده‌ی نادرست از آن، آثار مخرب و زیان‌باری به دنبال خواهد داشت. به‌عنوان مثال، تولید سلاح‌های شیمیایی استفاده‌ی نادرست از دانش و فناوری را نشان می‌دهد.
- ۳- مقایسه‌ی ترتیب زمانی تولید برخی از فراورده‌های حاصل از فناوری‌های شیمیایی به‌صورت زیر است:

آمونیاک (NH_3) ← اوره ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ← ویتامین A ($\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}$) ← مواد عایق گرما

- ۴- در بازه‌ای از زمان یکی از نیازهای جامعه، تولید کودهای شیمیایی برای جلوگیری از تخریب محصولات کشاورزی و افزایش بازدهی تولید مواد غذایی بوده است که علم شیمی با فناوری‌های شیمیایی پاسخی مناسب برای این نیاز پیدا کرد. به‌عنوان مثال، آمونیاک (NH_3) به‌عنوان کود شیمیایی به‌طور مستقیم به خاک تزریق می‌شود و باعث افزایش بازدهی تولید غلات می‌شود. از شیمی دهم به یاد داریم که آمونیاک طی یک فرایند شیمیایی به نام فرایند هابر تولید می‌شود.
- ۵- اوره ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) یک ترکیب قطبی و محلول در آب است. یکی از کاربردهای اصلی اوره استفاده از آن در کشاورزی به‌عنوان کود شیمیایی است. از آنجایی که اوره به میزان قابل توجهی در آب حل می‌شود، برای استفاده در محلول‌های کودی نیز مناسب است. اوره در خاک به آمونیاک و کربن دی‌اکسید تبدیل می‌شود. آمونیاک حاصل توسط باکتری‌های موجود در خاک جذب گیاهان می‌شود.
- ۶- بعد از کودهای شیمیایی، دغدغه‌ها و نیازهای دیگری برای انسان مطرح شد، مراقبت‌های بهداشتی و تولید پوشش‌های دوست‌دار محیط زیست برخی از این نیازها بودند که شیمی در این زمینه نیز به کمک انسان آمد. قطعاً در آینده نیازهای دیگری برای انسان مطرح خواهد شد و بدون شک شیمی پاسخی مناسب برای آن نیازها نیز خواهد داشت.

از جمله پیامدهای رشد و پیشرفت جامعه، می‌توان دسترسی آسان و ارزان‌تر به فناوری نو را نام برد.

بررسی گزینه‌های (۳) و (۴): بهره‌گیری از مدل کاتالستی در خودرو و کود شیمیایی سبز و همچنین تبدیل مواد شیمیایی خام به مواد ارزشمند از جمله فناوری‌هایی به شمار می‌رود که در آن‌ها دانش شیمی همراه با انگیزه و تلاش راهی را به سوی آینده‌ای روشن‌تر رقم می‌زند.

برخی پاسخ‌های ارائه شده و راهکارهای استفاده شده، ساده و برخی دیگر پیچیده‌اند، اما هر یک از آن‌ها در جای خود نوآورانه و کارآمد بوده‌اند.

۳ (الف): فناوری‌های مطرح شده در عبارت‌های (الف)، (ب) و (ت) درست بیان شده‌اند. **بررسی عبارت‌ها:**
عبارت (الف): فناوری تولید پلاستیک، صنعت پوشاک و صنعت بسته‌بندی (غذا، دارو و ...) را دگرگون ساخت.
عبارت (ب): فناوری‌های شناسایی و تولید کودهای شیمیایی مناسب، نقش چشمگیری در تأمین غذای جمعیت جهان دارد در حالی که فناوری تصفیه آب، مانع گسترش بیماری‌هایی از جمله وبا در جهان شده است.

عبارت (پ): فناوری تولید بنزین به حمل و نقل سرعت بخشید.

عبارت (ت): فناوری شناسایی و تولید مواد بی‌حس‌کننده و آنتی‌بیوتیک، راه را برای جراحی‌های گوناگون هموار کرد.

۴ (الف): شکل (۴)، مربوط به فناوری‌های شناسایی و تولید کودهای شیمیایی مناسب (نه خاک مناسب) است که نقش چشمگیری در تأمین غذای جمعیت جهان دارد.

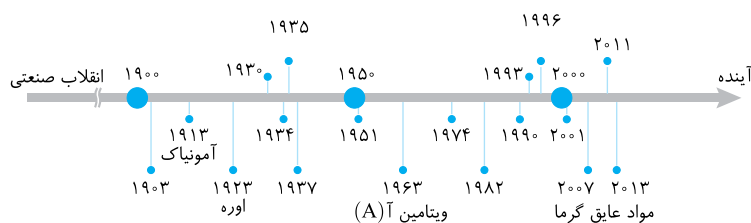
بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): شکل‌های نشان داده شده مربوط به برخی دستاوردهای شیمی در جهان است.

گزینه (۲): شکل (۱)، نشان‌دهنده فناوری تصفیه آب است که مانع گسترش بیماری‌هایی از جمله وبا در جهان شده است.

گزینه (۳): شکل (۵)، نشان‌دهنده فناوری تولید بنزین است که به حمل و نقل سرعت بخشید و همچنین تولید مبدل‌های کاتالستی که آلودگی ناشی از مصرف بنزین را کاهش می‌دهد.

۵ (الف): با توجه به نمودار زیر، ترتیب درست به‌صورت (آمونیاک) ← اوره ← ویتامین «آ» ← مواد عایق گرما است.



۶ (الف): تولید آمونیاک، اوره، ویتامین «آ» و مواد عایق گرما همگی بعد از انقلاب صنعتی انجام شده است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۱): شواهد تاریخی در گذر زمان نشان می‌دهد که انسان به تدریج با مسائل پیچیده‌تر روبه‌رو شده است. از این‌رو پیش‌بینی می‌شود که در آینده چالش‌های حیاتی و تازه پیش‌رو داشته باشد.

گزینه (۳): با توجه به کارآمدی علوم تجربی، بسیاری بر این باورند که علوم تجربی و از جمله دانش شیمی و فناوری‌های آن می‌توانند آینده روشن را برای جهان رقم بزنند.

گزینه (۴): نوع استفاده از دانش و فناوری دو روی یک سکه هستند. برای نمونه تولید سلاح‌های شیمیایی استفاده نادرست از دانش و فناوری را نشان می‌دهد.

۷ (ب): همه عبارت‌های داده شده، درست هستند.

μ

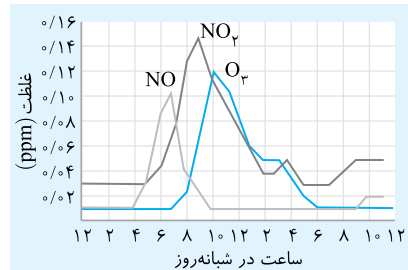
عبارت (ث): ترکیب گوگردار همان SO_p است که اتم مرکزی آن (S)، دارای جفت الکترون ناپیوندی و پیوند دوگانه است.

آلاینده‌های هواکره

کلاس درس

۳

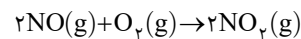
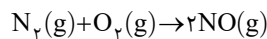
هوای آلوده افزون بر آلاینده‌هایی که از آگروز خودرو خارج می‌شوند (CO ، NO ، SO_2 و C_xH_y) شامل دو آلاینده دیگر یعنی نیتروژن دی‌اکسید ($\text{NO}_2(\text{g})$) و اوزون ($\text{O}_3(\text{g})$) نیز است. نمودار زیر، غلظت آلاینده‌های NO ، NO_2 و O_3 را در نمونه‌ای از هوای یک شهر بزرگ نشان می‌دهد:



با توجه به این نمودار به نتایج زیر می‌رسیم:

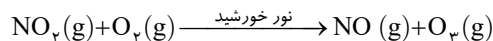
۱- در ساعات اولیه روز یعنی ساعت ۶ تا ۱۰ صبح مقدار این آلاینده‌ها در هوا بیشترین مقدار خود را دارد. زیرا در این ساعت تردد وسایل نقلیه به شدت افزایش می‌یابد که این موضوع منجر به تولید مقدار بیشتری از این آلاینده‌ها می‌شود.

توجه در ساعات ابتدایی روز بر اثر انجام دو واکنش زیر، غلظت آلاینده‌های NO و NO_2 افزایش می‌یابد.



سؤال مفهومی چرا در اواسط روز با کاهش مقدار گاز NO_2 ، مقدار گاز O_3 رو به افزایش است؟

توضیح: با نزدیک شدن به اواسط روز و افزایش شدت تابش نور خورشید، NO_2 بیشتری طبق واکنش زیر مصرف شده و در نتیجه O_3 بیشتری تولید می‌شود:



۲- مقایسه بیشترین مقدار آلاینده‌های NO ، NO_2 و O_3 در یک شبانه روز به صورت $(\text{NO}_2 > \text{O}_3 > \text{NO})$ است. در جدول زیر بیشترین مقدار این سه آلاینده در طول یک شبانه روز را به صورت تقریبی مشاهده می‌کنید:

نوع آلاینده	NO	NO ₂	O ₃
بیشترین غلظت در یک شبانه روز	کمی بیشتر از ۱۰ ppm	۱۵ ppm	۱۲ ppm
بیشترین غلظت در چه ساعتی اتفاق می‌افتد؟	۶ تا ۷ صبح	۸ تا ۹ صبح	تقریباً ۱۰ صبح

نتیجه $\text{NO}_2 > \text{O}_3 > \text{NO}$: مقایسه بیشترین مقدار آلاینده‌ها در یک شبانه روز

با توجه به این که برای تولید $\text{NO}_2(\text{g})$ نیاز به $\text{NO}(\text{g})$ داریم بنابراین منطقی است که در نمودار بالا نقطه ماکزیم غلظت برای NO_2 بعد از نقطه ماکزیم غلظت برای NO قرار داشته باشد (هر چه مقدار واکنش دهنده یعنی NO بیشتر باشد، مقدار فرآورده یعنی NO_2 نیز بیشتر خواهد بود). از طرفی O_3 از واکنش NO_2 با O_2 به دست می‌آید، بنابراین بیشترین غلظت O_3 در نمودار بالا باید بعد از بیشترین مقدار NO_2 قرار داشته باشد. به بیان دیگر بیشترین مقدار O_3 زمانی اتفاق می‌افتد که ما بیشترین مقدار NO_2 را داشته باشیم.

۳- هر سه نمودار ابتدا روندی صعودی و سپس روندی نزولی دارند. (البته روند تغییرات غلظت NO_2 بعد از ساعت ۲ بعد از ظهر منظم نیست). به عنوان مثال، روند تغییرات نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) در شبانه روز به این صورت است که از ساعت تقریباً ۴ صبح تا ساعت تقریباً ۹ صبح روند صعودی داشته و سپس به طور کلی روند نزولی داشته است.

توجه از ساعت ۱۰ صبح به بعد، غلظت NO ثابت و غلظت NO_2 و O_3 به طور کلی کاهش می‌یابد.

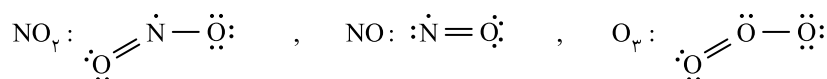
۴- در نیمه شب (ساعت ۱۲ شب تا حدود ۵ صبح) که تردد خودروها بسیار کم است، غلظت آلاینده‌های NO ، NO_2 و O_3 بسیار کم و ثابت است.

توجه مقدار این آلاینده‌ها در نیمه شب صفر نیست؛ مقایسه غلظت این سه آلاینده در نیمه شب به صورت زیر است:

نتیجه $\text{NO}_2 > \text{NO} > \text{O}_3$: مقدار آلاینده‌ها در نیمه شب

۵- همان‌طور که قبلاً هم اشاره کردیم، دلیل رنگ قهوه‌ای هوای آلوده، وجود آلاینده نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) در آن است. چون از ساعت ۴ صبح تا حدود ۹ صبح مقدار گاز NO_2 در هوا مدام افزایش می‌یابد بنابراین هوا نیز در این ساعات رفته رفته قهوه‌ای‌تر می‌شود. اما با نزدیک شدن به اواسط روز و مصرف NO_2 هوای آلوده شهر به قهوه‌ای روشن تغییر رنگ می‌دهد.

۶- ساختار لوویس سه آلایندهای که در نمودار بالا مشاهده کردید، به صورت زیر است:



نکته

هر سه آلایند مولکول‌هایی قطبی هستند. گازهای NO و NO₂ به دلیل داشتن الکترون تک (جفت نشده) در ساختار لوویس خود بسیار واکنش‌پذیر هستند. در ضمن اوزون (O₃) از اکسیژن (O₂) واکنش‌پذیری بیشتری دارد، به همین دلیل پایداری کمتری نسبت به اکسیژن دارد.

قسمت در میلیون (ppm) برای گازها

در نمودار بالا محور عمودی بیانگر غلظت آلاینده‌ها بر حسب ppm می‌باشد. به همین بهانه به یادآوری زیر از شیمی دهم توجه کنید:

یادآوری از شیمی دهم:

۱- یکی از روش‌های بیان غلظت محلول‌ها به ویژه محلول‌های رقیق (محلول‌هایی که مقدار حل‌شونده آن‌ها بسیار کم باشد)، قسمت در میلیون (ppm) است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6$$

در واقع غلظت ppm، نشان می‌دهد که در یک میلیون گرم از محلول، چند گرم حل‌شونده حل شده است.

۲- برای بیان غلظت محلول‌های بسیار رقیق مانند غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها موجود در آب معدنی، آب آشامیدنی، آب دریا، بدن جانداران، بافت‌های گیاهی و مقدار آلاینده‌های هوا از غلظت ppm استفاده می‌شود.

نکته

برای محاسبه غلظت یک گاز بر حسب ppm از روابط زیر می‌توان استفاده کرد:

$$\text{ppm} = \frac{\text{شمار مولکول‌های گاز مورد نظر}}{\text{شمار کل مولکول‌های موجود در یک نمونه از هوا}} \times 10^6 \quad \text{یا} \quad \text{ppm} = \frac{\text{حجم گاز مورد نظر}}{\text{حجم کل هوا}} \times 10^6$$

نتیجه برای محاسبه ppm در گازها از یک نسبت مولکولی (نسبت شمار مولکول‌ها یا مول‌ها یا حجم‌ها) استفاده می‌کنیم، در حالی که برای محاسبه ppm در محلول‌های آبی از یک نسبت جرمی استفاده می‌کنیم.

اوزون (O₃(g)) با دو نقش متفاوت

۱- از شیمی دهم به یاد داریم که اوزون (O₃(g)) در لایه استراتوسفر نقش مفید و محافظتی دارد به طوری که بدون حضور اوزون در این لایه ادامه حیات برای موجودات زنده میسر نیست. در واقع مولکول‌های اوزون با جذب بخش عمده‌ای از پرتوهای فرابنفش خورشید از رسیدن این پرتوهای پرتوان و خطرناک به سطح زمین جلوگیری می‌کنند و بدین ترتیب موجودات زنده از آثار زیان‌بار این پرتوها در امان می‌مانند.

۲- اوزون در لایه تروپوسفر نیز یافت می‌شود اما در این لایه به عنوان یک آلاینده سمی و خطرناک مطرح است. به طوری که وجود اوزون (O₃) در هوایی که تنفس می‌کنیم، سبب سوزش چشم و آسیب دیدن ریه‌ها می‌شود بنابراین در لایه تروپوسفر ما با نقش زیان‌بار و مضر اوزون مواجه هستیم.

با توجه به نمودار صفحه ۹۲ کتاب درسی، «a» مربوط به گاز نیتروژن مونوکسید (NO)، «b» مربوط به گاز نیتروژن دی‌اکسید (NO₂) و «c» مربوط به گاز اوزون (O₃) است.

۱۴۲ بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): با توجه به نمودار صفحه ۹۲ کتاب درسی، مقدار گاز اوزون در حدود ساعت ۱۰ صبح به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

عبارت (ب): مقدار نیتروژن مونوکسید بین ساعت‌های ۴ تا ۱۰ صبح و ۹ تا ۱۰ شب متغیر است.

عبارت (پ): در اول و آخر هر روز، بیشترین مقدار آلاینده مربوط به NO₂ است.

عبارت (ت): بیشترین مقدار آلاینده در طول روز مربوط به NO₂ است.

چگونگی پیدایش آلاینده‌های خروجی از آگروز خودروها

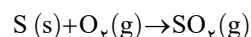
کلاس درس

۴

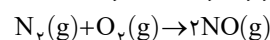
از شیمی دهم به یاد داریم که آلاینده‌های گازی شکل کربن مونوکسید (CO)، گوگرد دی‌اکسید (SO_2)، نیتروژن مونوکسید (NO) و هیدروکربن‌ها (C_xH_y) در خروجی آگروزها وجود دارند. در ادامه به بررسی چگونگی پیدایش این آلاینده‌ها می‌پردازیم.

چگونگی تشکیل آلاینده‌ها در خودرو

۱- سوخت‌های فسیلی (زغال سنگ، نفت خام، گازوئیل و بنزین) با کیفیت پایین، مقادیر متفاوتی گوگرد (S) در خود دارند که با سوزاندن این مواد در نیروگاه‌ها و خودروها، گوگرد موجود در آن‌ها سوخته و تبدیل به گاز SO_2 می‌شود:

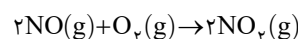


۲- می‌دانیم گاز نیتروژن واکنش‌پذیری بسیار کمی دارد و در شرایطی معمولی با گاز اکسیژن (O_2) واکنش نمی‌دهد، اما با تغییر شرایط واکنش (مثلاً افزایش دما) می‌توان واکنش‌پذیری مواد را تغییر داد. گاز نیتروژن در درون موتور خودروها که دمای بسیار بالایی دارند (دمای موتور خودروها بالاتر از 1000°C است.) با گاز اکسیژن واکنش می‌دهد و به نیتروژن مونوکسید (NO) تبدیل می‌شود:



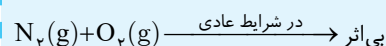
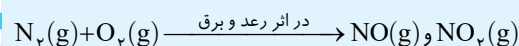
توجه گاز نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) جزء آلاینده‌های خروجی از آگروز خودرو نیست، از آگروز خودرو گاز نیتروژن مونوکسید (NO) خارج می‌شود که ممکن است پس از ورود به هواکره و واکنش با اکسیژن هوا به NO_2 تبدیل شود.

۳- گاز نیتروژن مونوکسید (NO) خارج شده از آگروز خودروها می‌تواند در هواکره با اکسیژن هوا واکنش داده و به گاز نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) که قهوه‌ای رنگ است، تبدیل شود:



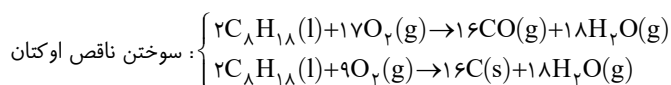
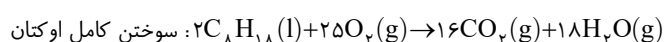
یادآوری از شیمی دهم

گاز نیتروژن در اثر رعد و برق و افزایش قابل توجه دمای مولکول‌های هوا (در ناحیه‌ای که رعد و برق ایجاد می‌شود) با اکسیژن هوا ترکیب شده و به اکسیدهای نیتروژن ($\text{NO}(\text{g})$ و $\text{NO}_2(\text{g})$) تبدیل می‌شود:



۴- هیدروکربن‌ها در شرایط گوناگون با توجه به غلظت گاز اکسیژن به‌طور ناقص یا کامل می‌سوزند و فراورده‌های متفاوتی تولید می‌کنند. اگر غلظت اکسیژن در محیط کافی باشد، گاز کربن دی‌اکسید (CO_2) و اگر غلظت اکسیژن در محیط کافی نباشد، گاز کربن مونوکسید (CO) و یا دوده جامد ($\text{C}(\text{s})$) تولید می‌شود.

معادله‌های شیمیایی سوختن کامل و ناقص بنزین (ایزو اوکتان، C_8H_{18}) به‌صورت زیر است:



۵- از مقایسه واکنش‌های سوختن کامل و ناقص هیدروکربن‌ها به نتایج زیر می‌رسیم:

(الف) در بین فراورده‌های واکنش‌های سوختن کامل و ناقص، یک فراورده مشترک یعنی $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ وجود دارد.

(ب) فراورده غیرمشترک این واکنش‌ها، $\text{CO}_2(\text{g})$ در سوختن کامل، $\text{CO}(\text{g})$ و $\text{C}(\text{s})$ در سوختن ناقص است.

(پ) به‌جز گاز اکسیژن $\text{O}_2(\text{g})$ ، ضریب استوکیومتری بقیه مواد در هر دو نوع واکنش سوختن کامل و سوختن ناقص شبیه به هم است، مثلاً در هر سه واکنش بالا ضریب $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ برابر ۱۸، ضریب $\text{CO}_2(\text{g})$ ، $\text{CO}(\text{g})$ و $\text{C}(\text{s})$ برابر ۱۶ و ضریب $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l})$ برابر ۲ است. در حالی که ضریب اکسیژن ۲۵، ۱۷ و ۹ است.

۶- مقداری از هیدروکربن‌های گازی شکل (C_xH_y) بدون این‌که بسوزند، از آگروز خودروها خارج شده و وارد هواکره می‌شوند؛ در واقع منشأ هیدروکربن‌های خروجی از آگروز، هیدروکربن‌های سوخته نشده در موتور خودرو است.

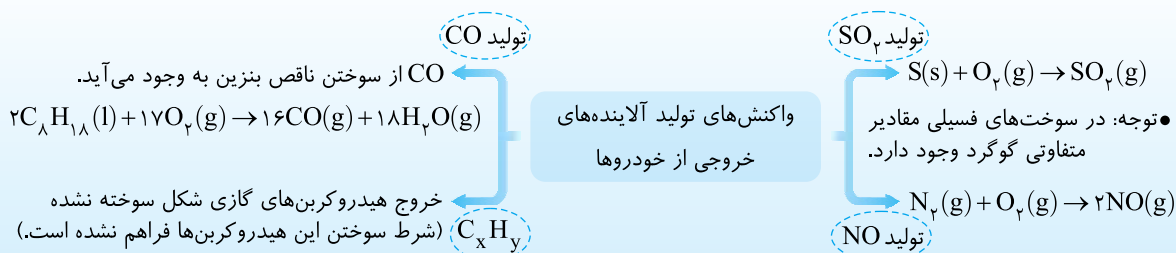
استبانه‌نکته هیدروکربن‌هایی که نمی‌سوزند و از آگروز خارج می‌شوند را به‌طور میانگین نمی‌توان به‌صورت C_8H_{18} نمایش داد، زیرا بنزین یک ماده شیمیایی

ساده نیست و مخلوطی از چند هیدروکربن متفاوت (مانند C_8H_{18} ، C_6H_6 و ...) است که به دلیل این‌که در بین این هیدروکربن‌ها ایزواوکتان درصد بیشتری دارد، معمولاً بنزین را همان ایزواوکتان و فرمول آن را C_8H_{18} در نظر می‌گیریم. ایزواوکتان نسبت به دیگر هیدروکربن‌های موجود در بنزین بهتر و راحت‌تر و کامل‌تر می‌سوزد که این موضوع سبب می‌شود در بین هیدروکربن‌هایی که به‌صورت نسوخته از آگروز خارج می‌شوند، ایزواوکتان بسیار کمی مشاهده شود، به همین دلیل ما فرمول هیدروکربن‌هایی که به‌صورت نسوخته از آگروز خودرو خارج می‌شوند را C_8H_{18} در نظر نمی‌گیریم و به‌صورت C_xH_y در نظر می‌گیریم.

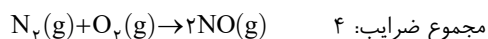
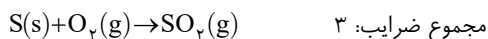
نکته

شرایط لازم برای سوختن هیدروکربن‌های مختلف موجود در بنزین با یکدیگر متفاوت است به همین دلیل تعدادی از هیدروکربن‌ها به خاطر فراهم نشدن شرایط لازم برای سوختن به صورت نسوخته از آگروز خودرو خارج می‌شوند. یکی از دلایل فراهم نشدن شرایط لازم برای سوختن برخی از هیدروکربن‌ها زمان کم انجام واکنش در موتور خودرو است.

جمع‌بندی کلاس درس ۴



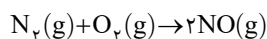
واکنش تولید SO_2 و NO به صورت زیر است:



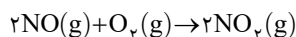
همان‌طور که می‌بینید مجموع ضرایب مواد در این دو واکنش با یکدیگر برابر نیست. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): در سوخت‌های فسیلی با کیفیت پایین مقداری گوگرد وجود دارد که با سوزاندن این سوخت‌ها در نیروگاه‌ها و خودروها گوگرد موجود در آن‌ها سوخته و تبدیل به گاز SO_2 می‌شود.

گزینه (۳): گاز NO در موتور خودرو از واکنش گازهای نیتروژن و اکسیژن با یکدیگر به دست می‌آید.



و همچنین این گاز در هواکره در اثر واکنش با اکسیژن به NO_2 تبدیل می‌شود.



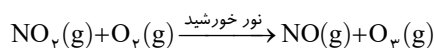
گزینه (۴): هر سه واکنش تشکیل CO ، CO_2 و SO_2 از نوع سوختن هستند.

۱۶ (A) ۳ دلیل رنگ قهوه‌ای هوای آلوده، گاز نیتروژن دی‌اکسید است که بین ساعت ۸ تا ۱۰ صبح به اوج مقدار خود می‌رسد. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): به دلیل این‌که همه سوخت در سیلندر ماشین نمی‌سوزد، در گازهای خروجی از آگروز مقداری از هیدروکربن‌های نسوخته نیز وجود دارند. با سوختن ناقص اشتباه گرفته نشود زیرا در اثر سوختن ناقص کربن مونوکسید تولید می‌شود.

گزینه (۲): هوای آلوده افزون بر آلاینده‌های خروجی از آگروز مانند C_xH_y ، NO ، SO_2 و CO شامل گازهای اوزون و نیتروژن دی‌اکسید نیز می‌باشد.

گزینه (۴): واکنش تولید اوزون تروپوسفری از گازهای نیتروژن دی‌اکسید و اکسیژن به صورت زیر است:



با توجه به معادله واکنش نوشته شده، مشاهده می‌کنید که ضرایب همه ترکیب‌ها با هم برابر است.

۱۷ (A) ۲ بررسی پرسش‌ها:

پرسش (الف): با توجه به نمودار صفحه ۹۲ کتاب درسی، مقدار گاز NO بین ساعت‌های ۶ تا ۸ صبح به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

پاسخ پرسش (ب): با توجه به نمودار صفحه ۹۲ کتاب درسی، با کاهش مقدار NO مقدار گازهای اوزون و NO_2 افزایش می‌یابد.

پاسخ پرسش (پ): کربن مونوکسید در اثر ناقص سوختن سوخت (بنزین) تولید می‌شود.

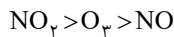
۱۸ (B) ۳ عبارتهای (الف)، (ب) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): هنگام شب مقدار آلاینده‌های کمتری نسبت به ظهر در هوا دیده می‌شود.

عبارت (ب): با انجام واکنش $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{نور خورشید}} \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g})$ به مرور زمان از مقدار NO_2 کاسته و به مقدار اوزون افزوده می‌شود.

عبارت (پ): گازهای NO و NO_2 جزء آلاینده‌های هواکره به شمار می‌آیند. گاز NO از آگروز خودرو و گاز NO_2 در اثر واکنش گاز NO در هوا با اکسیژن تولید می‌شود.

عبارت (ت): آلاینده‌های C_xH_y ، NO ، SO_2 و CO در خروجی آگروز خودروها وجود دارند.



۱۹ مقایسه بیشترین مقدار این سه گاز در هوا به صورت مقابل می باشد:

بررسی سایر گزینه ها:

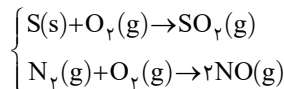
گزینه (۱): واکنش تشکیل $SO_2(g)$ و واکنش تبدیل NO به NO_2 به صورت زیر است:



ضریب گاز O_2 در واکنش تشکیل $SO_2(g)$ همانند ضریب گاز N_2 در واکنش تشکیل NO ، برابر یک است.

گزینه (۳): واکنش دهنده ها در واکنش تشکیل CO و CO_2 ، هیدروکربن و گاز اکسیژن هستند.

گزینه (۴): با توجه به واکنش های تولید NO و $SO_2(g)$ ، به ازای مصرف ۱ مول O_2 ، ۲ مول NO و ۱ مول SO_2 تولید می شود.



۲۰ در ساعات انتهایی شب مقایسه مقدار آلاینده ها به صورت « $NO_2 > NO > O_3$ » است. بررسی سایر گزینه ها:

گزینه (۱): در ساعات انتهایی شب به علت کم شدن تردد وسایل نقلیه، مقدار آلاینده ها در هواکره ناچیز است.

گزینه (۳): از ساعت ۴ تا ۹ صبح مقدار گاز NO_2 در هواکره افزایش می یابد. این گاز عامل ایجاد رنگ قهوه ای در هواکره است.

گزینه (۴): مقایسه حداکثر غلظت آلاینده ها به صورت « $NO < O_3 < NO_2$ » است.

۲۱ با توجه به نمودار داده شده مقدار اوزون در ساعت ۱۰ صبح برابر 12 ppm و در ساعت ۱۰ شب برابر 1 ppm است. پس تفاوت مقدار

آن ها برابر 11 ppm می باشد. با توجه به چگالی هوا و حجم هوایی که در هر تنفس وارد ریه های یک فرد بالغ می شود، تفاوت جرم گاز ورودی به بدن را

$$? g \text{ air} = \frac{1}{2} g \text{ air} \times \frac{12 \text{ ppm}}{1 \text{ L air}} = \frac{1}{6} g \text{ air}$$

محاسبه می کنیم:

با توجه به رابطه ppm ، تفاوت مقدار اوزون وارد شده به ریه های فرد را به دست می آوریم:

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6 \Rightarrow \frac{x \text{ g } O_3}{1} \times 10^6 = \frac{1}{6} \times 10^6 \Rightarrow x = 1.66 \times 10^{-9} \text{ g}$$

۲۲ با توجه به نمودار داده شده غلظت گازهای NO و NO_2 در ساعت ۷ صبح یکسان و تقریباً برابر 8 ppm است. پس مجموع غلظت

آن ها برابر 16 ppm می باشد. با توجه به چگالی هوا و حجم هوایی که در هر تنفس وارد ریه های فرد بالغ می شود، جرم گاز ورودی به بدن را محاسبه می کنیم:

$$? g \text{ air} = 12 \text{ تنفس} \times \frac{1}{2} g \text{ air} \times \frac{16 \text{ ppm}}{1 \text{ L air}} = 7.2 g \text{ air}$$

با توجه به رابطه ppm مقدار اوزون وارد شده به ریه های فرد را به دست می آوریم:

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6 \Rightarrow \frac{x \text{ g}}{7.2} \times 10^6 = \frac{1}{6} \times 10^6 \Rightarrow x = 1.52 \times 10^{-6} \text{ g} = 1.52 \times 10^{-3} \text{ mg}$$

۲۳

مقایسه میزان آلاینده های خروجی از اگزوز خودروها

کلاس درس

در جدول روبه رو، مقدار برخی آلاینده های موجود در گازهای خروجی از اگزوز خودروها داده شده است:

۱- این جدول نشان می دهد که به ازای یک کیلومتر حرکت خودرو چند گرم از آلاینده های C_xH_y ، NO و CO تولید می شود.

۲- با توجه به این جدول می توان نتیجه گرفت که در بین این سه آلاینده، NO کمترین و CO بیشترین مقدار را دارد. مقایسه میزان آلاینده های خروجی از اگزوز خودرو پس از یک کیلومتر حرکت به صورت روبه رو است: $CO > C_xH_y > NO$ مقایسه مقدار آلاینده ها در غیاب مبدل

مقدار آلاینده به ازای طی یک کیلومتر (گرم)	فرمول شیمیایی آلاینده
۵/۹۹	CO
۱/۶۷	C_xH_y
۱/۰۴	NO

توجه پس از یک کیلومتر از حرکت خودرو میزان CO خروجی از اگزوز بیش از دو برابر مجموع میزان C_xH_y و NO است:

$$\frac{\text{میزان CO تولید شده}}{\text{مجموع میزان } C_xH_y \text{ و } NO} = \frac{5.99}{1.67 + 1.04} = \frac{5.99}{2.71} \approx 2.2$$

۳- در کلاس درس قبل با واکنش های تولید آلاینده های خروجی از اگزوز خودروها آشنا شدیم. با توجه به این واکنش ها می توان گفت که ضریب استوکیومتری CO در واکنش تولید آن عددی بزرگ است به همین دلیل مقدار CO خارج شده از اگزوز خودروها بیشتر از آلاینده های دیگر است.

۴- اگر خودرویی یک کیلومتر حرکت کند در مجموع $\frac{8}{7}$ گرم آلایندۀ وارد هوا کرده می‌کند، بنابراین اگر روزانه یک میلیون خودرو و هر خودرو به‌طور میانگین 50 کیلومتر مسافت طی کند، در مجموع 435 تن آلایندۀ وارد هوا کرده می‌کند:

$$g = \frac{8}{7} = \frac{5}{99} + \frac{1}{67} + \frac{1}{4} = 8/7g$$

$$\text{تن آلایندۀ } 435 = \frac{\text{تن آلایندۀ } 1}{\text{آلایندۀ } 10^6 g} \times \frac{\text{آلایندۀ } 8/7g}{1 km} \times \frac{50 km}{\text{خودرو } 1}$$

$$\text{CO تولیدی } ? = \frac{1 ton CO}{10^6 g CO} \times \frac{5/99 g CO}{1 km} \times \frac{50 km}{\text{خودرو } 1} = 2995 ton CO$$

$$\text{C}_x\text{H}_y \text{ تولیدی } ? = \frac{1 ton C_xH_y}{10^6 g C_xH_y} \times \frac{1/67 g C_xH_y}{1 km} \times \frac{50 km}{\text{خودرو } 1} = 835 ton C_xH_y$$

$$\text{NO تولیدی } ? = \frac{1 ton NO}{10^6 g NO} \times \frac{1/4 g NO}{1 km} \times \frac{50 km}{\text{خودرو } 1} = 520 ton NO$$

۲۴ (B) آلایندۀهای کربن‌دار C_xH_y ها و CO هستند. مقدار این آلایندۀها را به ازای 5×10^6 خودرو و طی مسافت 10 کیلومتر برای هر خودرو به‌دست می‌آوریم.

$$\text{CO تولیدی } ? = \frac{1 kg CO}{1000 g CO} \times \frac{5/99 g CO}{1 km} \times \frac{10 km}{\text{خودرو } 5 \times 10^6} = 299500 kg CO$$

$$\text{C}_x\text{H}_y \text{ تولیدی } ? = \frac{1 kg C_xH_y}{1000 g C_xH_y} \times \frac{1/67 g C_xH_y}{1 km} \times \frac{10 km}{\text{خودرو } 5 \times 10^6} = 83500 kg C_xH_y$$

$$299500 - 83500 = 216000 kg = 216 \times 10^3 kg$$

۲۵ (B) هر خودرو به ازای طی یک کیلومتر، $\frac{1}{4}$ گرم NO وارد هوا کرده می‌کند. ابتدا حساب می‌کنیم این خودرو در هر روز به ازای طی 5 کیلومتر چند مول NO وارد هوا کرده می‌کند.

$$\text{mol NO} = \frac{1/4 g}{30 g} \times \frac{1 mol NO}{1 km} \times 5 km = 0.0167 mol NO$$

حال حساب می‌کنیم این خودرو در یک سال (365 روز) چند مول NO وارد هوا می‌کند. $mol NO = 365 \times \frac{0.0167 mol NO}{1 روز} = 6.09 mol NO$

۲۶ (B) هر خودرو به ازای طی 1 کیلومتر، 6 گرم گاز CO آزاد می‌کند. حال باید حساب کنیم 10^7 خودرو به ازای طی 20 کیلومتر در روز چقدر CO تولید می‌کند.

$$\text{تن CO} = 10^7 \times \frac{20 km}{\text{خودرو } 1} \times \frac{6 g CO}{1 km} \times \frac{1 ton CO}{10^6 g CO} = 1200 \text{ تن}$$

کربن مونوکسید با اکسیژن هوا ترکیب شده و به کربن دی‌اکسید تبدیل می‌شود:

$$m^3 CO_2 = 1200 \times 10^6 g CO \times \frac{1 mol CO}{28 g CO} \times \frac{2 mol CO_2}{1 mol CO} \times \frac{22.4 L CO_2}{1 mol CO_2} \times \frac{1 m^3}{1000 L} = 960000 m^3 CO_2$$

۲۷ (B) در فصل بهار ماه‌ها 31 روزه هستند. مقدار هر یک از آلایندۀها را در فصل بهار محاسبه می‌کنیم.

$$g C_xH_y = 31 \times \frac{20 km}{\text{روز } 1} \times \frac{1/67 g C_xH_y}{1 km} = 3106/2 g C_xH_y$$

$$g CO = 31 \times \frac{20 km}{\text{روز } 1} \times \frac{5/99 g CO}{1 km} = 11141/4 g CO$$

$$g NO = 31 \times \frac{20 km}{\text{روز } 1} \times \frac{1/4 g NO}{1 km} = 1934/4 g NO$$

$$\text{درصد } C_xH_y = \frac{\text{جرم } C_xH_y}{\text{جرم کل}} \times 100 = \frac{3106/2}{3106/2 + 11141/4 + 1934/4} \times 100 = 19/19\%$$

توجه: درصد جرمی آلایندۀهای تولیدی در یک روز با یک ماه و یک فصل و یک سال تفاوت ندارد پس بدون محاسبۀ جرم آلایندۀها در فصل بهار، می‌توان درصد جرمی این آلایندۀها را برای یک روز و به ازای طی مسافت یک کیلومتر هم محاسبه کرد و این عدد برابر درصد آلایندۀها در فصل بهار است:

$$\text{درصد } C_xH_y = \frac{\text{جرم } C_xH_y}{\text{جرم کل}} \times 100 = \frac{1/67}{(1/67 + 1/4 + 5/99)} \times 100 = 19/19\%$$

۲۸ (B) عبارتهای (الف) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): واکنش تولید SO_2 از نوع سوختن است و واکنش‌های سوختن گرما ده ($\Delta H < 0$) هستند.

عبارت (ب): کمترین مقدار آلاینده خروجی از آگروز خودروها مربوط به NO است.

عبارت (پ): گاز اوزون در هوا از واکنش NO_2 با O_3 به دست می‌آید.

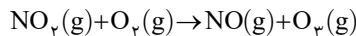
عبارت (ت): در موتور خودرو دما بسیار بالا است و گاز N_2 می‌تواند در این دمای بسیار بالا با گاز O_2 وارد واکنش شود.

۲۹ (B) تنها عبارت (ب) نادرست است. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): با توجه به نمودار صفحه ۹۲ کتاب درسی، حداقل مقدار گاز NO_2 موجود در هوا در طول یک شبانه روز بیشتر از حداقل مقدار گاز اوزون است.

عبارت (ب): C_xH_y متشکل از چند نوع مولکول مختلف است در حالی که کمترین مقدار برحسب گرم مربوط به NO است.

عبارت (پ): گاز اکسیژن آلوتروپ پایدارتر اکسیژن و اوزون آلوتروپ فعال‌تر اکسیژن است. معادله این واکنش به صورت زیر می‌باشد:



عبارت (ت): واکنش میان گازهای NO_2 و O_3 منجر به تولید NO و O_2 می‌شود. NO آلاینده‌ای است که کمترین جرم را در میان آلاینده‌های خروجی

از آگروز خودرو دارد.

۳۰ (A) ۲

طیف‌سنجی، راهی برای شناسایی ساختار مواد

کلاس درس

۷

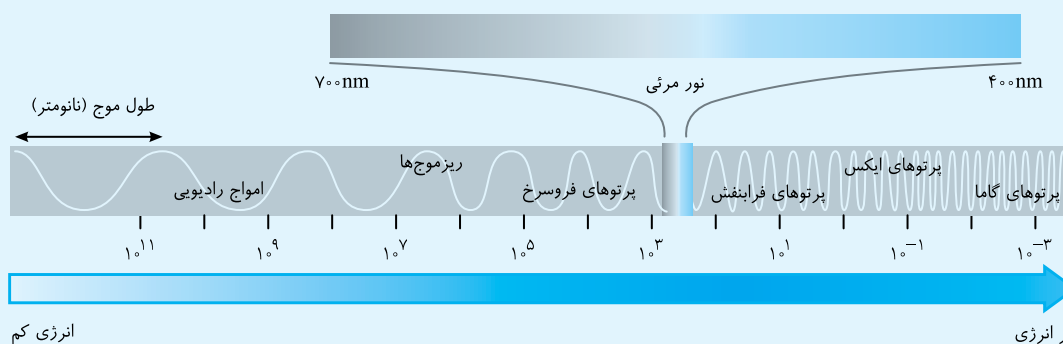
هوای آلوده حاوی آلاینده‌هایی است که اغلب بی‌رنگ هستند و نمی‌توان به آسانی وجود آن‌ها را تشخیص داد، در ضمن نوع آلاینده‌ها و مقدار هر یک از آن‌ها در شهرهای گوناگون متفاوت است. حال یک سؤال مهم مطرح می‌شود که چگونه می‌توان نوع و مقدار آلاینده‌ها را در یک نمونه هوای آلوده تعیین کرد؟ در این کلاس درس با روش‌هایی برای شناسایی مواد گوناگون آشنا خواهیم شد.

۱- برهم کنش مواد با پرتوهای الکترومغناطیسی

۱- برای تعیین نوع و مقدار آلاینده‌ها در یک نمونه هوای آلوده و به طور کلی برای شناسایی ساختار مواد می‌توان از برهم کنش مواد با پرتوهای الکترومغناطیسی استفاده کرد. قبل از این که این موضوع را ادامه دهیم، موضوعی را از شیمی یادآوری می‌کنیم.

یادآوری از شیمی دهم

نور خورشید شامل گستره بسیار وسیعی از امواج است که به این گستره بسیار وسیع امواج، امواج الکترومغناطیسی گفته می‌شود که چشم انسان تنها قادر است گستره محدودی از نور را ببیند. به این گستره که رنگ‌های سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش را دربر می‌گیرد، گستره مرئی می‌گویند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نور خورشید شامل گستره بسیار بزرگ‌تری از این پرتوهاست.



۲- مواد مختلف به دلیل داشتن ساختارهای متفاوت در برابر پرتوهای الکترومغناطیسی رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. به عنوان مثال، در فصل قبل آموختیم که هرگاه یک نمونه ماده در برابر پرتوهای الکترومغناطیسی قرار گیرد، ممکن است گستره معینی از آن را جذب و پرتوهای باقی‌مانده را بازتاب کند یا عبور دهد.

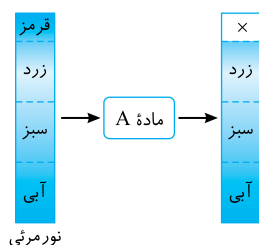
۳- در شکل‌های زیر، رفتار ماده (A) و ماده (B) در برابر پرتوهای مرئی متفاوت است به طوری که ماده (B) اغلب طول موج‌های پرتوهای مرئی را جذب کرده در حالی که ماده (A) اغلب طول موج‌های پرتوهای مرئی را بازتاب کرده است.

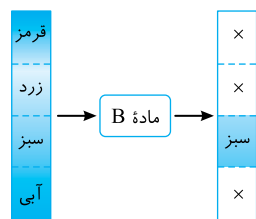
در مورد ماده A می‌توان گفت:

(الف) پرتوهای زرد، سبز و آبی را بازتاب می‌کند یا عبور می‌دهد.

(ب) در ماده A رنگ‌های زرد، سبز و آبی یا ترکیبی از آن‌ها مشاهده می‌شود.

(پ) پرتوهای قرمز را جذب می‌کند به همین دلیل رنگ قرمز در ماده A دیده نمی‌شود.





نور مرئی

در مورد ماده B می‌توان گفت:

- (الف) پرتوهای سبز را بازتاب کرده یا عبور می‌دهد.
- (ب) ماده B به رنگ سبز دیده می‌شود.
- (پ) پرتوهای آبی، زرد و قرمز را جذب می‌کند.

نتیجه

ساختار دو ماده A و B یکسان نیست زیرا طول موج‌هایی که این دو ماده از پرتوهای مرئی جذب کردند، متفاوت است. در واقع این دو ماده با طول موج‌های متفاوتی از پرتوهای مرئی برهم‌کنش دارند.

نتیجه

با استفاده از رفتار مواد در برابر پرتوهای الکترومغناطیسی می‌توان مواد مختلف را از هم تمیز داد. به عنوان مثال، دو ماده داریم که نمی‌دانیم کدام A و کدام B است. این دو را در برابر پرتوهای نور مرئی قرار می‌دهیم اگر پرتوهای رنگ آبی یا زرد جذب ماده شود، این ماده، ماده B و در غیر این صورت ماده A است.

رفتار مواد در جذب یا بازتاب پرتوهای الکترومغناطیسی متفاوت است. ← مواد دارای ساختارهای متفاوتی هستند.

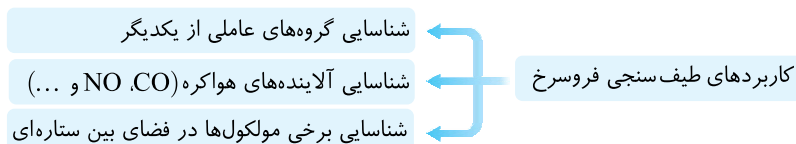
۴- با توجه به این که پرتوهای مرئی، بخش کوچکی از گستره پرتوهای الکترومغناطیسی را دربر می‌گیرد، انتظار داریم پرتوهای دیگری نیز مانند فروسرخ، فرابنفش و ... نیز با ماده برهم‌کنش داشته باشند.

طیف‌سنجی فروسرخ

- ۱- شیمی‌دان‌ها با استفاده از برهم‌کنش‌های میان ماده و پرتوهای الکترومغناطیسی روش‌های گوناگون طیف‌سنجی را برای شناسایی ساختار مواد پایه‌گذاری کردند.
- ۲- یکی از رایج‌ترین روش‌های طیف‌سنجی که برای شناسایی گروه‌های عاملی به کار می‌رود، طیف‌سنجی فروسرخ نام دارد.

سؤال مفهومی: اساس شناسایی گروه‌های عاملی از یکدیگر با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ چیست؟

- توضیح:** شمار و نوع اتم‌های سازنده هر گروه عاملی متفاوت از دیگری است، به همین دلیل هر یک از گروه‌های عاملی گستره معین و منحصر به فردی از پرتوهای فروسرخ را جذب می‌کنند که این تفاوت اساس شناسایی گروه‌های عاملی از یکدیگر است.
- ۳- طیف‌سنجی فروسرخ کاربرد دیگری نیز دارد، از این روش می‌توان برای شناسایی آلاینده‌هایی مانند کربن مونوکسید (CO) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در هواکره و نیز شناسایی برخی مولکول‌ها در فضای بین ستاره‌ای استفاده کرد.



۴- علاوه بر طیف‌سنجی فروسرخ می‌توان از برهم‌کنش پرتوهای فرابنفش، نور مرئی، امواج رادیویی و ... نیز برای شناسایی مواد گوناگون بهره برد.

توجه: ام.آر.آی (MRI) نمونه‌ای از کاربرد طیف‌سنجی در علم پزشکی است.

عبارت‌های (الف) و (ت) نادرست‌اند. **بررسی عبارت‌های نادرست:**

عبارت (الف): هوای آلوده حاوی آلاینده‌هایی است که اغلب آن‌ها بی‌رنگ هستند، به همین دلیل نمی‌توان به آسانی وجود آن‌ها را تشخیص داد.

عبارت (ت): پرتوهای فروسرخ، فرابنفش و دیگر پرتوها همانند پرتوهای مرئی با ماده برهم‌کنش دارند.

۳۱ B عبارت‌های (پ)، (ت) و (ث) نادرست‌اند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): پرتوهای تابیده شده شامل رنگ‌های سرخ، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش می‌باشند که در گستره نور مرئی قرار دارند که طول موج آن‌ها بین ۴۰۰nm تا ۷۰۰nm است.

عبارت (ب): برهم‌کنش این دو ماده با امواج الکترومغناطیس متفاوت است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ساختار آن‌ها متفاوت است.

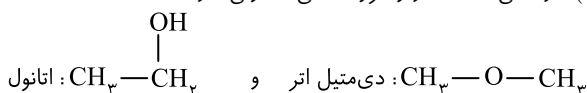
عبارت (پ): ماده (۱) فقط طول موج‌های مربوط به رنگ سرخ را جذب می‌کند. این در حالی است که ماده (۲) به جز رنگ سبز طول موج مربوط به سایر رنگ‌های موجود در پرتو تابیده شده را جذب می‌کند.

عبارت (ت): ماده (۲) طول موج مربوط به رنگ سبز یعنی ۵۰۰ تا ۵۷۰ نانومتر را از خود عبور می‌دهد.

عبارت (ث): در بین رنگ‌های موجود در طیف نور مرئی، رنگ بنفش بیشترین انرژی را دارد، ماده (۱) برخلاف ماده (۲) طول موج‌های مربوط به رنگ بنفش را از خود عبور می‌دهد.

۳۲ A ترکیب‌هایی که فرمول مولکولی یکسانی دارند الزاماً ساختار یکسانی ندارند و ممکن است گروه‌های عاملی متفاوتی داشته باشند، می‌دانیم گروه‌های عاملی متفاوت گستره متفاوتی از پرتوهای فروسرخ را جذب می‌کنند.

توجه: اتانول و دی‌متیل اتر ایزومر هستند و فرمول مولکولی یکسانی دارند ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) در حالی که ساختار و گروه عاملی متفاوتی دارند:



۳۳ (A) عبارتهای (الف)، (ب) و (پ) از کاربردهای طیف‌سنجی فروسرخ هستند.

توجه جرم اتم‌ها را می‌توان به‌طور غیرمستقیم و با کمک دستگاه طیف‌سنج جرمی با دقت زیاد اندازه‌گیری نمود. دستگاه طیف‌سنج را با دستگاه طیف‌سنج جرمی اشتباه نگیرید.

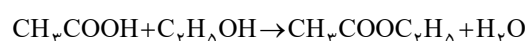
۳۴ (B) فرمول مولکولی C_7H_6O می‌تواند متعلق به اتانول یا دی‌متیل اتر باشد. اتانول به دلیل داشتن اتم هیدروژن متصل به اکسیژن در ساختار خود، قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی است در حالی که دی‌متیل اتر فاقد این توانایی است، بنابراین ماده (۱) دی‌متیل اتر و ماده (۲) اتانول است.

بررسی گزینه‌ها:

گزینه (۱): درصد عبور پرتوهای فروسرخ در این دو ماده متفاوت است، که این موضوع نشان می‌دهد که ساختار دو ماده متفاوت است.
گزینه (۲): باتوجه به این که برهم‌کنش این دو ماده با پرتوهای فروسرخ متفاوت است، می‌توان نتیجه گرفت که گروه‌های عاملی موجود در آن‌ها متفاوت است.
گزینه (۳): با توجه به نمودارها مشخص می‌شود ماده (۱) تقریباً در طول موج ۱۱۱۱ نانومتر تمام پرتوهای فروسرخ تابیده شده به خود را جذب می‌کند:

$$\frac{1}{\lambda} = 9000 \text{ cm}^{-1} \Rightarrow \lambda = 1111 \text{ nm}$$

گزینه (۴): اتانول (ماده (۲)) در واکنش با استیک اسید (اتانویک اسید) استری به نام اتیل اتانوات تولید می‌کند.



۳۵ (A) ۴

انرژی فعال‌سازی در واکنش‌های شیمیایی

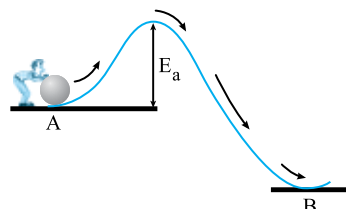
کلاس درس

۷

در این کلاس درس با مفهوم انرژی فعال‌سازی آشنا خواهیم شد.

عبور از سد انرژی با انرژی فعال‌سازی

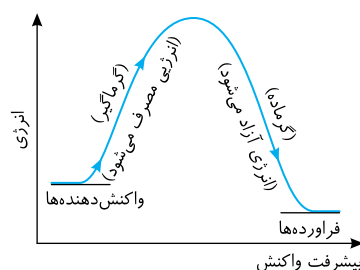
هر واکنش شیمیایی برای انجام شدن به حداقلی از انرژی نیاز دارد. در واقع برای این که یک واکنش شیمیایی آغاز شود باید واکنش‌دهنده‌ها مقدار معینی انرژی داشته باشند. برای درک بهتر موضوع به مثال زیر توجه نمایید.



مثال: فرض کنید مانند شکل روبه‌رو شخصی می‌خواهد گلوله‌ای را از نقطه A به نقطه B منتقل کند، با توجه به این شکل می‌توان گفت که:

(الف) برای رساندن این گلوله به نقطه B او دست کم باید انرژی لازم برای رساندن گلوله به بالای قله (E_a) را تأمین کند. زیرا از آن به بعد گلوله بر اثر نیروی گرانش روی سطح شیب‌دار به پایین سرازیر می‌شود. درواقع برای رساندن گلوله از قله به نقطه B نیاز به صرف انرژی توسط شخص نیست.
(ب) بدیهی است که هر چه قله کوتاه‌تر باشد، انتقال گلوله آسان‌تر و سریع‌تر انجام می‌شود. زیرا نیاز به انرژی کمتری دارد.

(پ) در این نمودار اگر خط آبی نشان‌دهنده مسیر انجام واکنش باشد، انتقال گلوله از نقطه A به نقطه B همچون تبدیل واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها در یک واکنش شیمیایی است. با این توضیح نمودار انرژی - پیشرفت یک واکنش به‌صورت روبه‌رو است:



نتیجه فرایند رسیدن واکنش‌دهنده‌ها به نوک قله، فرایندی گرماگیر بوده و نیاز به صرف انرژی (انرژی فعال‌سازی) دارد. در حالی که فرایند انتقال از قله به فراورده‌ها گرماده بوده و انرژی آزاد می‌کند.

نکته

برای آغاز هر واکنش شیمیایی، صرف نظر از گرماده یا گرماگیر بودن آن‌ها، مقدار معینی انرژی لازم است که به آن انرژی فعال‌سازی واکنش می‌گوییم. در واقع انرژی فعال‌سازی حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی است. این انرژی موجب می‌شود تا واکنش‌دهنده‌ها با عبور از سد انرژی به فراورده‌ها تبدیل شوند. انرژی فعال‌سازی را با نماد E_a نمایش می‌دهند و با یکای کیلوژول گزارش می‌کنند.

نیتروژن و اکسیژن در دمای اتاق واکنش نمی‌دهند اما درون موتور خودرو اندکی از آن‌ها به نیتروژن مونوکسید تبدیل می‌شود.

۳۶ (A) درون موتور خودرو تعداد کمی از مولکول‌های $N_2(g)$ و $O_2(g)$ با یکدیگر وارد واکنش می‌شوند. این واکنش در دمای اتاق انجام نمی‌پذیرد زیرا به انرژی فعال‌سازی زیادی نیاز دارد؛ مقدار انرژی که باید بتواند پیوندهای مستحکم $O=O$ و $N \equiv N$ را سست کند که این مقدار انرژی در دمای اتاق و بدون حضور کاتالیزگر تأمین نمی‌شود.

۲۴۰

نتیجه این نمودار نشان می‌دهد که واکنش‌دهنده‌ها برای آغاز واکنش باید حداقلی از انرژی (انرژی فعال‌سازی) را داشته باشند تا با عبور از سد انرژی به فرآورده‌ها تبدیل شوند. در واقع اگر انرژی فعال‌سازی این واکنش تأمین نشود، واکنش‌دهنده‌ها دست نخورده باقی می‌مانند. در واکنش بالا اگر گرمای لازم برای شروع واکنش توسط شعله کبریت یا فندک تأمین نشود، انرژی فعال‌سازی لازم برای سوختن متان فراهم نشده و واکنش انجام نمی‌شود.

افزایش دما و تأثیر آن بر سرعت واکنش

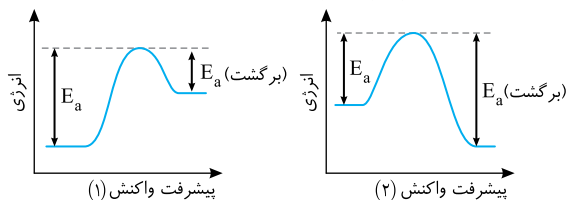
۱- دما از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش است. افزایش دمای یک واکنش، انرژی جنبشی ذره‌های واکنش‌دهنده را افزایش می‌دهد، در نتیجه این ذره‌ها بیشتر و مؤثرتر با یکدیگر برخورد کرده و سرعت واکنش افزایش می‌یابد. به بیان دیگر با افزایش دما تعداد مولکول‌هایی که در واحد زمان به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند و همچنین انرژی این برخوردها افزایش می‌یابد، در نتیجه می‌توان گفت که سرعت واکنش افزایش می‌یابد:

افزایش دما در واکنش‌های شیمیایی ← افزایش انرژی جنبشی واکنش‌دهنده‌ها ← افزایش سرعت واکنش‌های گرماده و گرماگیر

۲- گاز نیتروژن با گاز اکسیژن در دمای اتاق واکنش نمی‌دهد زیرا این واکنش نیاز به انرژی فعال‌سازی زیادی دارد که در دمای اتاق تأمین نمی‌شود اما درون موتور خودرو دما به قدری بالا است که ذره‌های واکنش‌دهنده دارای انرژی جنبشی بسیار زیادی خواهند بود به همین دلیل انرژی فعال‌سازی این واکنش تأمین شده و اندکی از آن‌ها به نیتروژن مونوکسید تبدیل می‌شود.

۳- می‌دانیم یکی از راه‌های تولید گرما ساییش بین دو سطح جامد است. اگر نوک کبریت روی سطح زبر قوطی کبریت کشیده شود، گرما تولید می‌شود. این گرما انرژی فعال‌سازی واکنش شیمیایی انجام شده را تأمین می‌کند.

۴- در شرایط یکسان تغییر دما روی سرعت واکنش‌هایی که E_a بیشتری دارند، تأثیر بیشتری دارد. به بیان دیگر اگر دمای انجام دو واکنش را به یک اندازه افزایش دهیم، سرعت واکنشی که E_a بیشتری دارد، بیشتر افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، با توجه به نمودارهای روبه‌رو اگر دمای هر دو واکنش (۱) و (۲) را به یک اندازه افزایش دهیم، افزایش سرعت واکنش (۱) بیشتر خواهد بود.



توجه: در واکنش‌های برگشت‌پذیر افزایش دما سرعت واکنش‌های رفت و برگشت را افزایش می‌دهد اما نه به یک اندازه! به عنوان مثال، در واکنش (۲) افزایش دما سرعت واکنش برگشت را بیشتر افزایش می‌دهد زیرا انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت بیشتر از واکنش رفت است.

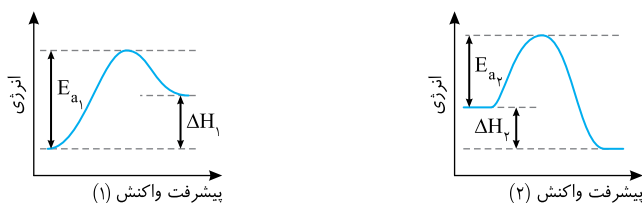
۵- افزایش دما در دماهای پایین‌تر اثر بیشتری روی سرعت واکنش دارد. به عنوان مثال، اگر دمای یک واکنش را در دو دمای متفاوت 25°C و 40°C به اندازه 20°C افزایش دهیم، میزان افزایش سرعت در واکنش اول که در دمای 25°C انجام می‌شود بیشتر است. دقت کنید گفتیم میزان افزایش سرعت در واکنش اول بیشتر است نه سرعت نهایی.

استنباط کنید: ارتباطی بین انرژی فعال‌سازی و گرماده یا گرماگیر بودن یک واکنش وجود ندارد، زیرا ممکن است انرژی فعال‌سازی یک واکنش گرماگیر، بیشتر از انرژی فعال‌سازی یک واکنش گرماده باشد، یا انرژی فعال‌سازی یک واکنش گرماده، بیشتر از انرژی فعال‌سازی یک واکنش گرماگیر باشد. در نکته زیر به بررسی دقیق این موضوع می‌پردازیم.

نکته

بین ΔH واکنش که یک کمیت ترمودینامیکی است و E_a آن، رابطه‌ای وجود ندارد. یعنی ممکن است واکنشی دارای ΔH بزرگ بوده و بسیار گرماگیر باشد ولی E_a آن کوچک باشد و یا بالعکس، ممکن است ΔH واکنشی کوچک‌تر از صفر و بسیار گرماده باشد، ولی E_a آن بزرگ باشد. به عبارت دیگر نمی‌توان بیان کرد که اگر واکنشی گرماده باشد، با سرعت زیاد انجام می‌شود. همچنین نمی‌توان به این نتیجه رسید که سرعت انجام یک واکنش گرماده، از سرعت انجام یک واکنش گرماگیر بیشتر است، یعنی بین سرعت واکنش و ΔH آن هم رابطه خاصی وجود ندارد.

به مثال زیر توجه کنید:



توضیح: واکنش (۲) گرماده ($\Delta H < 0$) است، با توجه به این که E_a واکنش (۱) از E_a واکنش (۲) بیشتر است، در شرایط یکسان دما، فشار و غلظت، سرعت انجام واکنش (۱) که یک واکنش گرماگیر با $\Delta H > 0$ است، از سرعت انجام واکنش (۲) کمتر می‌باشد.

کلاس درس ۸

جمع‌بندی

واکنش شیمیایی (گرماده و گرماگیر) — برای انجام شدن نیاز به انرژی فعال‌سازی دارند. گرما دادن به واکنش‌دهنده‌ها، اغلب E_a واکنش‌ها را تأمین می‌کند. هرچه E_a بیشتر باشد ← تغییر دما تأثیر بیشتری روی تغییر سرعت واکنش دارد.

هر چه قلهٔ نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) پایدارتر باشد، سطح انرژی آن پایین‌تر بوده و تفاوت سطح انرژی آن با واکنش‌دهنده‌ها که همان انرژی فعال‌سازی است، کمتر است. البته سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها در هر دو واکنش را برابر در نظر گرفتیم. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینهٔ (۱): سوختن مواد یک واکنش گرماده است پس سطح انرژی فراورده‌ها پایین‌تر از واکنش‌دهنده‌ها است و پایداری بیشتری دارند.

گزینهٔ (۳): در واکنش‌های گرماده پایداری واکنش‌دهنده‌ها کمتر از فراورده‌ها و در واکنش‌های گرماگیر پایداری واکنش‌دهنده‌ها بیشتر از فراورده‌ها است.

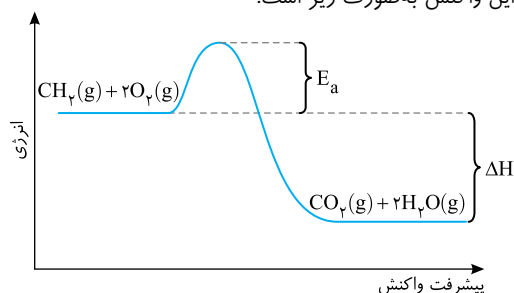
گزینهٔ (۴): در نمودار داده شده آنتالپی و انرژی فعال‌سازی به‌درستی مشخص نشده‌اند.

۴۱ (B) عبارتهای (ب) و (پ) نادرست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): واکنش سوختن متان یک واکنش گرماده است که به کمک جرقه یا شعلهٔ فندک و کبریت انرژی فعال‌سازی این واکنش تأمین می‌شود.

عبارت (ب): مقدار ΔH یک واکنش از رابطه «مجموع آنتالپی‌های واکنش‌دهنده‌ها - مجموع آنتالپی‌های فراورده‌ها $= \Delta H$ » به‌دست می‌آید. با توجه به این که واکنش سوختن متان گرماده و حاصل عبارت بالا منفی است. مجموع آنتالپی‌های واکنش‌دهنده‌ها بیشتر از مجموع آنتالپی‌های فراورده‌ها می‌باشد.

عبارت (پ): نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) این واکنش به‌صورت زیر است.



با توجه به این نمودار می‌توان دریافت که:

«اختلاف سطح انرژی قله و واکنش‌دهنده‌ها $> \Delta H$ واکنش $>$ اختلاف سطح انرژی قله و فراورده‌ها»

عبارت (ت): سطح انرژی فراورده‌های واکنش پایین‌تر از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌هاست. در نتیجه فراورده‌ها پایداری بیشتری نسبت به واکنش‌دهنده‌ها دارند.

۴۲ (A) رنگ نور تولید شده در اثر واکنش سوختن یک ترکیب به غلظت گاز اکسیژن محیط بستگی دارد. اگر غلظت گاز اکسیژن در محیط کافی باشد و ترکیب به‌طور کامل بسوزد، رنگ شعلهٔ آن متفاوت از حالتی خواهد بود که به علت کمبود غلظت گاز اکسیژن ترکیب به‌صورت ناقص می‌سوزد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینهٔ (۱): همهٔ واکنش‌های سوختن گرماده هستند و در واکنش‌های گرماده سطح انرژی فراورده‌ها پایین‌تر از واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد. در نتیجه فراورده‌ها پایدارتر هستند.

گزینهٔ (۲): سوختن، یک واکنش شیمیایی است که در آن یک ماده با اکسیژن به سرعت واکنش می‌دهد. واکنش‌های سوختن برای انجام شدن احتیاج به انرژی فعال‌سازی دارند.

گزینهٔ (۳): یکی از روابط محاسبهٔ ΔH به‌صورت زیر است. با توجه به گرماده بودن واکنش سوختن می‌توان نوشت:

$$\Delta H = \text{مجموع آنتالپی‌های پیوند فراورده‌ها} - \text{مجموع آنتالپی‌های پیوند واکنش‌دهنده‌ها}$$

$$\Rightarrow \text{مجموع آنتالپی‌های پیوند فراورده‌ها} < \text{مجموع آنتالپی‌های پیوند واکنش‌دهنده‌ها}$$

۴۳ (A)

رابطهٔ انرژی فعال‌سازی و سرعت واکنش

کلاس درس

۹

واکنش‌های شیمیایی مختلف با سرعت‌های متفاوتی انجام می‌شوند. علت متفاوت بودن سرعت این واکنش‌ها چیست؟ آیا بین انرژی فعال‌سازی واکنش و سرعت واکنش رابطه‌ای وجود دارد؟

انرژی فعال‌سازی و رابطهٔ آن با سرعت واکنش

چند کوه با ارتفاع متفاوت را در نظر بگیرید. به نظر تان برای رسیدن به نوک کدام قله باید انرژی بیشتری صرف کرد؟ فرض کنید کوهنوردی می‌خواهد در برنامه سالانه خود کوه‌های دماوند، سبلان، دنا و سهند را فتح نماید، با توجه به جدول زیر به نظر تان در کدام مورد این کوهنورد با صرف انرژی کمتری به نوک قله کوه می‌رسد؟

نام کوه	دماوند	سبلان	دنا	سهند
ارتفاع کوه (متر)	۵۶۱۰	۴۸۱۱	۴۴۰۹	۳۷۰۷

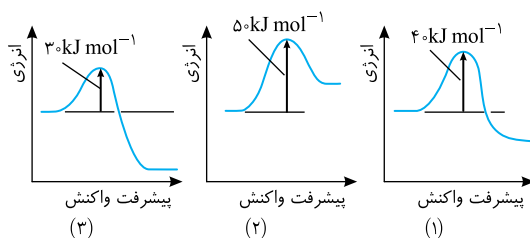
بله درست است برای رسیدن به نوک قله‌ای که ارتفاع بیشتری دارد باید انرژی بیشتری نیز صرف کرد بنابراین این کوهنورد برای رسیدن به نوک قله دماوند بیشترین انرژی و برای رسیدن به نوک قله سهند کمترین انرژی را باید صرف کند. واکنش‌های شیمیایی نیز برای آغاز، با سدهای انرژی متفاوتی روبه‌رو هستند.

۱- واکنش‌های شیمیایی به دلیل داشتن انرژی فعال‌سازی متفاوت با سرعت‌های گوناگون انجام می‌شوند، برای نمونه واکنش زنگ زدن آهن کند است، زیرا برای انجام شدن نیاز به انرژی فعال‌سازی زیادی دارد، درحالی که واکنش سوختن متان تند است، زیرا انرژی فعال‌سازی کمی نیاز دارد.

۲- در مثال بالا به نظر تان سرعت صعود این کوهنورد در کدام مورد بیشتر است؟ کاملاً مشخص است که هر چه ارتفاع قله بیشتر باشد، انرژی مصرف شده توسط کوهنورد و میزان خستگی او نیز بیشتر شده و سرعت صعودش کاهش خواهد یافت.

نتیجه انرژی فعال‌سازی در واکنش‌های شیمیایی شبیه به ارتفاع کوه در مثال ما است. به‌طور کلی انرژی فعال‌سازی (E_a) هر واکنش با سرعت واکنش رابطهٔ عکس دارد، به‌طوری که هر چه انرژی فعال‌سازی واکنش بیشتر باشد، سرعت آن کمتر است.

۳- در بین چند واکنش، سرعت واکنشی که انرژی فعال‌سازی کمتری دارد، بیشتر است. به نمودارهای زیر توجه نمایید.



با توجه به این نمودارها به دو مقایسه مهم زیر می‌رسیم:

واکنش (۳) > واکنش (۱) > واکنش (۲): مقایسه انرژی فعال‌سازی (E_a)
 $30 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} > 40 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} > 50 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

واکنش (۲) > واکنش (۱) > واکنش (۳): مقایسه سرعت واکنش ($\bar{R}$)

۴- بین انرژی فعال‌سازی و سرعت واکنش رابطه خطی وجود ندارد یعنی اگر در واکنشی در شرایط یکسان (دما، غلظت و فشار) E_a را دو برابر کنیم، الزاماً سرعت واکنش نصف نخواهد شد. فقط می‌توان گفت که در اثر افزایش E_a سرعت واکنش کاهش می‌یابد.

مثال: با توجه به داده‌ها، کدام مطلب درست است؟

واکنش (۱): $A + 2B \rightleftharpoons C$ $E_{a1} = 45 \text{ kJ}$

واکنش (۲): $2E \rightleftharpoons F + 2G$ $E_{a2} = 135 \text{ kJ}$

(۱) سرعت واکنش (۱)، سه برابر سرعت واکنش (۲) است.

(۲) سرعت واکنش (۲)، از سرعت واکنش (۱) بیشتر است، زیرا انرژی فعال‌سازی واکنش (۲) از انرژی فعال‌سازی واکنش (۱) بیشتر است.

(۳) سرعت واکنش (۱)، از سرعت واکنش (۲) بیشتر است، زیرا انرژی فعال‌سازی واکنش (۱) از انرژی فعال‌سازی واکنش (۲) کمتر است.

(۴) انرژی فعال‌سازی برگشت واکنش (۱) از انرژی فعال‌سازی برگشت واکنش (۲) کمتر است.

راه‌حل: انرژی فعال‌سازی واکنش (۱) از انرژی فعال‌سازی واکنش (۲) کمتر است، بنابراین سرعت واکنش (۱) از سرعت واکنش (۲) بیشتر می‌باشد. اکنون به بررسی سایر گزینه‌ها می‌پردازیم:

گزینه (۱): بین انرژی فعال‌سازی و سرعت واکنش رابطه وارونه خطی وجود ندارد، یعنی از این که انرژی فعال‌سازی واکنش (۱)، $\frac{1}{3}$ برابر انرژی

فعال‌سازی واکنش (۲) است، نمی‌توانیم این نتیجه را بگیریم که سرعت واکنش (۱)، سه برابر سرعت واکنش (۲) است. فقط می‌توانیم بیان کنیم که سرعت واکنش (۱) از سرعت واکنش (۲) بیشتر می‌باشد.

گزینه (۴): با دیدن معادله واکنش و داشتن E_a آن، نمی‌توانیم درباره (برگشت) E_a اظهار نظر کنیم، برای به دست آوردن (برگشت) E_a ، باید علاوه بر E_a یک واکنش، ΔH آن را هم داشته باشیم. (گزینه ۳)

کلاس درس ۹

جمع‌بندی

انرژی فعال‌سازی (E_a) با سرعت واکنش رابطه عکس دارد.
 هرچه (E_a) بیشتر باشد $\Rightarrow$ سرعت واکنش کمتر است.
 هرچه (E_a) کمتر باشد $\Rightarrow$ سرعت واکنش بیشتر است.

مقدار انرژی فعال‌سازی یک واکنش ارتباطی با مقدار گرمایی که واکنش با محیط مبادله می‌کند، ندارد. ممکن است یک واکنش انرژی فعال‌سازی پایینی داشته باشد اما در اثر انجام آن مقدار زیادی گرما با محیط مبادله شود.^۱ **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): هر چه انرژی فعال‌سازی واکنش بیشتر باشد، شرایط انجام آن واکنش سخت‌تر خواهد بود و واکنش با سرعت کمتری به انجام می‌رسد.

گزینه (۲): مقدار انرژی فعال‌سازی با دمای لازم برای انجام واکنش رابطه مستقیم دارد. بنابراین هر چه انرژی فعال‌سازی واکنشی کمتر باشد، آن واکنش در دمای پایین‌تر و در شرایط آسان‌تر به انجام می‌رسد.

گزینه (۳): هر چه انرژی فعال‌سازی واکنشی بیشتر باشد، اختلاف سطح انرژی قله و واکنش‌دهنده‌ها در نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) بیشتر خواهد بود و واکنش برای انجام شدن به انرژی بیشتری نیاز دارد.

۱- توضیح اضافی: البته یک رابطه نمایی به صورت $K = Ae^{-E_a/RT}$ توسط دانشمندی به نام آرنیوس ارائه شد که در این رابطه، K ثابت سرعت واکنش، A فاکتور فرکانس و E_a انرژی فعال‌سازی واکنش است. اولاً ملاحظه می‌کنید که رابطه بین K و E_a یک رابطه نمایی است (خطی نیست)، دوماً با توجه به این که با تغییر E_a ، پارامتر A و یا حتی T هم تغییر می‌کند، پس تعیین دقیق این که با کم یا زیاد شدن E_a ، سرعت واکنش چند برابر می‌شود، امکان‌پذیر نیست. جالب است بدانید، گاهی اوقات با نصف کردن انرژی فعال‌سازی یک واکنش (با استفاده از کاتالیزگر)، سرعت واکنش بیش از صدها هزار برابر افزایش پیدا می‌کند.

۴۴ (A) ۲ هرچه انرژی فعال‌سازی واکنش کمتر باشد، سرعت انجام آن بیشتر است. در بین دو واکنش داده شده انرژی فعال‌سازی واکنش (۱) از انرژی فعال‌سازی واکنش (۲) کمتر است، پس در شرایط یکسان سرعت واکنش (۱) از سرعت واکنش (۲) بیشتر می‌باشد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۱): با آنتالپی واکنش نمی‌توان در مورد سرعت آن اظهار نظر کرد.
گزینه (۳): انرژی فعال‌سازی با سرعت انجام واکنش رابطه وارونه دارد.

گزینه (۴): از این‌که E_a در واکنش (۱) به اندازه $\Delta kJ.mol^{-1}$ از E_a در واکنش (۲) کمتر است، نمی‌توان نتیجه گرفت که سرعت مصرف A در واکنش (۱) به اندازه $\Delta mol.s^{-1}$ از سرعت مصرف C در واکنش (۲) بیشتر است. سرعت یک واکنش علاوه بر E_a و دما و فشار به عوامل دیگری مانند ماهیت واکنش‌دهنده‌ها و سطح تماس آن‌ها هم بستگی دارد.

۴۵ (B) ۳ تنها عبارت (ت) درست است. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت‌های (الف) و (پ): بین انرژی فعال‌سازی و سرعت رابطه وجود دارد اما این رابطه خطی نیست و از روی دو برابر بودن انرژی فعال‌سازی نمی‌توان به دو برابر بودن سرعت یک واکنش پی برد.

عبارت (ب): با توجه به این‌که ΔH واکنش‌ها را نداریم پس نمی‌توانیم (برگشت) E_a در واکنش (۱) و (رفت) E_a در واکنش (۲) را تعیین کنیم و نمی‌توان سرعت رفت واکنش (۲) و سرعت برگشت واکنش (۱) را مقایسه کرد.

عبارت (ت): به دلیل کمتر بودن (رفت) E_a واکنش (۱) از (برگشت) E_a واکنش (۲) می‌توان فهمید که سرعت واکنش (۱) در جهت رفت بیشتر از سرعت واکنش (۲) در جهت برگشت است.

۴۶ (A) ۳ بزرگ بودن انرژی فعال‌سازی نشان می‌دهد که واکنش‌دهنده‌ها برای تبدیل به فراورده‌ها به انرژی زیادی نیاز دارند، از این‌رو با افزایش دما، انرژی واکنش‌دهنده‌ها بیشتر می‌شود. به‌طوری که شمار ذره‌هایی که در واحد زمان می‌توانند به فراورده‌ها تبدیل شوند بیشتر شده و در نتیجه سرعت واکنش افزایش می‌یابد. با افزایش دما انرژی فعال‌سازی یک واکنش کاهش نمی‌یابد بلکه تأمین می‌شود.

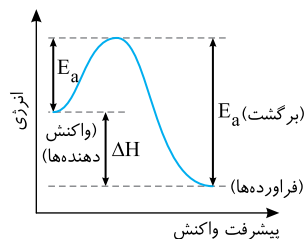
۴۷ (A) ۳ واکنش‌دهنده‌های هر واکنش برای آغاز واکنش باید از سد انرژی فعال‌سازی آن بگذرند تا به فراورده‌ها تبدیل شوند. انرژی فعال‌سازی در واقع مانند یک سد انرژی عمل می‌کند که فقط به گونه‌هایی که حداقل انرژی ممکن را داشته باشند اجازه عبور می‌دهد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): انرژی فعال‌سازی یک واکنش به دما بستگی ندارد و در هر دمایی ثابت است، اما از آن‌جا که با افزایش دما میانگین انرژی جنبشی ذره‌های ماده نیز افزایش می‌یابد، با افزایش دما سرعت واکنش افزایش یافته و انرژی فعال‌سازی آن تأمین می‌شود.

گزینه (۲): انرژی فعال‌سازی به گرمای مبادله شده در واکنش وابسته نیست و اندازه آن وابسته به کمیت‌های بنیادی واکنش است، یعنی واکنشی گرماگیر می‌تواند انرژی فعال‌سازی حتی کمتری نسبت به واکنش گرماده داشته باشد.

گزینه (۴): همان‌گونه که در توضیح گزینه (۲) ذکر کردیم، انرژی فعال‌سازی مستقل از میزان گرمای مبادله شده است.

۴۸ (B) ۳ مطابق نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) یک واکنش:



$$(\Delta H = H_p - H_r)$$

عبارت (الف): تفاوت سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها با فراورده‌ها را آنتالپی می‌نامند.

$$(E_a \text{ (رفت)})$$

عبارت (ب): تفاوت سطح انرژی قله نمودار با واکنش‌دهنده‌ها را انرژی فعال‌سازی رفت گویند.

$$(E_a \text{ (برگشت)})$$

عبارت (پ): تفاوت سطح انرژی قله نمودار با فراورده‌ها را انرژی فعال‌سازی برگشت گویند.

دقت کنید که قله نمودار انرژی ناپایدارترین قسمت است و سطح انرژی آن از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها بیشتر است.

۴۹ (A) ۴

واکنش‌هایی که به دلیل انرژی فعال‌سازی بالا در دمای اتاق انجام نمی‌شوند

۱. کلاس درس

در شیمی دهم با تعدادی واکنش که در دمای اتاق انجام نمی‌شوند و یا با سرعت بسیار کمی انجام می‌شوند، آشنا شدیم. در این کلاس درس ضمن یادآوری این واکنش‌ها دلیل انجام نشدن این واکنش‌ها را بررسی کرده و در هر مورد نیز روشی برای انجام شدن آن‌ها بیان می‌کنیم.

۱- مخلوطی از گازهای اکسیژن و هیدروژن با سرعت بسیار پایین با هم واکنش می‌دهند. زیرا شروع این واکنش نیاز به انرژی فعال‌سازی زیادی دارد. حال اگر در این واکنش از یک کاتالیزگر استفاده کنیم و یا در حضور جرقه واکنش انجام دهیم، مخلوط این دو گاز در یک واکنش سریع و شدید منفجر می‌شود و آب تولید می‌کند.

واکنش بسیار کند و تقریباً بی‌اثر $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow$

واکنش سریع، شدید و انفجاری $2H_2O(l)$ در حضور کاتالیزگر و جرقه $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow$

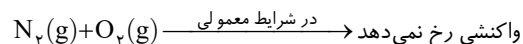
در واقع کاتالیزگر سرعت واکنش را به شدت افزایش می‌دهد، جرقه نیز با تأمین انرژی فعال‌سازی واکنش، به واکنش سرعت می‌دهد.

۲- در مخلوطی از گازهای نیتروژن و هیدروژن حتی در حضور کاتالیزگر با جرقه نیز، هیچ واکنشی رخ نمی‌دهد:

واکنشی رخ نمی‌دهد $H_2(g) + N_2(g) \xrightarrow{\text{کاتالیزگر و جرقه}}$

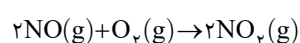
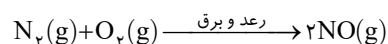
توجه پیوند سه گانه بین اتم‌های نیتروژن در N_2 از استحکام بالایی برخوردار است به همین دلیل N_2 بسیار پایدار می‌باشد. بنابراین برای انجام واکنش بالا و غلبه بر انرژی پیوند در N_2 باید از سد انرژی بالایی عبور کرد که این کار نیاز به انرژی فعال‌سازی بسیار زیادی دارد که در دمای اتاق و یا با زدن جرقه نمی‌توان آن را تأمین کرد.

۳- بیش از ۷۸ درصد حجم هواکره را نیتروژن و حدود ۲۰ درصد آن را اکسیژن تشکیل می‌دهد، اما به دلیل واکنش‌پذیری بسیار کم نیتروژن این واکنش برای انجام شدن نیاز به انرژی فعال‌سازی زیادی دارد تا بتواند از سد انرژی پیوند بین اتم‌های اکسیژن در O_2 و نیز سد انرژی پیوند بین اتم‌های نیتروژن در N_2 عبور کند:



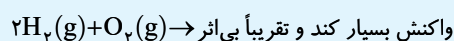
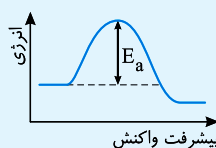
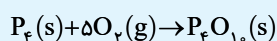
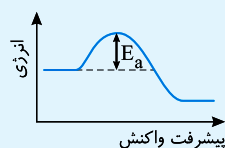
واکنش بین N_2 و O_2 در موتور خودرو انجام می‌شود زیرا دمای موتور خودرو بیش از $1000^\circ C$ است و در این دما انرژی فعال‌سازی مورد نیاز برای انجام واکنش تأمین می‌شود. البته دقت داشته باشید که در موتور خودرو تعداد کمی از مولکول‌های N_2 و O_2 به نیتروژن مونوکسید تبدیل می‌شوند.

توجه در هنگام رعد و برق به دلیل افزایش دما در ناحیه‌ای که رعد و برق ایجاد شده، انرژی فعال‌سازی این واکنش تأمین شده و انجام می‌شود:



نکته

فسفر سفید (P_4) واکنش‌پذیری زیادی دارد و در هوای آزاد به سرعت با اکسیژن واکنش داده و می‌سوزد به همین دلیل برای نگهداری آن و جلوگیری از واکنش آن با اکسیژن هوا، آن را زیر آب نگهداری می‌کنند. فسفر سفید برخلاف گاز هیدروژن در هوا و در دمای اتاق می‌سوزد، این موضوع نشان می‌دهد که انرژی فعال‌سازی مورد نیاز برای سوختن فسفر سفید، کمتر از انرژی فعال‌سازی مورد نیاز برای سوختن هیدروژن است، به طوری که E_a سوختن فسفر سفید در دمای اتاق تأمین می‌شود. با این توضیح نمودار انرژی پیشرفت واکنش برای این دو واکنش به صورت زیر است:



کلاس درس ۱۰

جمع‌بندی

واکنش	$H_2(g) + O_2(g) \rightarrow$	$H_2(g) + N_2(g) \rightarrow$	$N_2(g) + O_2(g) \rightarrow$	$P_4(s) + O_2(g) \rightarrow$
در دمای اتاق	بسیار کند، تقریباً انجام نمی‌شود.	انجام نمی‌شود.	انجام نمی‌شود.	انجام می‌شود.
در حضور کاتالیزگر یا جرقه	سریع و شدید و انفجاری انجام می‌شود.	انجام نمی‌شود.	انجام نمی‌شود ولی در دمای موتور خودرو انجام می‌شود.	نیاز به کاتالیزگر و جرقه ندارد.

با توجه به نمودارهای داده شده، انرژی فعال‌سازی واکنش (۱) بیشتر از واکنش (۲) می‌باشد. بنابراین عبارت‌های (ب) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:** عبارت (الف): واکنش فسفر سفید برخلاف هیدروژن در هوا و در دمای اتاق می‌سوزد، پس انرژی فعال‌سازی سوختن فسفر سفید می‌بایست مقدار کمتری از انرژی فعال‌سازی واکنش سوختن هیدروژن باشد، پس نمودار (۱) می‌تواند مربوط به سوختن هیدروژن و نمودار (۲) مربوط به سوختن فسفر سفید باشد.

عبارت (ب): همه واکنش‌های سوختن گرماده هستند و فرم کلی آن‌ها مشابه نمودارهای (۱) و (۲) می‌باشد.

عبارت (پ): تغییر دما تأثیری بر انرژی فعال‌سازی واکنش ندارد و تنها کاتالیزگر می‌تواند این کمیت را تغییر دهد.

عبارت (ت): هر چه سطح انرژی گونه‌های پایین‌تر باشد، پایداری آن نیز بیشتر خواهد بود. در این نمودارها، قله نمودار (۱) دارای انرژی بیشتری از قله نمودار (۲) است، پس قله نمودار (۲) پایدارتر از قله نمودار (۱) می‌باشد.

۵۰ واکنش سوختن فسفر سفید در دمای اتاق انجام‌پذیر است. سایر واکنش‌ها برای انجام شدن نیاز به مقدار زیادی انرژی فعال‌سازی دارند که در دمای اتاق و بدون حضور کاتالیزگر این انرژی تأمین نمی‌شود.

مقایسه انرژی فعال‌سازی و آنتالپی پیوند

کلاس درس

II

در شیمی یازدهم با آنتالپی پیوند آشنا شدیم. حال در این کلاس درس قصد داریم به مقایسه آنتالپی پیوند و انرژی فعال‌سازی بپردازیم.

آنتالپی پیوند

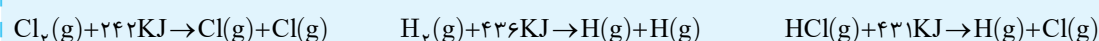
یادآوری از شیمی دهم

۱- آنتالپی پیوند: مقدار انرژی لازم برای شکستن یک مول پیوند اشتراکی در مولکول گازی و تبدیل آن به اتم‌های گازی است. در واقع با صرف انرژی، پیوند اشتراکی بین دو اتم در یک مولکول گازی را شکسته و دو اتم گازی جدا از هم تشکیل می‌شود.

به‌عنوان مثال، هیدروژن از مولکول‌های دواتمی تشکیل شده که در هر یک از آن‌ها، دو اتم هیدروژن با یک پیوند اشتراکی به یکدیگر متصل‌اند. بدیهی است برای تبدیل مولکول‌های H_2 به اتم‌های H ، باید با صرف انرژی، پیوند اشتراکی میان آن‌ها شکسته شود. یافته‌های تجربی نشان می‌دهد که انرژی لازم برای

شکستن پیوندهای اشتراکی موجود در یک مول H_2 گازی و تبدیل آن به دو مول اتم گازی H ، حدود 436 kJ است: $H_2(g) + 436 \text{ kJ} \rightarrow 2H(g)$

۲- هر چه مقدار آنتالپی پیوند بزرگ‌تر (مثبت‌تر) باشد، به این معنا است که استحکام پیوند بیشتر است. به‌عنوان مثال، با توجه به جدول آنتالپی پیوند، می‌توان معادله‌های شکستن پیوند در H_2 ، Cl_2 و HCl را به‌صورت زیر نوشت:



بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- مقایسه ΔH : $\Delta H(H-H) > \Delta H(H-Cl) > \Delta H(Cl-Cl)$

۲- مقایسه استحکام پیوند: $H-H > H-Cl > Cl-Cl$

مقایسه انرژی فعال‌سازی و انرژی پیوند

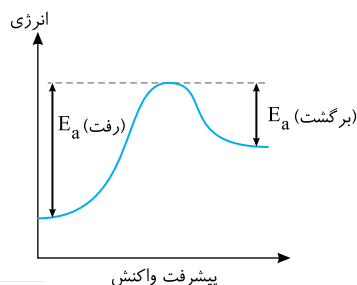
۱- انرژی فعال‌سازی واکنش رفت همواره از مجموع انرژی پیوندهای مواد واکنش‌دهنده (در حالت گازی) کمتر است. زیرا انرژی فعال‌سازی صرف شروع واکنش می‌شود و در واقع فقط صرف سست شدن برخی پیوندها (گاهی اوقات تمام پیوندها) می‌شود در حالی که مجموع انرژی پیوند مواد واکنش‌دهنده صرف شکستن کامل تمام پیوندهای واکنش‌دهنده می‌شود.

۲- هر چه انرژی فعال‌سازی واکنشی بیشتر باشد، مجموع انرژی پیوند واکنش‌دهنده‌ها نیز در آن بیشتر خواهد بود. در ضمن می‌توان گفت که در یک واکنش هر طرف معادله واکنش که انرژی فعال‌سازی بیشتری دارد، مجموع انرژی پیوند واکنش‌دهنده‌ها در آن بیشتر است زیرا هر چه انرژی مورد نیاز برای سست کردن پیوندها (انرژی فعال‌سازی) بیشتر باشد، قطعاً انرژی مورد نیاز برای از بین بردن کامل پیوندها نیز بیشتر خواهد بود.

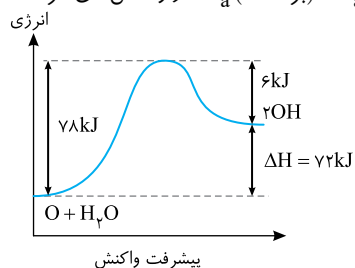
۳- در واکنش‌های گرماگیر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت بیشتر از واکنش برگشت است بنابراین مجموع انرژی پیوند واکنش‌دهنده‌ها بیشتر از فراورده‌ها می‌باشد:

(برگشت) E_a > (رفت) E_a : در واکنش‌های گرماگیر

مجموع انرژی پیوند فراورده‌ها > مجموع انرژی پیوند واکنش‌دهنده‌ها



۴- در واکنش‌های گرماده انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت، بیشتر از واکنش رفت است، بنابراین مجموع انرژی پیوند فراورده‌ها بیشتر از واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد: مجموع انرژی پیوند واکنش‌دهنده‌ها > مجموع انرژی پیوند فراورده‌ها $\Rightarrow$ (رفت) E_a > (برگشت) E_a : در واکنش‌های گرماده



مثال ۱: واکنش $O(g) + H_2O(g) \rightarrow OH(g)$ را در نظر بگیرید. در این واکنش یکی از پیوندهای

($H-O$) در مولکول آب شکسته می‌شود که برای این کار به 463 کیلوژول انرژی نیاز است. این در حالی است که مقدار انرژی لازم برای آغاز واکنش یعنی انرژی فعال‌سازی واکنش برابر 78 کیلوژول است. در واقع حداقل انرژی لازم برای سست کردن یکی از پیوندهای ($H-O$) در مولکول آب برابر 78 کیلوژول است.

$A_v(g) + B(g) \rightarrow AB(g) + A(g)$ درست است؟

$$E_2 > 216 \text{ kJ} \quad (1)$$

در یک واکنش گرماگیر، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت بیشتر از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت است.

$$\Delta H = E_a(\text{واکنش رفت}) - E_a(\text{واکنش برگشت}) > 0 \Rightarrow E_a(\text{واکنش رفت}) > E_a(\text{واکنش برگشت})$$

۵۲ انرژی فعال‌سازی واکنش رفت همواره از مجموع انرژی پیوندهای مواد واکنش‌دهنده در حالت گازی کمتر است. در این واکنش مجموع

آنتالپی‌های پیوند واکنش‌دهنده‌ها برابر 316 kJ.mol^{-1} است؛ بنابراین E_a باید مقداری کمتر از 316 kJ.mol^{-1} باشد.

25 A

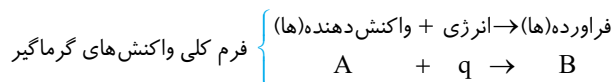
کلاس درس

در این کلاس درس ضمن یادآوری نکات مربوط به واکنش‌های گرماگیر با نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) این واکنش‌ها آشنا می‌شویم.

یادآوری از شیمی دهم

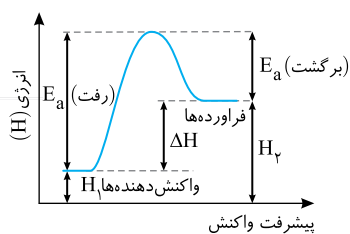
فراورده‌ها > واکنش‌دهنده‌ها: مقایسهٔ پایداری در واکنش‌های گرماگیر

توجه فرم کلی واکنش‌های گرماگیر به صورت روبه‌رو است:



نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) این دسته از واکنش‌ها به صورت زیر است:

تغییر آنتالپی واکنش:



E₃ (رفت)

E₃ (برگشت)

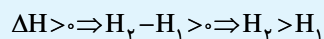
H,

 H_{γ} ΔH

نکته

برای واکنش‌های گرماگیر، می‌توان نکته‌های زیر را بیان کرد:

۱- مجموع آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها (H_1) > مجموع آنتالپی فراورده‌ها (H_2):



۲- با توجه به این که مجموع آنتالپی فراورده‌ها از مجموع آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها بیشتر است، بنابراین فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها ناپایدارتر بوده و فعالیت شیمیایی بیشتری دارند:

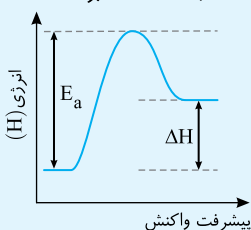
فراورده‌ها > واکنش‌دهنده‌ها: پایداری

۳- ((برگشت)) E_a انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت > ((رفت)) E_a انرژی فعال‌سازی واکنش رفت: $\Delta H > 0 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) > 0$

۴- از آن‌جا که انرژی فعال‌سازی واکنش رفت ((رفت)) E_a از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت ((برگشت)) E_a بیشتر است، بنابراین در واکنش‌های گرماگیر، سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت کمتر است.

۵- در یک واکنش گرماگیر، واکنش رفت گرماگیر ($\Delta H_{\text{رفت}} > 0$) است. بنابراین اگر واکنش برگشت‌پذیر باشد، واکنش برگشت گرماده ($\Delta H_{\text{برگشت}} < 0$) است:

$$\Delta H_{\text{برگشت}} = -\Delta H_{\text{رفت}} \Rightarrow \Delta H_{\text{برگشت}} < 0$$



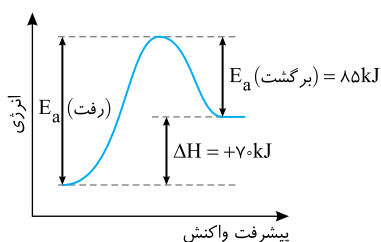
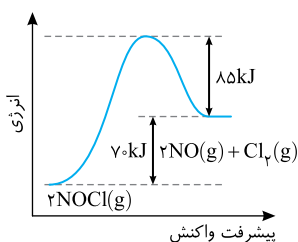
۶- با توجه به نمودار روبه‌رو و رابطه $\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$ ، نتیجه می‌گیریم که در واکنش‌های گرماگیر، ((رفت)) E_a از ΔH بیشتر است.

۷- در واکنش‌های گرماگیر، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت بیشتر است. بنابراین رسیدن واکنش‌دهنده‌ها به نوک قله در نمودار انرژی - پیشرفت کندتر (سخت‌تر) از رسیدن فراورده‌ها به نوک قله است.

مثال ۱: با توجه به نمودار روبه‌رو که به واکنش $2\text{NOCl(g)} \rightarrow 2\text{NO(g)} + \text{Cl}_2\text{(g)}$ مربوط است،

E_a برحسب kJ.mol^{-1} و ΔH واکنش برحسب kJ به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

- ۱) ۸۵، ۷۰-
- ۲) ۱۵۵، ۷۰-
- ۳) ۱۵۵، ۷۰+
- ۴) ۸۵، ۷۰+



راه‌حل: ΔH ، ((رفت)) E_a و ((برگشت)) E_a در نمودار مشخص شده‌اند.

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = \Delta H + E_a(\text{برگشت}) = (70) + 85 = 155 \text{ kJ}$$

از آن‌جا که نمودار داده شده مربوط به یک واکنش گرماگیر است، بنابراین باید ΔH را برابر 70 kJ در نظر بگیریم. (گزینه ۳)

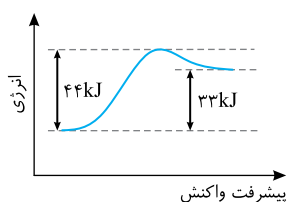
مثال ۲: با توجه به نمودار روبه‌رو کدام مطلب درست است؟

۱) $\Delta H > 0$ و سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت بیشتر است.

۲) انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت برابر ۴۴ کیلوژول بر مول است.

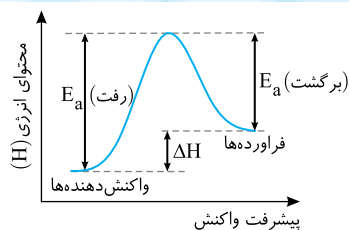
۳) $\Delta H > 0$ و فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها پایدارتر هستند.

۴) در این واکنش، واکنش رفت برای آغاز، سد انرژی بیشتری نسبت به واکنش برگشت پیش روی خود دارد.



راه‌حل: در این واکنش انرژی فعال‌سازی واکنش رفت بیشتر از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت است به همین دلیل واکنش رفت برای آغاز سد انرژی بیشتری نسبت به واکنش برگشت پیش روی خود دارد.

- | | |
|--|---|
| سطح انرژی
فراورده‌ها
از سطح انرژی
واکنش‌دهنده‌ها
بالاتر است. | ۱) $\Delta H > 0 \Rightarrow$ واکنش گرماگیر است. |
| | ۲) $\Delta H > 0 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) > 0 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) > E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow$ سرعت واکنش برگشت < سرعت واکنش رفت |
| | ۳) $\Delta H > 0 \Rightarrow H_2 > H_1 \Rightarrow$ سطح انرژی فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها بالاتر است. |
| | ۴) $\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow 33 = 44 - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow 44 - 33 = 11 \text{ kJ.mol}^{-1}$ (گزینه ۴) |



نمودار «انرژی پیشرفت» یک واکنش گرماگیر به صورت روبه‌رو است: سطح انرژی فرآورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها بالاتر و انرژی فعال‌سازی رفت بیشتر از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت است.

B ۵۴ ۲ بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): پایداری با انرژی رابطه عکس دارد پس در واکنش گرماگیر، داریم:
عبارت (ب): با توجه به کمتر بودن انرژی فعال‌سازی برگشت، سرعت واکنش برگشت بیشتر از رفت است.
عبارت (پ): مقدار آنتالپی ΔH از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:
و با توجه به مثبت بودن ΔH می‌توان نتیجه گرفت که:
عبارت (ت): در واکنش‌های گرماگیر $\Delta H > 0$ و E_a (رفت) بزرگ‌تر از E_a (برگشت) است، پس « $\Delta H + E_a$ (رفت)» از E_a (برگشت) بزرگ‌تر است.

A ۵۵ ۳

نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش)، واکنش‌های گرماده

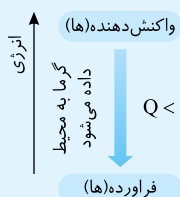
کلاس درس

در این کلاس درس ضمن یادآوری نکات مربوط به واکنش‌های گرماده با نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) این واکنش‌ها آشنا می‌شویم.

۱. معرفی واکنش‌های گرماده

یادآوری از شیمی دهم

۱- بسیاری از واکنش‌های شیمیایی هنگام انجام شدن، گرما از دست می‌دهند. به بیان دیگر، در این واکنش‌ها گرما از سامانه خارج می‌شود (گرما آزاد می‌شود). به همین دلیل چنین واکنش‌هایی را **گرماده** می‌نامیم. در این واکنش‌ها، واکنش‌دهنده‌ها با از دست دادن انرژی و پس از تبدیل به فرآورده‌ها و کاهش سطح انرژی، به پایداری بیشتری می‌رسند.

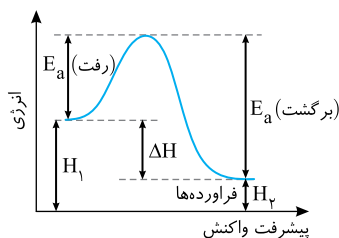


۲- در نمودار انرژی تمام واکنش‌های گرماده، فرآورده‌ها انرژی کمتری از واکنش‌دهنده‌ها دارند. به بیان دیگر سطح انرژی فرآورده‌ها، پایین‌تر از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد. بنابراین پایداری فرآورده‌ها بیشتر از واکنش‌دهنده‌ها است.

انرژی + فرآورده(ها) → واکنش دهنده(ها)
A → B + q

فرم کلی واکنش‌های گرماده به صورت روبه‌رو است:

۲. نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) در واکنش‌های گرماده



نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) این دسته از واکنش‌ها به صورت روبه‌رو است:
انرژی فعال‌سازی واکنش رفت:

E_a (رفت)

انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت:

E_a (برگشت)

مجموع آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها:

H_1

مجموع آنتالپی فرآورده‌ها:

H_2

ΔH

تغییر آنتالپی واکنش:

در زیر نکات مربوط به واکنش‌های گرماده و نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) آن‌ها را بیان می‌کنیم:

نکته

۱- مجموع آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها (H_1) < مجموع آنتالپی فراورده‌ها (H_2): $\Delta H < 0 \Rightarrow H_2 - H_1 < 0 \Rightarrow H_2 < H_1$

۲- از آن‌جا که مجموع آنتالپی فراورده‌ها از مجموع آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها کمتر است، بنابراین فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها پایدارتر بوده و فعالیت شیمیایی کمتری دارند:

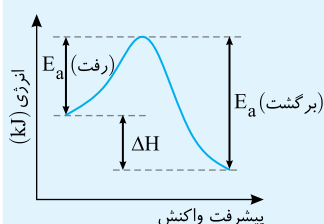
واکنش‌دهنده‌ها > فراورده‌ها: پایداری

۳- ((برگشت)) انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت < ((رفت)) انرژی فعال‌سازی واکنش رفت: $\Delta H < 0 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) < 0$

۴- انرژی فعال‌سازی واکنش رفت ((رفت)) از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت ((برگشت)) کمتر است، بنابراین در واکنش‌های گرماده، سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت، بیشتر است.

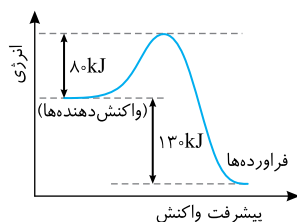
۵- در یک واکنش گرماده، واکنش رفت گرماده ($\Delta H_{\text{رفت}} < 0$) است، بنابراین اگر واکنش برگشت‌پذیر باشد، واکنش برگشت گرماگیر ($\Delta H_{\text{برگشت}} > 0$) است:

$$\Delta H_{\text{برگشت}} = -\Delta H_{\text{رفت}} \Rightarrow \Delta H_{\text{برگشت}} > 0$$



۶- با توجه به نمودار روبه‌رو و همچنین رابطه $\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$ ، می‌توانیم نتیجه بگیریم که در واکنش‌های گرماده، ((برگشت)) E_a از قدرمطلق ΔH ($|\Delta H|$) بیشتر است.

۷- در واکنش‌های گرماده، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت کمتر است. بنابراین رسیدن واکنش‌دهنده‌ها به نوک قله در نمودار (انرژی - پیشرفت) سریع‌تر (آسان‌تر) از رسیدن فراورده‌ها به نوک قله است.

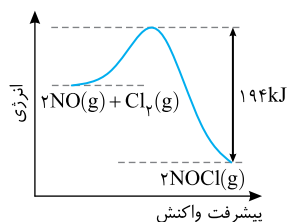


مثال ۱: با توجه به نمودار روبه‌رو می‌توان نتیجه گرفت که ΔH این واکنش در جهت، صفر بوده و سرعت آن در این جهت است و ΔH واکنش در جهت برگشت برابر کیلوژول است.

- (۱) رفت - کوچک‌تر - کمتر - ۱۳۰ -
- (۲) برگشت - بزرگ‌تر - بیشتر - ۱۳۰ +
- (۳) رفت - کوچک‌تر - بیشتر - ۱۳۰ +
- (۴) برگشت - کوچک‌تر - کمتر - ۱۳۰ -

راه‌حل: در نمودار داده شده، سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر است. بنابراین واکنش رفت گرماده بوده و ΔH آن کوچک‌تر از صفر است. در واکنش‌های گرماده، ((رفت)) E_a از ((برگشت)) E_a کمتر است، از این‌رو سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت بیشتر می‌باشد.

$$\Delta H_{\text{رفت}} = -130 \text{ kJ} \Rightarrow \Delta H_{\text{برگشت}} = -\Delta H_{\text{رفت}} = -(-130 \text{ kJ}) = +130 \text{ kJ} \quad (\text{گزینه } ۳)$$



مثال ۲: نمودار روبه‌رو به واکنش $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NOCl}(\text{g})$ مربوط است، اگر برای آغاز این واکنش

نیاز به عبور از سد انرژی معادل ۱۰۲ کیلوژول باشد، کدام مطلب نادرست است؟

- (۱) انرژی فعال‌سازی واکنش رفت به اندازه ۹۲ کیلوژول از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت کمتر است.
- (۲) مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها به اندازه ۹۲ کیلوژول از مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها کمتر است.

(۳) ΔH واکنش $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NOCl}(\text{g})$ برابر ۹۲ kJ - است.

(۴) مجموع انرژی پیوندهای ۲ مول NOCl برابر ۱۹۴ کیلوژول می‌باشد.

راه‌حل: انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت (۱۹۴ کیلوژول بر مول)، از مجموع انرژی پیوندهای فراورده‌ها (۲ مول NOCl) کمتر است. اکنون به بررسی سایر گزینه‌ها می‌پردازیم:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 102 - 194 = -92 \text{ kJ} \quad (\text{گزینه } ۱):$$

$$\Delta H = (\text{مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها}) - (\text{مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها}) = -92 \text{ kJ} \quad (\text{گزینه } ۲):$$

$$-92 \text{ kJ} = (\text{مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها}) - (\text{مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها})$$

گزینه (۳): با توجه به نمودار، ΔH واکنش رفت برابر ۹۲ kJ - است.

(گزینه ۴)

در یک واکنش برگشت پذیر ΔH واکنش رفت قرینه ΔH واکنش برگشت است. به عنوان مثال، در واکنش بالا ΔH واکنش رفت برابر -92kJ است، بنابراین ΔH واکنش برگشت برابر 92kJ است.

نمودار (انرژی - پیشرفت) یک واکنش گرماده به صورت زیر است. سطح انرژی قله نمودار به سطح انرژی واکنش دهنده‌ها نزدیک‌تر است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

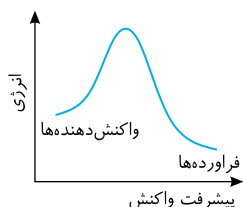
گزینه (۱): از شیمی ۲ به یاد دارید که آنتالپی واکنش را از رابطه زیر به دست می‌آورند و با توجه به منفی بودن ΔH ، داریم:

$$\Delta H = (\text{مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها}) - (\text{مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها}) < 0$$

مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها < مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها

گزینه (۲): انرژی فعال‌سازی رفت کمتر از انرژی فعال‌سازی برگشت است.

گزینه (۴): محتوای انرژی فراورده‌ها کمتر و پایداری آن‌ها بیشتر از واکنش دهنده‌ها است.



۵۶ ۲

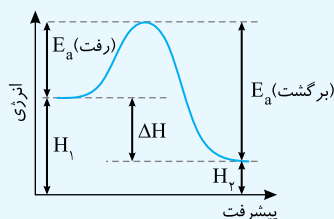
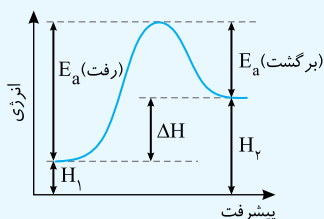
مقایسه واکنش‌های گرماده و گرماگیر

کلاس درس

۱۴

در این کلاس درس به مقایسه واکنش‌های گرماده و گرماگیر می‌پردازیم و به یک جمع‌بندی مفید از نکات مربوط به این دو دسته واکنش می‌رسیم. برای این منظور به جدول زیر توجه نمایید:

واکنش‌های گرماگیر ($A + q \rightarrow B$)	واکنش‌های گرماده ($A \rightarrow B + q$)
۱- در معادله واکنش، نماد q سمت چپ (واکنش دهنده‌ها) قرار دارد.	۱- در معادله واکنش نماد q ، سمت راست (فراورده‌ها) قرار دارد.
۲- علامت ΔH واکنش مثبت است: $\Delta H > 0$	۲- علامت ΔH واکنش منفی است: $\Delta H < 0$
۳- انرژی از محیط به سامانه منتقل می‌شود.	۳- انرژی از سامانه به محیط منتقل می‌شود.
۴- مقایسه انرژی فعال‌سازی: $E_a(\text{رفت}) > E_a(\text{برگشت})$	۴- مقایسه انرژی فعال‌سازی: $E_a(\text{رفت}) < E_a(\text{برگشت})$
۵- مقایسه سرعت: $\bar{R}(\text{رفت}) < \bar{R}(\text{برگشت})$	۵- مقایسه سرعت: $\bar{R}(\text{رفت}) > \bar{R}(\text{برگشت})$
۶- مقایسه آنتالپی پیوند: فراورده‌ها > واکنش دهنده‌ها	۶- مقایسه آنتالپی پیوند: واکنش دهنده‌ها > فراورده‌ها
۷- مقایسه پایداری: فراورده‌ها > واکنش دهنده‌ها	۷- مقایسه پایداری: واکنش دهنده‌ها > فراورده‌ها
۸- مقایسه فعالیت شیمیایی: واکنش دهنده‌ها > فراورده‌ها	۸- مقایسه فعالیت شیمیایی: فراورده‌ها > واکنش دهنده‌ها
۹- نمودار (انرژی - پیشرفت) واکنش:	۹- نمودار (انرژی - پیشرفت) واکنش:



هر چه سطح انرژی قله نمودار پایین‌تر باشد، پایداری آن با واکنش دهنده‌ها کمتر می‌شود، بنابراین انرژی فعال‌سازی کمتر می‌شود. از طرفی دیگر می‌دانیم انرژی فعال‌سازی واکنش با سرعت انجام آن رابطه وارونه دارد، پس هر چه انرژی فعال‌سازی یک واکنش بیشتر باشد، سرعت انجام آن کمتر است.

بین گرماده و گرماگیر بودن یک واکنش با E_a آن واکنش و همچنین سطح انرژی قله نمودار رابطه خاصی وجود ندارد، یعنی در جای خالی اول هم گرماگیر و هم گرماده را می‌توان قرار داد.

۵۷ ۱ بررسی پرسش‌ها:

پرسش (الف): نمودار شماره (۲) مربوط به واکنش گرماگیر است ($\Delta H > 0$) و سایر نمودارها مربوط به واکنش‌هایی گرماده ($\Delta H < 0$) هستند.

پرسش (ب): هر چه انرژی فعال‌سازی کمتر باشد، سرعت واکنش بیشتر است، پس سرعت واکنش (۳) بیشتر از دو واکنش دیگر است.

۵۸ ۲ در واکنش‌های گرماگیر سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش دهنده‌ها بالاتر است. نمودارهای گزینه‌های (۲) و (۴) مربوط به دو واکنش گرماگیر هستند. واکنشی که انرژی فعال‌سازی کمتری داشته باشد، سرعت انجام آن بیشتر است. انرژی فعال‌سازی واکنش رفت گزینه (۲) از انرژی فعال‌سازی واکنش رفت گزینه (۴) کمتر است، پس سرعت واکنش رفت گزینه (۲) بیشتر از سرعت واکنش رفت گزینه (۴) است.

۵۹ (A) ۴ گزینه‌های (۲) و (۴) مربوط به دو واکنش گرماده هستند. در واکنش‌های گرماده سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر می‌باشد. بین این دو واکنش، انرژی فعال‌سازی گزینه (۴) از انرژی فعال‌سازی واکنش رفت گزینه (۲) بیشتر است.

۶۰ (B) ۱ عبارتهای (الف) و (ب) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): واکنش‌دهنده‌ها برای رسیدن به قله در نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) گرما می‌گیرند.

عبارت (ب): هر چه یک واکنش مقدار E_a بیشتری داشته باشد، تغییر دما روی سرعت آن تأثیر بیشتری دارد.

عبارت (پ): در واکنش‌های برگشت‌پذیر افزایش دما روی سرعت واکنشی که E_a بیشتری دارد، تأثیر بیشتری می‌گذارد.

عبارت (ت): گرماگیر یا گرماده بودن یک واکنش ارتباطی با میزان انرژی فعال‌سازی آن واکنش ندارد. ممکن است یک واکنش گرماده انرژی فعال‌سازی بیشتری نسبت به یک واکنش گرماگیر داشته باشد و یا برعکس آن اتفاق بیفتد.

۶۱ (A) ۱

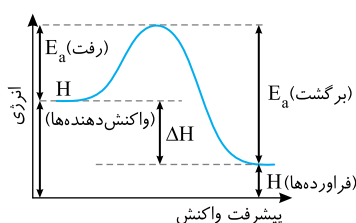
محاسبه ΔH واکنش با استفاده از انرژی فعال‌سازی

کلاس درس

با استفاده از انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و واکنش برگشت نیز می‌توانیم ΔH واکنش را محاسبه کنیم. در ادامه به بررسی این موضوع می‌پردازیم.

۱- می‌دانیم ΔH واکنش را در فشار ثابت از حاصل تفاضل آنتالپی مواد واکنش‌دهنده از آنتالپی مواد فراورده می‌توان به‌دست آورد:

$$\Delta H(\text{واکنش}) = H(\text{مواد واکنش‌دهنده}) - H(\text{مواد فراورده})$$



می‌خواهیم رابطه محاسبه ΔH را با استفاده از E_a (رفت) و E_a (برگشت) به‌دست آوریم، ابتدا به نمودار

(انرژی - پیشرفت) واکنش روبه‌رو توجه نمایید:

با توجه به نمودار روبه‌رو می‌توان نتیجه گرفت که:

$$E_a(\text{رفت}) + H(\text{واکنش‌دهنده‌ها}) = E_a(\text{برگشت}) + H(\text{فراورده‌ها})$$

حال با یک جابجایی ساده به رابطه زیر می‌رسیم:

$$E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = H(\text{فراورده‌ها}) - H(\text{واکنش‌دهنده‌ها})$$

$$\Delta H$$

همانطور که مشاهده می‌کنید عبارت سمت راست برابر ΔH واکنش است، بنابراین داریم:

$$\Delta H(\text{واکنش رفت}) = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$$

نتیجه برای به‌دست آوردن ΔH واکنش می‌توان انرژی فعال‌سازی برگشت را از انرژی فعال‌سازی رفت کم کرد.

$$\Delta H(\text{رفت}) = (\text{انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت}) - (\text{انرژی فعال‌سازی واکنش رفت})$$

مثال ۱: در یک واکنش برگشت‌پذیر، اگر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و برگشت به‌ترتیب برابر ۴۵ و ۹۲ کیلوژول بر مول باشد، ΔH واکنش رفت

برحسب کیلوژول کدام است؟

$$-۱۳۷ \text{ (۴)} \quad +۱۳۷ \text{ (۳)} \quad +۴۷ \text{ (۲)} \quad -۴۷ \text{ (۱)}$$

$$\Delta H(\text{واکنش رفت}) = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$$

راه‌حل: می‌دانیم:

$$\Delta H(\text{واکنش رفت}) = ۴۵ - ۹۲ = -۴۷ \text{ kJ}$$

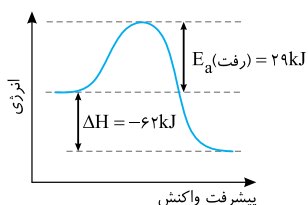
(گزینه ۱)

مثال ۲: در واکنش فرضی $۲A + B \rightarrow C + D$ ، اگر سطح انرژی فراورده‌ها به اندازه ۶۲ کیلوژول از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر باشد و برای

رسیدن از بالاترین سطح انرژی در نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) به واکنش‌دهنده‌ها، ۲۹ کیلوژول گرما آزاد شود، انرژی فعال‌سازی واکنش

برگشت برحسب کیلوژول بر مول کدام است؟

$$۶۲ \text{ (۴)} \quad ۳۳ \text{ (۳)} \quad ۹۱ \text{ (۲)} \quad ۲۹ \text{ (۱)}$$



راه‌حل: تفاوت سطح انرژی فراورده‌ها و واکنش‌دهنده‌ها در نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش)،

نشان‌دهنده ΔH واکنش می‌باشد، با توجه به مطالب عنوان شده، نمودار (انرژی - پیشرفت) این

واکنش به‌صورت زیر است، بنابراین $E_a = ۲۹ \text{ kJ}$ و $\Delta H = -۶۲ \text{ kJ}$ است:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow -۶۲ \text{ kJ} = ۲۹ \text{ kJ} - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = ۹۱ \text{ kJ}$$

(گزینه ۲)

۲- در واکنش‌های برگشت‌پذیر فراورده‌ها نیز می‌توانند با هم واکنش داده و واکنش‌دهنده‌ها را تولید کنند، برای به‌دست آوردن ΔH واکنش

برگشت کافی است که انرژی فعال‌سازی واکنش رفت را از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت کم کنیم: $\Delta H(\text{واکنش برگشت}) = E_a(\text{برگشت}) - E_a(\text{رفت})$

نکته

با مقایسه E_a (رفت) و E_a (برگشت) می‌توان نتیجه گرفت که (برگشت) ΔH از نظر عددی قرینه ΔH (رفت) است:

$$\Delta H(\text{برگشت}) = -\Delta H(\text{رفت})$$

مثال ۳: در واکنش برگشت پذیر فرضی $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$ ، انرژی فعال سازی واکنش رفت برابر ۷۵ کیلوژول بر مول و انرژی فعال سازی واکنش برگشت برابر ۱۶۰ کیلوژول بر مول می باشد. ΔH واکنش برگشت بر حسب کیلوژول کدام است؟

- (۱) -۸۵ (۲) +۸۵ (۳) -۱۰ (۴) +۱۰

$$\Delta H(\text{واکنش رفت}) = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow \Delta H(\text{واکنش رفت}) = 75 - 160 = -85 \text{ kJ}$$

راه حل:

$$\Delta H(\text{واکنش برگشت}) = -\Delta H(\text{واکنش رفت}) \Rightarrow \Delta H(\text{واکنش برگشت}) = +85 \text{ kJ}$$

(گزینه ۲)

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow -42/5 = 12/5 - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 12/5 + 42/5 = 54 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

۶۲ (A) تفاوت سطح انرژی قله نمودار با واکنش دهنده ها انرژی فعال سازی رفت و تفاوت سطح انرژی قله نمودار با فراورده انرژی فعال سازی برگشت است.

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow +72 = 78 - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 78 - 72 = 6 \text{ kJ}$$

۶۳ (A) در اثر انجام واکنش، ۳۶ کیلوژول گرما از محیط گرفته شده پس این واکنش در جهت رفت گرماگیر $\Delta H = 36 \text{ kJ}$ است. ΔH واکنش برگشت قرینه واکنش رفت می باشد بنابراین $\Delta H = -36 \text{ kJ}$ است.

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow +36 = 76 - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 76 - 36 = 40 \text{ kJ}$$

۶۴ (B)

$$\Delta H = -33/5 \text{ kJ} \Rightarrow \begin{cases} E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = -33/5 \\ E_a(\text{رفت}) + E_a(\text{برگشت}) = 59 \end{cases} \Rightarrow 2E_a(\text{رفت}) = 25/5 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = 12/5 \text{ kJ}$$

$$E_a(\text{برگشت}) = 59 - E_a(\text{رفت}) = 59 - 12/5 = 46/5 \text{ kJ}$$

۶۵ (B) چون واکنش گرماده است پس $\Delta H < 0$ است. همچنین در واکنش داده شده ۲ مول $HI(g)$ تولید شده است پس باید $2 \times 14/5 \text{ kJ}$ یعنی ۲۹ کیلوژول گرما در اثر انجام این واکنش آزاد شود و $\Delta H = -29 \text{ kJ}$ است.

$$\Delta H = -29 \text{ kJ} \Rightarrow E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = -29 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) - 46 = -29 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = -29 + 46 = 17 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{برگشت}} = -\Delta H_{\text{رفت}} = -(-29) = 29 \text{ kJ}$$

۶۶ (A) از معادله واکنش داده شده نتیجه می گیریم که واکنش رفت $(\Delta H = -392 \text{ kJ})$ گرماده است. تفاوت سطح قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) با سطح انرژی واکنش دهنده ها برابر انرژی فعال سازی واکنش رفت E_a و برابر ۱۸ کیلوژول است. واکنش داده شده واکنش برگشت است و چون آنتالپی واکنش رفت برابر -392 kJ است پس ΔH واکنش برگشت $+392 \text{ kJ}$ می باشد.

۶۷ (C) با توجه به اینکه آنتالپی هر واکنش را می توان از تفاضل انرژی فعال سازی رفت و برگشت محاسبه کرد، ابتدا انرژی فعال سازی در جهت رفت هر واکنش را محاسبه می کنیم: (انرژی فعال سازی برگشت هر دو واکنش را A فرض می کنیم).

$$(I) \Delta H_1 = E_a(\text{رفت})_1 - E_a(\text{برگشت})_1 \Rightarrow E_a(\text{رفت})_1 = (+30) + (A) \text{ kJ}$$

$$(II) \Delta H_2 = E_a(\text{رفت})_2 - E_a(\text{برگشت})_2 \Rightarrow E_a(\text{رفت})_2 = (-30) + (A) \text{ kJ}$$

از آن جا که A یک عدد ثابت و مثبت است، انرژی فعال سازی رفت واکنش (I) می بایست بیشتر از انرژی فعال سازی رفت واکنش (II) باشد. با توجه به روابط بالا می توان نوشت:

$$E_a(\text{رفت})_1 - E_a(\text{رفت})_2 = ((+30) + (A)) - ((-30) + (A)) = 30 + 30 = 60$$

پس انرژی فعال سازی رفت واکنش (I) به اندازه ۶۰ کیلوژول بیشتر از انرژی فعال سازی رفت واکنش (II) است؛ بنابراین عبارت های (الف) و (ت) درست هستند.

بررسی عبارت (ب): در واکنش های گرماگیر، مجموع آنتالپی های پیوند واکنش دهنده ها بیشتر از فراورده ها می باشد.

۶۸ (A) مقایسه سرعت انجام واکنش رفت چند واکنش مختلف تنها با دانستن انرژی فعال سازی رفت (E_a) هر واکنش امکان پذیر است. در جدول داده شده E_a واکنش ها مشخص نشده است، بنابراین نمی توانیم سرعت واکنش رفت آن ها را با هم مقایسه کنیم.

۶۹ (C) فقط عبارت (ت) درست است. **بررسی عبارت ها:**

عبارت (الف): انرژی فعال سازی رفت از آنتالپی پیوند مواد واکنش دهنده در حالت گازی کمتر است. در نتیجه مقدار انرژی پیوند $(A-B)$ بیشتر از 80 kJ است.

عبارت (ب): مطابق نمودار انرژی فعال سازی این واکنش برابر 80 kJ است.

$$\Delta H = E_a(\text{واکنش رفت}) - E_a(\text{واکنش برگشت}) = 100 - 80 = +20 \text{ kJ}$$

عبارت (پ): ΔH واکنش $AC + B \rightarrow$ از رابطه روبه رو محاسبه می شود:

عبارت (ت): ابتدا باید ΔH واکنش $AB(g) + C(g) \rightarrow AC(g) + B(g)$ را با توجه به اطلاعات نمودار محاسبه کنیم:

$$\Delta H = E_a(\text{واکنش رفت}) - E_a(\text{واکنش برگشت}) = 80 - 100 = -20 \text{ kJ}$$

$$? \text{ kJ} = \frac{\Delta H}{\text{mol AB}} \times \frac{-20 \text{ kJ}}{1 \text{ mol AB}} = -10 \text{ kJ}$$

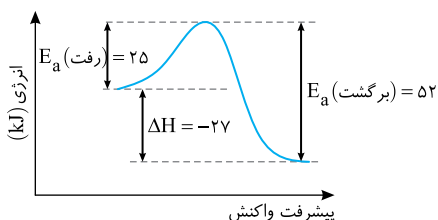
۷۰ ابتدا فرض می‌کنیم انرژی فعال‌سازی واکنش رفت برابر a کیلوژول باشد. با توجه به داده‌های مسئله می‌توان نوشت:

$$\frac{E_a(\text{برگشت})}{E_a(\text{رفت})} = \frac{5}{3} \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = \frac{5}{3} E_a(\text{رفت}) = \frac{5}{3} a \quad (1)$$

همچنین با توجه به معادله واکنش، از آن‌جا که در این فرایند 84 کیلوژول انرژی آزاد شده، پس آنتالپی واکنش نیز برابر -84 kJ می‌باشد.

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \xrightarrow{(1)} -84 = a - \frac{5}{3} a \Rightarrow a = 126 \text{ kJ}$$

$$E_a(\text{رفت}) = 126 \text{ kJ} \text{ و } E_a(\text{برگشت}) = 210 \text{ kJ} \Rightarrow E_a(\text{رفت}) + E_a(\text{برگشت}) = 336 \text{ kJ}$$



۷۱ (برگشت) E_a ، (رفت) E_a و ΔH در نمودار روبه‌رو نشان داده شده‌اند:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = \Delta H + E_a(\text{برگشت}) = -27 + 52 = 25 \text{ kJ}$$

ΔH واکنش برگشت قرینه واکنش رفت است.

$$\Delta H_{\text{برگشت}} = -\Delta H_{\text{رفت}} = -(-27) = 27 \text{ kJ}$$

۷۲ در نمودار داده شده سطح انرژی فراورده‌ها بالاتر از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها است بنابراین واکنش گرماگیر بوده و ΔH آن مثبت است.

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 79 - 38 = +41 \text{ kJ}$$

۷۳ انرژی فعال‌سازی واکنش رفت $(E_a(\text{رفت}) = 14 \text{ kJ})$ از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت $(E_a(\text{برگشت}) = 29 \text{ kJ})$ کمتر است، بنابراین در

واکنش رفت سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر و در نتیجه واکنش رفت گرماگیر است. ΔH واکنش برگشت قرینه ΔH رفت است پس واکنش برگشت گرماگیر بوده و در اثر انجام آن گرما از محیط گرفته می‌شود.

$$\Delta H_{\text{رفت}} = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 14 - 29 = -15 \text{ kJ} \Rightarrow \Delta H_{\text{برگشت}} = -\Delta H_{\text{رفت}} = -(-15) = +15 \text{ kJ}$$

۷۴

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 7/5 - 18 = -10/5 \text{ kJ}$$

در واکنش $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ ، دو مول $C(g)$ تولید شده است. بنابراین گرمای آزاد شده در اثر تولید یک مول $C(g)$ برابر $5/2 = 2.5 \text{ kJ}$ است.

۷۵

جمع‌بندی روش‌های به‌دست آوردن ΔH

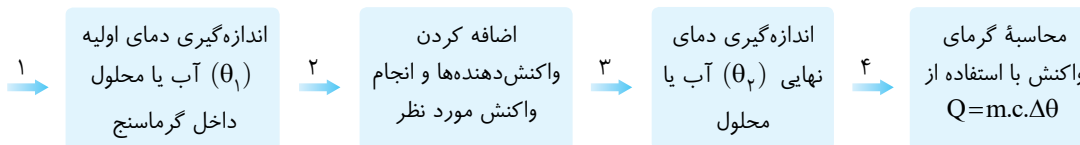
کلاس درس

۱۴

در شیمی یازدهم با برخی از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تعیین گرمای واکنش آشنا شدیم که در زیر به‌صورت کوتاه این روش‌ها را یادآوری می‌کنیم:

۱. روش مستقیم اندازه‌گیری گرما یا همان روش گرماسنجی

در روش گرماسنجی با استفاده از گرماسنج لیوانی گرمای واکنش را در فشار ثابت یعنی همان آنتالپی واکنش (ΔH) اندازه‌گیری می‌کنند. محاسبه گرما در گرماسنج لیوانی شامل مراحل زیر است:



۲. روش غیر مستقیم محاسبه ΔH واکنش

در این روش بدون انجام کار عملی و آزمایشگاهی فقط از طریق محاسبه و به‌صورت تئوری ΔH واکنش را محاسبه می‌نماییم. روش‌های غیر مستقیم محاسبه ΔH واکنش عبارتند از:

۱- روش آنتالپی پیوند: در این روش از رابطه زیر برای محاسبه گرمای واکنش‌هایی که تمام مواد آن گازی شکل هستند، استفاده می‌کنیم:

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = [\text{مجموع آنتالپی پیوندها در مواد فراورده}] - [\text{مجموع آنتالپی پیوندها در مواد واکنش‌دهنده}]$$

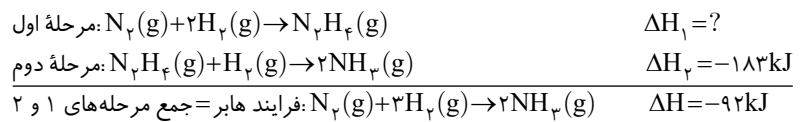
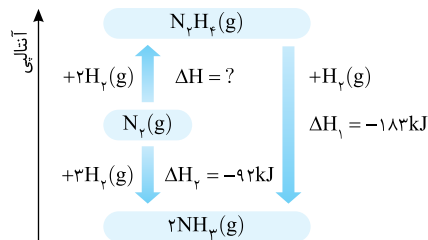
توجه: در مسائل این قسمت باید ساختار لوویس مولکول‌ها را رسم کنید تا نوع و تعداد پیوندها را تشخیص دهید:



۲- روش قانون هس: آنتالپی بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که خود مرحله‌ای از یک واکنش پیچیده هستند و یا به آسانی انجام نمی‌شوند را نمی‌توان با روش گرماسنجی اندازه‌گیری کرد. بیان علمی قانون هس به صورت زیر است:

اگر معادله واکنشی را بتوان از جمع معادله دو یا چند واکنش دیگر به‌دست آورد، ΔH آن نیز از جمع جبری ΔH همان واکنش‌ها به‌دست می‌آید. در زیر نمونه‌ای از کاربرد قانون هس را در محاسبه ΔH واکنش مشاهده می‌کنید:

شواهد تجربی نشان می‌دهد که تهیه آمونیاک به روش هابر از گازهای N_2 و H_2 مطابق نمودار زیر، یک واکنش دو مرحله‌ای است:



ΔH مرحله اول را نمی‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد.

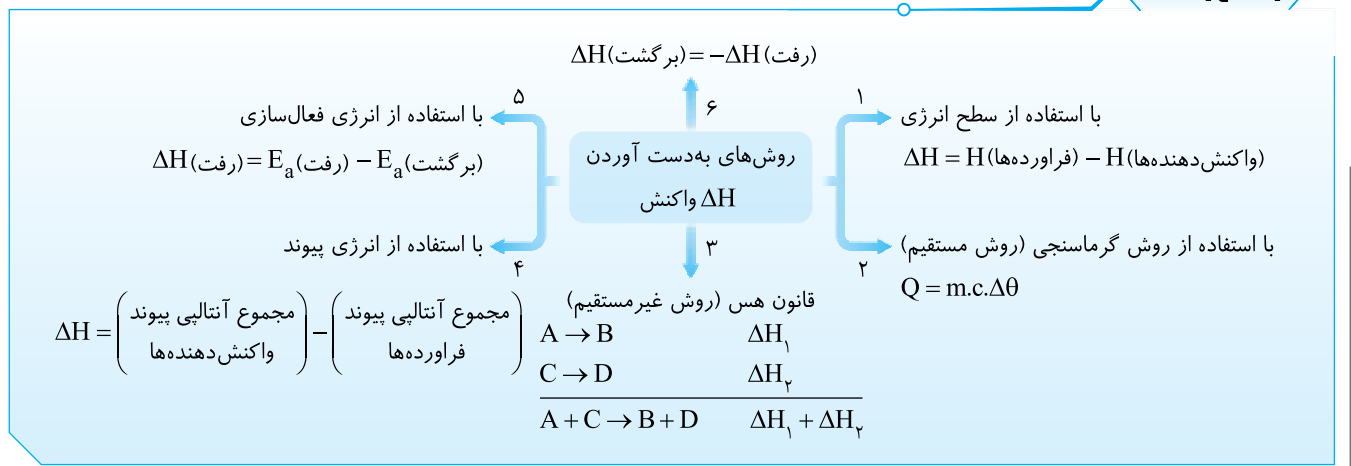
$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 \Rightarrow -92 kJ = \Delta H_1 + (-183 kJ) \Rightarrow \Delta H_1 = (-92 + 183) kJ = +91 kJ$$

۳- استفاده از انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و واکنش برگشت: برای به‌دست آوردن ΔH واکنش می‌توان انرژی فعال‌سازی برگشت را از انرژی فعال‌سازی رفت کم کرد.

$$\Delta H(\text{واکنش رفت}) = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$$

کلاس درس ۱۴

جمع‌بندی



عبارت‌های (الف) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): با توجه به این که $E_a(\text{برگشت}) = 66 kJ$ و $\Delta H = -22 kJ$ است پس $E_a(\text{رفت}) = 44 kJ$ ، در نتیجه اندازه آنتالپی واکنش، نصف انرژی فعال‌سازی واکنش رفت است.

عبارت (ب): واکنش (۲) گرماگیر است و طبق رابطه محاسبه آنتالپی واکنش با استفاده از آنتالپی‌های پیوند، داریم:

$$\Delta H = > 0 \text{ (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) - (مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها) = واکنش}$$

$$\text{(مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها)} > \text{(مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها)}$$

عبارت (پ): واکنش (۳) در جهت رفت گرماده و در جهت برگشت گرماگیر است اما تعداد مول گازی طرفین یکسان است.

عبارت (ت): سرعت واکنش رفت (تجزیه یک مول NOCl) از سرعت واکنش برگشت (تولید یک مول NOCl) کمتر است.

واکنش (I) گرماگیر و واکنش (II) گرماده است پس $\Delta H_1 > 0$ و $\Delta H_2 < 0$ است. **۷۶ B**

$$\Delta H_1 = +43 kJ, \Delta H_2 = E_a(\text{رفت})_{II} - E_a(\text{برگشت})_{II} = 26 - 41 = -15 kJ \Rightarrow \Delta H_1 - \Delta H_2 = 43 - (-15) = 58 kJ$$

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): در این واکنش سطح انرژی فراورده‌ها به اندازه ۴۳ کیلوژول از سطح انرژی واکنش دهنده‌ها بالاتر بوده پس ناپایدارتر هستند.

گزینه (۲): در واکنش (II) انرژی فعال‌سازی واکنش رفت برابر ۲۶ کیلوژول است یعنی قله نمودار انرژی به اندازه ۲۶ کیلوژول از سطح انرژی واکنش دهنده‌ها بالاتر است.

$$\Delta H_1 = E_a(\text{رفت})_I - E_a(\text{برگشت})_I \Rightarrow 43 = 99 - E_a(\text{برگشت})_I \Rightarrow E_a(\text{برگشت})_I = 56 kJ \cdot mol^{-1}, E_a(\text{برگشت})_{II} = 41 kJ$$

$$E_a(\text{برگشت})_I - E_a(\text{برگشت})_{II} = 56 - 41 = 15 kJ$$

بین سه واکنش داده شده، واکنش (آ) گرماگیر و واکنش‌های (ب) و (پ) گرماده هستند. سرعت واکنش‌ها با انرژی فعال‌سازی آنها رابطه وارونه دارد، واکنشی که انرژی فعال‌سازی کمتری داشته باشد در شرایط یکسان سرعت بیشتری دارد. انرژی فعال‌سازی واکنش (پ) از انرژی فعال‌سازی واکنش‌های دیگر کمتر است. پس واکنش (پ) با سرعت بیشتری انجام می‌شود. **۷۷ A**

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 32 - 376 = -344 \text{ kJ}$$

۷۸ ۳ ΔH واکنش را در هر دو جهت رفت و برگشت محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 376 - 32 = +344 \text{ kJ}$$

بنابراین واکنش در جهت رفت گرماده و در جهت برگشت گرماگیر است. با توجه به این که انرژی فعال‌سازی در جهت رفت مقدار کمتری نسبت به جهت برگشت دارد، واکنش در جهت رفت سرعت بیشتری نسبت به جهت برگشت دارد.

۷۹ ۳ واکنش (۱) گرماده و واکنش (۲) گرماگیر است. از گرماده بودن واکنش (۱) نمی‌توانیم این نتیجه را بگیریم که فراورده‌های این واکنش از فراورده‌های واکنش (۲) پایدارتر هستند بلکه فقط می‌توانیم بگوییم فراورده‌های واکنش (۱) به اندازه ۲۵ کیلوژول از واکنش‌دهنده‌های واکنش (۱) پایدارترند.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): تفاوت سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) با فراورده‌ها، همان انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت است که با توجه به صورت پرسش برای هر دو یکسان است.

گزینه (۲): به محاسبه‌های زیر توجه کنید:

$$\Delta H_1 = E_a(\text{رفت})_1 - E_a(\text{برگشت})_1 \Rightarrow E_a(\text{رفت})_1 = \Delta H_1 + E_a(\text{برگشت})_1 = -25 + 36 = 11 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_2 = E_a(\text{رفت})_2 - E_a(\text{برگشت})_2 \Rightarrow E_a(\text{رفت})_2 = \Delta H_2 + E_a(\text{برگشت})_2 = 53 + 36 = 89 \text{ kJ}$$

$$E_a(\text{رفت})_2 - E_a(\text{رفت})_1 = 89 - 11 = 78 \text{ kJ} \Rightarrow E_a(\text{رفت})_2 = E_a(\text{رفت})_1 + 78 \text{ kJ}$$

گزینه (۴): انرژی فعال‌سازی رفت در واکنش (۱) از انرژی فعال‌سازی رفت در واکنش (۲) کمتر است پس در شرایط یکسان سرعت واکنش (۱) از سرعت واکنش (۲) بیشتر می‌باشد.

۸۰ ۲ با توجه به نمودارهای (انرژی - پیشرفت واکنش) داده شده به محاسبه آنتالپی آن‌ها می‌پردازیم:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 45 - 27 = +18 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 13 - 34 = -21 \text{ kJ}$$

انرژی فعال‌سازی رفت در واکنش‌های (۱) و (۲) به ترتیب ۴۵ و ۱۳ کیلوژول می‌باشد و این مقدار ارتباطی با آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها ندارد. مقدار آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها از انرژی فعال‌سازی رفت بیشتر است. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): با توجه به این که سطح انرژی (آنتالپی) فراورده‌های واکنش (۲) پایین‌تر از فراورده‌های واکنش (۱) است، به همین دلیل فراورده‌های واکنش (۲) پایدارتر از فراورده‌های واکنش (۱) می‌باشند و همچنین اندازه آنتالپی واکنش (۲) بیشتر از اندازه آنتالپی واکنش (۱) است.

گزینه (۳): از آن‌جا که انرژی فعال‌سازی رفت یا همان تفاوت قله نمودار انرژی با واکنش‌دهنده‌ها در واکنش (۲) کمتر از واکنش (۱) است، پس در شرایط یکسان سرعت واکنش (۲) نیز می‌بایست بیشتر از واکنش (۱) باشد.

گزینه (۴): اختلاف مجموع آنتالپی‌های پیوند فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها برابر آنتالپی واکنش است. با توجه به آنتالپی واکنش (۱) که برابر ۱۸ + کیلوژول است می‌توان نتیجه گرفت که مجموع آنتالپی‌های پیوند واکنش‌دهنده‌ها به اندازه ۱۸ کیلوژول بیشتر از مجموع آنتالپی‌های پیوند فراورده‌ها می‌باشد.

۸۱ ۳ ابتدا با استفاده از داده‌های سؤال، آنتالپی و انرژی فعال‌سازی برگشت واکنش را محاسبه می‌کنیم. از شیمی یازدهم به یاد داریم که آنتالپی یک واکنش گازی برابر تفاوت مجموع آنتالپی پیوند مواد واکنش‌دهنده و مواد فراورده می‌باشد، پس می‌توان نوشت:

$$\Delta H = +70 \text{ kJ} = (\text{مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها}) - (\text{مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها}) = \text{آنتالپی واکنش}$$

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow +70 = 110 - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = +40 \text{ kJ}$$

با توجه به آنتالپی به دست آمده می‌توان نوشت:

حال با توجه به اطلاعات به دست آمده به بررسی گزینه‌ها می‌پردازیم:

گزینه (۱): اختلاف سطح قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) برای یک واکنش، همان انرژی فعال‌سازی برگشت واکنش می‌باشد که با توجه به رابطه بالا این مقدار برابر ۴۰ + kJ می‌باشد.

گزینه (۲): از آن‌جا که انرژی فعال‌سازی رفت (۱۱۰ + kJ) از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت (۴۰ + kJ) بیشتر است، پس سرعت واکنش رفت می‌بایست کمتر از سرعت واکنش برگشت باشد.

گزینه (۳): با افزایش دما سرعت واکنش افزایش می‌یابد، زیرا انرژی لازم برای انجام واکنش برای تعداد بیشتری از مولکول‌ها در واحد زمان تأمین می‌شود اما دما تأثیری بر مقدار انرژی فعال‌سازی رفت یا برگشت ندارد و اختلاف سطح قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) و واکنش‌دهنده‌ها که بیانگر انرژی فعال‌سازی رفت می‌باشد، ثابت می‌ماند.

گزینه (۴): از آن‌جا که مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها بیشتر از مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها می‌باشد، پس پیوند میان اتم‌ها در فراورده‌ها ساده‌تر از واکنش‌دهنده‌ها شکسته شده و به اتم‌های سازنده خود تبدیل می‌شوند.

۸۲ ۳ با توجه به این که آنتالپی یک واکنش برابر اختلاف انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت می‌باشد، می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = \Delta H \\ -3E_a(\text{رفت}) + 5E_a(\text{برگشت}) = 2\Delta H \end{cases} \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = \frac{5}{2}\Delta H \text{ و } E_a(\text{رفت}) = \frac{7}{2}\Delta H \Rightarrow \frac{E_a(\text{برگشت})}{E_a(\text{رفت})} = \frac{\frac{5}{2}\Delta H}{\frac{7}{2}\Delta H} = \frac{5}{7}$$

با توجه به عبارت‌های به دست آمده برای هر یک از کمیت‌های انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت می‌توان گفت آنتالپی واکنش می‌بایست مقداری مثبت داشته باشد، زیرا کمیت‌های انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت باید دارای مقداری مثبت باشند و علامت آنتالپی با علامت انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت یکسان باشد. از آن‌جا که آنتالپی واکنش برابر تفاضل مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها از مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها است و مقدار آن عددی بزرگ‌تر از صفر است، پس مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها کمتر از مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد.

۸۳ با توجه به رابطه داده شده می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = \Delta H \\ E_a(\text{رفت}) - 2E_a(\text{برگشت}) = 3\Delta H \end{cases} \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = -2\Delta H, E_a(\text{رفت}) = -\Delta H$$

می‌دانیم انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت اعدادی مثبت هستند، پس برای آن که مقدار عبارت‌های انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت عددی مثبت شود، باید آنتالپی واکنش، مقداری منفی داشته باشد و کوچک‌تر از صفر باشد.

از آن‌جا که اندازه انرژی فعال‌سازی رفت کمتر از انرژی فعال‌سازی برگشت است، پس سرعت واکنش رفت بیشتر از سرعت واکنش برگشت است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۲): آنتالپی واکنش برابر اختلاف مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها از مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد. از آن‌جا که آنتالپی واکنش مقداری منفی است، پس مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها می‌بایست بیشتر از مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها باشد.

گزینه (۳): تفاوت سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) با واکنش‌دهنده‌ها معادل انرژی فعال‌سازی رفت و با فراورده‌ها معادل انرژی فعال‌سازی برگشت است. انرژی فعال‌سازی رفت در این واکنش فرضی کمتر از انرژی فعال‌سازی برگشت است، پس تفاوت سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) نیز با واکنش‌دهنده‌ها کمتر از فراورده‌ها باشد.

گزینه (۴): با افزایش دما سرعت واکنش‌ها افزایش می‌یابد.

۸۴ همه عبارت‌های بیان شده درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): سرعت واکنش رفت بیشتر از سرعت واکنش برگشت است، زیرا انرژی فعال‌سازی رفت کمتر از انرژی فعال‌سازی برگشت است و به همین دلیل واکنش‌دهنده‌ها باید از سد انرژی کوچک‌تری نسبت به فراورده‌ها برای انجام واکنش عبور کنند.

عبارت (ب): انرژی هر گونه با پایداری آن رابطه عکس دارد. در این واکنش فراورده‌ها دارای سطح انرژی پایین‌تری نسبت به واکنش‌دهنده‌ها هستند، پس پایداری آن‌ها بیشتر از واکنش‌دهنده‌ها محسوب می‌شوند.

عبارت (پ): با توجه به نمودار داده شده، سطح انرژی واکنش‌دهنده به اندازه ۷۰ کیلوژول بیشتر از فراورده‌ها می‌باشد، پس آنتالپی واکنش برگشت برابر $+70 \text{ kJ}$ است.

عبارت (ت): مقدار X نشان‌دهنده انرژی فعال‌سازی رفت واکنش می‌باشد. در اغلب واکنش‌های شیمیایی، مقدار مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها بیشتر از انرژی فعال‌سازی رفت واکنش می‌باشد.

۸۵ برای این که پرسش را حل کنیم می‌توانیم از روش دو معادله - دو مجهول استفاده کنیم. معادله اول در صورت پرسش داده شده و معادله دوم هم $\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$ است.

$$\begin{cases} E_a(\text{رفت}) + 2E_a(\text{برگشت}) = 3\Delta H & \text{معادله (۱)} \\ E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = \Delta H & \text{معادله (۲)} \end{cases} \xrightarrow{\text{معادله (۲) را ۲ بار می‌کنیم}} \begin{cases} E_a(\text{رفت}) + 2E_a(\text{برگشت}) = 3\Delta H \\ -E_a(\text{رفت}) + E_a(\text{برگشت}) = -\Delta H \end{cases}$$

$$\xrightarrow{\text{دو معادله را جمع می‌کنیم}} 3E_a(\text{برگشت}) = 2\Delta H \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = \frac{2}{3}\Delta H$$

$$E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = \Delta H \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = E_a(\text{برگشت}) + \Delta H = \frac{2}{3}\Delta H + \Delta H = \frac{5}{3}\Delta H$$

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): با توجه به رابطه $E_a(\text{رفت}) = \frac{5}{3}\Delta H$ و دانستن این نکته که $E_a(\text{رفت})$ همواره یک عدد مثبت است، می‌توانیم نتیجه بگیریم که در این واکنش $\Delta H > 0$ است، یعنی واکنش گرماگیر بوده و در نتیجه واکنش‌دهنده‌ها از فراورده‌ها پایداری دارند.

گزینه‌های (۳) و (۴): از این که در این واکنش انرژی فعال‌سازی واکنش رفت $\frac{2}{5}$ برابر انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت است، نمی‌توانیم نتیجه بگیریم که سرعت واکنش رفت $\frac{2}{5}$ برابر سرعت واکنش برگشت است یا برعکس بلکه فقط می‌توانیم بیان کنیم که سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت کمتر می‌باشد.

۸۶ عبارت‌های (ب) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): اگر ΔH واکنش برابر -35 kJ باشد، انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت باید از 35 kJ بیشتر باشد و نمی‌تواند 30 kJ باشد.

عبارت (ب): اگر ΔH واکنش برابر $17/5 \text{ kJ}$ باشد، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت باید بیشتر از $17/5 \text{ kJ}$ باشد و می‌تواند 30 kJ باشد.

عبارت (پ): در آنتالپی پیوند، اتم‌های گازی تولید می‌شود اما در واکنش برگشت داده شده، مولکول‌های هیدروژن و کلر تولید شده‌اند.

عبارت (ت): سرعت واکنش رفت در واکنش‌های گرماده بیشتر از سرعت واکنش برگشت است.

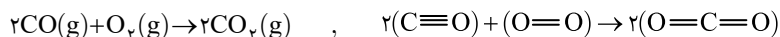
۸۷ ابتدا با توجه به میزان انرژی آزاد شده آنتالپی واکنش را محاسبه می‌نماییم. با توجه به معادله موازنه شده واکنش سوختن اتان می‌توان نوشت:

$$2 \text{ mol اتان} \times \frac{30 \text{ g اتان}}{1 \text{ mol اتان}} \times \frac{-320 \text{ kJ}}{2 \text{ mol اتان}} = -3200 \text{ kJ}$$

از طرفی می‌دانیم آنتالپی هر واکنش برابر اختلاف انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت واکنش می‌باشند. با توجه به رابطه داده شده برای انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت، داریم:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow -3200 = \frac{1}{5}E_a(\text{برگشت}) - E_a(\text{رفت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 4000 \text{ kJ}, E_a(\text{رفت}) = 800 \text{ kJ}$$

با استفاده از آنتالپی پیوندهای داده شده می‌توان ΔH واکنش را به دست آورد.



$\Delta H_{\text{واکنش}} = (\text{مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها}) - (\text{مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها})$

$$= [2\Delta H(\text{C}\equiv\text{O}) + \Delta H(\text{O}=\text{O})] - [4\Delta H(\text{C}=\text{O})] = [2(1067/5) + (495)] - [4(799)] = -566 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = \Delta H + E_a(\text{برگشت}) = -556 + 600 = 34 \text{ kJ}$$

با توجه به این ΔH ، داریم:

۸۹ **۱** **ا** قله نمودار در واکنش (I) سطح انرژی بیشتری دارد؛ در نتیجه ناپایدارتر است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۲): واکنش (II) گرماده و واکنش (I) گرماگیر است. بنابراین ΔH واکنش (II) کوچک‌تر از واکنش (I) است.

گزینه (۳): مقدار انرژی فعال‌سازی واکنش رفت بیشتر از واکنش برگشت است. با توجه به این که میان انرژی فعال‌سازی و سرعت واکنش رابطه عکس وجود دارد، واکنش (۲) در جهت رفت سرعت کمتری دارد.

گزینه (۴): $\Delta H = (\text{مجموع آنتالپی‌های استاندارد تشکیل واکنش دهنده‌ها}) - (\text{مجموع آنتالپی‌های استاندارد تشکیل فراورده‌ها})$

$\Delta H = (\text{مجموع آنتالپی‌های استاندارد تشکیل واکنش دهنده‌ها}) - (\text{مجموع آنتالپی‌های استاندارد تشکیل فراورده‌ها})$

۹۰ **۴** **ب** با توجه به نمودار (آ) واکنش $2\text{NO(g)} + \text{Cl}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{NOCl(g)}$ در صورت انجام گرماده است؛ زیرا انرژی فعال‌سازی واکنش رفت در آن

کمتر از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): واکنش (آ)، گرماگیر و واکنش‌های (ب) و (پ) گرماده هستند؛ در نتیجه ΔH واکنش (آ) که مقداری مثبت دارد، بیشتر از ΔH واکنش‌های (ب) و (پ) که مقداری منفی دارند، می‌باشد. در ضمن با توجه به نمودارهای نشان داده شده ΔH واکنش‌های (ب) و (پ) برابر نیستند.

گزینه (۲): واکنش تولید اوزون تروپوسفری به صورت $\text{NO}_2\text{(g)} + \text{O}_3\text{(g)} \rightarrow \text{NO(g)} + \text{O}_2\text{(g)}$ است. واکنش (پ) گرماده‌ترین واکنش است و کوچک‌ترین ΔH را دارد.

گزینه (۳): افزایش دما بر روی سرعت واکنشی اثر بیشتری دارد که E_a بزرگ‌تری داشته باشد. با توجه به نمودارها واکنش (آ) E_a بزرگ‌تری دارد و تأثیر افزایش دما بر افزایش سرعت آن از دو واکنش دیگر بیشتر است.

۹۱ **۱** **ب** ساختار ترکیب‌های شرکت‌کننده در این واکنش به صورت زیر است:



$$\Delta H = [\text{مجموع انرژی پیوندهای مواد فراورده}] - [\text{مجموع انرژی پیوندهای مواد واکنش دهنده}]$$

$$\Delta H = [2\Delta H(\text{N}=\text{O})] - [\Delta H(\text{N}\equiv\text{N}) + \Delta H(\text{O}=\text{O})] = [2(607)] - [944 + 496] = -226 \text{ kJ} \Rightarrow \Delta H + E_a(\text{رفت}) = -226 + 381 = 155 \text{ kJ}$$

کاتالیزورها و کاهش E_a و افزایش سرعت

کلاس درس

در شیمی یازدهم آموختیم که کاتالیزورها یکی از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش هستند. در این کلاس درس، ضمن معرفی دقیق کاتالیزورها، نکات مربوط به آن‌ها را نیز بررسی می‌کنیم.

کاتالیزورها و افزایش سرعت واکنش

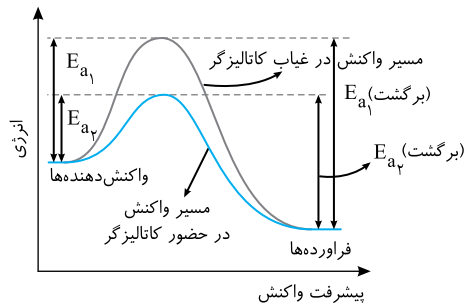
۱- کاتالیزگر ماده‌ای است که سرعت واکنش شیمیایی را افزایش می‌دهد، در حالی که خودش در پایان واکنش باقی می‌ماند. در واقع کاتالیزورها در واکنش شرکت می‌کنند، اما در پایان واکنش باقی می‌مانند، به همین دلیل می‌توان از آن‌ها بارها و بارها استفاده کرد.

۲- اهمیت استفاده از کاتالیزورها زمانی مشخص می‌شود که بدانیم برخی از واکنش‌ها در صنعت فقط در دما و فشار بالا انجام می‌شوند که افزایش دما با افزایش مصرف انرژی همراه است و در نتیجه تولید فراورده‌ها در آن‌ها صرفه اقتصادی ندارد. در ضمن بسیاری از مواد، نسبت به گرما حساس هستند و به سادگی در اثر گرما تجزیه می‌شوند. این موضوعات سبب شد که شیمی‌دان‌ها در پی یافتن شرایط بهینه (دما و فشار پایین‌تر) برای انجام چنین واکنش‌هایی باشند.

نکته

واکنش‌هایی که انرژی فعال‌سازی زیادی دارند، سرعت بسیار کمی دارند، برای این که این واکنش‌ها در دما و فشار پایین و با سرعت مناسب انجام شوند، می‌توان از کاتالیزگرهای مناسب استفاده کرد. بدین ترتیب می‌توان این واکنش‌ها را با هزینه‌های بسیار کمتر انجام داد.

۳- دلیل افزایش سرعت واکنش در هنگام استفاده از کاتالیزگر این است که در حضور کاتالیزگر، مسیر انجام واکنش تغییر کرده و واکنش در مسیری پیشرفت می‌کند که انرژی فعال‌سازی کمتری نیاز دارد. کاهش انرژی فعال‌سازی سبب می‌شود واکنش دهنده‌ها سریع‌تر به فراورده‌ها تبدیل شوند.

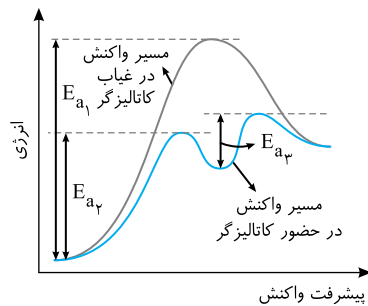


۴- شکل روبه‌رو، نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) را در دو حالت مختلف، یعنی در حضور کاتالیزگر و در غیاب کاتالیزگر نمایش می‌دهد، با توجه به این نمودار، به دو مقایسه مهم زیر می‌رسیم:

(در حضور کاتالیزگر) $E_{a_2} < E_{a_1}$ (در غیاب کاتالیزگر): مقایسه انرژی فعال‌سازی

(در حضور کاتالیزگر) $R_2 > R_1$ (در غیاب کاتالیزگر): مقایسه سرعت واکنش

توجه: از بین عوامل مؤثر بر سرعت واکنش (میزان واکنش‌پذیری واکنش‌دهنده‌ها، غلظت واکنش‌دهنده‌ها، دما، سطح تماس و کاتالیزگر) فقط کاتالیزگر می‌تواند شکل نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) را تغییر دهد.

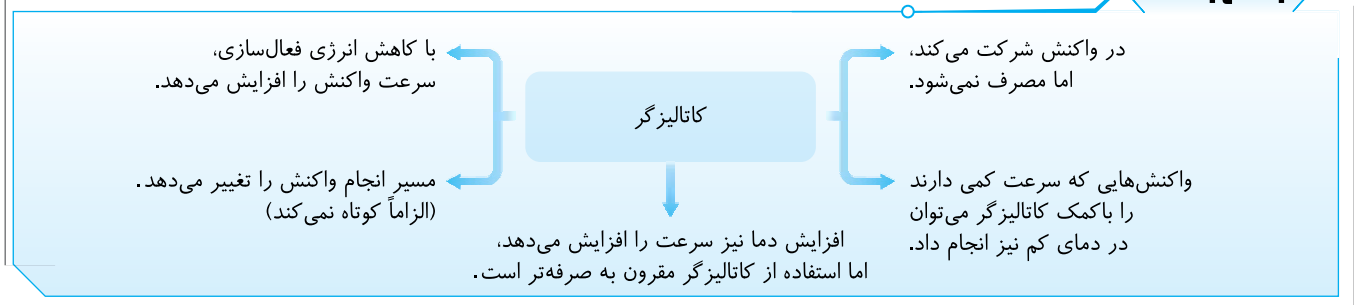


استنباط نکیدی: استفاده از کاتالیزگر مسیر انجام واکنش را الزاماً کوتاه نمی‌کند، در واقع می‌توان گفت کاتالیزگر ممکن است مسیر انجام واکنش را کوتاه یا بلند کند، ولی همواره واکنش در حضور کاتالیزگر از مسیری پیشرفت می‌کند که نیاز به انرژی فعال‌سازی کمتری داشته باشد تا با سرعت بیشتری انجام شود. به‌عنوان مثال، در شکل روبه‌رو کاتالیزگر مسیر انجام واکنش را طولانی‌تر کرده، ولی این تغییر مسیر موجب شده است که واکنش با سرعت بیشتری انجام شود، زیرا در مجموع انرژی فعال‌سازی واکنش کاهش یافته است:

$$E_{a_2} + E_{a_3} < E_{a_1}$$

در غیاب کاتالیزگر در حضور کاتالیزگر

جمع‌بندی کلاس درس ۱۷



می‌توان از کاتالیزگرها بارها و بارها استفاده کرد و همچنین استفاده از آن‌ها در صنایع گوناگون، سبب کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود.

بررسی سایر گزینه‌ها:

برخی واکنش‌ها در صنعت فقط در دما و فشار بالا انجام می‌شوند و تولید فراورده در آن‌ها صرفه اقتصادی ندارد. با استفاده از کاتالیزگر، انرژی فعال‌سازی واکنش کاهش یافته و سرعت انجام آن افزایش می‌یابد. کاتالیزگرها در واکنش شرکت می‌کنند، اما در پایان واکنش باقی می‌مانند.

تأثیر کاتالیزورها بر عوامل سینتیکی و ترمودینامیکی

کلاس درس

۱۸

آموختیم که کاتالیزگر با کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. در این کلاس درس می‌آموزیم که کاتالیزگر کدام موارد را کاهش و کدام موارد را افزایش می‌دهد و در ضمن بر چه مواردی بی‌تأثیر است.

مواردی که کاتالیزگر موجب افزایش یا کاهش آن می‌شود

کاتالیزگر یک عامل مؤثر بر سرعت واکنش است، بنابراین هر موردی که به سرعت واکنش مربوط باشد را می‌تواند تغییر دهد.

۱- کاتالیزگر موارد زیر را افزایش می‌دهد:

الف) سرعت واکنش رفت (ب) سرعت واکنش برگشت (پ) تعداد مراحل انجام واکنش (در اغلب واکنش‌ها)

توجه! می‌دانیم کاتالیزگرها در واکنش شرکت می‌کنند، ولی در انتهای واکنش باقی می‌مانند. این بیان یعنی این که کاتالیزگر در یک مرحله وارد واکنش شده و در مرحله‌ای دیگر خارج می‌شوند. در واقع می‌توان گفت که کاتالیزگرها اغلب تعداد مراحل انجام واکنش را افزایش می‌دهند:

(کند) محصول $A+B \rightarrow$: در غیاب کاتالیزگر

در حضور کاتالیزگر: $A+B \rightarrow C$ (سریع)
 $C+B \rightarrow$ (سریع) کاتالیزگر + محصول

۲- کاتالیزگر موارد زیر را کاهش می‌دهد:

الف) انرژی فعال‌سازی واکنش رفت (E_a) (برگشت) (E_a)

پ) سد انرژی روبه‌روی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها برای تبدیل شدن به یکدیگر

ث) آلودگی محیط‌زیست

نکته

استفاده از کاتالیزگرها در صنایع گوناگون، سبب کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود؛ زیرا در صورت استفاده از کاتالیزگر، اغلب به افزایش دما برای انجام شدن واکنش نیاز نداریم، در واقع در حضور کاتالیزگر می‌توان واکنش‌ها را در دمای پایین‌تری انجام داد و دیگر نیاز نیست که سوخت فسیلی بیشتری برای افزایش دما مصرف شود. این موضوع آلودگی ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد.

کاتالیزگر بر موارد زیر بی‌تأثیر است

۱- کاتالیزگر از طریق کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش را افزایش می‌دهد، در واقع کاتالیزگر یک عامل سینتیکی است و عوامل ترمودینامیکی واکنش مانند ΔH واکنش را تغییر نمی‌دهد.

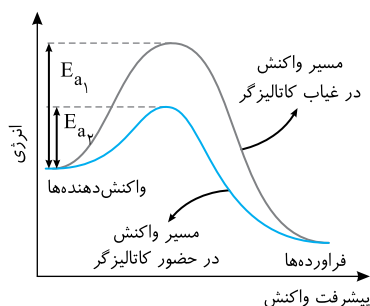
۲- کاتالیزگر موارد زیر را تغییر نمی‌دهد:

الف) سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها (H_1) و سطح انرژی فراورده‌ها (H_2) (ب) ΔH واکنش

پ) مقدار و نوع فراورده (ت) انجام‌پذیر بودن یا نبودن واکنش (از نظر ترمودینامیکی)

ث) معادله کلی انجام واکنش

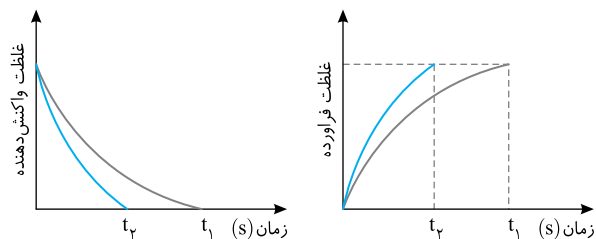
۳- شکل روبه‌رو، مربوط به نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) در غیاب کاتالیزگر و نیز در حضور کاتالیزگر است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، کاتالیزگر روی نقطه ابتدای واکنش، یعنی واکنش‌دهنده‌ها و نقطه انتهای واکنش، یعنی فراورده‌ها اثر ندارد. اثر کاتالیزگر این است که به واکنش‌دهنده‌ها کمک می‌کند تا راحت‌تر و سریع‌تر به فراورده‌ها تبدیل شوند. یعنی در حضور کاتالیزگر، معادله کلی واکنش تغییر نکرده و واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌های واکنش در غیاب و در حضور کاتالیزگر یکسان هستند.



نکته

کاتالیزگر نمی‌تواند واکنشی را که به دلایل ترمودینامیکی (دما، آنتالپی و ...) به‌صورت خودبه‌خودی (بدون نیاز به دریافت انرژی اضافی از محیط) انجام نمی‌شود را به یک واکنش خودبه‌خودی تبدیل کند. در واقع کاتالیزگر سرعت واکنش‌هایی که انجام‌پذیر و خودبه‌خودی هستند، را افزایش می‌دهد. زیرا خودبه‌خودی انجام شدن یا نشدن یک واکنش به عوامل ترمودینامیکی وابسته است که کاتالیزگر تأثیری بر این عوامل ندارد.

اثر کاتالیزگر روی نمودار (غلظت - زمان)



می‌دانیم شیب نمودار (غلظت - زمان) در هر لحظه برابر سرعت واکنش در آن لحظه است. از طرفی کاتالیزگر سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. در واقع کاتالیزگر شیب نمودار (غلظت - زمان) واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها را افزایش می‌دهد. با حضور کاتالیزگر زمان انجام واکنش در نمودار کاهش می‌یابد. (زمان انجام واکنش در حضور کاتالیزگر: t_p و زمان انجام واکنش در غیاب کاتالیزگر: t_1)

توجه: مقدار مصرفی واکنش‌دهنده‌ها و مقدار نهایی فراورده‌ها در حضور و در غیاب کاتالیزگر یکسان است. در واقع کاتالیزگر مقدار فراورده را افزایش نمی‌دهد. بلکه همان مقدار فراورده را در زمان کوتاه‌تر و سریع‌تر تولید می‌کند.

کاتالیزگر ← افزایش شیب نمودار (غلظت - زمان) واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها

جمع‌بندی کلاس درس ۱۸

مواردی که کاتالیزگر موجب تغییر آن‌ها می‌شود.	مواردی که کاتالیزگر بر روی آن‌ها بی‌اثر است.
۱- (رفت) E_a و (برگشت) E_a را به یک اندازه کاهش می‌دهد.	۱- سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها
۲- (رفت) $\bar{R}$ و (برگشت) $\bar{R}$ را افزایش می‌دهد.	۲- مقدار نهایی فراورده‌ها
۳- زمان انجام واکنش را کاهش می‌دهد.	۳- نوع فراورده‌ها
۴- آلودگی محیط‌زیست را کاهش می‌دهد.	۴- آنتالپی (ΔH) واکنش
۵- شیب نمودار (غلظت - زمان) را افزایش می‌دهد.	۵- انجام‌پذیر بودن یا نبودن واکنش
۶- مسیر انجام واکنش را تغییر می‌دهد.	۶- معادله کلی انجام واکنش
۷- نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) را تغییر می‌دهد.	

در حضور کاتالیزگر، مسیر انجام واکنش تغییر کرده و از مسیری انجام می‌شود که انرژی فعال‌سازی کمتری دارد. انرژی فعال‌سازی واکنش در مسیر (آ) از انرژی فعال‌سازی واکنش در مسیر (پ) کمتر است. پس مسیر (آ) می‌تواند مسیر مربوط به انجام واکنش در حضور یک کاتالیزگر مناسب باشد.

۹۴ (A) ۳: کاتالیزگر تنها روی کمیت‌های سینتیکی واکنش تأثیرگذار است و مقدار اولیه واکنش‌دهنده‌ها و نهایی فراورده‌ها به مقداری از مواد که برای انجام واکنش استفاده شده، بستگی دارد و کاتالیزگر روی آن بی‌اثر است. پس نمودارهای داده شده در گزینه‌های (۲) و (۴) نادرست هستند. چرا که غلظت اولیه محلول هیدروژن پراکسید در آن‌ها متفاوت است. همچنین از آن‌جا که کاتالیزگر موجب افزایش سرعت واکنش می‌شود، پس سرعت (شیب نمودار) واکنش در آزمایش (۱) که در غیاب کاتالیزگر صورت گرفته، باید کمتر از آزمایش (۲) باشد. پس نمودار گزینه (۳) به‌درستی تغییرات غلظت محلول هیدروژن پراکسید را در طی پیشرفت واکنش نمایش می‌دهد.

۹۵ (A) ۳: کاتالیزگر در هر واکنش شیمیایی با کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. ولی آنتالپی واکنش ثابت می‌ماند.

۹۶ (B) ۲: عبارتهای (الف) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): کاتالیزگر با کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش، سرعت آن را افزایش می‌دهد.

عبارت (ب): کاتالیزگر اغلب با تغییر مسیر انجام واکنش، باعث کاهش انرژی فعال‌سازی و افزایش سرعت می‌شود.

عبارت (پ): کاتالیزگرها در واکنش شرکت می‌کنند، اما در پایان واکنش باقی می‌مانند.

عبارت (ت): کاتالیزگرها تنها روی کمیت‌های سینتیکی واکنش مانند سرعت، انرژی فعال‌سازی و ... مؤثر هستند و روی سطح انرژی مواد یا میزان پیشرفت واکنش تأثیری ندارند.

۹۷ (A) ۳:

کاتالیزگر و کاهش (رفت) E_a و (برگشت) E_a به یک اندازه یا به یک نسبت؟

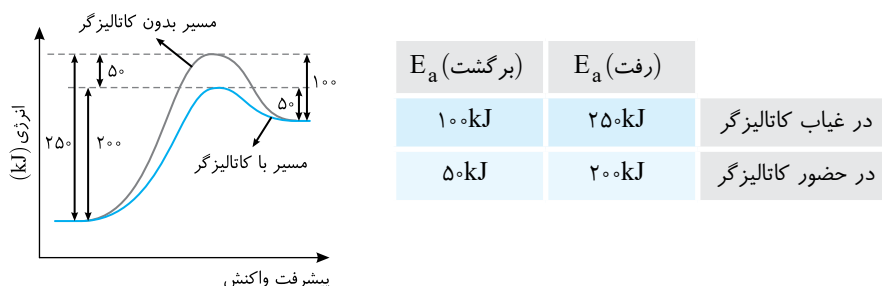
کلاس درس ۱۹

کاتالیزگر، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت را کاهش می‌دهد. حال چند سؤال مهم مطرح می‌شود:

کاتالیزگر (رفت) E_a و (برگشت) E_a را به یک اندازه کاهش می‌دهد؟ به عنوان مثال، اگر (رفت) E_a را 20 kJ کاهش دهد، (برگشت) E_a را نیز 20 kJ کاهش می‌دهد؟ یا نه، کاتالیزگر (رفت) E_a و (برگشت) E_a را به یک نسبت کاهش می‌دهد؟ مثلاً اگر (رفت) E_a را 50% درصد کاهش دهد، الزاماً

(برگشت) E_a نیز 50% درصد کاهش می‌یابد؟ در این کلاس درس به بررسی این موضوع می‌پردازیم.

- ۱- کاتالیزگر، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت را به یک اندازه کاهش می‌دهد. برای فهم بیشتر موضوع به مثال زیر توجه کنید.
- ۲- با توجه به نمودار روبه‌رو، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و واکنش برگشت در غیاب کاتالیزگر و در حضور کاتالیزگر به صورت زیر است:



نتیجه در حضور کاتالیزگر هم انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و هم انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت به یک اندازه، یعنی ۵۰ کیلوژول کاهش یافته است.

نتیجه در حضور کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت ۲۰ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت ۵۰ درصد کاهش یافته است، E_a (رفت) و E_a (برگشت) به یک نسبت کاهش نمی‌یابند:

$$E_a \text{ (رفت)} = \frac{50}{100} \times 100 = 50 \text{ kJ} \quad \text{و} \quad E_a \text{ (برگشت)} = \frac{50}{250} \times 100 = 20 \text{ kJ}$$

مثال: در یک واکنش سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها به اندازه ۶۰ کیلوژول از سطح انرژی فراورده‌ها پایین‌تر بوده و نسبت انرژی فعال‌سازی واکنش رفت به انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت برابر ۳ است. اگر در حضور کاتالیزگر مناسب، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت ۱۰ درصد کاهش پیدا کند، انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت در حضور کاتالیزگر، چند کیلوژول است؟

$$\Delta H = E_a \text{ (رفت)} - E_a \text{ (برگشت)} = 60 \text{ kJ}$$

راه حل: سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها، به اندازه ۶۰ کیلوژول از سطح انرژی فراورده‌ها پایین‌تر است. بنابراین واکنش مورد نظر گرماگیر بوده و ΔH آن برابر ۶۰+ کیلوژول است:

$$\begin{cases} \Delta H = E_a \text{ (رفت)} - E_a \text{ (برگشت)} \\ \frac{E_a \text{ (رفت)}}{E_a \text{ (برگشت)}} = 3 \Rightarrow E_a \text{ (رفت)} = 3E_a \text{ (برگشت)} \end{cases} \Rightarrow +60 = 3E_a \text{ (برگشت)} - E_a \text{ (برگشت)} \Rightarrow E_a \text{ (برگشت)} = \frac{60}{2} = 30 \text{ kJ}$$

$$E_a \text{ (رفت)} = 3 \times 30 = 90 \text{ kJ}$$

می‌دانیم انرژی فعال‌سازی واکنش رفت ۱۰ درصد کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توانیم میزان کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش رفت را محاسبه کنیم:

$$E_a \text{ (رفت)} = \frac{10}{100} \times 90 \text{ kJ} = 9 \text{ kJ}$$

کاتالیزگر E_a (رفت) و E_a (برگشت) را به یک اندازه کاهش می‌دهد، بنابراین در حضور کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت برابر ۲۱ کیلوژول است:

$$E_a \text{ (برگشت)} = 30 - 9 = 21 \text{ kJ}$$

(گزینه ۳)

استفاده از کاتالیزگر، تأثیری بر میزان انرژی ذرات واکنش‌دهنده و فراورده ندارد، بلکه کاتالیزگر با کاهش مقدار انرژی فعال‌سازی واکنش باعث عبور تعداد بیشتری از ذره‌های واکنش‌دهنده از سد انرژی شده و به همین دلیل سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): استفاده از کاتالیزگر روی آنتالپی واکنش تأثیری ندارد و نمی‌تواند آن را تغییر دهد.

گزینه (۲): کاتالیزگر با کاهش سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) پایداری آن را افزایش می‌دهد.

گزینه (۴): کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت را به یک اندازه کاهش و سرعت واکنش رفت و برگشت را به یک نسبت افزایش می‌دهد.

۹۸ کاتالیزگر با کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت باعث افزایش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت و کاهش زمان انجام واکنش می‌گردد، اما تأثیری روی مقدار فراورده‌های واکنش ندارد. همچنین از آن‌جا که کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت را به یک اندازه کاهش می‌دهد، اختلاف انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت تغییری نمی‌کند. نسبت انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت نیز با استفاده از کاتالیزگر می‌تواند کاهش یا افزایش یابد. برای مثال اگر در غیاب کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت به ترتیب ۱۰۰ و ۶۰ کیلوژول باشند و پس از حضور کاتالیزگر هر

کدام از آن‌ها ۲۰ کیلوژول کاهش یابند، نسبت انرژی فعال‌سازی واکنش رفت به واکنش برگشت افزایش می‌یابد (از $\frac{100}{60}$ به $\frac{80}{40}$)، اما اگر این اعداد را جابه‌جا

کنیم و انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت را به ترتیب ۶۰ و ۱۰۰ کیلوژول در نظر بگیریم و پس از حضور کاتالیزگر هر کدام از آن‌ها ۲۰ کیلوژول کاهش یابند،

نسبت انرژی فعال‌سازی واکنش رفت به واکنش برگشت کاهش می‌یابد (از $\frac{60}{100}$ به $\frac{40}{80}$).

با این توضیحات دو مورد از کمیت‌های داده شده افزایش و یک مورد کاهش می‌یابد.

B) ۹۹: استفاده از کاتالیزگر مسیر انجام واکنش را تغییر می‌دهد، اما افزایش دما تأثیری در مسیر انجام واکنش ندارد و صرفاً انرژی ذرات واکنش‌دهنده را افزایش می‌دهد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در واکنش‌های گرماگیر، انرژی فعال‌سازی رفت از برگشت بیشتر است، به همین دلیل با استفاده از کاتالیزگر نسبت انرژی فعال‌سازی رفت به برگشت افزایش می‌یابد. برای مثال اگر در غیاب کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت به ترتیب ۱۰۰ و ۶۰ کیلوژول باشند و پس از حضور کاتالیزگر هر کدام از آن‌ها ۲۰ کیلوژول کاهش یابند، نسبت انرژی فعال‌سازی رفت به برگشت افزایش می‌یابد.

گزینه (۳): در واکنش‌های گرماده، انرژی فعال‌سازی برگشت از رفت بیشتر است، به همین دلیل با استفاده از کاتالیزگر نسبت انرژی فعال‌سازی برگشت به رفت افزایش می‌یابد. برای مثال اگر در غیاب کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی برگشت و رفت به ترتیب ۱۰۰ و ۶۰ کیلوژول باشند و پس از حضور کاتالیزگر هر کدام از آن‌ها ۲۰ کیلوژول کاهش یابند، نسبت انرژی فعال‌سازی برگشت به رفت افزایش می‌یابد.

گزینه (۴): همان‌طور که در توضیح عبارت گزینه (۱) بیان کردیم، نسبت انرژی فعال‌سازی رفت به برگشت در اثر استفاده از کاتالیزگر افزایش می‌یابد، پس اگر انرژی فعال‌سازی رفت در این واکنش نصف شود، انرژی فعال‌سازی برگشت باید مقدار بیشتری کاهش یابد تا نسبت انرژی فعال‌سازی رفت به برگشت افزایش یابد. برای مثال اگر در غیاب کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت به ترتیب ۱۰۰ و ۶۰ کیلوژول باشند و پس از حضور کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی رفت به ۵۰ کیلوژول تغییر یابد، از آن‌جا که اندازه تغییرات انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت برابر است، پس انرژی فعال‌سازی برگشت نیز دچار ۵۰ کیلوژول کاهش شده و به عدد ۱۰ کیلوژول می‌رسد که مقدار کاهش آن بیشتر از نصف مقدار اولیه می‌باشد.

B) ۱۰۰: عبارتهای (پ) و (ت) درست است. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): کاتالیزگر نمی‌تواند واکنشی را که به دلایل ترمودینامیکی (دما، آنتالپی و ...) به‌صورت خودبه‌خودی (بدون نیاز به دریافت انرژی از محیط) انجام نمی‌شود را به یک واکنش خودبه‌خودی تبدیل کند. در واقع کاتالیزگر سرعت واکنش‌هایی را که انجام‌پذیر و خودبه‌خودی هستند، افزایش می‌دهد. زیرا خودبه‌خودی انجام شدن یا نشدن یک واکنش به عوامل ترمودینامیکی وابسته است که کاتالیزگر تأثیری بر این عوامل ندارد.

عبارت (ب): کاتالیزگر فقط سرعت رسیدن به فراورده‌ها را زیاد می‌کند و نوع آن‌ها را تغییر نمی‌دهد.

عبارت (پ): استفاده از کاتالیزگر نیاز ما به دمای بالا برای انجام واکنش را کم می‌کند. برای تأمین دمای بالا باید از سوخت‌ها استفاده کرد که اغلب آلاینده‌های محیطی تولید می‌کنند.

عبارت (ت): استفاده از کاتالیزگر در صنایع گوناگون سبب کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود و ردپای کربن دی‌اکسید را نیز کاهش می‌دهد.

A) ۱۰۱: کاتالیزگر می‌تواند، شکل نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) را تغییر دهد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۲): استفاده از کاتالیزگر مسیر انجام واکنش را الزاماً کوتاه نمی‌کند، در واقع می‌توان گفت کاتالیزگر ممکن است مسیر انجام واکنش را کوتاه یا بلند کند، ولی همواره واکنش در حضور کاتالیزگر از مسیری پیشرفت می‌کند که نیاز به انرژی فعال‌سازی کمتری داشته باشد تا با سرعت بیشتری انجام شود.

گزینه (۳): کاتالیزگر (رفت) E_a و (برگشت) E_a را به یک اندازه کاهش می‌دهد، اما نمی‌توان گفت که (رفت) $\bar{R}$ و (برگشت) $\bar{R}$ را به یک اندازه افزایش می‌دهد.

گزینه (۴): کاتالیزگر شیب نمودار (غلظت - زمان) و پایداری ذره موجود در قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) را افزایش می‌دهد، اما تأثیری بر مقدار محتوای انرژی مواد ندارد.

واکنش میان گازهای H_2 و O_2 در شرایط گوناگون

کلاس درس

م.

سرعت واکنش میان گازهای هیدروژن و اکسیژن در دمای اتاق مقدار بسیار ناچیزی است، به‌طوری که می‌توان گفت تقریباً این دو گاز با هم واکنش نمی‌دهند. در واقع شرایط انجام این واکنش از نظر سینتیکی مهیا نیست، انرژی فعال‌سازی این واکنش بسیار زیاد است و در نتیجه سرعت واکنش را به شدت کاهش می‌دهد، به همین دلیل مخلوط گازهای H_2 و O_2 حتی اگر سالیان سال کنار هم قرار گیرند، تقریباً واکنشی بین آن‌ها انجام نمی‌شود.



واکنش میان گازهای H_2 و O_2 در دمای اتاق به دلیل انرژی فعال‌سازی زیاد و سرعت ناچیز انجام نمی‌شود

حال یک سؤال اساسی مطرح می‌شود: چگونه می‌توان در دمای اتاق واکنش میان گازهای H_2 و O_2 را انجام داد؟

تأمین انرژی فعال‌سازی و استفاده از کاتالیزگر راهی برای انجام واکنش H_2 و O_2 در دمای اتاق

جدول زیر برخی داده‌ها برای واکنش میان گازهای هیدروژن و اکسیژن را در شرایط گوناگون نشان می‌دهد:

شرایط آزمایش	دما ($^{\circ}C$)	سرعت واکنش	آنتالپی واکنش (kJ)
بدون حضور کاتالیزگر	۲۵	ناچیز	-۵۷۲
ایجاد جرقه در مخلوط	۲۵	انفجاری	-۵۷۲
در حضور پودر روی	۲۵	سریع	-۵۷۲
در حضور توری پلاتینی	۲۵	انفجاری	-۵۷۲

با توجه به داده‌های این جدول به نتایج مهم زیر می‌رسیم:

۱- واکنش میان گازهای H_2 و O_2 در دمای اتاق و بدون حضور کاتالیزگر سرعت بسیار ناچیزی دارد؛ زیرا همان‌طور که گفته شد، انرژی فعال‌سازی این واکنش بسیار زیاد است و در دمای اتاق این انرژی تأمین نمی‌شود.

۲- ایجاد جرقه در مخلوطی از گازهای H_2 و O_2 ، انرژی فعال‌سازی این واکنش را از طریق افزایش دما تأمین می‌کند و موجب می‌شود که این واکنش در دمای اتاق با سرعت انفجاری انجام شود:



۳- اگر واکنش گازهای H_2 و O_2 را در حضور پودر روی (Zn) و یا در حضور توری پلاتینی (Pt) انجام دهیم، سرعت واکنش افزایش می‌یابد. به‌طوری که در دمای اتاق انجام می‌شود و در واقع پودر روی و توری پلاتینی نقش کاتالیزگر را داشته و با کاهش انرژی فعال‌سازی سرعت واکنش میان گازهای H_2 و O_2 را افزایش می‌دهد:



استنباط نکنید ایجاد جرقه در مخلوط گازهای H_2 و O_2 فقط انرژی فعال‌سازی واکنش را تأمین می‌کند و برخلاف پودر روی و توری پلاتینی نمی‌تواند انرژی فعال‌سازی واکنش را کاهش دهد.

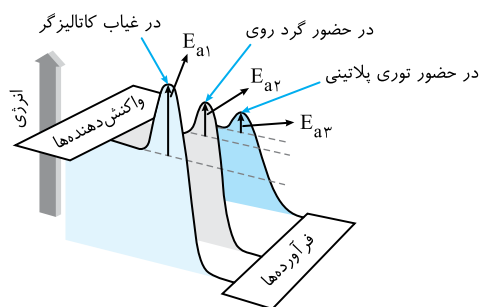
۴- آنتالپی واکنش یک کمیت ترمودینامیکی است که در شرایط معین ترمودینامیکی، مقداری ثابت دارد. در واقع ΔH واکنش وابسته به موارد زیر است: الف) نوع مواد واکنش‌دهنده و فراورده، ب) مقدار مواد واکنش‌دهنده، پ) حالت فیزیکی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها، ت) دما و فشار سامانه در صورت تغییر این موارد، آنتالپی واکنش نیز تغییر می‌کند، این در حالی است که مواردی مانند ایجاد جرقه و استفاده از کاتالیزگر نمی‌تواند مقدار ΔH واکنش را تغییر دهد. به همین دلیل ΔH واکنش گازهای H_2 و O_2 در غیاب کاتالیزگر، با ایجاد جرقه و در حضور کاتالیزگرهای پودر روی و توری پلاتینی یکسان و برابر -572 کیلوژول است.

توجه استفاده از کاتالیزگر و یا ایجاد جرقه در مخلوط واکنش، سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها را تغییر نمی‌دهد، به همین دلیل ΔH واکنش را نیز نمی‌تواند تغییر دهند.

نتیجه کاتالیزگر در هر واکنش شیمیایی با کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش را افزایش می‌دهد، اما آنتالپی واکنش ثابت می‌ماند.

انرژی فعال‌سازی واکنش میان گازهای H_2 و O_2 در شرایط گوناگون

شکل رسم شده نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش)، واکنش میان $H_2(g)$ و $O_2(g)$ در غیاب کاتالیزگر و در حضور دو کاتالیزگر پودر روی و توری پلاتینی را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار به دو مقایسه مهم زیر می‌رسیم:



مقایسه انرژی فعال‌سازی:

$$E_{a1} > E_{a2} > E_{a3}$$

در غیاب کاتالیزگر در حضور کاتالیزگر پودر روی در حضور کاتالیزگر توری پلاتینی

مقایسه سرعت واکنش در شرایط یکسان:

$$\bar{R}_1 > \bar{R}_2 > \bar{R}_3$$

در غیاب کاتالیزگر در حضور کاتالیزگر پودر روی در حضور کاتالیزگر توری پلاتینی

نکته

در واکنش میان گازهای هیدروژن و اکسیژن در دمای اتاق (25°C)، توری پلاتینی در نقش کاتالیزگر، بهتر از پودر روی عمل می‌کند و سبب افزایش بیشتر سرعت واکنش می‌شود. در واقع توری پلاتینی انرژی فعال‌سازی واکنش را بیشتر کاهش می‌دهد.

واکنش H_2 و O_2 در شرایط گوناگون

- ایجاد جرقه $\leftarrow$ تأمین E_a $\leftarrow$ انجام واکنش به صورت انفجاری
- کاتالیزگر توری پلاتینی $\leftarrow$ کاهش E_a $\leftarrow$ انجام واکنش به صورت انفجاری
- کاتالیزگر پودر روی $\leftarrow$ کاهش E_a $\leftarrow$ انجام سریع واکنش
- توری پلاتینی نسبت به پودر روی، سرعت واکنش را بیشتر افزایش می‌دهد.
- ایجاد جرقه یا استفاده از کاتالیزگر، ΔH واکنش را تغییر نمی‌دهد.

معادله واکنش بین گازهای H_2 و O_2 که همان واکنش سوختن گاز هیدروژن است، به صورت $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$ می‌باشد. ΔH این واکنش بسیار منفی بوده و در اثر انجام آن، گرمای زیادی آزاد می‌شود. اما توجه داشته باشید که رابطه خاصی بین ΔH یک واکنش با E_a آن وجود ندارد. عامل مهم در میزان سرعت نسبی یک واکنش انرژی فعال‌سازی آن است. از آن‌جا که انرژی فعال‌سازی این واکنش زیاد است، با آن‌که واکنش بسیار گرماده می‌باشد، سرعت انجام آن در دمای اتاق بسیار کم است. اما اگر با زدن یک جرقه و دادن یک انرژی اولیه به آن، انرژی فعال‌سازی آن را تأمین کنیم، واکنش سوختن کاملاً انفجاری انجام می‌شود.

۱۰۳/۳ (B) عبارتهای (الف)، (ب) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

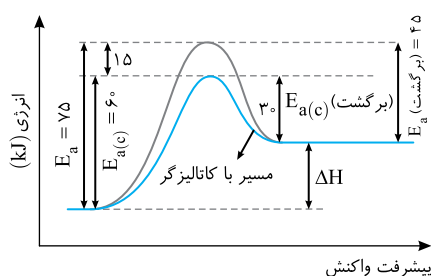
عبارت (الف): این واکنش در دمای اتاق و بدون حضور کاتالیزگر انجام نمی‌شود. (سرعت ناچیز)
عبارت (ب): ایجاد جرقه در مخلوط گازها باعث انجام شدن واکنش به صورت انفجاری می‌شود، اما به دلیل حضور کاتالیزگر نمی‌باشد، بلکه اشاره به نقش افزایش دما در تأمین انرژی فعال‌سازی این واکنش دارد.
عبارت (پ): آنتالپی واکنش در هر شرایطی چه با حضور کاتالیزگر چه بدون حضور کاتالیزگر یکسان است.
عبارت (ت): واکنش در اثر ایجاد جرقه در مخلوط گازها و در اثر حضور توری پلاتینی به صورت انفجاری انجام می‌شود، اما در حضور پودر روی واکنش به صورت سریع انجام شده و سرعت کمتری از واکنش قبلی دارد.

۱۰۴/۱ (A) مقدار آنتالپی واکنش به حضور یا عدم حضور کاتالیزگر بستگی ندارد و در هر دو حالت یکسان است. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۲): کاتالیزگر با تغییر مسیر واکنش انرژی فعال‌سازی را کاهش داده و سبب می‌شود واکنش‌دهنده‌ها سریع‌تر به فراورده‌ها تبدیل شوند.
گزینه (۳): در حضور توری پلاتینی واکنش به صورت انفجاری و در حضور پودر روی واکنش سریع پیشرفت می‌کند. این امر نشان‌دهنده این است که توری پلاتینی نسبت به پودر روی انرژی فعال‌سازی واکنش را بیشتر کاهش می‌دهد و سبب می‌شود که واکنش آسان‌تر و با سرعت بالاتر به انجام برسد. اختلاف سطح انرژی قله نمودار و واکنش‌دهنده‌ها نشان‌دهنده انرژی فعال‌سازی است.
گزینه (۴): محتوای انرژی مواد شرکت‌کننده در واکنش در اثر ایجاد جرقه، حضور کاتالیزگر یا بدون حضور کاتالیزگر یکسان می‌باشد.

۱۰۵/۳ (A) سرعت واکنش (۱) ناچیز است، پس بیشترین انرژی فعال‌سازی را دارد. واکنش (۳) به صورت انفجاری بوده و در نتیجه کمترین انرژی فعال‌سازی را دارد و واکنش (۲) به صورت سریع انجام می‌شود و انرژی فعال‌سازی بین این دو حالت را دارد.

۱۰۶/۳ (B) به نمودار روبه‌رو توجه کنید:



- E_a = ۷۵ kJ = انرژی فعال‌سازی واکنش رفت بدون کاتالیزگر: (رفت) E_a
- E_a = ۴۵ kJ = انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت بدون کاتالیزگر: (برگشت) E_a
- E_a = ۶۰ kJ = انرژی فعال‌سازی واکنش رفت با کاتالیزگر: (رفت) E_a (c)
- E_a = ۳۰ kJ = انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت با کاتالیزگر: (برگشت) E_a (c)
- ΔH : تغییر آنتالپی واکنش = +۳۰ kJ

برای حل پرسش از دو نکته زیر استفاده کردیم:

- ۱- مسیری که انرژی فعال‌سازی کمتر و قله با سطح انرژی پایین‌تر دارد، مربوط به انجام واکنش در حضور کاتالیزگر است.
- ۲- ΔH واکنش در حضور و در غیاب کاتالیزگر یکسان است.

۱۰۷/۴ (A) انرژی فعال‌سازی واکنش (I) در جهت برگشت، از انرژی فعال‌سازی واکنش (II) در جهت برگشت کمتر است. بنابراین در شرایط یکسان سرعت واکنش (I) در جهت برگشت از سرعت واکنش (II) در جهت برگشت بیشتر می‌باشد (انرژی فعال‌سازی با سرعت واکنش رابطه وارونه دارد).

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه‌های (۱) و (۲): کاتالیزگر (ΔH) واکنش را تغییر نمی‌دهد.

گزینه (۳): واکنش (I) گرماگیر بوده و به همین دلیل انرژی فعال‌سازی واکنش رفت از انرژی فعال‌سازی برگشت بیشتر است، در نتیجه سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت کمتر است.

با توجه به این که ضریب استوکیومتری گاز اکسیژن برابر یک است، سرعت تولید آن با سرعت واکنش برابر است.



$$? \text{ mol } O_2 = 3.0 \text{ s} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{0.4 \text{ mol } O_2}{1 \text{ min}} = 0.2 \text{ mol } O_2$$

در حضور کاتالیزگر، سرعت واکنش افزایش یافته و زمان انجام واکنش کمتر از ۳۰ ثانیه خواهد بود. از طرف دیگر، با گذشت زمان، سرعت واکنش کاهش می‌یابد، بنابراین تعداد مول O_2 تولید شده در ۱۰ ثانیه اول بیشتر از ۱۰ ثانیه دوم می‌باشد.

در نمودار داده شده، انرژی فعال‌سازی رفت برابر 102 kJ و انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت برابر 48 kJ است. می‌دانیم که کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت را به یک اندازه کاهش می‌دهد. در گزینه (۳)، E_a (رفت) و E_a (برگشت) هر دو در حضور کاتالیزگر به میزان 13 kJ کاهش یافته‌اند.

ابتدا E_a (برگشت) را در غیاب کاتالیزگر به دست می‌آوریم:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow -45 = 30 - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 30 + 45 = 75 \text{ kJ}$$

در حضور کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت هر دو به یک اندازه کاهش می‌یابند. با توجه به این که در حضور کاتالیزگر E_a (رفت) به اندازه ۱۴ کیلوژول کاهش یافته، پس E_a (برگشت) هم به همین میزان کاهش می‌یابد.

$$E_a(\text{برگشت}) = 75 - 14 = 61 \text{ kJ} \quad (\text{در حضور کاتالیزگر})$$

می‌توانیم در مسیر بدون کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت E_a را در غیاب کاتالیزگر حساب کنیم:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow +92 = E_a(\text{رفت}) - 44 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = 136 \text{ kJ}$$

انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت در حضور و در غیاب کاتالیزگر، به ترتیب ۴۴ و ۳۱ کیلوژول است، یعنی کاتالیزگر E_a (برگشت) را به اندازه ۱۳ کیلوژول بر مول (۴۴-۳۱) کاهش داده است. با توجه به این که کاتالیزگر E_a (رفت) و E_a (برگشت) را به یک میزان کاهش می‌دهد، پس E_a (رفت) در حضور کاتالیزگر برابر ۱۲۳ کیلوژول (۱۳۶-۱۳) است. در ضمن، کاتالیزگر ΔH واکنش را تغییر نمی‌دهد.

۱۱۲ (B)

$$\begin{cases} \Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \\ \frac{E_a(\text{رفت})}{E_a(\text{برگشت})} = 1/5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E_a(\text{رفت}) = 66 \text{ kJ} \\ E_a(\text{برگشت}) = 44 \text{ kJ} \end{cases}$$

مقدار کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت در حضور کاتالیزگر یکسان است. مقدار انرژی فعال‌سازی برگشت به ۷۵٪ مقدار اولیه‌اش رسیده است پس:

$$44 \times \frac{75}{100} = 33$$

بنابراین انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت به مقدار $44 - 33 = 11 \text{ kJ}$ کاهش داشته‌اند.

ابتدا میزان کاهش E_a (رفت) را حساب می‌کنیم:

$$E_a(\text{رفت}) = \frac{40}{100} \times 75 = 30 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (\text{در حضور کاتالیزگر})$$

کاتالیزگر، E_a (رفت) و E_a (برگشت) را به یک میزان کاهش می‌دهد، پس در حضور کاتالیزگر، انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت هم به میزان 30 kJ کاهش یافته و به $75 - 30 = 45 \text{ kJ}$ می‌رسد.

با استفاده از ΔH واکنش و مجموع E_a (رفت) و E_a (برگشت) که در صورت پرسش داده شده، E_a (رفت) و E_a (برگشت) در غیاب کاتالیزگر قابل محاسبه هستند.

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 42 \quad \left\{ \begin{aligned} 2E_a(\text{رفت}) &= 144 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = \frac{144}{2} = 72 \text{ kJ} \\ E_a(\text{رفت}) + E_a(\text{برگشت}) &= 102 \end{aligned} \right. \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 102 - 72 = 30 \text{ kJ}$$

$$\frac{E_a(\text{برگشت})}{E_a(\text{رفت})} = \frac{30}{72} \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = \frac{72 \times 30}{30} = 72 \text{ kJ} \quad (\text{در حضور کاتالیزگر})$$

با استفاده از کاتالیزگر E_a (برگشت) از 30 kJ به 27 kJ کاهش یافته، یعنی کاتالیزگر E_a (برگشت) را به میزان 3 kJ کاهش داده، پس می‌توانیم نتیجه بگیریم که E_a (رفت) در حضور کاتالیزگر به اندازه 3 kJ کاهش یافته و از 72 kJ به 69 kJ می‌رسد.

$$E_a(\text{رفت}) + E_a(\text{برگشت}) = 69 + 27 = 96 \text{ kJ} \quad (\text{در حضور کاتالیزگر})$$

۱۱۵ عبارتهای (الف) و (ب) درست هستند.

$$E_a(\text{برگشت}) = 1/5 E_a(\text{رفت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 0/7 E_a(\text{رفت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 0/8 E_a(\text{رفت})$$

$$E_a(\text{رفت}) + E_a(\text{برگشت}) = 2/5 E_a(\text{برگشت}) = 1250 \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 500 \text{ kJ}, E_a(\text{رفت}) = 750 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) = 750 - 500 = 250 \text{ kJ}$$

$$E_a(\text{رفت}) = E_a(\text{برگشت}) - 0/2 E_a(\text{رفت}) = 750 - 0/2 (750) = 600 \text{ kJ}$$

$$E_a(\text{برگشت}) = E_a(\text{رفت}) - 0/3 E_a(\text{برگشت}) = 500 - 0/3 (500) = 350 \text{ kJ}$$

بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): $E_a(\text{رفت}) = 750 \text{ kJ}$ و $E_a(\text{برگشت}) = 500 \text{ kJ}$ و نسبت آن‌ها برابر $1/5$ و واکنش گرماگیر است، زیرا $\Delta H = +250 \text{ kJ}$.

عبارت (ب): $\Delta H = 250 \text{ kJ}$ و $E_a(\text{برگشت}) = 500 \text{ kJ}$ و نسبت آن‌ها برابر $5/0$ است.

عبارت (پ): $E_a = 750 \text{ kJ}$ و $E_a(\text{رفت}) = 600 \text{ kJ}$ و تفاوت آن‌ها برابر 150 kJ است.

عبارت (ت): $E_a(\text{رفت}) = 600 \text{ kJ}$ و $E_a(\text{برگشت}) = 500 \text{ kJ}$ و نسبت آن‌ها برابر $1/2$ است.

۱۱۶ عبارتهای (الف) و (ب) درست هستند. با توجه به داده‌های جدول، داریم:

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow 160 = 360 - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow E_a(\text{برگشت}) = 200 \text{ kJ}$$

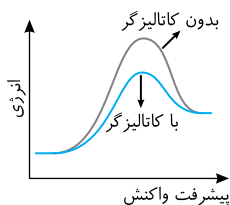
$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow 160 = E_a(\text{رفت}) - 240 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) = 400 \text{ kJ}$$

بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): $E_a(\text{رفت})$ بدون حضور کاتالیزگر، برابر 400 kJ و $E_a(\text{برگشت})$ در حضور کاتالیزگر برابر 200 kJ است.

عبارت (ب): در حضور کاتالیزگر سطح انرژی فراورده‌ها به سطح انرژی قله در نمودار سطح (انرژی - پیشرفت واکنش) نزدیک‌تر است.

عبارت (پ): نسبت خواسته شده را محاسبه می‌کنیم:



$$\frac{E_a(\text{برگشت}) \text{ بدون کاتالیزگر}}{E_a(\text{برگشت}) \text{ در حضور کاتالیزگر}} = \frac{240}{200} = 1/2$$

عبارت (ت): با توجه به اعداد نمودارها می‌توان گفت:

$$E_a(\text{رفت}) > E_a(\text{برگشت}) \Rightarrow \bar{R}(\text{رفت}) < \bar{R}(\text{برگشت}) \Rightarrow \bar{R}(A+B \rightarrow C) < \bar{R}(C \rightarrow A+B)$$

۱۱۷ اثر افزودن کاتالیزگر به یک واکنش، انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت به یک اندازه کاهش می‌یابد و به همین دلیل، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به یک نسبت افزایش می‌یابند. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): کاتالیزگر فقط کمیت‌های سینتیکی واکنش را تحت تأثیر قرار می‌دهد و آنتالپی واکنش در حضور یا عدم حضور آن ثابت است.

گزینه (۲): همان‌طور که در نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) مشاهده می‌کنید، یون یدید باعث کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش رفت شده است. در شرایط یکسان هر چه انرژی فعال‌سازی واکنشی کمتر باشد، سرعت انجام واکنش بیشتر خواهد بود.

گزینه (۳): با افزودن کاتالیزگر، سرعت واکنش افزایش می‌یابد، یعنی در زمان معین مقدار مول مصرفی واکنش‌دهنده‌ها و مقدار مول تولیدی فراورده‌ها افزایش می‌یابد.

۱۱۸ واکنش $2\text{OH(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(g)} + \text{O}_2\text{(g)}$ ، واکنش برگشت نمودار (ب) است و طی آن ۷۲ کیلوژول گرما آزاد می‌شود. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۲): واکنش (الف) گرماده و واکنش (ب) گرماگیر است و در هر دو واکنش مول‌های گازی طرفین ۲ مول بوده و طی واکنش ثابت است.

گزینه (۳): انرژی فعال‌سازی واکنش (الف) در جهت رفت، سه برابر انرژی فعال‌سازی واکنش (ب) در جهت برگشت است.

گزینه (۴): با توجه به کمتر بودن انرژی فعال‌سازی رفت واکنش (الف) از (ب)، پس سرعت آن بیشتر است و در ازای تشکیل ۲ مول گاز اکسیژن، ۳۹۲ کیلوژول گرما و در نتیجه، در ازای تشکیل ۱ مول گاز اکسیژن، ۱۹۶ کیلوژول گرما آزاد می‌شود.

۱۱۹ FeSO_4 کاتالیزگر واکنش مورد نظر است که واکنش در حضور آن با سرعت بیشتری انجام می‌شود و گرمای آزاد شده سریع‌تر تولید می‌شود

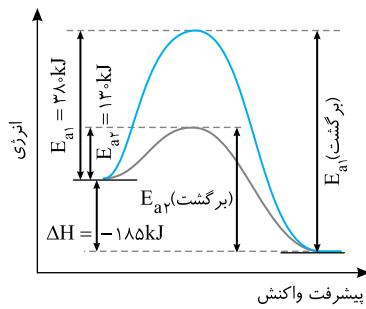
و دمای ظرف A با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۲): چون در ظرف A کاتالیزگر وجود دارد، انرژی فعال‌سازی واکنش در آن کمتر است.

گزینه (۳): تعداد مول‌های گازی تولید شده در پایان واکنش در هر دو ظرف یکسان است.

گزینه (۴): حجم گاز O_2 آزاد شده در هر دو ظرف در پایان برابر است با:

$$? \text{ L O}_2 = 200 \text{ g محلول} \times \frac{17 \text{ g H}_2\text{O}_2}{100 \text{ g محلول}} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}_2}{34 \text{ g H}_2\text{O}_2} \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol H}_2\text{O}_2} \times \frac{22.4 \text{ L O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 11.2 \text{ L O}_2$$



نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) به صورت روبه‌رو است: **۱۲۰** **۲**

در غیاب کاتالیزگر: $E_a(\text{رفت}) = 380 \text{ kJ}$

در حضور کاتالیزگر: $E_a(\text{رفت}) = 130 \text{ kJ}$

$$\Delta H = E_{a_1}(\text{رفت}) - E_{a_1}(\text{برگشت}) = E_{a_2}(\text{رفت}) - E_{a_2}(\text{برگشت})$$

عبارت‌های (ب) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): در نبود کاتالیزگر، انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت $(E_{a_1}(\text{برگشت}))$ برابر است با:

$$\Delta H = E_{a_1}(\text{رفت}) - E_{a_1}(\text{برگشت}) \Rightarrow E_{a_1}(\text{برگشت}) = E_{a_1}(\text{رفت}) - \Delta H = 380 - (-185) = 565 \text{ kJ}$$

عبارت (ب): در مجاورت کاتالیزگر، انرژی فعال‌سازی برگشت $(E_{a_2}(\text{برگشت}))$ برابر است با:

$$\Delta H = E_{a_2}(\text{رفت}) - E_{a_2}(\text{برگشت}) \Rightarrow E_{a_2}(\text{برگشت}) = E_{a_2}(\text{رفت}) - \Delta H = 130 - (-185) = 315 \text{ kJ}$$

عبارت (پ): تفاوت سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) در دو حالت برابر با تفاوت $E_{a_1}(\text{رفت})$ و $E_{a_2}(\text{رفت})$ است:

$$E_{a_1}(\text{رفت}) - E_{a_2}(\text{رفت}) = 380 - 130 = 250 \text{ kJ}$$

عبارت (ت): تفاوت انرژی فعال‌سازی واکنش در جهت برگشت در دو حالت، با تفاوت انرژی فعال‌سازی واکنش در جهت رفت برابر است با:

$$E_{a_1}(\text{برگشت}) - E_{a_2}(\text{برگشت}) = E_{a_1}(\text{رفت}) - E_{a_2}(\text{رفت}) = 380 - 130 = 250 \text{ kJ}$$

عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. **۱۲۱** **۲**

$$\Delta H_1 = E_{a_1}(\text{رفت}) - E_{a_1}(\text{برگشت}) \Rightarrow 80 = E_{a_1}(\text{رفت}) - 30 \Rightarrow E_{a_1}(\text{رفت}) = 110 \text{ kJ}$$

با توجه به این که در حضور کاتالیزگر، سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) به اندازه ۱۲۰ کیلوژول کاهش می‌یابد، بنابراین مقدار $E_a(\text{رفت})$ و $E_a(\text{برگشت})$ در غیاب کاتالیزگر به اندازه ۱۲۰ کیلوژول بیشتر از $E_a(\text{رفت})$ و $E_a(\text{برگشت})$ در حضور کاتالیزگر است.

$$E_{a_2}(\text{برگشت}) = 30 + 120 = 150 \text{ kJ}, E_{a_2}(\text{رفت}) = 110 + 120 = 230 \text{ kJ}$$

بررسی سایر عبارت‌ها:

$$E_{a_1}(\text{رفت}) - \Delta H = 110 - 80 = 30 \text{ kJ}$$

عبارت (پ):

عبارت (ت): از آنجا که $\Delta H > 0$ است، واکنش گرماگیر بوده و سطح انرژی فرآورده‌ها در مقایسه با واکنش‌دهنده‌ها بالاتر است.

۱۲۲ **۴**

حذف آلاینده‌های موجود در آگزوز خودروها به کمک مبدل کاتالیستی

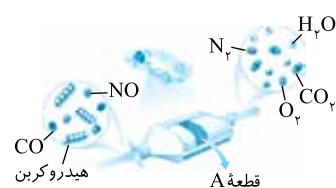
کلاس درس

۳۱

تنها راه مقابله با آلاینده‌هایی که از آگزوز خودرو خارج می‌شوند این است که قبل از خروج از آگزوز حذف شوند یا به مواد دیگری تبدیل شوند، اما دو مشکل اساسی وجود دارد:

- (الف) گازهای آلاینده NO ، C_xH_y و CO در مدت زمان بسیار کوتاهی (در کسری از ثانیه) از موتور خودرو خارج شده و وارد هواکره می‌شوند، بنابراین به دام انداختن این گازها کار دشواری است.
 - (ب) در این مدت بسیار کوتاه دمای آلاینده به سرعت کاهش می‌یابد، به همین دلیل انجام واکنش‌هایی که این آلاینده‌ها را به مواد کم‌خطرتری تبدیل کند، مقدور نیست یا بسیار کند انجام می‌شوند، چرا که این واکنش‌ها فقط در دماهای بالا انجام می‌شوند.
- برای حذف آلاینده‌های خروجی از آگزوز خودروها باید یک‌سری واکنش که سرعت کمی دارند و فقط در دمای بالایی انجام می‌شوند را در دمای پایین انجام دهیم! اما چگونه می‌توان این کار را انجام داد؟

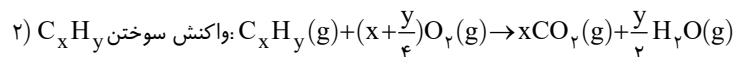
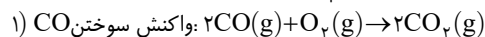
مبدل کاتالیستی و حذف آلاینده‌های خروجی از آگزوز خودرو



۱- برای حذف آلاینده‌های NO ، CO و C_xH_y موجود در آگزوز خودروها قطعه‌ای به نام مبدل کاتالیستی که همراه خود، کاتالیزگرهای مناسبی دارد مطابق شکل روبه‌رو در مسیر خروج گازها (نزدیک‌تر به موتور) قرار می‌دهند:

توجه: مبدل کاتالیستی می‌تواند باعث حذف آلاینده‌های خروجی از آگزوز خودروها شده یا این که با تبدیل آن‌ها به مواد کم‌خطرتر موجب کاهش این آلاینده‌ها شود.

۲- با انجام واکنش‌های زیر، پیش از خروج گازها از اگزوز خودرو، می‌توان با تبدیل آن‌ها به ترکیب‌های بی‌خطر یا کم‌خطرتر، آلاینده‌گی آن‌ها را تا حد زیادی کاهش داد:



نتیجه ورودی‌های مبدل کاتالیستی گازهای CO، NO، C_xH_y و خروجی آن‌ها CO_2 ، N_2 ، O_2 و H_2O است. در واقع در اثر انجام واکنش‌های بالا، آلاینده CO به آلاینده کم‌خطرتر CO_2 ، آلاینده NO به گازهای مفید N_2 و O_2 و آلاینده $C_xH_y(g)$ به $CO_2(g)$ و $H_2O(g)$ تبدیل می‌شود. **توجه** سه واکنش بالا انرژی فعال‌سازی بالایی دارند و در دمای پایین یا انجام نمی‌شوند و یا سرعت بسیار کمی دارند.

کاتالیزورها در مبدل‌های کاتالیستی

تجربه نشان می‌دهد که کارایی مبدل‌های کاتالیستی به نوع کاتالیزورها موجود در آن بستگی دارد. یک کاتالیزگر مناسب در مبدل‌های کاتالیستی باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

- ۱- برای انجام واکنش‌هایی که در دماهای پایین و زمان بسیار کوتاهی انجام می‌شوند، نیاز به کاتالیزگرهای مناسب است. البته هر کاتالیزگر نمی‌تواند همه واکنش‌ها را سرعت ببخشد، بلکه فقط می‌تواند سرعت شمار معدودی واکنش را افزایش دهد. بنابراین هر یک از سه واکنش بالا نیاز به کاتالیزگر ویژه‌ای دارند.
- ۲- کاتالیزگرها اغلب اختصاصی و انتخابی عمل می‌کنند، به‌طوری‌که هر کاتالیزگر سرعت واکنش ویژه‌ای را افزایش می‌دهد.
- ۳- کاتالیزگرها در شرایط انجام واکنش باید پایداری شیمیایی و گرمایی مناسبی داشته باشند.
- ۴- در حضور کاتالیزگرها نباید واکنش‌های ناخواسته دیگری انجام شود.

توجه درون مبدل‌های کاتالیستی به شکل توری است و کاتالیزگرها روی سطح توری قرار می‌گیرند. فلزهای رودیم (Rh)، پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt) کاتالیزگرهای مناسبی برای انجام واکنش‌هایی هستند که در مبدل کاتالیستی انجام می‌شوند.

روش‌های مقابله با پخش شدن آلاینده‌های خودروها در هوا، در جهت کاهش یا حذف آلاینده‌ها انجام می‌شوند. **بررسی سایر گزینه‌ها:** گزینه (۱): در بخش‌های قبلی پی بردید که انرژی فعال‌سازی واکنش را می‌توان با استفاده از گرما تأمین کرد یا با استفاده از کاتالیزگر آن را کاهش داد تا واکنش‌ها با سرعت دلخواه انجام شوند. گزینه‌های (۲) و (۳): آلاینده‌ها در کسری از ثانیه از موتور خودرو خارج و وارد هواکره می‌شوند. همچنین دمای آن‌ها در این زمان بسیار کوتاه به سرعت کاهش می‌یابد.

شکل داده شده، مبدل کاتالیستی را نشان می‌دهد. در این مبدل کاتالیستی واکنش‌های زیر انجام می‌شود:

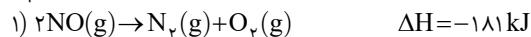
$$2C_8H_{18} + 25O_2 \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O, \quad 2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2, \quad 2NO \rightarrow N_2 + O_2$$

طبق واکنش‌های بالا مشخص است که در این مبدل‌ها هیدروکربن‌ها و گاز کربن مونوکسید می‌سوزند و گاز نیتروژن مونوکسید به گازهای نیتروژن و اکسیژن تجزیه می‌شود.

واکنش سوختن CO و تجزیه NO، گرماده‌های بسیار کند

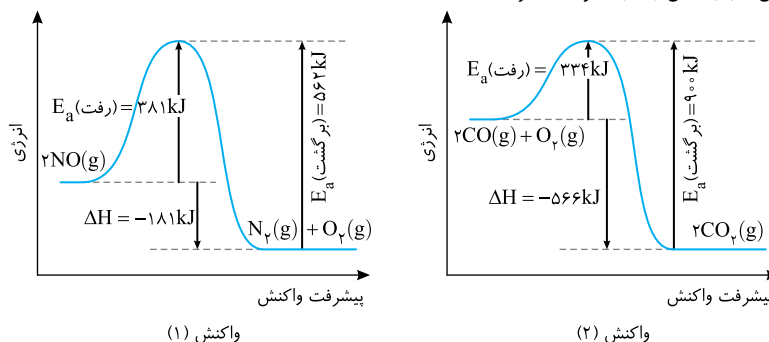
کلاس درس

می‌دانیم واکنش‌های سوختن CO و تجزیه NO در دماهای پایین انجام نمی‌شوند یا بسیار کند هستند. در ادامه این دو واکنش را بیشتر بررسی می‌کنیم.



با توجه به مقدار ΔH این واکنش‌ها، به نظر می‌رسد که این دو واکنش انجام شده به شدت گرماده هستند، در حالی که انرژی فعال‌سازی آن‌ها به قدری زیاد است که در دماهای پایین انجام نمی‌شوند و یا بسیار کند هستند.

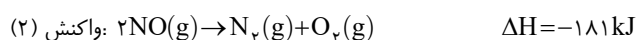
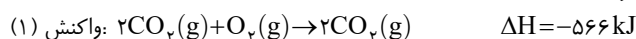
۲- نمودار انرژی پیشرفت واکنش دو واکنش بالا به‌صورت زیر است:



با توجه به نمودارهای بالا به نتایج زیر می‌رسیم:

- (الف) هر دو واکنش گرماده هستند، بنابراین $\bar{R}(\text{برگشت}) > \bar{R}(\text{رفت})$ در واکنش (۱):
 $\bar{R}(\text{تولید NO}) > \bar{R}(\text{تجزیه NO})$
 در واکنش (۲):
 $\bar{R}(\text{تبدیل CO به CO}_2) > \bar{R}(\text{سوختن CO})$
- (ب) هر دو واکنش برای این که در دمای پایین انجام شوند، نیاز به کاتالیزگر مناسب دارند.
- (پ) انرژی فعال‌سازی واکنش (۲) کمتر از انرژی فعال‌سازی واکنش (۱) است، بنابراین می‌توان گفت که در شرایط یکسان سرعت سوختن CO بیشتر از سرعت تجزیه NO است.
- (ت) در هر دو واکنش پایداری فراورده‌ها بیشتر از واکنش‌دهنده‌هاست:
- واکنش (۱): $\text{O}_2 > \text{NO}$
 مقایسه پایداری }
 واکنش (۲): $\text{CO}_2 > \text{CO}$

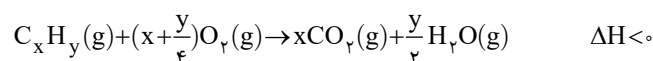
واکنش (۱) به حذف کربن مونوکسید و واکنش (۲) به حذف نیتروژن مونوکسید مربوط هستند. این واکنش‌ها به دلیل انرژی فعال‌سازی زیاد، در دمای پایین انجام نمی‌شوند و یا بسیار کند هستند. معادله واکنش‌های انجام شده به‌صورت زیر است:



در اثر تولید ۲ مول فراورده در واکنش (۱) مقدار ۵۶۶ کیلوژول و در اثر تولید ۲ مول فراورده در واکنش (۲) مقدار ۱۸۱ کیلوژول گرما آزاد می‌شود که اختلاف آن‌ها ۳۸۵ کیلوژول است.

بررسی گزینه (۴): انرژی فعال‌سازی رفت واکنش (۲) برابر ۳۸۱ کیلوژول و انرژی فعال‌سازی رفت واکنش (۱) برابر ۳۳۴ کیلوژول است، پس سرعت رفت واکنش (۱) کمتر است، اما انرژی فعال‌سازی واکنش‌های برگشت (۱) و (۲) به‌ترتیب ۹۰۰ و ۵۶۲ کیلوژول است، پس سرعت برگشت واکنش (۲) بیشتر است.

۱۲۵ (A) ۳: واکنش‌های مربوط به حذف آلاینده‌ها درون یک مبدل کاتالیستی به‌صورت زیر است:

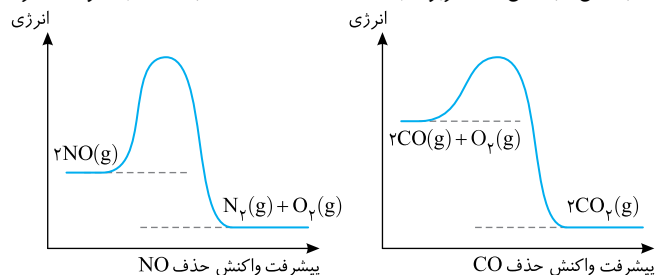


کاتالیزگرها اغلب به‌صورت اختصاصی و انتخابی عمل می‌کنند و سرعت هر کدام از این سه واکنش توسط یک کاتالیزگر خاص افزایش می‌یابد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
 گزینه (۱): هر سه واکنش $\Delta H < 0$ دارند و گرماده هستند.

گزینه (۲): واکنش‌های مربوط به حذف گازهای CO و NO انرژی فعال‌سازی زیاد دارند و در دمای پایین یا انجام نمی‌شوند و یا بسیار کند انجام می‌شوند.

گزینه (۴): در هر سه واکنش، رابطه روبرو برقرار است: واکنش‌دهنده‌ها > فراورده‌ها: مقایسه پایداری $\Rightarrow$ واکنش‌دهنده‌ها < فراورده‌ها: مقایسه سطح انرژی

۱۲۶ (A) ۲: نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) واکنش‌های مربوط به حذف گازهای CO و NO به‌صورت زیر است:



اختلاف سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش) و فراورده‌ها برابر با E_a (برگشت) و اختلاف سطح انرژی قله نمودار (انرژی - پیشرفت واکنش)

و واکنش‌دهنده‌ها برابر با E_a (رفت) است. در واکنش حذف گاز CO، E_a (برگشت) بزرگ‌تر از E_a (رفت) است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در واکنش مربوط به حذف گاز NO، سرعت واکنش رفت (تجزیه NO(g)) بیشتر از سرعت واکنش برگشت (تولید NO(g)) است، زیرا E_a (رفت) کمتر از E_a (برگشت) است.

گزینه (۳): هر دو واکنش انرژی فعال‌سازی زیادی دارند و برای انجام شدن آن‌ها باید از کاتالیزگر استفاده کرد.

گزینه (۴): واکنش حذف هیدروکربن‌های نسوخته گرماده است. در نتیجه E_a (برگشت) بزرگ‌تر از E_a (رفت) است.

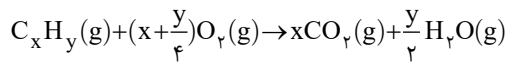
۱۲۷) شکل یک مبدل کاتالیستی را نشان می‌دهد. گازهای CO ، NO و هیدروکربن‌های نسوخته مولکول‌های ورودی به قطعه و H_2O ، گازهای

N_2 ، O_2 و CO_2 خروجی‌های این قطعه هستند. عبارت‌های (الف)، (ب) و (پ) درست است. **بررسی سایر عبارت‌ها:**

عبارت (الف): در میان مولکول‌های وارد شده به قطعه CO و در میان مولکول‌های خارج شده از قطعه، N_2 دارای پیوند سه‌گانه است.

عبارت (ب): NO در واکنش تولید اوزون تروپوسفری به همراه اوزون تولید می‌شود.

عبارت (پ): CO_2 در واکنش حذف انواع هیدروکربن‌ها و در واکنش حذف گاز کربن مونواکسید تولید می‌شود.



عبارت (ت): هیدروکربن‌های وارد شده به قطعه، مخلوطی از چند مولکول مختلف هستند، نه فقط مولکول C_8H_{18} که فرمول مولکولی میانگین ترکیب‌های موجود در بنزین است.

۱۲۸) با توجه به جدول نشان داده شده می‌توان دریافت که در حضور قطعه A، مقدار زیادی از آلاینده‌ها نمی‌توانند وارد هواکره شوند و این امر نشان می‌دهد که این قطعه کار خود را با بازدهی بالایی انجام می‌دهد. عملکرد این قطعه وابسته به نوع کاتالیزگرهای موجود در آن است. در این قطعه ۳ نوع کاتالیزگر وجود دارد که هر کدام یک واکنش خاصی را سرعت می‌بخشند و به‌صورت اختصاصی و انتخابی عمل می‌کنند. این قطعه را در مسیر گازهای خروجی از خودروها قرار می‌دهند تا با واکنش‌های شیمیایی که توسط آن کاتالیز می‌شود، مقدار آلاینده‌های خروجی از خودرو کاهش یابد.

۱۲۹) ابتدا مقداری از آلاینده‌ها که به ازای طی مسافت یک کیلومتر به ازای یک خودرو از ورود آن‌ها به هوا جلوگیری می‌شود را به‌دست می‌آوریم.

$$\text{CO} : 5/99 - 0/61 = 5/38 \text{ g}$$

$$\text{C}_x\text{H}_y : 1/67 - 0/07 = 1/6 \text{ g}$$

$$\text{NO} : 1/04 - 0/04 = 1 \text{ g}$$

جرمی از آلاینده‌ها که به ازای طی مسافت یک کیلومتر به ازای یک خودرو توسط مبدل‌ها جذب می‌شود و از ورود آن به هواکره جلوگیری می‌شود:

$$5/38 + 1/6 + 1 = 7/98 \text{ g}$$

حال جرمی از آلاینده‌ها که به ازای 10^6 خودرو و طی مسافت روزانه 50 کیلومتر برای هر خودرو توسط مبدل‌ها جذب می‌شود را به‌دست می‌آوریم:

$$\text{آلاینده } 399 \text{ ton} = \frac{\text{آلاینده } 1 \text{ ton}}{\text{آلاینده } 1 \text{ km}} \times \frac{7/98 \text{ g آلاینده}}{1 \text{ km}} \times \frac{50 \text{ km}}{1 \text{ خودرو}} \times \text{خودرو } 10^6 = 399 \text{ ton}$$

۱۳۰) بدون توجه به تعداد ماه‌ها یا فصل می‌توان درصد جرمی آلاینده‌ای که به هوا وارد نشده است را به‌دست آورد، زیرا اطلاعات داده شده مربوط به فصل یا ماه خاصی نمی‌باشد. کافی است این درصد را به‌صورت کلی برای یک خودرو و به ازای طی کردن یک کیلومتر مسافت محاسبه کنیم.

مقدار آلاینده‌هایی که در غیاب مبدل وارد هواکره می‌شود:

$$1/67 \text{ g C}_x\text{H}_y + 5/99 \text{ g CO} + 1/04 \text{ g NO} = 8/7 \text{ g آلاینده}$$

مقدار آلاینده‌هایی که از ورود آن‌ها به هواکره در حضور مبدل جلوگیری می‌شود:

$$8/7 \text{ g} - (1/04 \text{ g NO} + 0/07 \text{ g C}_x\text{H}_y + 0/61 \text{ g CO}) = 7/98 \text{ g}$$

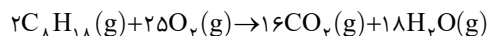
$$\text{درصد آلاینده‌ای که به هوا وارد نشده} = \frac{7/98 \text{ g}}{8/7 \text{ g}} \times 100 = 91/72\%$$

۱۳۱) در غیاب کاتالیزگر هر خودرو به ازای طی 1 کیلومتر، $1/04$ گرم NO و در حضور کاتالیزگر، $0/04$ گرم NO وارد هوا می‌کند. بنابراین از ورود 1 گرم NO به هوا جلوگیری می‌شود. حال به محاسبه مقدار مولی از NO که طی یک ماه از ورود آن به هوا جلوگیری شده است، می‌پردازیم:

$$? \text{ mol NO} = 30 \text{ روز} \times \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ روز}} \times \frac{1 \text{ g NO}}{30 \text{ g NO}} \times \frac{1 \text{ mol NO}}{30 \text{ g NO}} = v \text{ mol NO}$$

۱۳۲) واکنش انجام شده درون مبدل کاتالیستی برای کاهش مقدار هیدروکربن‌ها، واکنش سوختن آن‌هاست. مقدار گاز اوکتان خروجی از اگزوز خودروها به ازای طی یک کیلومتر به اندازه $(1/67 - 0/07 = 1/6 \text{ g})$ کاهش پیدا می‌کند.

با توجه به واکنش سوختن اوکتان، می‌توان مقدار گاز اکسیژن لازم برای کاهش این مقدار از گاز اوکتان را به ازای طی مسافت 19 کیلومتر برای یک خودرو

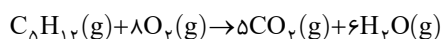
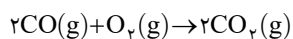


محاسبه کرد:

$$? \text{ g O}_2(\text{g}) = 57 \text{ km} \times \frac{1/6 \text{ g اوکتان}}{1 \text{ km مسافت}} \times \frac{1 \text{ mol اوکتان}}{114 \text{ g اوکتان}} \times \frac{25 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol اوکتان}} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 320 \text{ g O}_2$$

۱۳۳ (C)

گاز کربن دی‌اکسید در اثر فعالیت‌های کاتالیستی در دو واکنش روبه‌رو تولید می‌شود:



تفاوت مقدار کربن دی‌اکسید در حضور و غیاب مبدل به ازای طی یک کیلومتر مسافت را محاسبه می‌کنیم:

مقدار کربن مونواکسید: $6/15 - 0/55 = 5/6 \text{ g CO}$

$$? \text{ g CO}_2 = 5/6 \text{ g CO} \times \frac{1 \text{ mol CO}}{28 \text{ g CO}} \times \frac{2 \text{ mol CO}_2}{2 \text{ mol CO}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 8/8 \text{ g CO}_2$$

مقدار پنتان: $1/6 - 0/16 = 1/44 \text{ g}$

$$? \text{ g CO}_2 = 1/44 \text{ g C}_5\text{H}_{12} \times \frac{1 \text{ mol C}_5\text{H}_{12}}{72 \text{ g C}_5\text{H}_{12}} \times \frac{5 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}_5\text{H}_{12}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 4/4 \text{ g CO}_2$$

پس تفاوت مقدار کل کربن دی‌اکسید تولید شده در حضور و غیاب مبدل، طی مسافت یک کیلومتر برابر $8/8 + 4/4 = 13/2 \text{ g}$ است و برای طی کردن

$$? \text{ kg CO}_2 = 20000 \text{ km} \times \frac{13/2 \text{ g CO}_2}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ kg CO}_2}{1000 \text{ g CO}_2} = 264 \text{ kg CO}_2$$

مسافت ۲۰۰۰۰ کیلومتر به دست می‌آورد:

۱۳۴ (B)

واکنش مربوط به حذف آلایندۀ CO به صورت $2\text{CO(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_2\text{(g)}$ است. در حضور مبدل کاتالیستی نسبت به غیاب آن، ۵/۶g گاز CO از آلایندہ‌های خروجی از اگزوز خودرو حذف می‌شود.

$$? \text{ g O}_2 = 80 \text{ km} \times \frac{5/6 \text{ g CO}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ mol CO}}{28 \text{ g CO}} \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol CO}} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 256 \text{ g O}_2$$

۱۳۵ (A)

چند نکته در مورد مبدل‌های کاتالیستی

کلاس درس

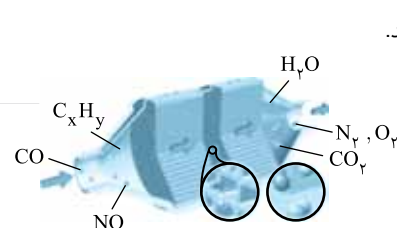
سر

در این کلاس درس به دنبال پاسخ چند سؤال مهم در رابطه با مبدل‌های کاتالیستی هستیم. سؤالانی مانند: چرا مبدل‌های کاتالیستی را به شکل توری می‌سازند؟ یا چرا مبدل‌ها در هنگام شروع به کار خودروها مخصوصاً در روزهای سرد زمستان کارایی ندارند؟ و ...

۱- مبدل‌های توری شکل، مبدل‌های به شکل مش

۱- مبدل‌های کاتالیستی توری‌هایی از جنس سرامیک هستند که سطح آن‌ها با فلزهای پلاتین (Pt)، پالادیم (Pd) و رودیم (Rh) پوشانده شده است. علت این که این مبدل‌ها را به شکل توری می‌سازند این است که مدت زمان حضور آلایندہ‌ها در مبدل کاتالیستی بیشتر شده و از خروج سریع آن‌ها جلوگیری شود. در واقع برای انجام شدن واکنش‌هایی که آلایندہ‌ها را از بین می‌برند، لازم است آلایندہ‌ها مدت زمان کافی را در مبدل کاتالیستی حضور داشته باشند. به همین دلیل محفظه داخل مبدل کاتالیستی را به شکل توری (تعدادی شبکه دارای برجستگی و شیار) می‌سازند تا ذره‌های گاز با برخورد با این شیارها در آن گیر افتاده و در واکنش‌های مورد نظر شرکت کنند.

مبدل‌های کاتالیستی را به شکل توری می‌سازند ← تا آلایندہ‌ها در مبدل گیر افتاده و زمان کافی برای انجام واکنش داشته باشند



توجه: توری بودن مبدل‌های کاتالیستی موجب می‌شود تا سطح تماس آلایندہ‌ها و کاتالیزرها نیز افزایش یابد.

۲- در برخی از مبدل‌های کاتالیستی مانند شکل روبه‌رو، سرامیک را به شکل مش (دانه‌های ریز درمی‌آورند و کاتالیزگر را روی سطح آن می‌نشانند. در این حالت در سطح سرامیک‌ها توده‌های فلزی با قطر ۲ تا ۱۰ نانومتر ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) وجود دارند. تجربه نشان می‌دهد که این مبدل‌ها کارایی بالاتری دارند، زیرا سطح تماس کاتالیزگر با آلایندہ‌ها در مش‌ها نسبت به توری‌ها بیشتر است و هر چه سطح تماس بیشتر باشد، سرعت واکنش نیز بیشتر است.

سرامیک‌های به شکل مش‌های ریز ← افزایش سطح تماس کاتالیزرها و آلایندہ‌ها و افزایش سرعت انجام واکنش

۳- در گازهای خروجی از اگزوز خودروها در هنگام روشن و گرم شدن خودرو و به ویژه در روزهای سرد زمستان، با وجود مبدل کاتالیستی گازهای C_xH_y ، NO و CO به مقدار بیشتری مشاهده می‌شوند، زیرا مبدل‌های کاتالیستی در دماهای پایین کارایی خود را از دست می‌دهند و برای این که کارایی خوبی داشته باشند، باید دمای آن‌ها نسبتاً بالا باشد، ولی در هنگام روشن و گرم شدن خودرو و به ویژه در روزهای سرد زمستان، دما پایین است و مبدل کاتالیستی درست عمل نمی‌کند.

مبدل‌های کاتالیستی در دماهای پایین کارایی ندارند ← در دماهای پایین حتی با حضور مبدل کاتالیستی نیز آلایندہ‌ها تولید می‌شوند

توجه: یکی از راه‌های حل این مشکل استفاده از مبدل‌هایی است که دارای مواد شیمیایی ویژه و سیستم عایق‌بندی شده خاصی باشند که بتوانند برای مدت بیشتری دما را بالا نگه دارند. برای این منظور مبدل‌ها باید توانایی این را داشته باشند که حتی بعد از خاموش شدن خودرو و سرد شدن موتور خودرو حداقل برای ۲۴ ساعت دمای بالای خود را حفظ نمایند. در این صورت، در هنگام روشن شدن خودرو دیگر دمای مبدل پایین نیست و مبدل کارایی خود را از دست نمی‌دهد. البته می‌توان خودرو را طوری طراحی کرد که مبدل کاتالیستی پیش از روشن شدن موتور خودرو توسط یک وسیله مناسب، مانند گرم‌کن الکتریکی گرم شده و دمای آن تا حد نیاز افزایش یابد.

۴- با استفاده از مبدل‌های کاتالیستی در خودروها، بهبود کیفیت خودروها، تولید سوخت پاک، تبدیل آلاینده‌ها به مواد معدنی دیگر و ... می‌توان میزان آلاینده‌های موجود در هوا را به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

۵- جدول زیر مقدار برخی آلاینده‌ها را در گازهای خروجی از اگزوز خودروها در غیاب و حضور مبدل کاتالیستی نشان می‌دهد.

NO	C _x H _y	CO	فرمول شیمیایی آلاینده‌ها	
۱/۰۴	۱/۶۷	۵/۹۹	در غیاب مبدل	مقدار آلاینده‌ها برحسب گرم به ازای طی یک کیلومتر
۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۶۱	در حضور مبدل	
۱	۱/۶	۵/۳۸	برحسب گرم	مقدار کاهش آلاینده در حضور مبدل به ازای طی یک کیلومتر
٪۹۶/۲	٪۹۵/۸	٪۸۹/۸	برحسب درصد	

اما با توجه به اطلاعات موجود در این جدول به مقایسه‌های مهم زیر می‌رسیم:

(الف) مقایسه مقدار آلاینده‌ها در غیاب مبدل: $CO > C_xH_y > NO$

(ب) مقایسه مقدار آلاینده در حضور مبدل: $CO > C_xH_y > NO$

(پ) مقایسه درصد کاهش آلاینده در حضور مبدل: $NO > C_xH_y > CO$

توجه: در غیاب مبدل کاتالیستی هر خودرو به ازای طی یک کیلومتر مسافت در مجموع ۸/۷ گرم آلاینده را وارد هوا کرده می‌کند، این در حالی است که در حضور مبدل کاتالیستی هر خودرو به ازای طی یک کیلومتر مسافت در مجموع ۰/۷۲ گرم (کمتر از ۱ گرم) آلاینده وارد هوا کرده می‌کند.

۶- مبدل‌های کاتالیستی برای مدت طولانی کار می‌کنند، اما پس از مدت معینی کارایی آن‌ها کاهش یافته و دیگر قابل استفاده نیستند.

شکل یک مبدل کاتالیستی را نشان می‌دهد. می‌دانیم توری‌های با جنس سرامیک موجود در آن با فلزهای Pt، Pd و Rh پوشیده شده است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): مبدل کاتالیستی باعث کاهش یا حذف آلاینده‌ها می‌شود.

گزینه (۲): بر روی سطح این قطعه سرامیکی که به شکل توری به کار می‌رود، فلزهای رودیم، پالادیم و پلاتین نشانده شده است.

گزینه (۳): این امر به تأثیر افزایش سطح تماس بر افزایش سرعت واکنش اشاره دارد.

۱۳۶ (B) بررسی پرسش‌ها:

پرسش (الف): برای این‌که گازهای CO، NO و C_xH_y به سرعت از مبدل کاتالیستی عبور نکنند، یک سری برجستگی و فرورفتگی در آن ایجاد می‌کنند.

پرسش (ب): کاتالیزگرهای مبدل کاتالیستی را روی سطح توری می‌نشانند تا سطح تماس آلاینده‌ها با کاتالیزگر و سرعت واکنش افزایش یابد.

پرسش (پ): اگر مبدل‌های کاتالیستی به شکل مش‌های ریز در آیند، آلاینده‌ها بیشتر با آن‌ها در تماس بوده، بیشتر وارد واکنش شده و بازده درصدی واکنش افزایش می‌یابد.

۱۳۷ (A) ۳ در سطح سرامیک‌های درون مبدل کاتالیستی، توده‌های فلزی با قطر ۲ تا ۱۰ نانومتر وجود دارد. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): مبدل کاتالیستی حاوی ۳ نوع کاتالیزگر (فلزهای رودیم (Rh)، پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt)) است.

گزینه (۲): کاتالیزگرها نمی‌توانند سرعت هر واکنشی را زیاد کنند و فقط به تعداد معدودی واکنش سرعت می‌بخشند.

گزینه (۴): با این‌که مبدل کاتالیستی برای مدت طولانی کار می‌کند، اما پس از مدت معینی کارایی آن کاهش می‌یابد و دیگر قابل استفاده نیست.

۱۳۸ (B) ۳ عبارت‌های (الف) و (ب) نادرست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): مبدل‌های کاتالیستی مقدار آلاینده‌ها را به صفر نمی‌رسانند و در همه روزها، مقداری آلاینده از اگزوز خودروها خارج می‌شوند.

عبارت (ب): گاز نیتروژن مونواکسید در داخل مبدل کاتالیستی به گازهای N_۲ و O_۲ تبدیل می‌شود.

عبارت (پ): با استفاده از کاتالیزگرهای مبدل کاتالیستی می‌توان واکنش‌ها را در دماهای پایین‌تر و با سرعت مناسب انجام داد.

عبارت (ت): با توجه به متن و شکل‌های کتاب درسی، این عبارت درست است.

۱۳۹ (B) ۲ بررسی پاسخ پرسش‌ها:

پرسش (الف): در روزهای سرد نسبت به روزهای گرم در هنگام روشن و گرم شدن موتور خودرو، مقدار بیشتری از آلاینده‌ها وارد هوا کرده می‌شود.

پرسش (ب): در هنگام روشن و گرم شدن خودرو از آن‌جا که مبدل کاتالیستی هنوز دمای پایینی دارد، کارایی لازم را نداشته و در نتیجه مقدار زیادی از آلاینده‌های CO، NO و C_xH_y از اگزوز خودرو خارج می‌شوند.

پرسش (پ): یک راه مناسب برای غلبه بر این مشکل استفاده از مبدل‌هایی است که دارای مواد شیمیایی و سیستم عایق‌بندی مخصوصی هستند که می‌توانند دمای بالا را برای مدت نسبتاً طولانی در خود نگه دارند.

۱۴۰ (B) عبارتهای (الف)، (ب) و (پ) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): در واکنش مربوط به حذف گاز CO در مبدل‌های کاتالیستی، گاز CO به گاز CO_۲ تبدیل می‌شود که عدد اکسایش کربن در این دو ترکیب به ترتیب برابر (۲+) و (۴+) است؛ در نتیجه کربن اکسایش یافته و CO نقش کاهنده را دارد. در واکنش حذف گاز NO، گاز NO به گاز N_۲ تبدیل می‌شود که عدد اکسایش نیتروژن در این دو ترکیب به ترتیب برابر (۲+) و ۰ است؛ در نتیجه نیتروژن کاهش یافته و NO نقش اکسنده را دارد.

عبارت (ب): کاتالیزگر در واکنش شرکت می‌کند، اما مصرف نمی‌شود و باقی می‌ماند، پس باید پایداری شیمیایی و گرمایی مناسبی داشته باشد.

عبارت (پ): در حضور کاتالیزگر نباید واکنش‌های ناخواسته دیگری انجام شود.

عبارت (ت): مبدل‌های کاتالیستی در دماهای پایین کارایی خود را از دست می‌دهند و برای کارکرد مناسب باید دمای آن‌ها به مقدار مشخصی رسیده باشد.

۱۴۱ (A) ۴

مبدل کاتالیستی در خودروهای دیزلی

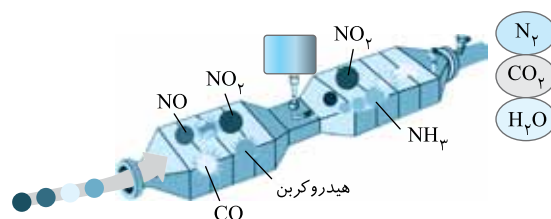
کلاس درس

۴۳

آموختیم که با استفاده از مبدل کاتالیستی می‌توان از ورود آلاینده‌های تولید شده در خودروهای بنزینی به هواکره جلوگیری کرد. حال یک سؤال مطرح می‌شود: آیا از این نوع مبدل‌ها می‌توان در خودروهای دیزلی نیز استفاده کرد یا خیر؟

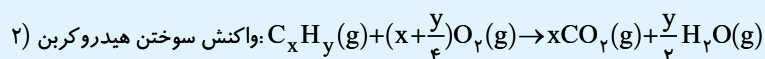
۱- واکنش‌های انجام شده در مبدل‌های کاتالیستی خودروهای دیزلی

۱- بررسی‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از مبدل‌های کاتالیستی خودروهای بنزینی نمی‌توان گازهای NO و NO_۲ خروجی از خودروهای دیزلی را به گاز نیتروژن تبدیل کرد، به همین دلیل پژوهشگران و مهندسان برای خودروهای دیزلی مبدلی به شکل زیر طراحی کردند:



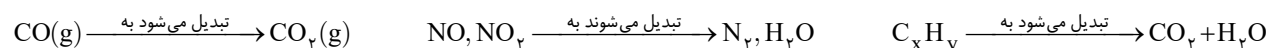
نکته

در مبدل کاتالیستی به کار رفته خودروهای دیزلی واکنش‌های زیر برای حذف یا کاهش آلاینده‌های CO، NO، NO_۲ و C_xH_y انجام می‌شود:



توجه: در این مبدل با ورود گاز آمونیاک (NH_۳(g))، گازهای NO و NO_۲ به گاز N_۲ تبدیل شده و تا حدود زیادی از ورود گازهای NO و NO_۲ به هواکره جلوگیری می‌شود.

۲- گازهای ورودی به مبدل کاتالیستی در خودروهای دیزلی CO، NO، NO_۲ و C_xH_y (هیدروکربن‌ها) و NH_۳ هستند. از طرفی گازهای خروجی از این مبدل شامل N_۲، CO_۲ و بخار آب است. در واقع آلاینده‌های خارج شده از موتور خودروهای دیزلی به صورت زیر تبدیل به مواد کم‌خطرتری می‌شوند.



۱- مقایسه مبدل‌های کاتالیستی در خودروهای دیزلی و خودروهای بنزینی

۱- خودروهای دیزلی کم‌مصرف‌تر از موتورهای بنزینی هستند.

۲- در خودروهای بنزینی سوخت به کمک جرعه شمع مشتعل می‌شود، در حالی که خودروهای دیزلی برای مشتعل کردن سوخت به جرعه نیاز ندارند، در واقع در خودروهای دیزلی این وظیفه را هوای فشرده شده در دما و فشار معین انجام می‌دهد.

۳- در اثر سوختن بنزین، گاز NO_۲ از موتور خودرو وارد اگزوز نمی‌شود. در واقع می‌توان گفت گاز NO_۲ وارد مبدل‌های کاتالیستی خودروهای بنزین‌سوز نمی‌شود. این در حالی است که به دلیل فشار زیاد در موتور خودروهای دیزلی، گاز N_۲ موجود در هوا در حین سوختن گازوئیل با اکسیژن واکنش داده و تبدیل به NO_۲ می‌شود.

در خودروهای بنزین سوز: CO(g) ، NO(g) و $\text{C}_x\text{H}_y\text{(g)}$

گازهای ورودی به مبدل کاتالیستی

در خودروهای دیزلی: CO(g) ، NO(g) ، $\text{NO}_x\text{(g)}$ ، $\text{C}_x\text{H}_y\text{(g)}$ و $\text{NH}_3\text{(g)}$

۴- کاتالیزگرهای به کار رفته در مبدل کاتالیستی خودروهای بنزین سوز شامل فلزهای رودیم (Rh)، پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt) است، در حالی که

کاتالیزگرها در مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی اغلب عبارتند از: پالادیم (Pd)، پلاتین (Pt) و آلومینیم اکسید (Al_2O_3)

۵- در مبدل کاتالیستی خودروهای بنزین سوز واکنش‌هایی که برای حذف یا کاهش آلاینده‌های خارج شده از اگزوز در نظر گرفته شده‌اند، همگی در یک محفظه

انجام می‌شوند، اما در مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی دو محفظه انجام واکنش داریم، به طوری که در محفظه اول واکنش سوختن $\text{C}_x\text{H}_y\text{(g)}$ ، CO(g)

انجام می‌شود و سپس در محفظه دوم پس از وارد کردن مقداری گاز آمونیاک ($\text{NH}_3\text{(g)}$) واکنش تبدیل گازهای NO و NO_x به گاز N_2 انجام می‌شود.

واکنش تبدیل گازهای NO و NO_x به N_2 به صورت $\text{NO(g)} + \text{NO}_x\text{(g)} + 2\text{NH}_3\text{(g)} \rightarrow 2\text{N}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{O(g)}$ است که مجموع ضرایب مولی

فرآورده ۵ و مجموع ضرایب مولی واکنش دهنده‌ها برابر ۴ و تفاوت آن‌ها برابر ۱ است.

۱۴۲/۱ واکنش مربوط به تجزیه NO(g) به $\text{N}_2\text{(g)}$ و $\text{O}_2\text{(g)}$ در مبدل‌های کاتالیستی خودروهای دیزلی انجام نمی‌شود. در این مبدل‌ها، NO(g)

براساس واکنش روبه‌رو تجزیه می‌شود. $\text{NO(g)} + \text{NO}_x\text{(g)} + 2\text{NH}_3\text{(g)} \rightarrow 2\text{N}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{O(g)}$

۱۴۳/۳ واکنش انجام شده در مبدل دیزلی $\text{NO(g)} + \text{NO}_x\text{(g)} + 2\text{NH}_3\text{(g)} \rightarrow 2\text{N}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{O(g)}$ است. مولکولی که در این واکنش اتم مرکزی

آن دارای ۲ جفت الکترون ناپیوندی است، $\text{H}_2\text{O(g)}$ است که ضریب استوکیومتری آن برابر ۳ می‌باشد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): N_2 و H_2O در مبدل‌های کاتالیستی خودروهای بنزینی هم تولید می‌شوند. (به ترتیب در واکنش‌های حذف NO و حذف هیدروکربن‌ها)

گزینه (۲): این واکنش از مقدار گاز NO_x که عامل ایجاد رنگ قهوه‌ای در هواکره است، می‌کاهد.

گزینه (۴): NH_3 به عنوان فرآورده فرایند هابر یکی از واکنش دهنده‌های این واکنش است.

۱۴۴/۱ مولکول‌های وارد شده به قطعه در قسمت A: NO ، NO_x ، CO و هیدروکربن

مولکول‌های وارد شده به قطعه در قسمت B: NO_x و NH_3

مولکول‌های خارج شده از قطعه: N_2 ، CO_2 و H_2O

۱۴۵/۱ **بررسی گزینه‌ها:**

گزینه (۱): فرآورده‌های واکنش سوختن ناقص هیدروکربن‌ها، CO(g) و $\text{H}_2\text{O(g)}$ هستند. CO(g) جزء مولکول‌های خارج شده از این قطعه نیست. این

مولکول از قسمت A وارد مبدل می‌شود.

گزینه (۲): در قسمت‌های مختلف این مبدل کاتالیستی در مجموع ۳ نوع ترکیب نیتروژن دار یعنی NO_x ، NO و NH_3 مشاهده می‌شود. توجه داشته

باشید که N_2 یک عنصر است نه ترکیب.

گزینه (۳): در قسمت A، گازهای CO ، NO و NO_x و هیدروکربن‌ها مشاهده می‌شود.

گزینه (۴): این دو ویژگی به علاوه پایداری شیمیایی و گرمایی مناسب، برای هر کاتالیزگری الزامی است.

۱۴۶/۲ گازهای وارد شده به مبدل کاتالیستی خودروهای بنزینی: C_xH_y ، NO و CO

گازهای وارد شده به مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی: NH_3 ، NO_x ، C_xH_y ، NO و CO

گازهای خارج شده از مبدل کاتالیستی خودروهای بنزینی: O_2 ، N_2 ، H_2O و CO_2

گازهای خارج شده از مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی: N_2 ، H_2O و CO_2

تنوع گازهای وارد شده به مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی و تنوع گازهای خارج شده از مبدل کاتالیستی خودروهای بنزینی بیشتر است.

۱۴۷/۱ **عبارت‌های (الف) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): مبدل کاتالیستی خودروهای بنزینی از یک محفظه تشکیل شده است، در حالی که مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی دو محفظه دارد.

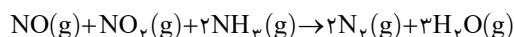
عبارت (ب): در محفظه اول مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی دو واکنش مربوط به حذف گاز CO و حذف گاز C_xH_y و در محفظه دوم، واکنش

$(\text{NO(g)} + \text{NO}_x\text{(g)} + 2\text{NH}_3\text{(g)} \rightarrow 2\text{N}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{O(g)})$ انجام می‌شود. بنابراین گاز اکسیژن در واکنش انجام شده در محفظه دوم مصرف نمی‌شود.

عبارت (پ): همان‌طور که در عبارت (ب) اشاره کردیم، واکنشی که فرآورده آن $\text{N}_2\text{(g)}$ است، در محفظه دوم انجام می‌شود.

عبارت (ت): در محفظه اول $\text{H}_2\text{O(g)}$ در واکنش حذف C_xH_y و در محفظه دوم در واکنش مربوط به حذف گازهای NO و NO_x تولید می‌شود.

واکنش انجام شده درون مبدل کاتالیستی در خودروهای دیزلی به صورت زیر است:



ابتدا مقدار آمونیاک مصرفی را محاسبه می‌کنیم:

$$? \text{ g NH}_3 = 140 \text{ g N}_2 \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28 \text{ g N}_2} \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{2 \text{ mol N}_2} \times \frac{17 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} = 85 \text{ g NH}_3$$

آلاینده‌های نیتروژن دار خروجی از موتور خودرو، گازهای NO و NO₂ هستند. مقدار کاهش این آلاینده‌ها برابر است با:

$$? \text{ g NO} = 140 \text{ g N}_2 \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28 \text{ g N}_2} \times \frac{1 \text{ mol NO}}{2 \text{ mol N}_2} \times \frac{30 \text{ g NO}}{1 \text{ mol NO}} = 75 \text{ g NO}$$

$$? \text{ g NO}_2 = 140 \text{ g N}_2 \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28 \text{ g N}_2} \times \frac{1 \text{ mol NO}_2}{2 \text{ mol N}_2} \times \frac{46 \text{ g NO}_2}{1 \text{ mol NO}_2} = 115 \text{ g NO}_2$$

مجموع جرم کاهش یافته آلاینده‌ها: $75 + 115 = 190 \text{ g}$

می‌توان گازهای NO و NO₂ را یک ترکیب واحد با جرم مولی ($30 + 46 = 76 \text{ g.mol}^{-1}$) در نظر گرفت و محاسبه را کوتاه‌تر کرد:

$$? \text{ g (NO, NO}_2\text{)} = 140 \text{ g N}_2 \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28 \text{ g N}_2} \times \frac{1 \text{ mol (NO, NO}_2\text{)}}{2 \text{ mol N}_2} \times \frac{76 \text{ g (NO, NO}_2\text{)}}{1 \text{ mol (NO, NO}_2\text{)}} = 190 \text{ g (NO, NO}_2\text{)}$$

ابتدا مقداری از آلاینده‌ها که در غیاب مبدل وارد هوا می‌شوند را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{1}{6} \text{ g C}_x\text{H}_y + 6 \text{ g CO} + \frac{1}{4} \text{ g NO} = \frac{8}{71} \text{ g آلاینده}$$

سپس مقداری از آلاینده‌ها که در حضور مبدل وارد هوا می‌شوند را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{1}{6} \text{ g C}_x\text{H}_y + \frac{1}{6} \text{ g CO} + \frac{1}{4} \text{ g NO} = \frac{8}{71} \text{ g آلاینده}$$

$$\frac{8}{71} - \frac{8}{71} = 0$$

جرم کاهش یافته آلاینده‌ها برابر ۸ گرم است.

$$\text{درصد کاهش آلاینده‌ها} = \frac{8 \text{ g}}{8/71 \text{ g}} \times 100 \approx 92\%$$

درصد کاهش آلاینده‌ها برابر است با:

مقدار آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودرو در حضور مبدل کاتالیستی در یک سال نیز برابر است با:

$$1000000 \times \frac{1000 \text{ km}}{1 \text{ خودرو}} \times \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ton}}{10^6 \text{ g}} = 10 \text{ ton}$$

عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

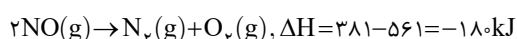
عبارت (الف): یک کاتالیزگر نمی‌تواند همه واکنش‌ها را سرعت ببخشد، به طوری که هر کاتالیزگر می‌تواند تعداد معدودی واکنش را سرعت ببخشد.

عبارت (ب): یکی از ویژگی‌های کاتالیزگرها این است که باید در شرایط انجام واکنش پایداری شیمیایی و گرمایی مناسبی داشته باشند.

عبارت (پ): درون مبدل‌های کاتالیستی به شکل توری از جنس سرامیک است و کاتالیزگرها را روی سطح توری می‌نشانند.

عبارت (ت): گاز NO تولید شده در موتور خودرو در مجاورت کاتالیزگر به گازهای N₂ و O₂ تجزیه می‌شود.

۱۵۱ (B) ۳



به دلیل استفاده از مبدل کاتالیستی، در هر کیلومتر پیمایش یک گرم آلاینده (NO) مصرف شده و از ورود آن به هوا که جلوگیری می‌شود:

$$\text{NO} = 1/04 - 0/04 = 1 \text{ g NO}$$

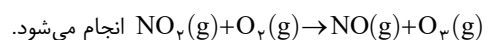
اکنون می‌توانیم گرمای تولید شده در مبدل کاتالیستی به ازای پیمایش ۱۰۰ km مسافت را محاسبه کنیم:

$$? \text{ kJ} = \frac{1 \text{ g NO}}{1 \text{ km}} \times 100 \text{ km} \times \frac{1 \text{ mol NO}}{30 \text{ g NO}} \times \frac{180 \text{ kJ}}{2 \text{ mol NO}} = 300 \text{ kJ}$$

عبارت‌های (الف)، (ب) و (ت) درست‌اند. **بررسی عبارت‌ها:**

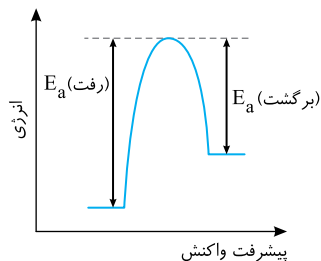
عبارت (الف): امروزه با رشد دانش و فناوری، گسترش صنایع گوناگون و با رفتارهای نادرست، دسترسی به هوای پاک محدودتر شده است.

عبارت (ب): با کاهش مقدار گاز قهوه‌ای رنگ NO₂، مقدار گاز O₂ که آلوتروپ گاز اکسیژن است، افزایش می‌یابد. زیرا واکنش



عبارت (پ): فسفر سفید برخلاف گاز هیدروژن در هوا و در دمای اتاق می‌سوزد. با توجه به این موضوع انرژی فعال‌سازی آن کمتر است.

عبارت (ت): واکنش بین گازهای هیدروژن و اکسیژن در اثر ایجاد جرقه به صورت انفجاری انجام می‌شود و در حضور پودر روی و در حضور توری پلاتینی به ترتیب سریع و انفجاری انجام می‌شود.



۱۵۳ (B) بررسی پرسش‌ها:
پرسش (الف): در واکنش‌های گرماگیر انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت کمتر از انرژی فعال‌سازی واکنش رفت است. پس سرعت واکنش برگشت بیشتر از سرعت واکنش رفت است.
پرسش (ب): با ورود آمونیاک به مبدل‌های خودروهای دیزلی، گازهای NO و NO₂ به گازهای N₂ تبدیل می‌شوند.
پرسش (پ): بیشترین مقدار آلایندۀ خروجی از آگزوز خودروها مربوط به کربن مونوکسید است.

۱۵۴ (B) عبارت‌های (الف) و (پ) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:
عبارت (الف): کاتالیزگر را می‌توان به تونلی در یک جاده کوهستانی تشبیه کرد که با کوتاه کردن مسیر حرکت سبب می‌شود مسافران زودتر به مقصد برسند. این مواد، با تغییر مسیر انجام واکنش و کاهش انرژی فعال‌سازی سبب سریع‌تر انجام شدن واکنش می‌شوند.
عبارت (ب): با استفاده از کاتالیزگر سرعت رفت و برگشت هر دو افزایش می‌یابد.
عبارت (پ): مبدل کاتالیستی در خودروهای بنزینی که باعث حذف یا کاهش آلاینده‌ها می‌شود، یک قطعه سرامیکی است که به شکل توری و گاهی مش (دانه‌های ریز به کار می‌روند و کاتالیزگرهای رودیم (Rh)، پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt) را روی آن می‌نشانند).
عبارت (ت): در اثر استفاده از مبدل کاتالیستی در آگزوز خودروهای بنزینی بیشترین درصد کاهش آلاینده‌ها مربوط به گاز نیتروژن مونوکسید است.

آمونیاک و بهره‌وری در کشاورزی

کلاس درس

۲۵

غذا به‌عنوان محور رشد و سلامتی، یکی از ضرورت‌های زندگی است اما محدودیت منابع و روند رو به افزایش جمعیت سبب شده تا تأمین غذا به یکی دیگر از چالش‌های زندگی تبدیل شود. به نظر شما بهترین راه‌حل برای این مسئله چیست؟

آمونیاک مایع و تزریق مستقیم آن به خاک

- ۱- افزایش بهره‌وری در تولید فراورده‌های کشاورزی که با شناسایی، تولید و افزودن کودهای شیمیایی مناسب به خاک میسر می‌شود، بهترین راه‌حل برای حل چالش تأمین غذا است.
- ۲- گیاهان برای رشد افزون بر کربن دی‌اکسید و آب به عنصرهایی مانند گوگرد (S)، نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K) و ... نیاز دارند.
- ۳- گیاهان با جوی سرشار از گاز نیتروژن احاطه شده‌اند (بیش از ۷۸ درصد حجم گازهای تشکیل‌دهنده هوای پاک و خشک را گاز N₂ تشکیل می‌دهد). اما نمی‌توانند این عنصر ضروری برای رشد خود را به‌طور مستقیم از هوا جذب کنند.
- ۴- برای تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان باید نیتروژن را به شکل ترکیب‌های نیتروژن‌دار از جمله آمونیاک (NH₃) و اوره (CO(NH₂)₂) به خاک افزود.

توجه: در برخی کشورها برای افزایش بازده تولید فراورده‌های کشاورزی، آمونیاک مایع را به‌عنوان کود شیمیایی به‌طور مستقیم به خاک تزریق می‌کنند.

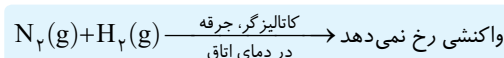
تزریق مستقیم آمونیاک مایع به خاک ← تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان

چالش تهیه آمونیاک

حال می‌دانیم آمونیاک ماده‌ای مهم در کشاورزی است. به نظر شما چگونه می‌توانیم این ماده را تهیه کنیم؟ آیا از واکنش میان عنصرهای سازندۀ آمونیاک یعنی گازهای نیتروژن (N₂) و هیدروژن (H₂) می‌توان آمونیاک تولید کرد؟

- ۱- در دمای اتاق، واکنش میان گازهای نیتروژن و هیدروژن حتی در حضور کاتالیزگر یا جرقه نیز پیش نمی‌رود، زیرا استحکام پیوندهای کووالانسی میان اتم‌های نیتروژن در مولکول‌های N₂ (N≡N) بسیار زیاد است و این واکنش برای شروع، نیاز به انرژی فعال‌سازی بالایی دارد که در دمای اتاق فراهم نمی‌شود.

توجه: برای انجام واکنش میان گازهای N₂ و H₂ باید پیوند سه‌گانه (N≡N) در N₂ و پیوند یگانه (H—H) در H₂ شکسته شود که برای شکستن یک مول از هر یک از این پیوندها به‌ترتیب به ۹۴۵ kJ و ۴۳۶ kJ انرژی نیاز داریم. بنابراین مجموع انرژی پیوندهای N₂ و H₂ زیاد است. به همین دلیل انرژی فعال‌سازی این واکنش زیاد است.



نتیجه: به دلیل انرژی فعال‌سازی زیاد:

- ۲- واکنش میان گازهای N₂ و H₂ برگشت‌پذیر است و می‌تواند در شرایط مناسب به تعادل برسد. در این تعادل در دمای معین، مخلوطی از گازهای واکنش‌دهنده (N₂, H₂) و فراورده (NH₃) با غلظت ثابت وجود دارد، بنابراین این واکنش را باید به‌صورت $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ نمایش داد.

هابر و حل چالش تهیه آمونیاک

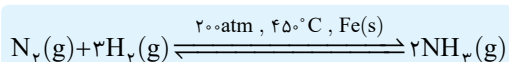
هنوز چند سؤال در مورد واکنش تهیه آمونیاک باقی مانده است: واکنش گازهای N_2 و H_2 تحت چه شرایطی انجام می‌شود؟ شرایط بهینه برای انجام این واکنش چیست؟ چگونه می‌توان فراورده (آمونیاک) بیشتری تولید کرد؟

۱- هابر به دنبال یافتن شرایط بهینه برای انجام واکنش بین $N_2(g)$ و $H_2(g)$ ، واکنش این دو گاز را بارها در دماها و فشارهای گوناگون انجام داد. چالش‌های هابر برای یافتن شرایط بهینه انجام این واکنش دو مورد زیر بود:

{ الف) واکنش میان $N_2(g)$ و $H_2(g)$ در دما و فشار اتاق انجام نمی‌شد.

{ ب) واکنش میان $N_2(g)$ و $H_2(g)$ تعادلی است، با توجه به این موضوع چگونه می‌توان آمونیاک را از مخلوط واکنش جدا کرد.

۲- هابر سرانجام موفق شد شرایط بهینه واکنش را بیابد تا سؤالات ما نیز بی‌پاسخ نماند، او متوجه شد که اگر واکنش‌دهنده‌ها در دمای $450^\circ C$ و فشار 200 atm ، از روی یک ورقه آهنی ($Fe(s)$) به‌عنوان کاتالیزگر عبور داده شوند، واکنش میان گازهای N_2 و H_2 انجام شده و آمونیاک قابل توجهی تولید می‌شود:



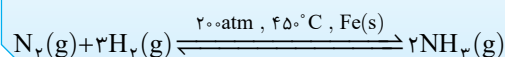
۳- هابر برای حل مشکل جدا کردن آمونیاک از مخلوط تعادلی، از سرد کردن مخلوط تعادلی تا دمای کمتر از نقطه جوش آمونیاک استفاده کرد.^۱

جمع‌بندی کلاس درس ۲۲

کاربرد: آمونیاک مایع به‌عنوان کود شیمیایی به‌طور مستقیم به خاک تزریق می‌شود.

از واکنش میان $N_2(g)$ و $H_2(g)$ در دمای اتاق نمی‌توان آمونیاک را تهیه کرد (زیرا E_a این واکنش زیاد است).

آمونیاک



فرایند هابر روش صنعتی تهیه آمونیاک است.

محدودیت منابع و روند رو به افزایش جمعیت سبب شده تا تأمین غذا به یکی از چالش‌های زندگی تبدیل شود.

۱- در فصل دوم کتاب شیمی دهم نقطه جوش آمونیاک $-34^\circ C$ و در صفحه ۱۰۸ کتاب شیمی دوازدهم نقطه جوش آمونیاک $-33^\circ C$ بیان شده است!

۱۵۶ (A) ۳ در برخی کشورها برای افزایش بازده فراورده‌های کشاورزی، آمونیاک مایع را به‌عنوان کود شیمیایی به‌طور مستقیم به خاک تزریق می‌کنند.

۱۵۷ (B) ۳ عبارتهای (الف)، (ب) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): این واکنش در دمای اتاق حتی در حضور کاتالیزگر یا جرقه نیز انجام نمی‌شود.

عبارتهای (ب) و (ت): این واکنش برگشت‌پذیر است و می‌تواند در شرایط مناسب به تعادل برسد. تعادلی که در دمای معین، مخلوطی از گازهای واکنش‌دهنده (H_2, N_2) و فراورده (NH_3) با غلظت ثابت در آن حضور دارند.

عبارت (پ): شرایط بهینه برای انجام این واکنش دمای $450^\circ C$ و فشار 20 atm در حضور کاتالیزگر آهن است.

۱۵۸ (A) ۳

یادآوری عبارت ثابت تعادل و پیشرفت واکنش

کلاس درس

۴۴

با عبارت ثابت تعادل و مفهوم پیشرفت واکنش در فصل اول آشنا شدیم. در این کلاس درس به یادآوری مطالب اصلی این دو موضوع خواهیم پرداخت، چرا که در ادامه به این مطالب نیاز داریم.

یادآوری عبارت ثابت تعادل

۱- عبارت ثابت تعادل کسری است که در صورت آن حاصل ضرب غلظت تعادلی فراورده‌ها، هر یک به توان ضریب استوکیومتری خود و در مخرج آن حاصل ضرب غلظت تعادلی واکنش‌دهنده‌ها، هر یک به توان ضریب استوکیومتری خود نوشته می‌شود. به‌عنوان مثال، با توجه به معادله واکنش تعادلی تولید

گاز آمونیاک، عبارت ثابت تعادل آن به‌صورت روبه‌رو نوشته می‌شود:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

۲- در رابطه ثابت تعادل فقط غلظت‌های تعادلی مواد نوشته می‌شود و نباید غلظت اولیه مواد در این رابطه قرار گیرد.

۳- در رابطه ثابت تعادل فقط غلظت تعادلی مواد گازی و محلول را می‌نویسیم. در واقع غلظت مواد جامد و مایع خالص را به دلیل ثابت بودن نمی‌نویسیم.

$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$, $K = [CO_2]$

۴- اگر یک واکنش تعادلی را در جهت عکس بنویسیم، رابطه و مقدار ثابت تعادل نیز معکوس می‌شود.

۵- مقدار ثابت تعادل یک واکنش فقط به دما وابسته است و در دمای ثابت مقداری ثابت دارد. در واقع تغییر غلظت، فشار و ... نمی‌توانند مقدار ثابت تعادل را تغییر دهند.

در ادامه به بررسی رابطه میزان پیشرفت واکنش و مقدار عددی ثابت تعادل می‌پردازیم.

ثابت تعادل و پیشرفت واکنش

۱- تولید فراورده بیشتر در شرایط معین، به میزان پیشرفت واکنش در آن شرایط بستگی دارد. در واقع هر چه میزان پیشرفت واکنش بیشتر باشد، درصد بیشتری از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند، بنابراین پیشرفت واکنش موضوع بسیار مهمی است. به همین دلیل شیمی‌دان‌ها به دنبال یافتن شرایطی هستند که در آن واکنش‌دهنده‌ها تا حد ممکن به فراورده‌ها تبدیل شوند.

۲- با داشتن مقدار عددی ثابت تعادل یک واکنش می‌توان در رابطه با میزان پیشرفت آن واکنش از آغاز تا لحظه تعادل صحبت کرد:

الف) اگر مقدار عددی ثابت تعادل بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده آن است که صورت کسر بزرگ‌تر از مخرج کسر است. به عبارت دیگر در لحظه برقراری تعادل، غلظت فراورده‌ها بیشتر از غلظت واکنش‌دهنده‌ها می‌باشند. بنابراین بزرگ بودن K نشان‌دهنده این موضوع است که واکنش‌دهنده‌ها بیشتر به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند و واکنش در جهت رفت پیشرفت بیشتری دارد:

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$, $K = 810 \text{ mol}^{-1} \cdot L$

ب) اگر مقدار عددی ثابت تعادل کوچک‌تر از یک باشد، واکنش رفت پیشرفت خوبی نداشته و مقدار کمی از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند. در واقع در این حالت در عبارت ثابت تعادل صورت کسر کوچک‌تر از مخرج کسر است و در لحظه برقراری تعادل غلظت واکنش‌دهنده‌ها بیشتر از غلظت

فراورده‌ها است:

$$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) \quad K = 4/166 \times 10^{-4}$$

هر چه مقدار عددی K بزرگ‌تر باشد ← پیشرفت واکنش رفت بیشتر است ← غلظت فراورده‌ها بیشتر از واکنش‌دهنده‌ها خواهد شد

۳- با استفاده از مقایسه مقدار عددی ثابت تعادل می‌توان میزان پیشرفت چند واکنش متفاوت را با هم مقایسه کرد.

واکنشی که ثابت تعادل بزرگ‌تری دارد، میزان پیشرفت آن نیز در جهت رفت بیشتر است. به‌عنوان مثال، در دو واکنش بالا میزان پیشرفت واکنش تبدیل $SO_2(g)$ به $SO_3(g)$ بسیار بیشتر از میزان پیشرفت واکنش تبدیل $N_2(g)$ به $NO(g)$ است.

۴- برای محاسبه درصد پیشرفت واکنش به کمک یک واکنش‌دهنده می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\%100 = \frac{\text{مقدار مصرف شده یک واکنش‌دهنده}}{\text{مقدار اولیه همان واکنش‌دهنده}} \times \text{درصد پیشرفت واکنش}$$

توجه: گاهی اوقات درصد پیشرفت واکنش با عنوان بیشینه بازده درصدی نیز بیان می‌شود.

با بررسی مثال زیر نکاتی را که یادآوری کردیم، مرور می‌کنیم:

مثال: اگر در واکنش تعادلی $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ در دمای معین غلظت تعادلی $N_2(g)$ ، $H_2(g)$ و $NH_3(g)$ به ترتیب برابر ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۲ مول بر لیتر باشد، می‌توان به نتایج زیر رسید:

الف) مقدار عددی ثابت تعادل در این دما برابر $8 \times 10^{-3} \text{ mol}^{-2} \cdot \text{L}^2$ است.

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} \Rightarrow K = \frac{(0.2)^2}{(0.4)(0.5)^3} = \frac{2^2}{4 \times 5^3} \times \frac{10^{-4}}{10^{-4}} = 8 \times 10^{-3} \text{ mol}^{-2} \cdot \text{L}^2$$

ب) مقدار عددی ثابت تعادل این واکنش در این دما عددی کوچک‌تر از یک است، بنابراین پیشرفت این واکنش در جهت رفت و در این دما کم است.
پ) با توجه به پیشرفت کم واکنش می‌توان گفت که مقدار کمی از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند. بنابراین در این شرایط غلظت فراورده‌ها کمتر از واکنش‌دهنده‌ها است.

ت) این واکنش در جهت برگشت پیشرفت بیشتری دارد، زیرا ثابت تعادل واکنش برگشت برابر عکس ثابت واکنش رفت است:

$$K_{\text{(برگشت)}} = \frac{1}{K_{\text{(رفت)}}} \Rightarrow K_{\text{(برگشت)}} = \frac{1}{8 \times 10^{-3}} = 125$$

ث) با توجه به داده‌های جدول روبه‌رو، درصد پیشرفت واکنش برابر است با:

$$\text{درصد پیشرفت واکنش} = \frac{0.3}{0.53} \times 100 = 56.6\%$$

بنابراین میزان پیشرفت این واکنش در این دما بسیار کم و فقط برابر ۵/۶ درصد است.

غلظت اولیه	۰/۴۱	۰/۵۳	۰
تغییرات غلظت	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲
غلظت تعادلی	۰/۴	۰/۵	۰/۰۲

کلاس درس ۲۲

جمع‌بندی

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

برای تعادل گازی فرضی $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ برابر است با:

عبارت ثابت تعادل (K) — پیشرفت واکنش با مقدار عددی K رابطه مستقیم دارد.
هر چه مقدار K بیشتر باشد ← پیشرفت واکنش بیشتر خواهد بود.

عبارت ثابت تعادل در واکنش $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ به صورت $K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ است و با توجه به جدول داده شده، مقدار K برابر است با:

$$K = \frac{(0.2)^2}{(0.4)(0.5)^3} = 8 \times 10^{-3} \text{ mol}^{-2} \cdot \text{L}^2$$

با توجه به مقدار کم ثابت تعادل مشخص است که واکنش در این شرایط پیشرفت زیادی نداشته است.

دقت شود که یکای K در واکنش $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$ به صورت $\left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^{(c+d)-(a+b)}$ است و در واکنش تولید آمونیاک به صورت

$$\left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^{2-(1+3)} \text{ یا } \text{mol}^{-2} \cdot \text{L}^2 \text{ است.}$$

۱۵۹ (B) ۲ ابتدا غلظت هر سه ترکیب را در حالت تعادل محاسبه می‌کنیم.

$$1 \text{ mol } NH_3 \times \frac{1}{17 \text{ g } NH_3} \times \frac{1}{10 \text{ L}} = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$1 \text{ mol } H_2 \times \frac{1}{2 \text{ g } H_2} \times \frac{1}{10 \text{ L}} = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$1 \text{ mol } N_2 \times \frac{1}{28 \text{ g } N_2} \times \frac{1}{10 \text{ L}} = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0.3)^2}{(0.4)(0.5)^3} = 180 \text{ mol}^{-2} \cdot \text{L}^2$$

با توجه به معادله واکنش، داریم:

۱۶۰ فقط عبارت (پ) نادرست است.

بررسی عبارت (پ): برای این که تعیین کنیم یک واکنش پیشرفت زیادی داشته است، باید مقدار ثابت تعادل آن را به دست آوریم.

$$K = \frac{[SO_2]^2}{[SO_2][O_2]} = \frac{(0.25)^2}{(0.25)(0.25)} = 4 \text{ L.mol}^{-1}$$

با توجه به این که مقدار ثابت تعادل این واکنش عدد بزرگی نیست، نمی‌توانیم بگوییم که این واکنش پیشرفت زیادی داشته است.

۱۶۱ بررسی پرسش‌ها:

پرسش (الف): با توجه به ثابت شدن غلظت و رنگ سامانه یعنی واکنش به تعادل رسیده است.

پاسخ پرسش (ب): عبارت ثابت تعادل واکنش به صورت $\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$ و واکنش انجام شده به صورت $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ است.

در حالت تعادل ۵ ذره NO_2 و ۹ ذره N_2O_4 در ظرف واکنش وجود دارد.

$$[NO_2] = \frac{5 \times 0.1 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{1}{4} \text{ mol.L}^{-1}, [N_2O_4] = \frac{9 \times 0.1 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{9}{20} \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow K = \frac{(\frac{1}{4})^2}{(\frac{9}{20})} = 0.14 \text{ mol.L}^{-1}$$

۱۶۲

اصل لوشاتلیه و جابه‌جایی تعادل

کلاس درس

۲۷

می‌دانیم در هنگام برقراری تعادل در یک سامانه، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم برابر می‌شود و غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل ثابت می‌ماند. در واقع پس از برقراری تعادل، دیگر تغییری در خواص ماکروسکوپی سامانه مانند غلظت، دما و فشار مشاهده نمی‌شود. البته برابر بودن سرعت واکنش رفت و واکنش برگشت و ثابت شدن غلظت‌ها تا زمانی برقرار و پایدار است که عاملی مزاحم تعادل نشود! در این کلاس درس به بررسی این موضوع و مفهوم جابه‌جایی تعادل توسط عوامل مزاحم می‌پردازیم و در ضمن با اصل لوشاتلیه نیز آشنا می‌شویم.

عوامل مزاحم و جابه‌جایی تعادل

۱- در یک تعادل اگر غلظت یکی از مواد گازی یا محلول موجود در تعادل، دما و یا فشار (حجم) ظرفی را که در آن تعادل برقرار شده تغییر دهیم، تعادل اولیه به هم می‌ریزد و دیگر سرعت واکنش‌های رفت و برگشت برابر نیست، در این شرایط دیگر تعادل برقرار نیست.

تغییر غلظت، دما و فشار در یک سامانه تعادلی $\leftarrow$ به هم ریختن تعادل $\leftarrow$ $R(\text{برگشت}) \neq R(\text{رفت})$

۲- عکس‌العمل سامانه تعادلی در برابر تغییر تحمیل شده، دقیقاً شبیه به عکس‌العمل یک فنر هنگام فشردن یا کشیده شدن است که تمایل دارد به حالت اولیه بازگردد. در واقع فنر عکس‌العملی که شما انجام می‌دهید را انجام می‌دهد؛ مثلاً اگر فنر را فشرده کرده و سپس رها کنید، باز شده و به حالت اولیه برمی‌گردد. سامانه تعادلی نیز مانند فنر لجباز است و در برابر عوامل مزاحم (مانند تغییر غلظت، دما و فشار) ایستادگی می‌کند مثلاً در یک تعادل اگر غلظت یک ماده را زیاد کنیم، تعادل تمام تلاش خود را به کار خواهد بست تا غلظت آن ماده را تا حد امکان به مقدار اولیه نزدیک کند. عکس‌العمل سامانه تعادلی در برابر تغییر تحمیلی در قالب اصل لوشاتلیه بیان می‌شود.

اصل لوشاتلیه

اگر تغییری سبب به هم خوردن یک سامانه تعادلی شود، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که تا حد امکان اثر آن تغییر را جبران کند. این توصیف بیانی از اصل لوشاتلیه است.

با توجه به اصل لوشاتلیه می‌توان به چند نکته مهم اشاره کرد:

۱- منظور از جابه‌جایی تعادل این است که واکنش برای لحظاتی در جهت رفت یا در جهت برگشت، سرعت و پیشرفت بیشتری دارد. بنابراین در لحظاتی که جابه‌جایی در تعادل رخ می‌دهد، دیگر تعادل برقرار نیست.

در لحظه جابه‌جایی تعادل $\leftarrow$ تعادل برقرار نیست $\leftarrow$ $R(\text{برگشت}) \neq R(\text{رفت})$

۲- با اعمال یک تغییر به سامانه تعادلی، واکنش در جهت رفت یا برگشت پیشرفت می‌کند تا از این طریق تا جایی که امکان دارد با تغییر وارد شده مقابله کرده و در شرایط جدید دوباره به تعادل برسد.

پس از جابه‌جایی تعادل $\leftarrow$ برقراری دوباره تعادل در شرایط جدید $\leftarrow$ $R(\text{برگشت}) = R(\text{رفت})$

توجه: پس از جابه‌جایی تعادل و برقراری دوباره تعادل، سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت برابر می‌شود اما این سرعت‌ها الزاماً با سرعت واکنش رفت و سرعت واکنش برگشت در تعادل اولیه برابر نیست.

۳- اغلب پس از این که بر اثر اعمال یک تغییر، سامانه تعادلی در جهت رفت (به سمت راست یا به سمت فرآورده‌ها) و یا در جهت برگشت (به سمت چپ یا به سمت واکنش‌دهنده‌ها) جابه‌جا شد، اثر تغییر تحمیل شده به‌طور کامل از بین نمی‌رود.

۴- عواملی که می‌توانند موجب برهم زدن یک تعادل شوند، عبارتند از:

- (الف) تغییر غلظت مواد گازی و محلول شرکت‌کننده در تعادل
- (ب) تغییر حجم (تغییر فشار) در تعادل‌هایی که تعداد مول مواد گازی سمت چپ و راست واکنش برابر نیست.
- (پ) تغییر دما

کلاس درس ۲۷

جمع‌بندی

تعادل را برهم می‌زند و دیگر سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت برابر نیست. واکنش برای لحظاتی در جهت رفت (به سمت راست) یا در جهت برگشت (به سمت چپ) جابه‌جا می‌شود. اصل لوشاتلیه: تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که تا حد امکان اثر تغییر اعمال شده را جبران کند. اغلب با جابه‌جایی تعادل اثر تغییر تحمیلی به‌طور کامل جبران نمی‌شود.

طبق اصل لوشاتلیه، با اعمال یک تغییر به سامانه تعادلی، واکنش در جهت رفت یا برگشت پیشرفت می‌کند تا از این طریق، تا آن‌جا که امکان دارد، با تغییر وارد شده مقابله کند و دوباره به تعادل برسد.

۱۶۳ (A) طبق اصل لوشاتلیه، چنانچه عاملی موجب برهم زدن حالت تعادلی یک سامانه شود، سامانه در جهتی جابه‌جا می‌شود که با عامل مزاحم مقابله کرد و تا آن‌جا که امکان دارد اثر آن را برطرف کند. بدین ترتیب در سامانه یاد شده، یک تعادل جدید برقرار می‌شود. ثابت تعادل (K) فقط تابع دما است، اگر حین جابه‌جایی تعادل و رسیدن به تعادل جدید، دما تغییر نکند، مقدار K در تعادل جدید با مقدار K در تعادل اولیه برابر می‌باشد.

۱۶۴ (A) ۳

اثر تغییر غلظت بر تعادل

کلاس درس ۲۸

اگر در یک سامانه در حال تعادل، غلظت یک یا چند مورد از مواد شرکت‌کننده در تعادل را تغییر (کاهش یا افزایش) دهیم، تعادل اولیه به هم می‌خورد و طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت تعدیل این تغییر جابه‌جا می‌شود. در این کلاس درس به بررسی اثر تغییر غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل بر تعادل می‌پردازیم.

عکس‌العمل سامانه تعادلی در برابر تغییر غلظت

عکس‌العمل سامانه تعادلی در برابر تغییر غلظت به یکی از دو حالت زیر است:

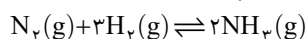
۱- اگر غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده در تعادل، در دمای ثابت افزایش یابد، واکنش در جهتی پیش می‌رود که تا حد امکان آن ماده را مصرف کند و به تعادل جدیدی برسد:

افزایش غلظت ماده A ← جابه‌جایی تعادل در جهت مصرف A ← رسیدن به تعادل جدید ← افزایش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت

۲- اگر غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده در تعادل، در دمای ثابت کاهش یابد، واکنش در جهتی پیش می‌رود (جابه‌جا می‌شود) که تا حد امکان آن ماده را تولید کند و به تعادل جدیدی برسد:

کاهش غلظت ماده A ← جابه‌جایی تعادل در جهت تولید A ← رسیدن به تعادل جدید ← کاهش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت

مثال: واکنش تعادلی زیر در سامانه‌ای با حجم و دمای ثابت برقرار است. در چند مورد جابه‌جایی تعادل در اثر اعمال تغییر، درست بیان شده است؟



(الف) کاهش غلظت گاز N_2 : جابه‌جایی تعادل به سمت چپ و کاهش غلظت گاز NH_3

(ب) خارج کردن مقداری گاز NH_3 از سامانه: جابه‌جایی تعادل در جهت رفت

(پ) وارد کردن مقداری گاز H_2 در سامانه: جابه‌جایی تعادل به سمت فرآورده

(ت) افزایش غلظت گاز NH_3 : افزایش غلظت N_2

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

راه‌حل: تمام عبارت‌ها درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): کاهش غلظت $\text{N}_2(\text{g}) \rightleftharpoons$ جابه‌جایی تعادل در جهت تولید N_2 و مصرف NH_3 (به سمت چپ) $\rightleftharpoons$ کاهش غلظت NH_3
 عبارت (ب): خارج کردن مقداری $\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons$ کاهش غلظت $\text{NH}_3 \rightleftharpoons$ جابه‌جایی تعادل در جهت تولید NH_3 (در جهت رفت یا به سمت راست)
 عبارت (پ): وارد کردن مقداری $\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons$ افزایش غلظت $\text{H}_2 \rightleftharpoons$ جابه‌جایی تعادل در جهت مصرف H_2 (در جهت رفت به سمت فرآورده‌ها)
 عبارت (ت): افزایش غلظت $\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons$ جابه‌جایی تعادل در جهت مصرف NH_3 و تولید N_2 (گزینه ۴)

سؤال مفهومی: در تعادل $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ ، اگر مقداری از گاز نیتروژن را از سامانه تعادلی خارج کنیم، تغییر غلظت تمام گونه‌ها چگونه است؟

توضیح: اگر مقداری از گاز نیتروژن ($N_2(g)$) را از سامانه تعادلی خارج کنیم، غلظت $N_2(g)$ کاهش می‌یابد. در این لحظه طبق اصل لوشاتلیه واکنش تا حد امکان در جهت تولید $N_2(g)$ پیش می‌رود اما نمی‌تواند به‌طور کامل میزان کاهش $N_2(g)$ را جبران کند، به همین دلیل پس از رسیدن به تعادل جدید غلظت گاز نیتروژن نسبت به تعادل اولیه کمتر است. از طرفی چون تعادل در جهت برگشت (تولید $N_2(g)$) جابه‌جا می‌شود، غلظت $NH_3(g)$ کاهش و غلظت $H_2(g)$ افزایش می‌یابد.

نتیجه: پس از کاهش $N_2(g)$ در سامانه تعادلی و جابه‌جایی تعادل، به تعادل جدیدی می‌رسیم که غلظت گونه‌های شرکت‌کننده در این تعادل نسبت به تعادل اولیه به‌صورت زیر است:

$[N_2]$ در کل کاهش می‌یابد.
غلظت گونه‌ها در تعادل جدید $[H_2]$ افزایش می‌یابد.
 $[NH_3]$ کاهش می‌یابد.

۳- اگر تغییر غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل در دمای ثابت رخ دهد، مقدار عددی ثابت تعادل تغییر نمی‌کند، زیرا K فقط با دما تغییر می‌کند.

جمع‌بندی کلاس درس ۲۸

اثر تغییر غلظت در تعادل فرضی $A \rightleftharpoons B$

- $\uparrow[A]$ ← جابه‌جایی تعادل در جهت رفت در تعادل جدید $\leftarrow \uparrow[B], \uparrow[A]$
- $\downarrow[B]$ ← جابه‌جایی تعادل در جهت رفت در تعادل جدید $\leftarrow \downarrow[B], \downarrow[A]$
- $\downarrow[A]$ ← جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت در تعادل جدید $\leftarrow \downarrow[B], \downarrow[A]$
- $\uparrow[B]$ ← جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت در تعادل جدید $\leftarrow \uparrow[B], \uparrow[A]$

اگر تغییر غلظت گونه‌ها در دمای ثابت رخ دهد $\leftarrow K$ تغییر نمی‌کند.

در دمای ثابت، اگر غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده در سامانه تعادلی افزایش یابد، واکنش در جهت مصرف آن و اگر غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده کاهش یابد، واکنش در جهت تولید آن تا حد امکان پیش می‌رود تا به تعادل جدید برسد اما ثابت تعادل جدید با ثابت تعادل اولیه برابر است.

۱۶۵ (A) ۳: اگر تغییری سبب به هم خوردن تعادل در یک سامانه تعادلی شود، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که تا حد امکان اثر آن را جبران کند نه به‌طور کامل. فقط در یک سری از شرایط خاص تعادل به‌طور کامل اثر تغییر اعمال شده را رفع می‌کند. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۱): با افزایش غلظت یک ماده، تعادل در جهت مصرف آن پیش می‌رود اما معمولاً نمی‌تواند به‌طور کامل اثر آن را جبران کند.
گزینه (۲): تغییر دما، سبب به هم خوردن تعادل شده و ثابت تعادل را هم تغییر می‌دهد.
گزینه (۴): با کاهش غلظت یک ماده، تعادل در جهت تولید آن پیش می‌رود اما معمولاً نمی‌تواند اثر آن را به‌طور کامل جبران کند.

۱۶۶ (B) ۲: عبارتهای (الف) و (ب) نادرست هستند. **بررسی عبارتهای:**

عبارت (الف): اگر غلظت یک واکنش‌دهنده را افزایش دهیم، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود.

عبارت (ب): به‌طور معمول جابه‌جایی تعادل اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین نمی‌برد.

عبارت (پ): با خارج کردن یک ماده و کاهش غلظت آن، تعادل در جهت تولید آن جابه‌جا می‌شود.

عبارت (ت): هنگامی که غلظت یک ماده را تغییر می‌دهیم، تعادل سعی می‌کند، با جابه‌جایی به سمت چپ و یا سمت راست، با این تغییر مقابله کند و دوباره به تعادل برسد، ولی به‌طور معمول نمی‌تواند به‌طور کامل اثر تغییر تحمیل شده را از بین ببرد. بنابراین هنگامی که مقدار یک فراورده را به اندازه ۱ مول کاهش می‌دهیم، تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، اما تعداد مول فراورده تولید شده بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت راست، کمتر از ۱ مول خواهد بود.

۱۶۷ (A) ۲: با افزایش غلظت گاز O_2 ، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

با کاهش غلظت گاز SO_2 ، تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود.

پس از تغییر غلظت و جابه‌جایی تعادل، اثر تغییر وارد شده به‌طور کامل از بین نمی‌رود، بنابراین مقداری از گاز O_2 اضافه شده مصرف می‌شود و مقداری از کاهش غلظت SO_2 جبران می‌شود.

۱۶۸ (A) ۲: $I_2(g)$ در قسمت فراورده‌ها و در سمت راست معادله واکنش قرار دارد، با افزودن I_2 به سامانه تعادلی، غلظت این ماده افزایش یافته و طبق اصل لوشاتلیه، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، اما به دلیل این‌که به‌طور معمول اثر تغییر وارد شده به‌طور کامل از بین نمی‌رود، غلظت I_2 در تعادل جدید از تعادل اولیه بیشتر است. همچنین بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، غلظت H_2 کاهش و غلظت HI افزایش می‌یابد.

۱۶۹ (B) ۴ عبارتهای (الف)، (ب) و (پ) جمله را به درستی تکمیل می‌کنند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): خارج کردن مقداری گاز آمونیاک از سامانه باعث کاهش غلظت آن و حرکت تعادل به سمت تولید آن می‌شود.
 عبارت (ب): وارد کردن مقداری گاز هیدروژن در سامانه باعث افزایش غلظت آن و حرکت تعادل به سمت مصرف آن می‌شود. در نتیجه غلظت آمونیاک افزایش یافته و غلظت گاز نیتروژن کاهش می‌یابد. دقت کنید که اثر تغییر غلظت روی گاز هیدروژن باقی می‌ماند. برای مثال اگر ۱ مول از آن وارد شود، مقدار $\frac{1}{8}$ مول آن مصرف می‌شود و غلظت نهایی آن افزایش یافته است.
 عبارت (پ): خارج کردن مقداری گاز نیتروژن از سامانه باعث کاهش غلظت آن و حرکت تعادل به سمت تولید آن می‌شود. در نتیجه غلظت آمونیاک کاهش و غلظت هیدروژن افزایش می‌یابد.
 عبارت (ت): وارد کردن مقداری گاز آمونیاک به سامانه باعث افزایش غلظت آن و حرکت تعادل به سمت مصرف آن می‌شود اما دقت کنید که ثابت تعادل تغییری نمی‌کند زیرا ثابت تعادل فقط با تغییر دما دچار تغییر می‌شود.

۱۷۰ (B) ۲ عبارتهای (الف) و (ب) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): بر اثر کاهش غلظت A، تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. در سمت فرآورده‌ها، ۴ مول گاز (۱ مول B و ۳ مول C) و در سمت راست واکنش‌دهنده، ۲ مول گاز (۲ مول A) وجود دارد. بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، شمار مولکول‌های گاز موجود در ظرف کاهش می‌یابد.
 عبارت (ب): با کاهش غلظت A و جابه‌جایی واکنش به سمت چپ، تعادل سعی می‌کند تا آن‌جا که امکان دارد، با تغییر وارد شده مقابله کند، اما به دلیل این که تعادل به‌طور معمول نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد، با جابه‌جایی تعادل، به اندازه نصف مقدار A تولید نمی‌شود، بنابراین غلظت A در تعادل جدید به اندازه تعادل اولیه نیست ولی از نصف غلظت اولیه بیشتر می‌باشد.
 عبارت (پ): با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، غلظت B کاهش می‌یابد، اما بدون اطلاع از مقدار K، نمی‌توانیم بگوییم غلظت B در تعادل جدید، چه نسبتی با تعادل اولیه دارد.

عبارت (ت): بر اثر کاهش غلظت A، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، یعنی در جهت برگشت پیشرفت می‌کند تا به تعادل جدید برسد.

۱۷۱ (A) ۲ دو برابر شدن غلظت $\text{NO}_2(\text{g})$ ، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود، اما به دلیل این که به‌طور معمول اثر تغییر

وارد شده به‌طور کامل از بین نمی‌رود، با جابه‌جایی تعادل، تمام $\text{NO}_2(\text{g})$ اضافه شده، مصرف نمی‌شود، بنابراین غلظت $\text{NO}_2(\text{g})$ در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه بیشتر است. از سوی دیگر، با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، غلظت $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ هم افزایش می‌یابد، با توجه به این که غلظت و مقدار هر دو گاز موجود در تعادل، در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه بیشتر است، فشار سامانه تعادلی در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه بیشتر می‌باشد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
 گزینه (۱): با توجه به این که مقدار ثابت تعادل (K) را نداریم، نمی‌توانیم درباره نسبت غلظت N_2O_4 در تعادل جدید به غلظت این ماده در تعادل اولیه اظهار نظر کنیم. فقط می‌توانیم بیان کنیم که غلظت این ماده افزایش می‌یابد.
 گزینه‌های (۳) و (۴): پس از برقراری تعادل جدید، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با یکدیگر برابر شده و بیشتر از تعادل اولیه است، اما نمی‌توانیم بگوییم که سرعت‌ها دو برابر می‌شود.

۱۷۲ (B) ۳ عبارتهای (الف)، (ب) و (پ) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

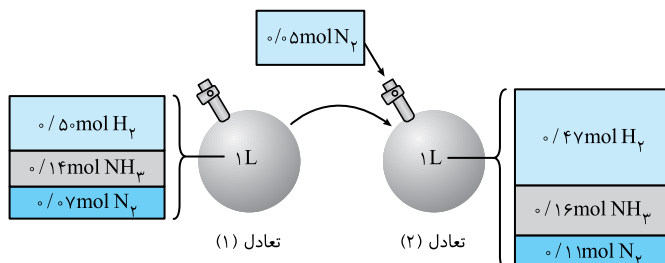
عبارت (الف): بر اثر کاهش غلظت $\text{CO}_2(\text{g})$ ، تعادل در جهت تولید آن، یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود. با پیشرفت واکنش رفت، غلظت گازهای CO و O_2 به تدریج کاهش می‌یابد.
 عبارت (ب): همان‌طور که در عبارت (الف) گفته شد، غلظت گازهای CO و O_2 کاهش می‌یابد و همچنین با وجود حرکت تعادل برای تولید گاز کربن دی‌اکسید، اما همه مقدار خارج شده تولید نمی‌شود پس غلظت نهایی این ماده نیز کاهش می‌یابد.
 عبارت (پ): با کاهش غلظت CO_2 و جابه‌جایی تعادل به سمت راست، غلظت هر سه گاز CO_2 ، CO و O_2 در تعادل جدید، کمتر از تعادل اولیه است، از این رو، پس از برقراری تعادل جدید، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت نسبت به تعادل اولیه کاهش می‌یابد.
 عبارت (ت): مقدار عددی ثابت تعادل فقط با تغییر دما عوض می‌شود.

بررسی اثر تغییر غلظت در جابه‌جایی یک تعادل خاص

کلاس درس

۴۹

در کلاس درس قبل، اثر تغییر غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل بر جابه‌جایی تعادل را بررسی کردیم. حال می‌خواهیم اثر افزایش غلظت $N_2(g)$ در تعادل $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ را بررسی کنیم و چند نکته مهم دیگر را نیز بیان کنیم. در محفظه‌ای به حجم یک لیتر تعادل $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ در دمای $200^\circ C$ برقرار است. مطابق شکل زیر، مقداری نیتروژن را به این سامانه در دمای ثابت وارد می‌کنیم:



۱- بر اثر افزایش غلظت $N_2(g)$ ، تعادل به هم خورده و طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت مصرف $N_2(g)$ یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود و پس از مدتی یک تعادل جدید برقرار می‌شود.

۲- تعداد مول مواد موجود در این واکنش در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه تغییر کرده است:

تغییر مول و غلظت مواد در اثر جابه‌جایی تعادل به سمت راست

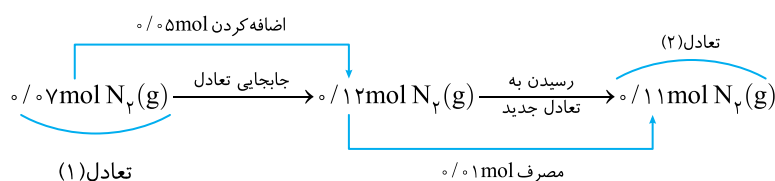
- $[N_2]$ در کل افزایش می‌یابد.
- $[H_2]$ کاهش یافته است.
- $[NH_3]$ افزایش یافته است.

۳- با استفاده از عددهای نوشته شده در شکل بالا نیز می‌توانیم غلظت گونه‌های موجود در تعادل جدید را نسبت به تعادل اولیه مقایسه کنیم. البته چون حجم ظرف برابر یک لیتر است، شمار مول‌های هر ماده برابر غلظت آن ماده است. به داده‌های جدول زیر توجه نمایید:

کمیت \ تعادل	$[N_2]$	$[H_2]$	$[NH_3]$	$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$
تعادل (۱)	۰/۰۷	۰/۵۰	۰/۱۴	$K = \frac{(0.14)^2}{(0.07) \times (0.50)^3} = 2.24 \text{ mol}^{-2} \cdot L^2$
تعادل (۲)	۰/۱۱	۰/۴۷	۰/۱۶	$K = \frac{(0.16)^2}{(0.11) \times (0.47)^3} \approx 2.24 \text{ mol}^{-2} \cdot L^2$
	افزایش یافته	کاهش یافته	افزایش یافته	بدون تغییر باقی‌مانده است.

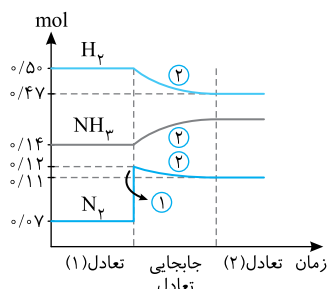
استنباط نکتید در تعادل (۱)، 0.07 مول $N_2(g)$ داریم، پس از اضافه کردن 0.05 مول $N_2(g)$ به محفظه انجام واکنش شاید انتظار داشته باشید 0.12 ($0.07 + 0.05$) مول $N_2(g)$ داشته باشیم، در حالی که در تعادل (۲)، 0.11 مول $N_2(g)$ داریم. در واقع در نخستین لحظه وارد کردن 0.05 مول $N_2(g)$ ، تعداد مول این ماده از 0.07 به 0.12 مول افزایش می‌یابد که این موضوع سبب می‌شود تعادل طبق اصل لوشاتلیه در جهت مصرف $N_2(g)$ اضافه شده و به سمت راست (جهت رفت) جابه‌جا شود و به همین سبب مقداری از $N_2(g)$ اضافه شده مصرف شود. در ضمن تعادل فقط توانسته 0.01 مول از 0.05 مولی که اضافه شده بود را مصرف کند.

نتیجه هر چند تعادل در جهت مصرف $N_2(g)$ اضافه شده جابه‌جا می‌شود اما نمی‌تواند اثر تغییر تحمیل شده را به‌طور کامل از بین ببرد، به همین دلیل مقدار $N_2(g)$ در تعادل جدید بیشتر از تعادل اولیه است:



۴- در طی فرایند افزایش مقدار $N_2(g)$ و رسیدن به تعادل جدید (تعادل (۲))، دما تغییر نمی‌کند به همین دلیل ثابت تعادل (K) نیز نباید تغییر کند.

- ۵- می‌توانیم تغییرات شمار مول مواد موجود در تعادل مورد بحث در اثر افزایش مقدار $N_2(g)$ را با استفاده از نمودار رسم شده نمایش دهیم:
- { الف) در تعادل (۱) و تعادل (۲)، نمودار (مول - زمان) را برای هر سه ماده به صورت افقی رسم کردیم، زیرا در هنگام تعادل تغییر مول یا غلظت نداریم.
 ب) نمودار (۱) نشان‌دهنده نخستین لحظه افزودن 5% مول $N_2(g)$ است و نمودار (۲) نشان‌دهنده لحظه جابه‌جایی تعادل است.



توجه: حین جابه‌جایی تعادل به سمت چپ و یا به سمت راست، تغییر غلظت مواد با توجه به ضریب استوکیومتری آن‌ها انجام می‌شود. به عنوان مثال، تغییر غلظت $H_2(g)$ برابر تغییر غلظت $N_2(g)$ در تعادل مورد بحث است زیرا ضریب استوکیومتری $H_2(g)$ ۳ برابر ضریب استوکیومتری $N_2(g)$ می‌باشد.

عبارت‌های (الف)، (ب) و (ت) نادرست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): غلظت مولی گاز آمونیاک و نیتروژن افزایش یافته اما غلظت مولی گازهای هیدروژن کاهش یافته است.

عبارت (ب): ثابت تعادل فقط با دما تغییر می‌کند.

$$K_1 = \frac{(0.14)^2}{(0.07)(0.5)^3} = 2/24 \text{ mol}^{-2} \cdot L^2, \quad K_2 = \frac{(0.12)^2}{(0.11)(0.47)^3} = 2/24 \text{ mol}^{-2} \cdot L^2$$

عبارت (پ): در اثر تغییر وارد شده، واکنش در جهت تولید بیشتر گاز آمونیاک و مصرف گازهای نیتروژن و هیدروژن پیش می‌رود.

عبارت (ت): با افزودن غلظت یک ماده در تعادل، واکنش در جهت رسیدن به تعادل جدید پیش می‌رود اما مقدار ثابت تعادل تغییری نمی‌کند.

۱۷۴ (ب) ۲ طبق اصل لوشاتلیه، بر اثر افزایش غلظت SO_3 ، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. به دلیل این که ثابت تعادل (K) فقط تابع دما است، مقدار K در تعادل جدید با مقدار K در تعادل اولیه برابر است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): غلظت مولی یک ماده از تقسیم تعداد مول آن به حجم ظرف به دست می‌آید. حجم ظرف 10 لیتر است. پس می‌توانیم غلظت هر یک از گازهای SO_3 و SO_2 را در تعادل جدید و تعادل اولیه به دست آوریم.

$$[SO_3]_1 = \frac{0.68 \text{ mol}}{10 L} = 0.068 \text{ mol} \cdot L^{-1}, \quad [SO_2]_1 = \frac{0.32 \text{ mol}}{10 L} = 0.032 \text{ mol} \cdot L^{-1} \Rightarrow \frac{[SO_3]_1}{[SO_2]_1} = \frac{0.68}{0.32} = 2/1$$

$$[SO_3]_2 = \frac{1.46 \text{ mol}}{10 L} = 0.146 \text{ mol} \cdot L^{-1}, \quad [SO_2]_2 = \frac{0.54 \text{ mol}}{10 L} = 0.054 \text{ mol} \cdot L^{-1} \Rightarrow \frac{[SO_3]_2}{[SO_2]_2} = \frac{0.146}{0.054} = 2/7$$

ملاحظه می‌کنید که نسبت غلظت مولی $SO_3(g)$ به $SO_2(g)$ در دو تعادل با یکدیگر برابر نیست.

گزینه (۳): غلظت گاز اکسیژن در تعادل جدید برابر است با:

$$[O_2]_2 = \frac{0.27 \text{ mol}}{10 L} = 0.027 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

گزینه (۴): در نخستین لحظه‌ای که 1 مول SO_3 را به تعادل می‌افزاییم، تعداد مول این ماده از 0.68 به 1.68 مول می‌رسد، بعد از این تغییر، تعادل جابه‌جا می‌شود و سعی می‌کند که با این تغییر مقابله کند، اما همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌کنید، تعداد مول SO_3 در تعادل جدید، برابر 1.46 مول است، یعنی تعادل تمام SO_3 اضافه شده را مصرف نکرده و مقداری از تغییر وارد شده از بین نرفته است.

۱۷۵ (ب) ۲ تعداد مول‌های داخل ظرف را قبل و بعد از اضافه کردن $5 \text{ mol } N_2$ محاسبه می‌کنیم:

$$N_2 \text{ کردن } 0.14 \text{ mol } NH_3 + 0.07 \text{ mol } N_2 + 0.5 \text{ mol } H_2 = 0.71 \text{ mol}$$

$$N_2 \text{ بعد از اضافه کردن } 0.16 \text{ mol } NH_3 + 0.11 \text{ mol } N_2 + 0.47 \text{ mol } H_2 = 0.74 \text{ mol}$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید پس از برقراری تعادل جدید تعداد مول‌های داخل ظرف افزایش یافته است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

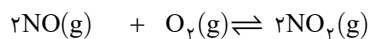
گزینه (۱): با توجه به این که در اثر اعمال تغییر دما ثابت می‌ماند، مقدار ثابت تعادل هم ثابت می‌ماند.

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0.14)^2}{(0.07)(0.5)^3} = 2/24 \text{ mol}^{-2}$$

گزینه (۳): با توجه به این که در تعادل جدید مقدار گازهای N_2 و NH_3 افزایش پیدا کرده است و سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به مقدار مول این دو ماده وابسته است، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید افزایش یافته است.

گزینه (۴): طبق اصل لوشاتلیه، تعادل در جهتی پیشرفت می‌کند که با افزایش غلظت گاز N_2 مقابله کند، پس در جهت مصرف آن پیش می‌رود. در نتیجه مقداری از N_2 افزوده شده مصرف می‌شود و افزایش غلظت $N_2(g)$ از آن‌چه انتظار می‌رود، کمتر است.

© ۱۷۶ راه حل اول: با افزودن ۲ مول گاز NO، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود تا دوباره به تعادل برسد. بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت راست، غلظت گاز NO_۲، به تدریج افزایش و غلظت گازهای NO و O_۲ به تدریج کاهش می‌یابد.



$$4+2-2x \quad 4-x \quad 8+2x$$

$$[\text{O}_2]_{\text{تعادل جدید}} = 4-x = 3/4 \Rightarrow x = 0/55 \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow [\text{NO}]_{\text{تعادل جدید}} = 4+2-2x = 6-2(0/55) = 4/9 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{NO}_2]_{\text{تعادل جدید}} = 8+2x = 8+2(0/55) = 9/1 \text{ mol.L}^{-1}$$

راه حل دوم: هنگامی که ۲ مول NO را به تعادل می‌افزاییم، غلظت این ماده از ۴M به ۶M افزایش می‌یابد، سپس تعادل جابه‌جا می‌شود، اما به دلیل این که تعادل نمی‌تواند به طور کامل اثر تغییر وارد شده را از بین ببرد، غلظت تعادلی NO در تعادل جدید از ۴M بزرگ‌تر خواهد بود، پس می‌توانیم نتیجه بگیریم که گزینه‌ای که در آن غلظت NO بین ۴M و ۶M باشد، می‌تواند جواب پرسش باشد. فقط در گزینه (۲) این شرط رعایت شده است.

۱۷۷ از شکل (الف) تا (پ)، تعداد مولکول‌های قهوه‌ای رنگ NO_۲ در حال افزایش است. اما در دو شکل (پ) و (ت) تعداد مولکول‌ها ثابت است.

بنابراین می‌توانیم نتیجه بگیریم که در شکل (پ) تعادل برقرار شده است. پس از برقراری تعادل، غلظت مواد موجود در تعادل تغییر نمی‌کند، به همین دلیل

$$\text{N}_2\text{O}_4\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2\text{(g)}$$

نسبت $\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]}$ و شدت رنگ قهوه‌ای در شکل‌های (پ) و (ت) یکسان است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): به دلیل این که ضریب استوکیومتری NO_۲ دو برابر ضریب استوکیومتری N_۲O_۴ است، از این رو سرعت تولید NO_۲(g) هم دو برابر سرعت تولید N_۲O_۴(g) می‌باشد.

گزینه (۳): از شکل (الف) تا شکل (پ)، غلظت N_۲O_۴(g) در حال کاهش است، بنابراین سرعت مصرف N_۲O_۴(g) در شکل (ب) کمتر از شکل (الف) است. (با گذشت زمان، سرعت واکنش کاهش می‌یابد.)

گزینه (۴): اگر مقداری گاز NO_۲ به مخلوط واکنش افزوده شود، واکنش در جهت تولید N_۲O_۴ یعنی در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

۱۷۸ مقایسه‌های (الف)، (ب) و (ت) نادرست است. بررسی مقایسه‌ها:

عبارت (الف): سرعت مصرف PCl_۵(g) همان سرعت واکنش برگشت است. به دلیل کاهش غلظت PCl_۵(g)، سرعت واکنش برگشت در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کمتر است.

عبارت (ب): در تعادل سرعت واکنش رفت و برگشت با هم برابر است و بنابر توضیحات عبارت (الف) چون سرعت واکنش برگشت در تعادل جدید کمتر از تعادل اولیه است پس سرعت واکنش رفت هم در تعادل جدید کمتر از تعادل اولیه است.

عبارت (پ): طبق اصل لوشاتلیه، با کاهش غلظت PCl_۳، تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. بنابراین غلظت PCl_۵(g) به تدریج کاهش می‌یابد. به دلیل ثابت بودن دما، مقدار K در تعادل جدید با مقدار K در تعادل اولیه یکسان است. در صورت کسر ثابت تعادل، [PCl_۵] و در مخرج آن حاصل ضرب [Cl_۲][PCl_۳] وجود دارد، پس اگر [PCl_۵] کاهش یابد، باید حاصل ضرب [Cl_۲][PCl_۳] هم به همان نسبت کاهش یابد تا نسبت آن‌ها یعنی مقدار K تغییر نکند.

عبارت (ت): بر اثر کاهش غلظت PCl_۳(g)، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، از این رو، غلظت Cl_۲(g) به تدریج افزایش می‌یابد. بنابراین غلظت Cl_۲(g) در تعادل جدید، نسبت به تعادل اولیه بیشتر است.

۱۷۹

اثر تغییر مقدار مواد جامد و مایع خالص بر جابه‌جایی تعادل

کلاس درس

می‌دانیم غلظت مواد جامد و مایع خالص ثابت است و به همین دلیل نیز این مواد را در رابطه ثابت تعادل نمی‌نویسیم. حال یک سؤال مهم مطرح می‌شود: آیا تغییر مقدار مواد جامد و مایع خالص می‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود؟

۱. مواد جامد و مایع خالص، بی‌تأثیر در جابه‌جایی تعادل

تغییر مقدار مواد جامد و مایع خالص، تأثیری بر جابه‌جایی تعادل ندارد، زیرا تغییر مقدار آن‌ها نمی‌تواند غلظت آن‌ها را تغییر دهد و غلظت این مواد همواره ثابت است. از طرفی می‌دانیم در رابطه ثابت تعادل، غلظت مواد تعیین‌کننده است و مقدار آن‌ها در این رابطه تأثیری ندارد. در نتیجه تغییر غلظت مواد می‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود، اما تغییر مقدار آن‌ها تعادل را جابه‌جا نمی‌کند.

توجه به دلیل ثابت بودن غلظت مواد جامد و یا مایع خالص، با تغییر مقدار آن‌ها تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

استنباط نکنید هر چند غلظت مواد جامد و مایع خالص را در عبارت ثابت تعادل نمی‌نویسیم و تغییر مقدار آن‌ها نیز تأثیری بر جابه‌جایی تعادل ندارد، اما حضور این مواد برای برقراری تعادل الزامی است.

برای مثال در تعادل $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ فقط تغییر غلظت گاز CO_2 می‌تواند موجب جابه‌جایی تعادل شود:

- | | | |
|---|---|---|
| <p>(الف) خارج کردن مقداری $\text{CaCO}_3(\text{s})$ از محفظه انجام واکنش $\leftarrow$ تعادل جابه‌جا نمی‌شود و همچنان $\bar{R}(\text{برگشت}) = \bar{R}(\text{رفت})$</p> <p>(ب) وارد کردن مقداری $\text{CaO}(\text{s})$ به محفظه انجام واکنش $\leftarrow$ تعادل جابه‌جا نمی‌شود و $[\text{CO}_2]$ نیز تغییر نخواهد کرد.</p> | } | <p>(پ) خارج کردن مقداری $\text{CO}_2(\text{g})$ از محفظه انجام واکنش (غلظت $\text{CO}_2(\text{g})$ در کل کاهش می‌یابد).</p> <p>موجب جابه‌جایی تعادل در جهت رفت (جهت تولید CO_2) مقدار CaO افزایش می‌یابد، اما غلظت آن ثابت است.</p> <p>مقدار CaCO_3 کاهش می‌یابد، اما غلظت آن ثابت است.</p> |
|---|---|---|

مثال: کدام مطلب درباره سامانه تعادلی $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{I}_2(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g}) + \text{S}(\text{s})$ در یک ظرف سر بسته در دمای ثابت درست است؟

- (۱) خارج کردن مقداری گوگرد از سامانه، تعادل را به سمت راست جابه‌جا می‌کند.
- (۲) با افزودن مقداری ید به سامانه، غلظت $\text{HI}(\text{g})$ افزایش می‌یابد.
- (۳) با خارج کردن مقداری $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ ، جرم گوگرد موجود در ظرف کاهش می‌یابد.
- (۴) هر چه جرم گوگرد بیشتر باشد، سرعت واکنش برگشت بیشتر خواهد بود.

راه‌حل: در اثر خارج کردن مقداری از گاز H_2S ، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. از این‌رو از جرم گوگرد موجود در ظرف کاسته می‌شود. دو ماده گوگرد (S) و ید (I_2)، جامد خالص هستند، بنابراین اضافه و یا کم کردن آن‌ها اثری روی جابه‌جایی تعادل و سرعت واکنش‌های رفت و برگشت ندارد (گزینه ۳).

جمع‌بندی کلاس درس ۳۰

- | | | |
|---|---|---|
| <p>۱- حضورشان برای برقراری تعادل لازم است.</p> <p>۲- در رابطه ثابت تعادل نوشته نمی‌شوند.</p> <p>۳- با جابه‌جایی تعادل مقدار آن‌ها تغییر می‌کند (نه غلظت آن‌ها).</p> <p>۴- تغییر مقدار آن‌ها نمی‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود.</p> | } | <p>مواد جامد (s) و مایع (l) خالص</p> |
|---|---|---|

ید ($\text{I}_2(\text{s})$)، یک ماده جامد خالص است. پس غلظت آن ثابت بوده و بر اثر اضافه یا کم کردن آن، تعادل جابه‌جا نمی‌شود و تغییری در آن مشاهده نمی‌شود. عبارت ثابت تعادل برای این واکنش به صورت روبه‌رو است:

$$K = \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

با توجه به عبارت، بر اثر کاهش $[\text{NH}_3]$ ، تعادل در جهت تولید این ماده، یعنی جهت رفت، پیش می‌رود و مقدار $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ نیز افزایش می‌یابد. اثر تغییر غلظت روی مقدار ثابت تعادل تغییری ایجاد نمی‌کند. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): بر اثر افزایش غلظت $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ ، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود و مقدار $\text{NH}_4\text{HS}(\text{g})$ افزایش می‌یابد، اما با توجه به این که NH_4HS یک جامد خالص است، غلظت آن ثابت بوده و تغییر نمی‌کند.

گزینه (۲): با اضافه یا کم کردن یک ماده جامد خالص، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

گزینه (۴): NH_4HS یک جامد خالص است، پس با خارج کردن آن تغییری در تعادل ایجاد نشده و سرعت واکنش‌های رفت و برگشت تغییر نمی‌کند.

۱۸۱ (B) ۴ عبارت‌های (الف)، (پ) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): بر اثر کاهش غلظت $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. در قسمت فراورده‌ها، ۱۱۲ گرم ماده جامد (۲ مول Fe) و در قسمت واکنش‌دهنده‌ها، ۱۶۰ گرم ماده جامد (۱ مول Fe_2O_3) داریم، از این‌رو، با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، جرم مواد جامد موجود در تعادل افزایش می‌یابد.

عبارت (ب): Fe یک جامد خالص است، پس با افزایش مقدار آن، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

عبارت (پ): با افزایش غلظت $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بنابراین سرعت واکنش برگشت افزایش پیدا می‌کند. همچنین بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، مقدار (تعداد مول) $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{g})$ افزایش می‌یابد.

عبارت (ت): Fe_2O_3 یک جامد خالص بوده و غلظت آن ثابت است، پس با خارج کردن مقداری از این ماده، تغییری در تعادل مشاهده نخواهیم کرد.

۱۸۲ (A) ۳ مقداری از A را از تعادل خارج کرده‌ایم، از این‌رو باید در نخستین لحظه، غلظت A به‌طور ناگهانی کاهش یابد (نادرستی گزینه (۴))، با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، مقداری از کاهش غلظت A جبران می‌شود، بنابراین غلظت A در تعادل جدید، نسبت به تعادل اولیه کمتر است (نادرستی گزینه (۲))، بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، باید غلظت C کاهش یابد (نادرستی گزینه (۱)).

با توجه به نمودار، تغییر وارد شده، افزایش غلظت PCl_5 می‌باشد. بر اثر این تغییر سرعت واکنش رفت افزایش یافته و تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود. در اثر این جابه‌جایی، غلظت PCl_3 و Cl_2 به تدریج افزایش می‌یابد تا به تعادل جدید برسیم و غلظت این دو ماده ثابت شود. بنابراین از لحظه اعمال تغییر تا لحظه برقراری تعادل جدید، سرعت مصرف PCl_5 که همان سرعت واکنش برگشت است، به تدریج افزایش می‌یابد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۱): بر اثر افزایش غلظت PCl_5 ، تعادل به هم خورده و به سمت راست جابه‌جا می‌شود، در تعادل جدید، غلظت هر سه ماده PCl_5 ، PCl_3 و Cl_2 از تعادل اولیه بیشتر است، بنابراین سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه بیشتر می‌باشد.
گزینه (۳): K فقط تابع دما است، از آن‌جا که حین افزایش غلظت PCl_5 ، دما تغییر نکرده، مقدار K در تعادل جدید با تعادل اولیه برابر است.
گزینه (۴): مقدار افزایش غلظت PCl_3 و Cl_2 به یک میزان است، اما با توجه به افزودن مقداری PCl_5 به ظرف، نمی‌توان درباره رابطه مقدار تغییر غلظت آن با مواد دیگر بحث کرد.

اثر تغییر غلظت یون‌ها در واکنش‌های تعادلی محلول‌ها

کلاس درس

۱۳

می‌دانیم یونش اسیدهای ضعیف و بازهای ضعیف در آب به صورت جزئی و تعادلی انجام می‌شود، حال فرض کنید به تعادل یک اسید ضعیف مقداری باز قوی اضافه کنیم و یا به تعادل یک باز ضعیف مقداری اسید قوی بیفزاییم. به نظر شما در این صورت تعادل اسید یا باز ضعیف جابه‌جا می‌شود؟ یا اگر در یک واکنش تعادلی مقداری نمک اضافه کنیم، امکان دارد که تعادل جابه‌جا شود؟

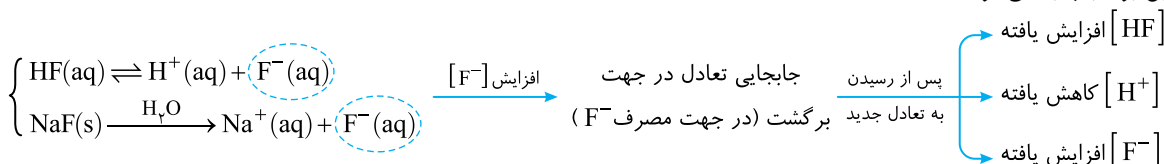
تشکیل رسوب و جابه‌جایی تعادل

اگر محلول یک ترکیب یونی را به ظرف محلول واکنش تعادلی اضافه کنیم، دو حالت ممکن است اتفاق بیفتد:

۱- اگر ترکیب اضافه شده دارای یونی باشد که در تعادل نیز این یون را داشته باشیم، در نتیجه در اثر انحلال ترکیب اضافه شده، غلظت یون مورد نظر در تعادل افزایش یافته و به همین دلیل، تعادل در جهت مصرف این یون جابه‌جا می‌شود.

اگر در تعادل $\text{HF(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{F}^-(\text{aq})$ مقداری از نمک NaF(s) را بیفزاییم، به دلیل افزایش غلظت یون فلوئورید $(\text{F}^-(\text{aq}))$ تعادل در

جهت مصرف این یون جابه‌جا می‌شود:

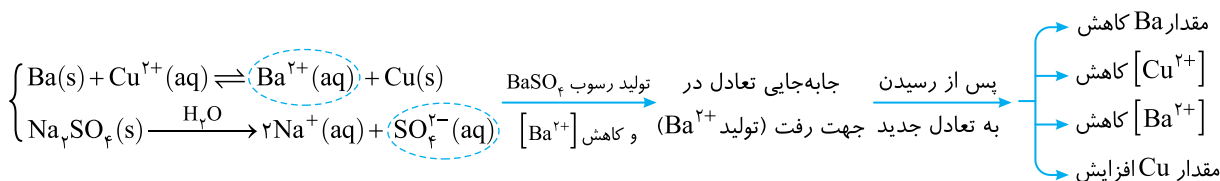


۲- اگر ترکیب اضافه شده دارای یونی باشد که با یکی از یون‌های موجود در محلول تشکیل رسوب دهد، غلظت یون مورد نظر در تعادل کاهش یافته و به همین دلیل، طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت تولید این یون جابه‌جا می‌شود.

مثال ۱: اگر به تعادل $\text{Ba(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$ مقداری از نمک $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{s})$ را اضافه کنیم، یون سولفات (SO_4^{2-}) موجود

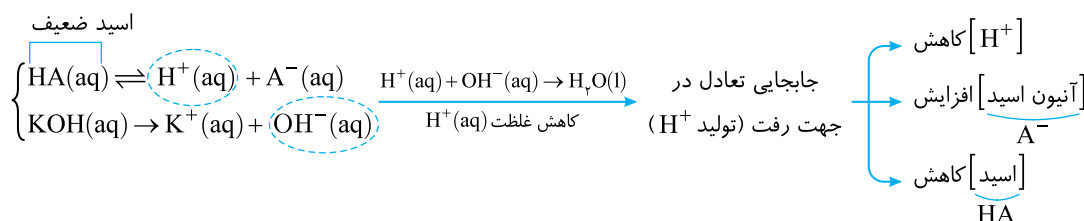
در این نمک با یون باریم (Ba^{2+}) موجود در تعادل رسوب $\text{BaSO}_4(\text{s})$ تشکیل می‌دهد، به همین دلیل، غلظت یون $\text{Ba}^{2+}(\text{aq})$ در محلول

کاهش یافته و موجب جابه‌جایی تعادل در جهت تولید این یون (در جهت رفت) می‌شود:

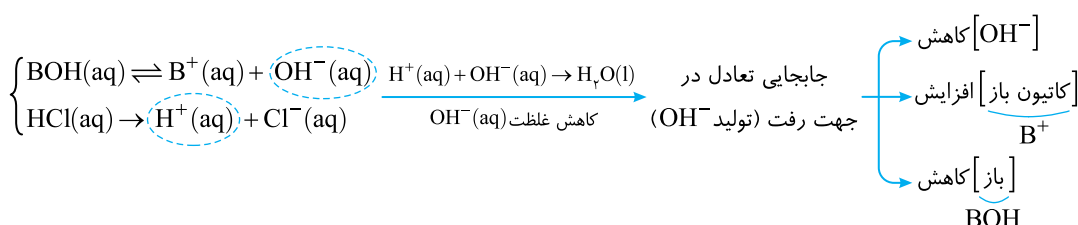


تغییر $[H^+]$ و $[OH^-]$ و جابه‌جایی تعادل اسیدها و بازهای ضعیف

۱- اگر به تعادل یک اسید ضعیف، مقداری باز قوی اضافه کنیم، یون $H^+(aq)$ اسید با یون $OH^-(aq)$ واکنش داده و آب ($H_2O(l)$) تولید می‌کند. به همین دلیل، غلظت یون $H^+(aq)$ در تعادل کاهش می‌یابد، در این لحظه طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت تولید یون $H^+(aq)$ (در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود، برای این که تا حد امکان اثر تغییر تحمیلی را جبران کند:



۲- اگر به تعادل یک باز ضعیف، مقداری اسید قوی اضافه کنیم، یون $OH^-(aq)$ باز با یون $H^+(aq)$ اسید قوی واکنش داده و آب ($H_2O(l)$) تولید می‌کند، به همین دلیل غلظت یون $OH^-(aq)$ در تعادل کاهش می‌یابد، در این لحظه طبق اصل لوشاتلیه، تعادل در جهت تولید یون $OH^-(aq)$ (در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود، برای این که تا حد امکان اثر تغییر تحمیلی را جبران کند:



مثال ۲: اگر به محلول تعادل $Zn(s) + Fe^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Fe(s)$ مقداری $ZnCl_2$ را در دمای ثابت بیفزاییم، کدام اتفاق روی می‌دهد؟

(۱) تعداد مول Zn کاهش می‌یابد. (۲) تعادل در جهت رفت جابه‌جا می‌شود.

(۳) مقدار K افزایش می‌یابد. (۴) غلظت یون $Zn^{2+}(aq)$ در آب افزایش می‌یابد.

راه‌حل: ترکیب $ZnCl_2$ پس از انحلال در آب، تفکیک یونی می‌شود.

$$ZnCl_2(s) \xrightarrow{H_2O} Zn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$$

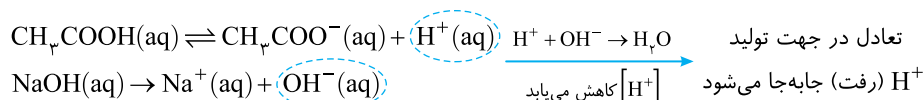
در اثر تفکیک یونی این ترکیب، غلظت یون $Zn^{2+}(aq)$ موجود در محلول افزایش یافته و تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، مقداری از یون‌های $Zn^{2+}(aq)$ اضافه‌شده مصرف می‌شوند، ولی از آن‌جا که تعادل نمی‌تواند به‌طور کامل با تغییر وارد شده مقابله کند، غلظت Zn^{2+} در تعادل جدید از تعادل اولیه بیشتر خواهد بود. حین جابه‌جایی تعادل، دما ثابت است، پس مقدار K تغییر نمی‌کند. همچنین به دلیل جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، بر مقدار Zn افزوده می‌شود. (گزینه ۴)

اگر به سامانه تعادلی $CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$ مقداری سدیم هیدروکسید اضافه کنیم، کدام گزینه نادرست است؟

(۱) غلظت یون H^+ موجود در این تعادل کاهش می‌یابد. (۲) تعادل در جهت رفت جابه‌جا می‌شود.

(۳) غلظت یون استات در این تعادل کاهش می‌یابد. (۴) مقدار عددی ثابت تعادل تغییر نمی‌کند.

راه‌حل: در صورت اضافه کردن سدیم هیدروکسید ($NaOH$)، غلظت یون $H^+(aq)$ کاهش می‌یابد و تعادل در جهت رفت (تولید $H^+(aq)$) جابه‌جا می‌شود.



در صورت جابه‌جایی تعادل در جهت رفت، غلظت یون استات (CH_3COO^-) افزایش، غلظت اسید (CH_3COOH) کاهش و غلظت یون $H^+(aq)$ کاهش می‌یابد. (گزینه ۳)

توجه: چون دما ثابت است، مقدار عددی ثابت تعادل تغییر نمی‌کند.

KCl یک ترکیب یونی محلول در آب است. پس از افزودن این ماده به محلول، $KCl(s)$ تفکیک یونی شده و یون‌های $K^+(aq)$ و $Cl^-(aq)$ را آزاد می‌کند. از این‌رو بر اثر انحلال KCl ، غلظت یون $Cl^-(aq)$ در محلول افزایش می‌یابد و طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود تا مقداری از یون‌های $Cl^-(aq)$ را مصرف کند.

$$KCl(s) \xrightarrow{H_2O} K^+(aq) + Cl^-(aq)$$

بررسی سایر گزینه‌ها:

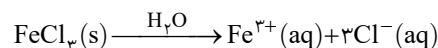
گزینه (۱): H_2O یک ماده مایع خالص است، بنابراین غلظت آن ثابت می‌باشد.

گزینه (۳): بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت راست، غلظت یون $CoCl_4^{2-}(aq)$ افزایش می‌یابد، اما به دلیل ثابت بودن دما، مقدار ثابت تعادل (K) تغییر نمی‌کند.

گزینه (۴): با افزایش غلظت $Cl^-(aq)$ در تعادل جدید، سرعت واکنش رفت افزایش یافته و با توجه به برابر بودن سرعت واکنش رفت و برگشت در تعادل جدید، می‌توان نتیجه گرفت که سرعت واکنش برگشت نیز افزایش یافته است.

۱۸۵ (B) عبارتهای (الف)، (ب) و (ت) درست هستند.

پس از افزایش پودر $FeCl_3$ ، این ماده تفکیک یونی شده و یون‌های $Fe^{3+}(aq)$ و $Cl^-(aq)$ را در محلول آزاد می‌کند.



بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): به دلیل این که به‌طور معمول با جابه‌جایی تعادل، اثر تغییر وارد شده به‌طور کامل از بین نمی‌رود، پس از برقراری تعادل جدید، غلظت یون $Fe^{3+}(aq)$ از تعادل اولیه بیشتر است.

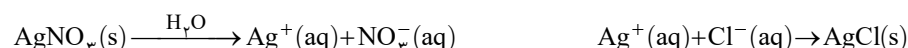
عبارت (ب): بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، غلظت یون‌های قرمز رنگ $FeSCN^{2+}(aq)$ در محلول بیشتر می‌شود.

عبارت (پ): یون‌های $Fe^{3+}(aq)$ آزاد شده، در اثر تفکیک یونی $FeCl_3$ ، موجب افزایش غلظت این یون در محلول می‌شوند، بنابراین تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، تا مقداری از یون‌های $Fe^{3+}(aq)$ را مصرف کند. به همین دلیل افزودن یون‌های $Fe^{3+}(aq)$ به سامانه تعادلی، سبب افزایش غلظت $FeSCN^{2+}(aq)$ می‌شود در نتیجه پس از برقراری تعادل جدید، سرعت واکنش‌ها با یکدیگر برابر بوده و بیشتر از تعادل اولیه است.

عبارت (ت): با توجه به توضیحات عبارت (پ) سرعت واکنش برگشت افزایش پیدا می‌کند.

۱۸۶ (A) نقره نیترات ($AgNO_3$) محلول در آب است و بر اثر تفکیک یونی آن، یون‌های $Ag^+(aq)$ و $NO_3^-(aq)$ آزاد می‌شوند. یون‌های

$Ag^+(aq)$ با یون‌های $Cl^-(aq)$ موجود در تعادل واکنش داده و رسوب سفید رنگ $AgCl(s)$ را تولید می‌کنند.



بر اثر واکنش یون‌های $Ag^+(aq)$ و $Cl^-(aq)$ ، غلظت یون $Cl^-(aq)$ در محلول کاهش می‌یابد، بنابراین طبق اصل لوشاتلیه، تعادل انحلال KCl به سمت راست جابه‌جا می‌شود. در نتیجه مقداری از ذره‌های KCl جامد حل می‌شوند و انحلال‌پذیری KCl افزایش می‌یابد. همچنین یون‌های $K^+(aq)$ تولید شده موجب افزایش غلظت این یون در محلول می‌شوند. اما از آن‌جا که به‌طور معمول تعادل نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد، پس از برقراری تعادل جدید، غلظت یون Cl^- نسبت به تعادل اولیه کمتر است.

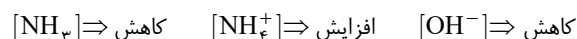
۱۸۷ (A) هنگامی که گاز Ar را به تعادل می‌افزاییم، این گاز نجیب با هیچ یک از مواد موجود در تعادل واکنش نمی‌دهد. از این‌رو، تعداد مول مواد تغییر نمی‌کند. به گازهایی مانند Ar گاز بی‌اثر می‌گوییم، یعنی گازی که تمایلی به انجام واکنش با مواد موجود در تعادل ندارد.

حجم ظرف هم ثابت است، بنابراین به دلیل تغییر نکردن تعداد مول مواد، بر اثر افزودن گاز Ar ، غلظت هیچ یک از گازهای مخلوط تعادلی تغییر نکرده و به همین دلیل تعادل جابه‌جا نمی‌شود. تنها اثر افزودن Ar افزایش فشار کل است، یعنی به دلیل افزایش تعداد مول‌های گاز موجود در ظرف، تعداد برخوردها با دیواره ظرف افزایش یافته و در نتیجه، فشار مخلوط گازی زیاده‌تر می‌شود.

۱۸۸ (A) اگر به سامانه تعادلی مقداری پتاسیم کربنات بیفزاییم، به علت افزایش غلظت یون کربنات تعادل در جهت مصرف آن حرکت می‌کند و به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. در نتیجه این تغییر، غلظت واکنش‌دهنده‌ها افزایش می‌یابد و در تعادل جدید، سرعت واکنش رفت افزایش می‌یابد.

۱۸۹ (A) اگر به این سامانه مقداری HCl اضافه کنیم، یون $H^+(aq)$ با یون $OH^-(aq)$ واکنش می‌دهد و از غلظت یون OH^- کاسته می‌شود.

تعادل برای مقابله با این تغییر در جهت تولید $OH^-(aq)$ که همان جهت رفت است، حرکت می‌کند و غلظت یون آمونیوم افزایش می‌یابد. با توجه به ثابت بودن دما، ثابت تعادل تغییری نمی‌کند.



دقت کنید که تعادل نمی‌تواند غلظت $OH^-(aq)$ را دوباره به حالت اول برگرداند و غلظت نهایی آن کمتر از غلظت اولیه آن می‌باشد.

۱۹۰ (A) در اثر افزودن پتاسیم هیدروکسید، یون $OH^-(aq)$ باز با یون $H_3O^+(aq)$ واکنش داده و آب تولید می‌کند. در نتیجه غلظت یون H_3O^+

کاهش می‌یابد. تعادل برای جبران این تغییر به سمت تولید $H_3O^+(aq)$ پیش می‌رود، اما نمی‌تواند به‌طور کامل اثر تغییر اعمال شده را جبران کند و غلظت یون هیدرونیوم پس از اعمال تغییر کمتر از حالت اولیه خواهد بود. در اثر حرکت تعادل به سمت راست، غلظت استیک اسید کاهش و غلظت یون استات افزایش می‌یابد.

۱۹۱ (A) ۳ با افزودن آب و دو برابر کردن حجم محلول، غلظت هر ماده محلول نصف می‌شود و غلظت مواد جامد ثابت می‌ماند. با توجه به این که تعداد مول مواد محلول در آب در سمت واکنش دهنده‌ها بیشتر است، غلظت واکنش دهنده‌ها بیشتر دچار کاهش می‌شود و طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت تولید واکنش دهنده‌ها، یعنی جهت برگشت حرکت می‌کند. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): اگر به این تعادل مقداری گاز CO_2 اضافه کنیم، تعادل در جهت مصرف آن یعنی در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود و سرعت مصرف $\text{H}_2(\text{g})$ که همان سرعت واکنش برگشت است، افزایش می‌یابد.

گزینه (۲): کلسیم کربنات ماده‌ای جامد است و با افزایش مقدار آن، غلظتش ثابت می‌ماند. در نتیجه تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

گزینه (۴): در صورت خارج کردن مقداری از گاز اکسیژن از تعادل مورد نظر، طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت تولید گاز O_2 حرکت می‌کند، اما نمی‌تواند مقدار $\text{O}_2(\text{g})$ خارج شده را به‌طور کامل جبران کند. در نتیجه $[\text{O}_2(\text{g})]$ و $[\text{SO}_2(\text{g})]$ نسبت به غلظت اولیه آن‌ها کاهش و $[\text{SO}_3(\text{g})]$ نسبت به غلظت اولیه آن افزایش می‌یابد.

۱۹۲ (A) ۱ عبارتهای (الف) و (ب) نادرست هستند. بررسی عبارت‌ها:

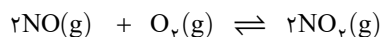
عبارت (الف): با افزودن آب، غلظت مواد محلول کاهش می‌یابد و غلظت مواد جامد ثابت می‌ماند. با توجه به این که تعداد مول مواد محلول در سمت واکنش دهنده‌ها بیشتر است، غلظت مواد در سمت واکنش دهنده‌ها بیشتر کاهش می‌یابد و مطابق اصل لوشاتلیه، واکنش در جهت تولید واکنش دهنده‌ها (جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود.

عبارت (ب): با افزودن نمک طعام، مقداری از یون‌های $\text{Ag}^+(\text{aq})$ در ترکیب با یون $\text{Cl}^-(\text{aq})$ نمک، تشکیل رسوب AgCl را می‌دهند و از غلظت آن‌ها کاسته می‌شود. بنابراین تعادل در جهت تولید یون Ag^+ (جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود.

عبارت (پ): با افزودن نقره نترات، غلظت یون $\text{Ag}^+(\text{aq})$ افزایش می‌یابد و تعادل در جهت مصرف آن جابه‌جا می‌شود که همان جهت رفت است. بنابراین سرعت مصرف $\text{Cu}(\text{s})$ افزایش می‌یابد.

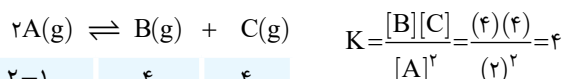
عبارت (ت): با افزودن مس (II) سولفات، غلظت یون Cu^{2+} افزایش می‌یابد و تعادل در جهت مصرف آن جابه‌جا می‌شود که در نتیجه این جابه‌جایی غلظت یون $\text{Ag}^+(\text{aq})$ افزایش می‌یابد که در نتیجه آن سرعت مصرف این یون هم افزایش می‌یابد.

۱۹۳ (B) ۱ پس از افزایش غلظت $\text{O}_2(\text{g})$ ، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل در جهت مصرف O_2 ، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. در نخستین لحظه تغییر وارد شده، غلظت گاز اکسیژن از $\frac{1}{2}\%$ به $\frac{3}{4}\%$ مول بر لیتر افزایش می‌یابد. حجم ظرف برابر ۱ لیتر است، بنابراین غلظت هر گاز با تعداد مول آن برابر می‌باشد.



غلظت در نخستین لحظه تغییر	۱	$\frac{1}{2} + \frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$[\text{NO}_2}]_{\text{تعداد جدید}} = \frac{1}{4} + 2x = \frac{1}{4} + 2x \Rightarrow x = \frac{1}{12} \text{mol.L}^{-1}$
تغییر غلظت	$-2x$	$-x$	$+2x$	$[\text{NO}]_{\text{تعداد جدید}} = 1 - 2x = 1 - 2(\frac{1}{12}) = \frac{9}{12} \text{mol.L}^{-1}$
غلظت در تعادل جدید	$1 - 2x$	$\frac{3}{4} - x$	$\frac{1}{4} + 2x$	

۱۹۴ (C) ۳ ابتدا باید با استفاده از غلظت‌های تعادلی داده شده، مقدار ثابت تعادل (K) را در تعادل اولیه به دست آوریم.



غلظت در نخستین لحظه تغییر	۲-۱	۴	۴	$[\text{B}]_{\text{تعداد جدید}} = 4 - x = 4 - \frac{1}{4} = \frac{15}{4} \text{mol.L}^{-1}$
تغییر غلظت	$+2x$	$-x$	$-x$	
غلظت در تعادل جدید	$1 + 2x$	$4 - x$	$4 - x$	$K = \frac{[\text{B}][\text{C}]}{[\text{A}]^2} = \frac{(4-x)(4-x)}{(1+2x)^2} = 4 \Rightarrow \frac{4-x}{1+2x} = 2 \Rightarrow x = \frac{1}{4} \text{mol.L}^{-1}$

با کاهش غلظت A از 2mol.L^{-1} به 1mol.L^{-1} ، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل برای تولید A به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. بر اثر این جابه‌جایی، به تدریج غلظت گازهای B و C کاهش و غلظت A به تدریج افزایش می‌یابد تا این که دوباره به تعادل برسیم و غلظت‌ها ثابت شوند. از آن‌جا که حین جابه‌جایی تعادل، دما تغییر نکرده، مقدار K در تعادل جدید با مقدار K در تعادل اولیه برابر است.

۱۹۵ B ابتدا ثابت تعادل اولیه را محاسبه می‌کنیم:

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{\left(\frac{4}{3}\right)^2}{\left(\frac{1}{3}\right)\left(\frac{4}{3}\right)} = 4$$



مول در نخستین لحظه تغییر	۱+۳	۴	۴
تغییر مول	-x	-x	+2x
مول در تعادل جدید	۴-x	۴-x	۴+2x

با افزودن ۳ مول A، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود. می‌دانیم با تغییر غلظت مواد، در دمای ثابت تعادل تغییری نخواهد کرد.

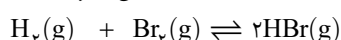
$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{(4+2x)^2}{(4-x)(4-x)} = 4 \Rightarrow \frac{4+2x}{4-x} = 2 \Rightarrow 4+2x = 8-2x \Rightarrow x = 1$$

با توجه به این که مجموع ضرایب واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌های گازی برابر است، حجم سامانه را می‌توان در نظر نگرفت و به جای غلظت از مقدار مول مواد استفاده کرد.

$$[C] = \frac{6 \text{ mol}}{3 \text{ L}} = 2 \text{ mol.L}^{-1}$$

پس مول C در تعادل جدید برابر ۶ و در نتیجه غلظت آن برابر است با:

۱۹۶ B ابتدا مقدار K را به دست می‌آوریم. دقت کنید که حجم سامانه در محاسبه مقدار ثابت تعادل بی‌تأثیر است.



نخستین لحظه تغییر	۱+۳	۴	۵
تغییر مول	-x	-x	+2x
مول تعادل جدید	۴-x	۴-x	۵+2x

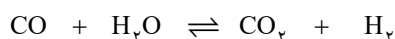
$$K = \frac{[HBr]^2}{[H_p][Br_p]} = \frac{(5)^2}{(1)(4)} = 6/25$$

با افزایش مقدار و غلظت گاز H_p ، واکنش در جهت رفت پیشروی می‌کند تا تعادل جدید برقرار شود، اما ثابت تعادل که وابسته به دما است، تغییر نمی‌کند.

$$K = \frac{[HBr]^2}{[H_p][Br_p]} \Rightarrow 6/25 = \frac{(5+2x)^2}{(4-x)(4-x)} \Rightarrow 2/5 = \frac{5+2x}{4-x} \Rightarrow x = 1/11 \text{ mol}$$

$$\text{مجموع مول واکنش‌دهنده} = (4-1/11) + (4-1/11) = 5/78 \text{ mol}$$

۱۹۷ C حجم ظرف یک لیتر است. پس غلظت تعادلی گازهای CO ، H_pO ، CO_p و H_p به ترتیب برابر ۴، ۵، ۶ و ۲ مول بر لیتر است.



غلظت در نخستین لحظه تغییر	۴	۵	۶	۲+y
تغییر غلظت	+x	+x	-x	-x
غلظت در تعادل جدید	۴+x	۵+x	۶-x	۲+y-x

$$K = \frac{[CO_p][H_p]}{[CO][H_pO]} = \frac{6 \times 2}{4 \times 5} = 0/6$$

مقدار K اولیه را محاسبه می‌کنیم:

با افزایش غلظت گاز H_p ، واکنش در جهت مصرف آن یعنی در جهت برگشت پیشرفت می‌کند.

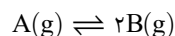
$$4+x+5+x=11 \Rightarrow x=1$$

با توجه به اطلاعات مسئله، ۱۱ مول واکنش‌دهنده در ظرف داریم، پس:

$$K = \frac{(6-x)(2+y-x)}{(4+x)(5+x)} = \frac{6 \times 2}{5 \times 6} = \frac{2}{5} \Rightarrow y = 2/6 \text{ mol}$$

می‌دانیم با تغییر غلظت مواد، در دمای ثابت، ثابت تعادل تغییر نمی‌کند:

۱۹۸ C بازده درصدی ۵۰٪ به این معنی است که در تعادل، نیمی از مول‌های واکنش‌دهنده (A) تجزیه شده است.



مول اولیه	۴	۰
تغییر مول	-x	+2x
مول تعادل جدید	۴-x	2x

$$x = \frac{50}{100} \times 4 \Rightarrow x = 2 \text{ mol}$$

مطابق داده‌های سؤال می‌توان نوشت:

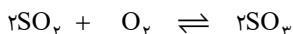
$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{(2x)^2}{(4-x)} = \frac{4^2}{2} = 8 \text{ mol.L}^{-1}$$

اکنون ثابت تعادل را حساب می‌کنیم:

اگر نیمی از مول‌های B، یعنی ۲ مول از این ماده را از سامانه واکنش خارج کنیم، تعادل برای جبران آن در جهت رفت جابه‌جا می‌شود، یعنی مقداری A مصرف و مقداری B تولید خواهد شد و دوباره واکنش به تعادل می‌رسد.

$$\text{در تعادل جدید: } \begin{cases} \text{تعداد مول A: } 2-x \\ \text{تعداد مول B: } 2+2x \end{cases} \Rightarrow K = \frac{(2+2x)^2}{2-x} = 8 \Rightarrow \frac{2^2(1+x)^2}{2-x} = 8 \Rightarrow \frac{(1+x)^2}{2-x} = 2 \Rightarrow x^2 + 4x - 3 = 0 \Rightarrow x = \frac{-4 \pm \sqrt{28}}{2} = \frac{-4 \pm 2\sqrt{7}}{2}$$

$$= \frac{-4 \pm 2\sqrt{(2/65)}}{2} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 0/65 \text{ (ق ق)} \\ x_2 = -4/65 \text{ (غ ق ق)} \end{cases} \Rightarrow [B] = \frac{(2+2x) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{2+2(0/65)}{1} = 3/3 \text{ mol.L}^{-1}$$



مول اولیه	۶	۶	۰
تغییر مول	-۲x	-x	+۲x
مول نهایی	۶-۲x	۶-x	۲x

اعمال تغییر

مول در نخستین لحظه تغییر	۶-۲x	۶-x	۲x-۲
تغییر مول	-۲y	-y	+۲y
مول در تعادل جدید	۶-۲x-۲y	۶-x-y	۲x-۲+۲y

$$[\text{SO}_3] = \frac{(2x+2y-2)\text{mol}}{10\text{L}} = 0.2 \Rightarrow 2x+2y=4 \Rightarrow x+y=2$$

در این لحظه غلظت گاز SO_3 به 0.2 مول بر لیتر رسیده است، پس:به جای $(x+y)$ در غلظت گازهای اکسیژن و گوگرد دی‌اکسید، عدد ۲ را جایگزین می‌کنیم:

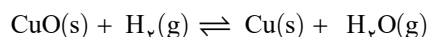
$$\text{mol O}_2 = 6-x-y = 6-(x+y) = 4\text{mol} \Rightarrow [\text{O}_2] = \frac{4\text{mol}}{10\text{L}} = 0.4\text{mol.L}^{-1}$$

$$\text{mol SO}_2 = 6-2x-2y = 6-(2x+2y) = 2\text{mol} \Rightarrow [\text{SO}_2] = \frac{2\text{mol}}{10\text{L}} = 0.2\text{mol.L}^{-1}$$

$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]} = \frac{(0.2)^2}{(0.2)^2 (0.4)} = 2.5\text{mol}^{-1}.\text{L}^{+1}$$

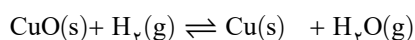
ثابت تعادل برابر است با:

۲۰۰



مول اولیه	۳	۱	۰	۰
تغییر مول	-x	-x	+x	+x
مول نهایی	۳-x	۱-x	x	x

$$K = \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[\text{H}_2]} = 4 = \frac{x}{1-x} \Rightarrow x = 4-4x \Rightarrow 5x = 4 \Rightarrow x = \frac{4}{5}$$

با افزایش یک مول گاز H_2 تعادل به سمت راست می‌رود و ثابت تعادل تغییر نمی‌کند.

مول لحظه اولیه تغییر	۲/۲	۰/۲+۱	۰/۸	۰/۸
تغییر مول	-y	-y	+y	+y
مول نهایی	۲/۲-y	۱/۲-y	۰/۸+y	۰/۸+y

$$K = \frac{0.8+y}{1/2-y} = 4 \Rightarrow 0.8+y = 4/8-4y \Rightarrow 4 = 5y \Rightarrow y = \frac{4}{5}$$

پس غلظت گاز هیدروژن در نهایت برابر $1/2 - 0.8 = 0.4\text{mol.L}^{-1}$ می‌شود.

۲۰۱

هرگاه در دمای ثابت، در یک واکنش به حالت تعادل، غلظت یکی از فراورده‌ها کاهش یابد، واکنش در جهت رفت تا آن‌جا پیش می‌رود که به ثابت تعادل آغازی برسد. در واقع، چون دما ثابت است، مقدار ثابت تعادل تغییری نمی‌کند.

۲۰۲

تغییر حجم سامانه در تعادل‌های گازی

کلاس درس

۳۳

تاکنون آموختیم که در دما و حجم ثابت با افزایش شمار مول‌های یکی از مواد شرکت‌کننده، غلظت آن افزایش می‌یابد و مطابق اصل لوشاتلیه واکنش تعادلی تا حد امکان در جهت مصرف آن جابه‌جا می‌شود. برای تغییر غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل می‌توان از روش دیگری نیز بهره برد که در این کلاس درس به بررسی این موضوع می‌پردازیم.

رابطه حجم، فشار و غلظت

برای تغییر غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل گازی می‌توان در دمای ثابت حجم سامانه را تغییر داد:

کاهش حجم = افزایش فشار

افزایش حجم = کاهش فشار

توجه: فشار گاز، ناشی از برخورد مولکول‌های یک گاز با دیواره ظرف است. در دمای ثابت، فشار یک گاز با حجم ظرف رابطه عکس دارد، یعنی اگر در دمای ثابت، حجم ظرف را کاهش دهیم، غلظت مولکول‌های گاز بیشتر شده و تعداد برخورد مولکول‌های گاز با دیواره ظرف زیادتر می‌شود، در نتیجه فشار گاز افزایش می‌یابد.

تغییر حجم یا تغییر فشار چون باعث تغییر غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل می‌شود، می‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم:

اثر کاهش حجم یا افزایش فشار بر جابه‌جایی تعادل

کاهش حجم یک سامانه محتوی تعادل گازی یا افزایش فشار وارد بر این سامانه در دمای ثابت تعادل را در جهت تولید شمار مول‌های گازی کمتر جابه‌جا می‌کند تا به تعادل برسد.

دلیل: هنگامی که حجم ظرف را در دمای ثابت کاهش می‌دهیم، در نخستین لحظه اعمال تغییر، فشار گازها زیاد می‌شود، از طرفی فشار یک گاز با تعداد مول آن رابطه مستقیم دارد. بنابراین برای این که طبق اصل لوشاتلیه تعادل اثر تغییر تحمیل شده را تا حد امکان جبران کند، به سمت تعداد مول گازی کمتر جابه‌جا می‌شود تا از این طریق شمار مول‌های گاز موجود در یک سامانه کمتر شود و شمار برخورد مولکول‌ها به دیواره‌ها کمتر و در نتیجه فشار گاز کمتر شود.

مثال ۱: در تعادل گازی $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ که در سیلندری مجهز به پیستون روان برقرار است، با افزایش فشار روی پیستون می‌توان

حجم سامانه را در دمای ثابت کاهش داد که در این صورت، تعادل به سمت مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست (در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود، زیرا در سمت چپ (واکنش‌دهنده‌ها) این تعادل ۴ مول گاز وجود دارد، این در حالی است که در سمت راست آن (فراورده‌ها) فقط ۲ مول گاز وجود دارد، بنابراین واکنش برای جبران اثر کاهش حجم (افزایش فشار)، باید به سمتی جابه‌جا شود که فشار کمتر می‌شود به همین خاطر به سمت مول گازی کمتر جابه‌جا می‌شود.

غلظت تمام مواد افزایش می‌یابد. $\rightarrow$ رسیدن به تعادل جدید (به سمت مول گازی کمتر) $\rightarrow$ جابه‌جایی تعادل در جهت رفت (افزایش فشار) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ مقدار گازهای H_2 و N_2 کاهش و مقدار گاز NH_3 افزایش می‌یابد.

استنباط نکنید شاید این تصور به وجود آید که در مثال قبل به دلیل جابه‌جایی تعادل در جهت رفت $[N_2]$ و $[H_2]$ کاهش می‌یابد، در حالی که این‌طور نیست و غلظت همه مواد شرکت‌کننده در این تعادل افزایش می‌یابد. در واقع مقدار گازهای N_2 و H_2 کاهش می‌یابد نه غلظت آن‌ها:

$$[N_2] \text{ و } [H_2] \text{ افزایش می‌یابد} \Rightarrow \text{تغییرات حجم از تغییرات شمار مول بیشتر است} \Rightarrow \frac{n \downarrow (\text{کاهش})}{V \downarrow (\text{کاهش})} = [N_2], [H_2]$$

توجه غلظت یک گاز از تقسیم تعداد مول آن به حجم ظرف به دست می‌آید:

$$[A] = \frac{n(\text{مول})}{V(\text{حجم})}$$

اثر افزایش حجم یا کاهش فشار بر جابه‌جایی تعادل

افزایش حجم یک سامانه محتوی تعادل گازی و یا کاهش فشار وارد بر این سامانه در دمای ثابت، تعادل را در جهت شمار مول‌های گازی بیشتر جابه‌جا می‌کند تا زمانی که تعادل جدیدی برقرار گردد.

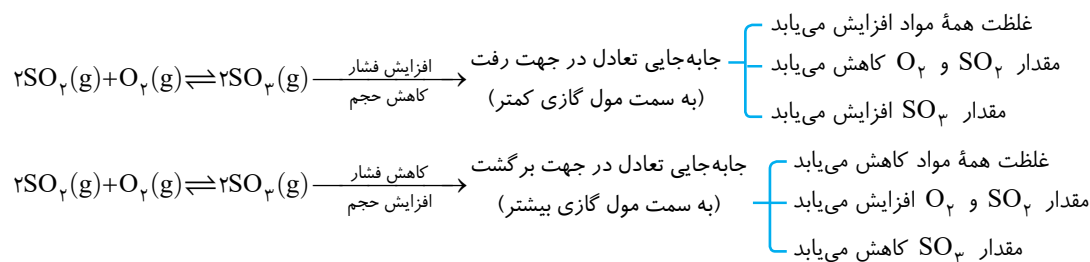
توضیح: هنگامی که حجم ظرف را در دمای ثابت افزایش می‌دهیم، در نخستین لحظه اعمال تغییر، فشار گازها کم می‌شود، به همین دلیل طبق اصل لوشاتلیه واکنش باید در جهت مول گازی بیشتر پیش برود تا از این طریق، شمار مول‌های گازی موجود در یک سامانه بیشتر شود و شمار برخورد مولکول‌ها به دیواره‌ها بیشتر و در نتیجه فشار گاز بیشتر شود.

توجه در صورت ثابت بودن دما تغییرات حجم و فشار مقدار عددی ثابت تعادل را تغییر نمی‌دهد.

مثال ۲: کدام گزینه در رابطه با تعادل $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ نادرست است؟

- (۱) کاهش حجم، تعادل موجود در این سامانه را به سمت راست جابه‌جا می‌کند.
- (۲) افزایش فشار غلظت $SO_2(g)$ را افزایش و غلظت $SO_3(g)$ را کاهش می‌دهد.
- (۳) کاهش فشار شمار مول‌های موجود در تعادل را افزایش می‌دهد.
- (۴) افزایش حجم موجب می‌شود واکنش در جهت شمار مول‌های گازی بیشتر پیش برود و به تعادل جدیدی برسد.

راه‌حل: اثر کاهش حجم (افزایش فشار) و افزایش حجم (کاهش فشار) را بر تعادل مورد نظر بررسی می‌کنیم:



(گزینه ۲)

کلاس درس ۳۳

جمع‌بندی

- کاهش حجم (افزایش فشار) ← افزایش غلظت تمام مواد گازی + جابه‌جایی تعادل در جهت مول گازی کمتر
- افزایش حجم (کاهش فشار) ← کاهش غلظت تمام مواد گازی + جابه‌جایی تعادل در جهت مول گازی بیشتر

هنگامی که در دمای ثابت، فشار وارد بر یک تعادل گازی افزایش می‌یابد، واکنش در جهت شمار مول‌های گازی کمتر و هنگامی که فشار وارد بر یک تعادل گازی کاهش می‌یابد، واکنش در جهت شمار مول‌های گازی بیشتر پیش می‌رود. تا به تعادل جدید برسد، اما ثابت تعادل ثابت باقی می‌ماند.

تغییر نشان داده شده در شکل، افزایش فشار است. طبق اصل لوشاتلیه در اثر افزایش فشار، تعادل در جهت تولید تعداد مول گازی کمتر حرکت می‌کند تا با اثرات افزایش فشار مقابله کند. با توجه به معادله واکنش تولید آمونیاک، « $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ » تعادل در جهت تولید گاز

آمونیاک پیش می‌رود. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): شکل، اثر افزایش غلظت مواد شرکت‌کننده در اثر کاهش حجم را در دمای ثابت نشان می‌دهد.

گزینه (۲): با توجه به رابطه $P_1 V_1 = P_2 V_2$ می‌توان گفت: $P_2 > P_1 \rightarrow V_1 > V_2$ دما ثابت است.

گزینه (۴): با توجه به ثابت بودن دما، مقدار عددی ثابت تعادل تغییری نمی‌کند، اما به علت کاهش حجم، غلظت همه گونه‌ها افزایش می‌یابد.

۴۰۴

تعادل‌هایی که در اثر تغییر فشار جابه‌جا نمی‌شوند

کلاس درس ۳۳

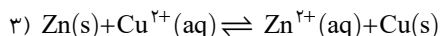
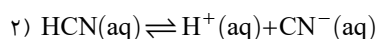
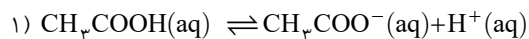
اثر تغییر حجم (تغییر فشار) در تعادل‌هایی که تمام مواد شرکت‌کننده در آن‌ها گازی شکل بودند را بررسی کردیم. در این کلاس درس می‌خواهیم تعادل‌هایی را که تغییر فشار نمی‌تواند موجب جابه‌جایی آن‌ها شود، بررسی کنیم:

تغییر فشار برخی از تعادل‌ها را جابه‌جا نمی‌کند

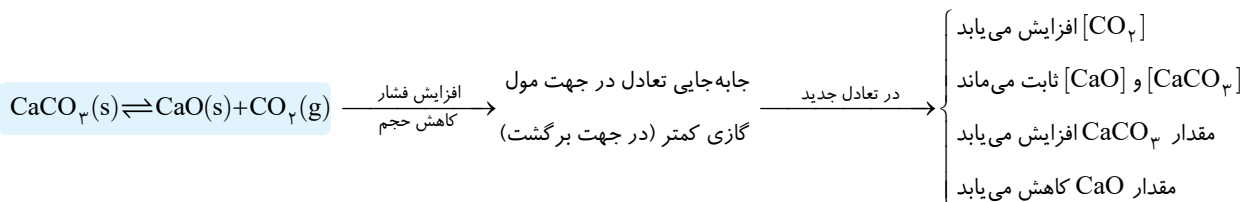
تغییر فشار (تغییر حجم) فقط تعادل‌هایی را می‌تواند جابه‌جا کند که دو شرط زیر را داشته باشند:

۱- حداقل یکی از مواد شرکت‌کننده در تعادل گازی شکل باشد.

مثال ۱: در تعادل‌های زیر ماده گازی شکل نداریم. به همین دلیل تغییر فشار (تغییر حجم) تعادل را جابه‌جا نمی‌کند:



توجه: حضور فقط یک ماده گازی شکل در تعادل نیز باعث می‌شود تغییر فشار بر جابه‌جایی تعادل مؤثر باشد، به‌عنوان مثال، در تعادل $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ فقط یک ماده گازی شکل حضور دارد و تغییرات فشار باعث جابه‌جایی تعادل می‌شود:

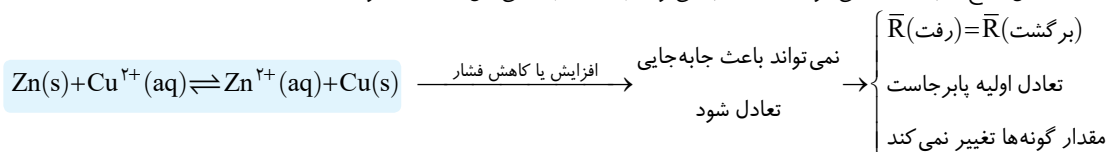


نکته

در واکنش‌های تعادلی یونش اسیدها و بازهای ضعیف در آب در بین مواد شرکت‌کننده در واکنش، ماده گازی شکل وجود ندارد، به همین دلیل در این واکنش‌ها تغییر فشار (تغییر حجم ظرف) نمی‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود. (مورد (۱) و (۲) در مثال ۱)

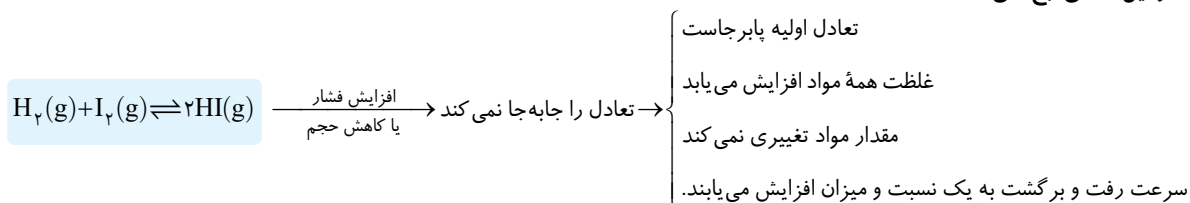
سؤال مفهومی چرا تغییر فشار نمی‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل‌هایی شود که در آن‌ها مادهٔ گازی شکل وجود ندارد؟

توضیح: مایع‌ها و جامدها تراکم‌ناپذیر هستند و با تغییر حجم ظرف، غلظت آن‌ها تغییر نمی‌کند، بنابراین تغییر فشار تأثیری روی سرعت واکنش‌های رفت و برگشت تعادل‌هایی که فقط شامل مایع‌ها و جامدها می‌شوند، نداشته و نمی‌تواند باعث جابه‌جایی این تعادل‌ها شود.

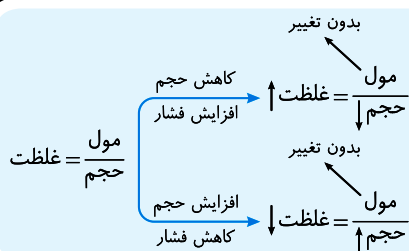


۲- تعداد مول‌های گازی دو طرف معادلهٔ واکنش با هم برابر نباشد. در واقع تغییر فشار یا حجم بر یک واکنش تعادلی که شمار مول‌های گازی در دو طرف معادلهٔ واکنش آن برابر باشد، بی‌تأثیر است.

مثال ۲: در تعادل گازی $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ ، اگر در دمای ثابت، فشار را افزایش دهیم، تعادل جابه‌جا نمی‌شود، زیرا تعداد مول گازی دو طرف معادلهٔ واکنش برابر است. می‌دانیم افزایش فشار، تعادل را به سمت مول گازی کمتر جابه‌جا می‌کند، اما در این تعادل مول گازی دو طرف برابر است و این اتفاقی رخ نمی‌دهد:



نکته



در تعادل‌هایی که مول گازی دو طرف برابر است، تغییر فشار یا حجم هر چند نمی‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود، اما غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل را تغییر می‌دهد. به‌طور کلی افزایش فشار، غلظت تمام مواد گازی را افزایش و کاهش فشار، غلظت تمام مواد گازی را کاهش می‌دهد:

استنباط نکته در تعادل‌هایی که شمار مول‌های گازی دو طرف معادلهٔ واکنش برابر است، افزایش فشار (کاهش حجم) غلظت تمام مواد را افزایش می‌دهد که این موضوع سبب افزایش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت می‌شود، اما چون سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به یک میزان افزایش می‌یابند، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

کاهش فشار نیز غلظت همهٔ مواد را کاهش می‌دهد که این موضوع موجب می‌شود سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به یک میزان کاهش یابد، به همین دلیل تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

جمع‌بندی کلاس درس

اگر تعداد مول گازی دو طرف برابر باشد + بر جابه‌جایی تعادل بی‌اثر است + سرعت رفت و برگشت را تغییر می‌دهد
↑ فشار: R ↑, ↓ فشار: R ↓

اگر مول گازی در تعادل نداشته باشیم + بر جابه‌جایی تعادل بی‌اثر است + بر سرعت رفت و برگشت نیز بی‌اثر است

در تعادل $\text{CN}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCN}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ ، مادهٔ گازی شکل وجود ندارد، از این‌رو، با تغییر فشار، این تعادل جابه‌جا نمی‌شود. در سایر گزینه‌ها، تعداد مول گازی در دو طرف معادلهٔ واکنش یکسان نیست، در نتیجه، با تغییر فشار جابه‌جا می‌شوند.

تغییر فشار و تأثیر آن بر سرعت

کلاس درس

عمر

می‌دانیم تغییر فشار (تغییر حجم) می‌تواند موجب جابه‌جایی تعادل‌هایی شود که در آن‌ها حداقل یک ماده گازی شکل وجود داشته باشد و در ضمن تعداد مول مواد گازی دو طرف نیز برابر نباشد. حال یک سؤال مطرح می‌شود: تغییر فشار (تغییر حجم) چه تأثیری بر سرعت واکنش‌های رفت و برگشت و همچنین چه تأثیری بر نمودار غلظت زمان دارد؟

تغییر فشار و سرعت واکنش رفت و برگشت

دربارۀ اثر تغییر فشار (تغییر حجم) بر سرعت واکنش‌هایی که حداقل یک ماده گازی شکل دارند، می‌توان گفت:

- ۱- بر اثر افزایش فشار (کاهش حجم) به دلیل افزایش غلظت همهٔ مواد شرکت‌کننده در تعادل، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد.
- ۲- بر اثر کاهش فشار (افزایش حجم) به دلیل کاهش غلظت همهٔ مواد گازی شرکت‌کننده در تعادل، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت کاهش می‌یابد.
- ۳- در واکنش‌های تعادلی، سمتی که تعداد مول گازی بیشتری دارد، با تغییر فشار (تغییر حجم) سرعت آن بیشتر تغییر می‌کند، یعنی با افزایش فشار، سرعت آن بیشتر افزایش یافته و با کاهش فشار، سرعت آن بیشتر کاهش می‌یابد.
- ۴- در واکنش‌های تعادلی، اگر تعداد مول گازی دو سمت معادلهٔ واکنش با هم برابر باشد، با تغییر فشار، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت به یک میزان و نسبت تغییر می‌کند و به همین دلیل تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

نتیجه

افزایش فشار (کاهش حجم) ← افزایش غلظت تمام مواد گازی ← افزایش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت

نتیجه

کاهش فشار (افزایش حجم) ← کاهش غلظت تمام مواد گازی ← کاهش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت

مثال: در یک ظرف سر بسته ۲ لیتری، تعادل $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + 2C(g)$ برقرار شده است، اگر در دمای ثابت حجم ظرف را به $\frac{5}{100}$ لیتر کاهش دهیم،

کدام عبارت در رابطه با این تعادل نادرست است؟

- (۱) سرعت واکنش برگشت افزایش می‌یابد.
- (۲) تعادل در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.
- (۳) غلظت $C(g)$ و $B(g)$ برخلاف غلظت $A(g)$ کاهش می‌یابند.
- (۴) پس از برقراری تعادل جدید، مقدار K با تعادل اولیه برابر است.

راه‌حل: کاهش حجم (افزایش فشار) باعث جابه‌جایی تعادل به سمت مول گازی کمتر (در جهت برگشت در این مثال) می‌شود. در ضمن به دلیل افزایش غلظت تمام مواد شرکت‌کننده در تعادل، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت افزایش می‌یابد. از طرفی به دلیل ثابت بودن دما، مقدار K تغییری نمی‌کند. (گزینهٔ ۳)

در تعادل‌هایی مانند $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$ که تعداد مول گازی مواد در دو طرف معادلهٔ واکنش آن‌ها یکسان است، با افزایش حجم ظرف، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت به یک نسبت و مقدار کاهش می‌یابد، از این رو، تعادل جابه‌جا نمی‌شود. در تعادل گزینهٔ (۱)، مادهٔ گازی وجود ندارد، پس با افزایش حجم ظرف، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت تغییر نمی‌کند و به همین دلیل، تعادل جابه‌جا نمی‌شود. در تعادل‌های موجود در گزینه‌های (۳) و (۴)، مادهٔ گازی وجود دارد و تعداد مول گازی دو طرف معادلهٔ واکنش یکسان نیست، در نتیجه، با افزایش حجم ظرف، تعادل جابه‌جا می‌شود.

۲۰۶

طبق اصل لوشاتلیه، با کاهش حجم (افزایش فشار)، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر جابه‌جا می‌شود.

در تعادل گزینهٔ (۲)، با افزایش فشار (کاهش حجم)، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست (به سمت فراورده) جابه‌جا می‌شود.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینهٔ (۱): در این تعادل، تعداد مول مواد گازی در دو طرف معادلهٔ واکنش برابر است، بنابراین با کاهش حجم، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

گزینهٔ (۳): در این تعادل، با افزایش فشار، تعادل به سمت واکنش‌دهنده‌ها که تعداد مول گازی کمتری دارند، جابه‌جا می‌شود.

گزینهٔ (۴): در تعادل این گزینه، فقط در سمت فراورده‌ها، مادهٔ گازی داریم، بنابراین، با افزایش فشار، تعادل به سمت واکنش‌دهنده جابه‌جا می‌شود.

۲۰۷

طبق اصل لوشاتلیه، با کاهش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر جابه‌جا می‌شود. اگر بخواهیم بر اثر کاهش فشار، درصد واکنش‌دهنده‌ها افزایش یابد، باید تعادلی را انتخاب کنیم که در آن مجموع ضریب‌های استوکیومتری مواد گازی در سمت واکنش‌دهنده‌ها، بیشتر از فراورده‌ها باشد. **بررسی واکنش‌ها:**

واکنش‌های (الف) و (پ): در این تعادل‌ها، با کاهش فشار، تعادل به سمت فراورده‌ها که تعداد مول گازی بیشتری دارند، جابه‌جا می‌شود.

واکنش (ب): در سمت واکنش‌دهنده‌ها، ۲ مول $HI(g)$ و در سمت فراورده‌ها، ۱ مول $H_2S(g)$ وجود دارد. بنابراین در این تعادل، با کاهش فشار، تعادل به سمت واکنش‌دهنده‌ها جابه‌جا شده و درصد مولی واکنش‌دهنده‌ها افزایش می‌یابد.

واکنش (ت): در این تعادل، تعداد مول گازی در دو طرف معادلهٔ واکنش برابر است، بنابراین با کاهش فشار، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

۲۰۸ (B) طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر جابه‌جا می‌شود. اگر بخواهیم، مقدار فراورده‌ها افزایش یابد، باید تعادلی را انتخاب کنیم که در آن مجموع ضرایب‌های استوکیومتری مواد گازی در سمت فراورده‌ها بیشتر از واکنش‌دهنده‌ها باشد. **بررسی واکنش‌ها:**
واکنش (الف): در این تعادل، ماده‌ی گازی نداریم، پس تغییر حجم ظرف، تأثیری بر جابه‌جایی این تعادل ندارد.
واکنش (ب): در تعادل موجود در این گزینه، تعداد مول گازی دو طرف معادله‌ی واکنش با هم برابر است، بنابراین با افزایش حجم ظرف، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.
واکنش (پ): در سمت چپ، گاز CO_2 را داریم، اما در سمت راست، ماده‌ی گازی نداریم، به همین دلیل، افزایش حجم، موجب جابه‌جایی این تعادل به سمت واکنش‌دهنده‌ها که تعداد مول گازی بیشتری دارند، می‌شود.
واکنش (ت): تعداد مول گازی فراورده‌ها از تعداد مول گازی واکنش‌دهنده‌ها بیشتر است، در نتیجه این تعادل با افزایش حجم به سمت راست جابه‌جا شده و از این‌رو مقدار فراورده‌ها افزایش می‌یابد.

۲۰۹ (A) با افزایش حجم، تعادل به سمت تولید تعداد مول گازی بیشتر حرکت می‌کند که همان جهت برگشت در تعادل $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ است. در نتیجه حرکت این تعادل در جهت برگشت، تعداد مول‌های آمونیاک کاهش می‌یابد.

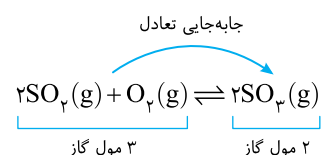
۲۱۰ (A)

تغییر فشار و تأثیر آن بر غلظت مواد

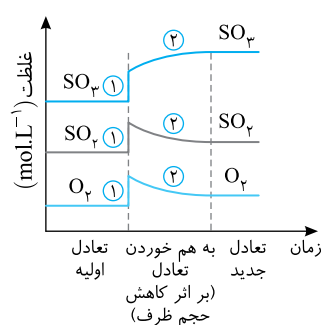
کلاس درس

در این کلاس درس به بررسی اثر تغییر فشار (تغییر حجم) بر نمودار (غلظت - زمان) یا (مول - زمان) می‌پردازیم.

۱. اثر افزایش فشار (کاهش حجم) بر نمودار (غلظت - زمان)



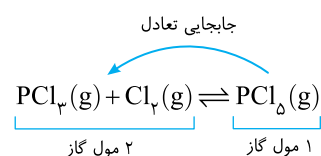
در تعادل $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ، طبق اصل لوشاتلیه بر اثر افزایش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست (در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود.
می‌دانیم با افزایش فشار (کاهش حجم) غلظت همه‌ی گونه‌های گازی در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه افزایش می‌یابد، با توجه به این یادآوری به نمودار (غلظت - زمان) تعادل بالا توجه نمایید:



در نمودار روبه‌رو، تغییرات غلظت مواد موجود در تعادل $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ بر اثر کاهش حجم نشان داده شده است:

- (۱) نخستین لحظه کاهش حجم ظرف
(۲) با جابه‌جایی تعادل به سمت راست، به تدریج غلظت $\text{SO}_3(\text{g})$ افزایش می‌یابد.
غلظت $\text{SO}_2(\text{g})$ و $\text{O}_2(\text{g})$ کاهش می‌یابد.
پس از تغییر حجم ظرف، مقدار ثابت تعادل (K) تغییر نمی‌کند، زیرا K فقط تابع دما است.

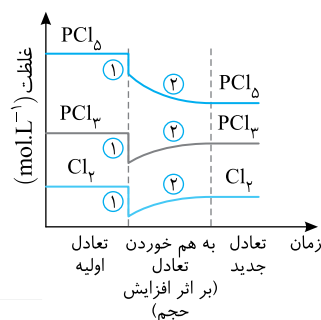
۲. اثر کاهش فشار (افزایش حجم) بر نمودار (غلظت - زمان)



در تعادل $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ طبق اصل لوشاتلیه بر اثر کاهش فشار (افزایش حجم) تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود:

می‌دانیم با افزایش حجم ظرف، غلظت تمام گونه‌های گازی در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کاهش می‌یابد. با این یادآوری، به نمودار (غلظت - زمان) این تعادل توجه نمایید.

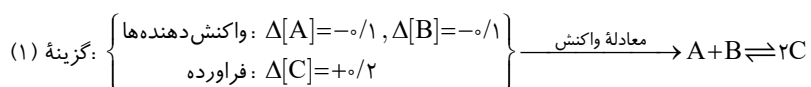
با توجه به جمله بالا، غلظت هر سه گاز PCl_5 ، PCl_3 و Cl_2 در تعادل جدید، کمتر از تعادل اولیه است، زیرا پس از افزایش حجم، تعادل نمی‌تواند به‌طور کامل اثر تغییر وارد شده را از بین ببرد. یعنی بعد از این که حجم ۵ برابر شد و تعادل به سمت چپ جابه‌جا شد، تعداد مول PCl_5 و Cl_2 به اندازه ۵ برابر افزایش نمی‌یابد. بنابراین علاوه بر $\text{PCl}_5(\text{g})$ ، غلظت گازهای PCl_3 و Cl_2 هم در تعادل جدید، کمتر از تعادل اولیه خواهد بود.



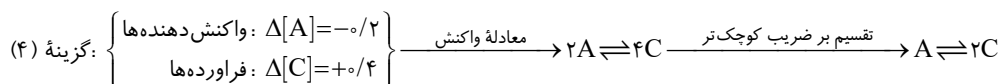
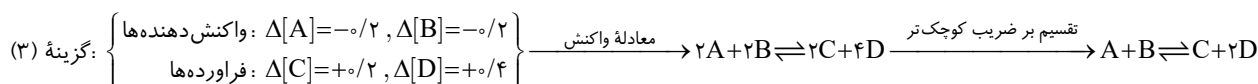
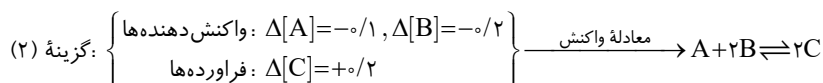
در نمودار روبه‌رو، تغییرات غلظت مواد موجود در تعادل $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ بر اثر افزایش حجم نشان داده شده است.

- (۱) نخستین لحظه افزایش حجم ظرف
(۲) با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، به تدریج غلظت $\text{PCl}_5(\text{g})$ کاهش می‌یابد.
غلظت $\text{PCl}_3(\text{g})$ و $\text{Cl}_2(\text{g})$ کاهش می‌یابد.

در قدم اول، باید با استفاده از نمودارهای (غلظت - زمان) داده شده، معادله‌ی واکنش هر یک از گزینه‌ها را بنویسیم. برای این کار، تغییر غلظت هر یک از گازها را از آغاز واکنش تا لحظه برقراری تعادل محاسبه کرده و سپس آن‌ها را به کوچک‌ترین تغییر غلظت تقسیم می‌کنیم تا ضرایب‌های استوکیومتری مشخص شوند.



بررسی گزینه‌ها:



طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر جابه‌جا می‌شود. بنابراین در تعادل گزینه (۲) که در سمت چپ، ۳ مول گاز و در سمت راست، ۲ مول گاز وجود دارد، با افزایش فشار، تعادل به سمت راست، یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود.

۲۱۱ (A) ۲ کاهش حجم باعث حرکت تعادل به سمت مول گازی کمتر می‌شود. در واکنش (الف) تعداد مول گازی فراورده‌ها کمتر است. در واکنش (ب) تعداد مول گازی واکنش‌دهنده‌ها کمتر است. در واکنش (پ) به دلیل یکسان بودن مول‌های گازی طرفین، کاهش حجم، اثری روی تعادل ندارد.

۲۱۲ (B) ۳ هنگامی که سامانه تعادلی را از ظرف ۲ لیتری به ظرف ۱ لیتری انتقال می‌دهیم، حجم کاهش می‌یابد، از این‌رو، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بر اثر این جابه‌جایی، تعداد مول (مقدار) گازهای PCl_3 و Cl_2 کاهش و تعداد مول (مقدار) گاز PCl_5 افزایش می‌یابد، اما توجه داشته باشید که با کاهش حجم ظرف، غلظت همه مواد گازی در تعادل جدید، نسبت به تعادل اولیه افزایش می‌یابد. در نتیجه، غلظت هر سه گاز Cl_2 ، PCl_3 و PCl_5 در تعادل جدید، نسبت به تعادل اولیه بیشتر است. با جابه‌جایی تعادل، تعداد مول مواد موجود در تعادل به اندازه $\frac{1}{p}$ برابر تغییر نمی‌کند، در حالی که حجم ظرف، $\frac{1}{p}$ برابر شده است، بنابراین با این که تعداد مول PCl_3 و Cl_2 در تعادل جدید از تعادل اولیه کمتر است، اما غلظت آن‌ها بیشتر می‌باشد.

$$[PCl_3] = \frac{n(\text{کاهش})}{V(\text{کاهش})} \Rightarrow \text{غلظت } PCl_3(g) \text{ و } Cl_2(g) \text{ افزایش می‌یابد} \Rightarrow \text{تغییرات حجم از تغییرات تعداد مول بیشتر است}$$

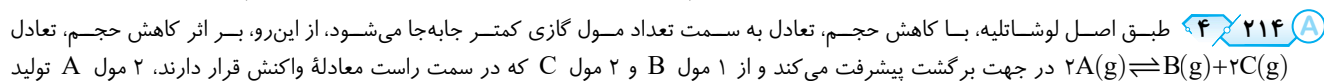
در مورد گزینه (۱) هم باید توضیح دهیم که بر اثر کاهش حجم (افزایش فشار)، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد. دلیل این نکته، افزایش غلظت همه مواد گازی در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه است.

۲۱۳ (B) ۳ عبارات‌های (الف)، (پ) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): بر اثر کاهش فشار (افزایش حجم)، غلظت هر سه گاز $NO_2(g)$ ، $NO(g)$ و $O_2(g)$ در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کاهش می‌یابد. عبارت (ب): اگر فشار را کاهش دهیم، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود. پس می‌توانیم نتیجه بگیریم که تعداد مول‌های گازی بیشتر می‌شود.

عبارت (پ): با کاهش فشار (افزایش حجم)، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کاهش می‌یابد. دلیل این نکته، کاهش غلظت همه مواد گازی در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه است.

عبارت (ت): با جابه‌جایی تعادل به سمت راست، مقدار (تعداد مول) $NO_2(g)$ ، کاهش و مقدار (تعداد مول) $NO(g)$ و $O_2(g)$ افزایش می‌یابد.



گزینه (۱): مقدار ثابت تعادل (K) عددی بسیار بزرگ است، پس تعادل در صورت مهیا بودن شرایط، پیشرفت خوبی خواهد داشت.

گزینه (۲): بر اثر کاهش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر جابه‌جا می‌شود.

گزینه (۳): با کاهش حجم، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد، اما به دلیل این که تعداد مول گازی در سمت راست معادله واکنش بیشتر است، در هنگام جابه‌جایی تعادل میزان افزایش سرعت واکنش برگشت بیشتر می‌باشد، از این‌رو، در نخستین لحظه کاهش حجم، سرعت واکنش برگشت از سرعت واکنش رفت بیشتر می‌شود. به گونه دیگری هم می‌توان به این نتیجه رسید که با کاهش حجم، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بنابراین باید در نخستین لحظه کاهش حجم، سرعت واکنش برگشت از سرعت واکنش رفت بیشتر شده باشد تا تعادل به سمت چپ جابه‌جا شود.

۲۱۵ (B) ۲ عبارات‌های (الف) و (ب) درست هستند.

با تغییر فشار در تعادل‌هایی که مول‌های گازی طرفین برابر هستند، تعادل در جهتی جابه‌جا نمی‌شود و تغییر فشار بر جابه‌جایی تعادل بی‌اثر است. پس تعداد مول‌های مواد شرکت‌کننده ثابت است، اما در اثر افزایش فشار، حجم ظرف کاهش یافته و غلظت تمام مواد شرکت‌کننده افزایش می‌یابد و با کاهش فشار، حجم ظرف افزایش یافته و غلظت مواد شرکت‌کننده کاهش می‌یابد.

۲۱۶ (A) ۴: با کاهش فشار (افزایش حجم)، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین تعداد مول $H_2S(g)$ و $I_2(g)$ کاهش و تعداد مول $HI(g)$ و $S(s)$ افزایش می‌یابد. اما در مورد غلظت باید به دو نکته اشاره کنیم. اولاً، دو ماده I_2 و S ، جامد خالص هستند، از این‌رو، غلظت آن‌ها ثابت است و دوماً، بر اثر کاهش فشار (افزایش حجم)، غلظت همهٔ مواد گازی شکل موجود در تعادل کاهش می‌یابد، پس غلظت دو گاز HI و H_2S در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کمتر خواهد بود. همچنین به دلیل افزایش حجم، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید با یکدیگر برابر و کمتر از تعادل اولیه می‌باشد. در مورد ثابت تعادل (K) هم باید گفت که به دلیل ثابت بودن دما، مقدار K تغییر نمی‌کند.

۲۱۷ (B) ۳: موارد (الف)، (ب) و (ت) در تعادل مشاهده نمی‌شوند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): به دلیل مول‌های برابر گازی در طرفین، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

عبارت (ب): نسبت توان دوم غلظت مولی فراورده به حاصل ضرب غلظت مولی واکنش‌دهنده‌ها، همان ثابت تعادل (K) است. می‌دانیم که K فقط تابع دما

بوده و با تغییر حجم ظرف، تغییر نمی‌کند:

$$K = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}$$

عبارت (پ): در تعادل $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ ، تعداد مول گازی واکنش‌دهنده‌ها با تعداد مول گازی فراورده برابر است، از این‌رو، با افزایش حجم (کاهش فشار)، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت به یک میزان کاهش می‌یابد و به همین دلیل، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

عبارت (ت): در سامانه‌های گازی بر اثر افزایش حجم، فشار سامانه کاهش می‌یابد.

۲۱۸ (A) ۳: بر اثر کاهش حجم، غلظت همهٔ گازهای موجود در تعادل افزایش یافته و از این‌رو، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد، اما به دلیل این‌که طبق اصل لوشاتلیه، با کاهش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، در لحظهٔ جابه‌جایی تعادل میزان افزایش سرعت واکنش رفت از میزان افزایش سرعت واکنش برگشت بیشتر است. به گونهٔ دیگری هم می‌توان به این نتیجه رسید. در واکنش‌های تعادلی، سمتی که تعداد مول گازی بیشتری دارد، با تغییر فشار (تغییر حجم)، سرعت آن بیشتر، تغییر می‌کند، یعنی بر اثر افزایش فشار در نخستین لحظهٔ کاهش حجم، سرعت واکنش رفت که در آن ۳ مول گاز SO_3 و ۱ مول O_2 شرکت دارد، نسبت به سرعت واکنش برگشت که در آن ۲ مول گاز SO_3 شرکت دارد، بیشتر افزایش می‌یابد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینهٔ (۱): کاهش حجم در دمای ثابت اتفاق می‌افتد، بنابراین مقدار ثابت تعادل تغییر نمی‌کند.

گزینهٔ (۲): بر اثر افزایش فشار (کاهش حجم)، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

گزینهٔ (۴): با کاهش حجم، غلظت همهٔ گونه‌ها افزایش می‌یابد، پس سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید بیشتر از تعادل اولیه خواهد بود.

۲۱۹ (A) ۳: در اثر افزودن سدیم هیدروکسید به تعادل اول، غلظت یون سدیم افزایش یافته و تعادل در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود که این امر منجر به کاهش انحلال‌پذیری سدیم سولفات می‌شود. در تعادل دوم، یون Fe^{3+} با یون OH^- تشکیل رسوب $Fe(OH)_3$ می‌دهد و غلظت آن کاهش می‌یابد. تعادل برای مقابله با این تغییر در جهت رفت حرکت می‌کند که این امر منجر به افزایش انحلال‌پذیری $Fe_2(SO_4)_3$ می‌شود.

۲۲۰ (B) ۴: در جدول زیر غلظت مولی گازها در تعادل (۱)، لحظهٔ کاهش حجم و تعادل (۲) آورده شده است.

مشاهده می‌کنید که غلظت مولی گازها در لحظهٔ کاهش حجم به غلظت مولی گازها در تعادل (۲) نزدیک‌تر است.

	$[SO_3]$	$[O_2]$	$[SO_2]$
تعادل (۱)	$\frac{0.68}{1.0} = 0.68$	$\frac{0.16}{1.0} = 0.16$	$\frac{0.32}{1.0} = 0.32$
لحظهٔ کاهش حجم	$\frac{0.88}{0.75} = 1.17$	$\frac{0.21}{0.75} = 0.28$	$\frac{0.41}{0.75} = 0.55$
تعادل (۲)	$\frac{0.90}{0.75} = 1.20$	$\frac{0.19}{0.75} = 0.25$	$\frac{0.39}{0.75} = 0.52$

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینهٔ (۱): پس از برقراری تعادل‌های (۱) و (۲)، مقدار گاز SO_3 از مقدار دو گاز دیگر بیشتر است. به بیان دیگر، مقدار قابل توجهی از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده تبدیل شده‌اند، در صورتی که ثابت تعادل واکنش را در این دما محاسبه کنید، تقریباً به عدد $2.82 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$ می‌رسید که عدد نسبتاً بزرگی است و نشان می‌دهد که واکنش در این دما پیشرفت خوبی دارد.

گزینهٔ (۲): ثابت تعادل فقط تابع دما است و با تغییر حجم مقدارش تغییر نمی‌کند.

گزینهٔ (۳): با توجه به برابر بودن ضرایب مولی گازهای SO_2 و SO_3 و نیز با توجه به این‌که با کاهش حجم، واکنش در جهت تعداد مول گازی کمتر (جهت رفت) پیشروی می‌کند، این عبارت درست است.

۲۲۱ (B) در حل پرسش باید به سه نکته زیر توجه کنید:

۱- با افزایش حجم ظرف، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. بنابراین باید تعداد مول گاز COCl_2 کاهش و تعداد مول گازهای CO و Cl_2 افزایش یابد. بنابراین گزینه (۴) نادرست می‌باشد.

۲- با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، باید تعداد مول مواد موجود در تعادل، به نسبت ضریب استوکیومتری آن‌ها تغییر کند. به این ترتیب که باید به همان اندازه‌ای که تعداد مول $\text{COCl}_2(g)$ کاهش می‌یابد، تعداد مول گازهای CO و Cl_2 افزایش یابد. در گزینه (۳)، تعداد مول $\text{CO}(g)$ ، به اندازه 2% مول افزایش یافته، ولی تعداد مول $\text{COCl}_2(g)$ به اندازه 5% مول کاهش یافته است. بنابراین گزینه (۳) نادرست می‌باشد.

۳- پس از افزایش حجم ظرف و برقراری تعادل جدید، باید غلظت همه گازهای موجود در تعادل، نسبت به تعادل اولیه کاهش یابد. اما اگر تعداد مول CO در گزینه (۱) را به حجم ظرف تقسیم کنیم، متوجه می‌شویم که غلظت این گاز، نسبت به تعادل اولیه، افزایش یافته است. بنابراین گزینه (۱) نادرست می‌باشد.

$$[\text{CO}]_{\text{تعادل اولیه}} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{CO}]_{\text{تعادل جدید}} = \frac{\Delta \text{mol}}{4 \text{ L}} = 0.5 \text{ mol.L}^{-1} \quad \text{با توجه به گزینه (۱)}$$

در تعداد مول‌های گزارش شده در گزینه (۲)، هر سه نکته‌ای که به آن‌ها اشاره کردیم، رعایت شده است. راه دیگر برای حل پرسش این است که مقدار K را در تعادل اولیه با مقدار K در هر یک از گزینه‌ها مقایسه کنیم. هر گزینه‌ای که K به دست آمده برای آن با K تعادل اولیه یکسان بود، جواب پرسش می‌باشد که البته این راه بسیار وقت‌گیر است.

۲۲۲ (A) در نخستین لحظه‌ای که حجم را افزایش می‌دهیم، غلظت همه گازهای موجود در تعادل کاهش می‌یابد، با توجه به این نکته، نمودارهای گزینه‌های (۱) و (۳) که کاهش ناگهانی غلظت را نشان نداده‌اند، نادرست هستند. از طرفی، طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین باید غلظت $\text{PCl}_5(g)$ به تدریج کاهش و غلظت گازهای Cl_2 و PCl_3 به تدریج افزایش یابد. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که به تعادل جدید برسیم و غلظت مواد دوباره ثابت شود. از آن‌جا که در تعادل جدید، حجم ظرف افزایش یافته است، غلظت همه گازها در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کمتر می‌باشد.

۲۲۳ (A) در نتیجه تغییر اعمال شده، غلظت همه ترکیب‌ها افزایش یافته؛ در نتیجه حجم ظرف کاهش یافته است. به دلیل افزایش غلظت $\text{SO}_2(g)$ و $\text{O}_2(g)$ سرعت واکنش برگشت بیشتر می‌شود.

۲۲۴ (A) اگر حجم ظرف واکنش را افزایش دهیم، فشار کاهش می‌یابد. به علت کاهش فشار، تعادل در جهت رفت حرکت می‌کند، اما با توجه به این که مقدار ثابت تعادل تغییری نمی‌کند و مقدار آن برابر با $K = [\text{CO}_2]$ است، غلظت CO_2 هم ثابت می‌ماند، ولی تعداد مول آن بیشتر می‌شود. همچنین به علت جابه‌جایی تعادل در جهت رفت، جرم CaCO_3 کاهش و جرم CaO افزایش می‌یابد.

۲۲۵ (B) عبارت‌های (ب) و (ت) درست هستند. بر اثر افزودن مقداری نمک پتاسیم سولفات به تعادل، رسوب باریم سولفات تشکیل شده و از غلظت یون باریم کاسته می‌شود. در نتیجه تعادل در جهت رفت حرکت می‌کند. **بررسی عبارت‌ها:**
عبارت (الف): در اثر جابه‌جایی تعادل در جهت رفت، جرم $\text{Cu}(s)$ افزایش و جرم $\text{Ba}(s)$ کاهش می‌یابد. با توجه به کمتر بودن جرم مولی مس نسبت به باریم، مجموع جرم مواد جامد موجود در تعادل کاهش می‌یابد.
عبارت (ب): رسوب باریم سولفات تشکیل می‌شود.

عبارت (پ): در اثر افزودن آب، تعادل مورد نظر در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود که جهت آن مخالف جهت حرکت تعادل ذکر شده در صورت سؤال است.
عبارت (ت): به علت حرکت تعادل در جهت رفت، غلظت $\text{Cu}^{2+}(aq)$ کاهش یافته و تعادل در جهت کاسته شدن از رنگ آبی پیشرفت بیشتری خواهد داشت.

۲۲۶ (B) همه عبارت‌ها درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت‌های (الف) و (ب): اگر حجم ظرف را نصف کنیم، تعادل به سمت تولید تعداد مول گازی کمتر (جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود. با توجه به این که $K = [\text{CO}_2]$ است و به علت یکسان بودن دما، مقدار K ثابت می‌ماند، $[\text{CO}_2]$ هم ثابت است و با نصف شدن حجم ظرف، تعداد مول CO_2 هم نصف می‌شود.
عبارت (پ): با توجه به برابر بودن دما در هر دو ظرف، مقدار K ثابت می‌ماند و از آن‌جا که فشار تعادلی گاز CO_2 تنها به مقدار K بستگی دارد، فشار تعادلی CO_2 هم یکسان خواهد بود.

عبارت (ت): حضور $\text{CaO}(s)$ و $\text{CaCO}_3(s)$ برای برقراری تعادل الزامی است، اگرچه غلظت آن‌ها در محاسبه مقدار K تأثیری ندارد.

۲۲۷ (A) در هر دو سامانه (I) و (III) گاز قهوه‌ای‌رنگ، گاز NO_2 است. افزایش فشار در سامانه (III) منجر به جابه‌جایی تعادل به سمت تولید $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ و در سامانه (I) منجر به جابه‌جایی تعادل به سمت تولید گاز NO_2 می‌شود. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در سامانه (II) تعداد مول مواد گازی واکنش‌دهنده‌ها با فراورده‌ها برابر است؛ در نتیجه تغییر فشار نمی‌تواند تعادل را جابه‌جا کند، اما وارد یا خارج کردن یکی از مواد می‌تواند تعادل را جابه‌جا کند.

گزینه (۳): با افزایش فشار، واکنش (I) به سمت تولید تعداد مول گازی کمتر حرکت می‌کند که همان جهت رفت واکنش است.

گزینه (۴): در صورت افزایش حجم، غلظت NO_2 در سامانه (III) کاهش می‌یابد که این امر منجر به کم‌رنگ شدن مخلوط تعادلی سامانه (III) می‌شود.

۲۲۸ (B) عبارتهای (پ) و (ت) برای تکمیل جمله داده شده مناسب هستند. بررسی عبارتهای:

عبارت (الف): کاهش حجم $\Rightarrow$ جابهجایی تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر $\Rightarrow$ جابهجایی تعادل در جهت رفت
عبارت (ب): کاهش فشار $\Rightarrow$ جابهجایی تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر $\Rightarrow$ تعادل جابهجا نمی شود.
عبارت (پ): کاهش فشار $\Rightarrow$ جابهجایی تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر $\Rightarrow$ جابهجایی تعادل در جهت برگشت
عبارت (ت): کاهش حجم $\Rightarrow$ جابهجایی تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر $\Rightarrow$ جابهجایی تعادل در جهت رفت

۲۲۹ (A) ۴

دو تغییر که باعث جابهجایی تعادل نمی شوند

کلاس درس

۳۷

می دانیم اگر تعداد مول گازی دو طرف معادله یک واکنش برابر باشد، یا در دو طرف معادله واکنش ماده گازی شکل نداشته باشیم، تغییرات حجم و فشار نمی تواند باعث جابهجایی تعادل شود، در این کلاس درس با دو تغییر دیگر که تعادل را جابهجا نمی کنند، آشنا می شویم.

افزودن یک گاز بی اثر به مخلوط گازی در حالت تعادل

فرض کنید که مقداری گاز نجیب آرگون (Ar_{18}) را در دما و حجم ثابت به یک ظرف سر بسته که در آن تعادل $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ برقرار شده، بیفزاییم. بعد از این کار، تعادل جابهجا نخواهد شد، زیرا غلظت هر گاز تابع تعداد مول آن (n) و حجم ظرف است ($[A] = \frac{n}{V}$).

هنگامی که ما گاز آرگون را به ظرف واکنش می افزاییم، این گاز با هیچ یک از مواد موجود در تعادل واکنش نمی دهد، در نتیجه تعداد مول هیچ یک از مواد تغییر نمی کند؛ از طرف دیگر دما و حجم ظرف هم ثابت است. از این رو پس از افزودن گاز آرگون، غلظت گازهای PCl_3 ، Cl_2 و PCl_5 تغییر نمی کند و به همین دلیل، تعادل جابهجا نمی شود. تنها اثر افزودن $Ar(g)$ به سامانه تعادلی این واکنش، افزایش فشار کل مخلوط گازهای موجود در ظرف است.

اثر تغییر دما بر واکنش هایی که ΔH تقریباً صفر دارند

در شمار اندکی از واکنش های شیمیایی، انرژی فعال سازی واکنش رفت (E_a (رفت))، تفاوت چندانی با انرژی فعال سازی واکنش برگشت (E_a (برگشت)) نداشته و به همین دلیل $\Delta H = 0$ است. در این گونه واکنش ها، با تغییر دما، سرعت واکنش های رفت و برگشت تقریباً به یک اندازه و نسبت تغییر کرده و در نتیجه با کاهش و با افزایش دما، تعادل جابهجا نمی شود. برای مثال، اگر دما را افزایش دهیم، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت، تقریباً به یک اندازه افزایش می یابد و از این رو، تعادل جابهجا نمی شود. اثر افزایش دما این است که سرعت واکنش ها را افزایش داده و زمان رسیدن به تعادل را کوتاه می کند، اما مقدار K و میزان پیشرفت واکنش تغییر چندانی نخواهد داشت.

نکته

تاکنون با چهار نوع تغییر که تعادل را جابهجا نمی کنند، آشنا شدیم:

- الف) تغییر حجم (تغییر فشار) $\Rightarrow$ در تعادل هایی که ماده گازی شکل ندارند.
- ب) تغییر حجم (تغییر فشار) $\Rightarrow$ در تعادل هایی که مول گازی مواد شرکت کننده در دو طرف معادله واکنش آن ها برابر است.
- پ) افزودن گازهای بی اثر (نجیب) $\Rightarrow$ در اغلب تعادل ها
- ت) تغییر دما $\Rightarrow$ در تعادل هایی که ΔH آن ها تقریباً صفر است.

افزودن آب منجر به کاهش غلظت مواد محلول در آب می شود. چون تعداد مول مواد محلول در سمت واکنش دهنده ها بیشتر است، غلظت واکنش دهنده ها بیشتر کاهش می یابد و تعادل در جهت برگشت جابهجا می شود. افزایش فشار باعث می شود تعادل در جهت مول گازی کمتر (جهت برگشت) حرکت کند.

بررسی سایر گزینه ها:

گزینه (۱): در تعادل اول، افزایش حجم باعث جابهجایی تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر (جهت رفت) می شود. در تعادل دوم افزودن $NH_4HS(s)$ تعادل را جابهجا نمی کند، زیرا این ماده جامد بوده و غلظت آن ثابت است.

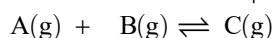
گزینه (۲): در تعادل اول، با توجه به برابر بودن مجموع مول گازها در دو طرف واکنش، افزایش فشار نمی تواند تعادل را جابهجا کند. در تعادل دوم، افزودن سدیم هیدروکسید باعث کاهش غلظت یون H^+ می شود و تعادل را در جهت رفت جابهجا می کند.

گزینه (۳): در تعادل اول، افزودن HBr باعث کاهش غلظت یون OH^- می شود و تعادل را در جهت رفت جابهجا می کند. در تعادل دوم پس از افزودن گاز هلیوم در دما و حجم ثابت، غلظت هیچ کدام از گازها تغییر نمی کند و به همین دلیل تعادل جابهجا نمی شود.

۲۳۰ با توجه به غلظت‌های اولیه مقدار ثابت تعادل را محاسبه می‌کنیم:

$$K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{0.1}{(0.1)(0.1)} = 10.0 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$$

مول‌های اولیه A، B و C با توجه به حجم ۱۰ لیتری اولیه برابر ۰/۱ مول است. با کاهش حجم، تعادل به سمت مول گازی کمتر، یعنی سمت راست، جابه‌جا می‌شود ولی ثابت تعادل تغییری نمی‌کند.



تعداد مول در تعادل اولیه	۰/۱	۰/۱	۰/۱
تغییر مول	-x	-x	+x
مول در تعادل جدید	۰/۱-x	۰/۱-x	۰/۱+x

$$K = \frac{\left(\frac{0.1+x}{1}\right)}{\left(\frac{0.1-x}{1}\right)\left(\frac{0.1-x}{1}\right)} = 10.0 \Rightarrow \frac{0.1+x}{(0.1-x)^2} = 10.0 \Rightarrow 0.1+x = 10.0(x^2 - 0.2x + 0.01)$$

$$0.1+x = 10.0x^2 - 2.0x + 1.0 \Rightarrow 10.0x^2 - 2.1x + 0.9 = 0$$

پاسخ معادله درجه ۲ به صورت $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ است و در این سؤال $a=10.0$, $b=-2.1$, $c=0.9$

$$x = \frac{2.1 \pm \sqrt{(2.1)^2 - 4(10.0)(0.9)}}{20.0} = \begin{cases} x_1 = 0.15 & (\text{غ ق}) \\ x_2 = 0.06 & (\text{ق ق}) \end{cases}$$

مقدار ۰/۱۵ به دلیل این که مول‌های A و B را منفی می‌کند، پس غیر قابل قبول است.

$$[A]_{\text{جدید}} = \frac{(0.1 - 0.06) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad [C]_{\text{جدید}} = \frac{(0.1 + 0.06) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.16 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

۲۳۱ ابتدا باید در تعادل اولیه، مقدار K را به دست آوریم. حجم ظرف یک لیتر است، بنابراین غلظت هر گاز با تعداد مول آن برابر می‌باشد:

$$K = \frac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]} = \frac{(5)(5)}{(5)} = 5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

طبق اصل لوشاتلیه، با کاهش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بنابراین تعداد مول گازهای PCl_5 و Cl_2 کاهش یافته و تعداد مول $PCl_3(g)$ افزایش می‌یابد.

به دلیل ثابت بودن دما، مقدار K در تعادل جدید با تعادل اولیه برابر است. از برابر بودن K می‌توانیم برای محاسبه x استفاده کنیم. حجم ظرف در تعادل جدید برابر با ۰/۱ لیتر می‌باشد، پس باید تعداد مول گازها در تعادل جدید را به این حجم تقسیم کنیم تا غلظت مولی را به دست آورده و در عبارت K قرار دهیم:



تعداد مول در تعادل اولیه	۵	۵	۵
تغییر مول	+x	-x	-x
تعداد مول در تعادل جدید	۵+x	۵-x	۵-x

$$K = \frac{\left(\frac{5-x}{0.1}\right)\left(\frac{5-x}{0.1}\right)}{\left(\frac{5+x}{0.1}\right)} = 5 \Rightarrow \frac{(5-x)^2}{5+x} = 5 \Rightarrow 2x^2 - 21x + 45 = 0$$

$$x = \frac{(+21) \pm \sqrt{(21)^2 - 4(2)(45)}}{4} = \frac{(+21) \pm \sqrt{81}}{4} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 3 \text{ mol} & (\text{ق ق}) \\ x_2 = 7.5 \text{ mol} & (\text{غ ق}) \end{cases}$$

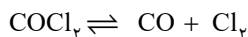
از آن‌جا که ۵ مول از گازهای PCl_3 و Cl_2 در تعادل اولیه وجود دارد، پس مقدار x نمی‌تواند برابر با ۷/۵ مول باشد.

$$\text{مجموع تعداد مول فراورده‌ها} = n_{PCl_3} + n_{Cl_2} = (5-x) + (5-x) = 10 - 2x = 10 - 2(3) = 4 \text{ mol}$$

ثابت تعادل اولیه را محاسبه می‌کنیم:

$$K = \frac{[Cl_2][CO]}{[COCl_2]} = \frac{\left(\frac{3}{3}\right)\left(\frac{3}{3}\right)}{\left(\frac{3}{3}\right)} = 1 \text{ mol}^{-1} \cdot L$$

با کاهش حجم ظرف، تعادل به سمت مول‌های گازی کمتر یعنی چپ (برگشت) جابه‌جا می‌شود، اما مقدار K تغییری نمی‌کند.



مول اولیه	۳	۳	۳
تغییرات	+x	-x	-x
نهایی	۳+x	۳-x	۳-x

$$K = \frac{\left(\frac{3-x}{1}\right)\left(\frac{3-x}{1}\right)}{\left(\frac{3+x}{1}\right)} = 1 \Rightarrow \frac{(3-x)^2}{3+x} = 1 \Rightarrow x^2 - 6x + 9 = x + 3 \Rightarrow x^2 - 7x + 6 = 0$$

می‌دانیم جواب‌های معادله درجه ۲ به صورت $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ است و در این سؤال $a=1$, $b=-7$, $c=6$

$$x = \frac{7 \pm \sqrt{(-7)^2 - 4(1)(6)}}{2} = \begin{cases} x_1 = 1 & (\text{ق ق}) \\ x_2 = 6 & (\text{غ ق ق}) \end{cases}$$

از آن‌جا که ۳ مول از گازهای CO و Cl_2 در تعادل اولیه وجود دارد، پس مقدار x نمی‌تواند برابر با ۶ مول باشد.

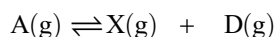
$$[COCl_2] = 3 + x = 3 + 1 = 4 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

پس غلظت تعادلی $COCl_2$ برابر ۴ مول بر لیتر می‌شود.

ثابت تعادل اولیه را محاسبه می‌کنیم:

$$K = \frac{[X][D]}{[A]} = \frac{\left(\frac{0/4}{2}\right)\left(\frac{0/4}{2}\right)}{\left(\frac{0/4}{2}\right)} = 0/2 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

با افزایش حجم ظرف، تعادل به سمت مول‌های گازی بیشتر یعنی راست (رفت) جابه‌جا می‌شود، اما مقدار K تغییری نمی‌کند. با تغییر حجم ظرف به ۴ لیتر، غلظت‌های اولیه به ۰/۱ مول بر لیتر می‌رسند.



غلظت در نخستین لحظه اعمال تغییر	۰/۱	۰/۱	۰/۱
تغییرات	-x	+x	+x
غلظت در تعادل جدید	۰/۱-x	۰/۱+x	۰/۱+x

$$K = \frac{(0/1+x)^2}{(0/1-x)} = 0/2 \Rightarrow 0/1 + x^2 + 0/2x = 0/2 - 0/2x \Rightarrow x^2 + 0/4x - 0/1 = 0$$

پاسخ معادله درجه ۲ به صورت $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ است و در این سؤال $a=1$, $b=0/4$, $c=-0/1$

$$x = \frac{-0/4 \pm \sqrt{(0/4)^2 - 4(1)(-0/1)}}{2} = \begin{cases} x_1 = 0/25 & (\text{ق ق}) \\ x_2 = -0/425 & (\text{غ ق ق}) \end{cases}$$

$$0/125 \frac{\text{mol}}{L} \times 4L = 0/5 \text{ mol } X$$

پس غلظت $X(g)$ در تعادل جدید برابر ۰/۱۲۵ مول بر لیتر و مقدار آن برابر است با:

واکنش انجام شده به صورت $A_2(g) + X_2(g) \rightleftharpoons 2AX(g)$ است و ثابت تعادل آن با توجه به اطلاعات موجود در شکل برابر است با:

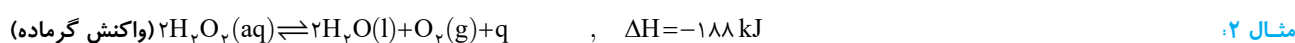
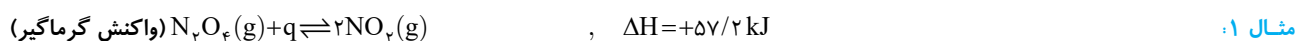
$$K = \frac{[AX]^2}{[A_2][X_2]} = \frac{\left(\frac{0/4}{2}\right)^2}{\left(\frac{0/8}{2}\right)\left(\frac{0/8}{2}\right)} = 2/5 \times 10^{-3}$$

با توجه به برابر بودن تعداد مول‌های گازی دو طرف معادله واکنش، تغییر حجم روی تعادل اثری نخواهد داشت و وضعیت تعادل حفظ می‌شود.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر جابه‌جایی تعادل، تغییر دما است. البته تغییر دما، برخلاف دو عامل دیگر (تغییر غلظت و تغییر فشار) مقدار K را نیز تغییر می‌دهد، در واقع تنها عاملی که افزون بر جابه‌جا کردن تعادل، توانایی تغییر K را نیز دارد، دماست. البته اثر تغییر دما بر تعادل‌های گوناگون یکسان نیست و به گرماده یا گرماگیر بودن آن‌ها بستگی دارد.

اثر تغییر دما بر تعادل

برای این‌که اثر تغییر دما را بر یک تعادل بررسی کنیم، ابتدا باید گرماگیر یا گرماده بودن آن مشخص شود. در واکنش‌های گرماگیر ΔH مثبت بوده ($\Delta H > 0$) و نماد q (گرما) در سمت چپ معادله واکنش قرار دارد. به همین ترتیب، در واکنش‌های گرماده، ΔH منفی بوده ($\Delta H < 0$) و نماد q در سمت راست معادله واکنش قرار دارد.



اگر در یک واکنش تعادلی، گرماگیر یا گرماده بودن واکنش مشخص نبود، می‌توانید از نکته زیر استفاده کنید:

توجه: در واکنش‌های برگشت‌پذیر، q سمت تعداد مول گازی کمتر قرار می‌گیرد.

بعد از این‌که گرماگیر و یا گرماده بودن واکنش برای ما معلوم شد، می‌توانیم از اصل لوشاتلیه برای تعیین اثر تغییر دما بر تعادل استفاده کنیم. به دو جمله مهم زیر توجه کنید:

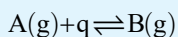
۱- هرگاه دما افزایش یابد، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که گرما را جذب (مصرف) کند.

۲- هرگاه دما کاهش یابد، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که گرما را آزاد (تولید) کند.

برای این‌که اثر تغییر دما را به راحتی پیش‌بینی کنید، فرض کنید که q یک ماده است. در واکنش‌های گرماگیر این ماده در سمت واکنش‌دهنده‌ها و در واکنش‌های گرماده این ماده در سمت فراورده‌ها قرار دارد. اکنون برای بررسی اثر تغییر دما، مسئله را مانند اثر تغییر غلظت حل می‌کنیم. یعنی با افزایش دما، غلظت q افزایش یافته و تعادل باید در جهت مصرف آن جابه‌جا شود و همچنین با کاهش دما، غلظت q کاهش یافته و تعادل باید در جهت تولید آن جابه‌جا شود.

با استفاده از نکته کلی و با توجه به اصل لوشاتلیه، اثر تغییر دما بر تعادل را بیان کردیم. حال می‌خواهیم جابه‌جایی تعادل در واکنش‌های گرماگیر و گرماده را با تغییر دما بررسی کنیم.

اثر تغییر دما بر جابه‌جایی تعادل‌های گرماگیر



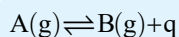
می‌دانیم در واکنش‌های گرماگیر، q سمت چپ معادله واکنش قرار دارد:

۱- **اثر افزایش دما:** افزایش دما مانند این است که گرما (q) وارد سامانه تعادلی شده است. پس تعادل سعی می‌کند با این افزایش دما مقابله کند. از این‌رو تعادل در جهت مصرف گرما یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود تا از این طریق دما به تدریج کاهش یابد. البته با توجه به اینکه تعادل نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد، دما در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه، اندکی بیشتر خواهد بود.

۲- **اثر کاهش دما:** کاهش دما مانند این است که گرما (q) از سامانه تعادلی خارج شده است. پس تعادل سعی می‌کند با این کاهش دما مقابله کند. از این‌رو تعادل در جهت تولید گرما یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود تا از این طریق دما به تدریج افزایش یابد. البته با توجه به اینکه تعادل نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد، دما در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه اندکی کمتر خواهد بود.

نتیجه: در تعادل گرماگیر $\leftarrow$ افزایش دما $\leftarrow$ جابه‌جایی تعادل به سمت راست (در جهت رفت و مصرف گرما)
 $\rightarrow$ کاهش دما $\rightarrow$ جابه‌جایی تعادل به سمت چپ (در جهت برگشت و تولید گرما)

۱- اثر تغییر دما بر جابه‌جایی تعادل‌های گرماده



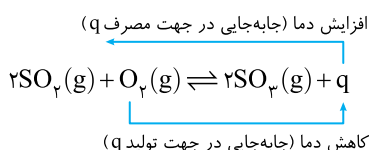
می‌دانیم در واکنش‌های گرماده، q سمت راست معادله واکنش قرار دارد:

۱- **اثر افزایش دما:** افزایش دما مانند این است که گرما (q) وارد سامانه تعادلی شده است. پس تعادل سعی می‌کند با این افزایش دما مقابله کند. از این رو تعادل در جهت مصرف گرما یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود تا از این طریق دما به تدریج کاهش یابد. البته با توجه به این که تعادل نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد، دما در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه، اندکی بیشتر خواهد بود.

۲- **اثر کاهش دما:** کاهش دما مانند این است که گرما (q) از سامانه تعادلی خارج شده است. پس تعادل سعی می‌کند با این کاهش دما مقابله کند. از این رو تعادل در جهت تولید گرما یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود تا از این طریق دما به تدریج افزایش یابد. البته با توجه به این که تعادل نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد، دما در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه اندکی کمتر خواهد بود.

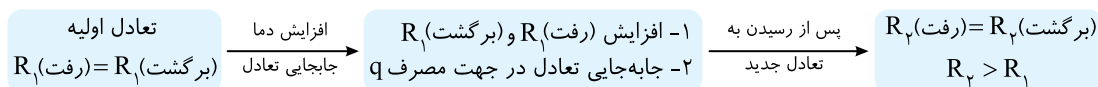
نتیجه در تعادل گرماده $\leftarrow$ افزایش دما $\leftarrow$ جابه‌جایی تعادل به سمت چپ (در جهت برگشت و مصرف گرما)
 کاهش دما $\leftarrow$ جابه‌جایی تعادل به سمت راست (در جهت رفت و تولید گرما)

مثال ۳: در تعادل گازی $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ ، ΔH واکنش منفی است، بنابراین افزایش دما تعادل را در جهت برگشت (مصرف q) و کاهش دما تعادل را در جهت رفت (تولید q) جابه‌جا می‌کند.

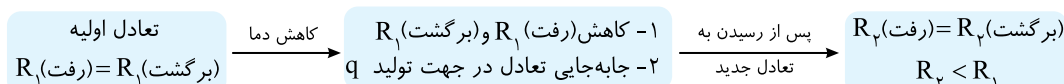


۱- تغییر دما و تأثیر آن بر سرعت واکنش‌های رفت و برگشت

۱- با افزایش دما، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت هر دو به‌طور هم‌زمان افزایش می‌یابد، اما این افزایش سرعت در جهت واکنش گرماگیر بیشتر است. پس از جابه‌جایی تعادل، به تعادل جدیدی می‌رسیم که در آن سرعت واکنش‌های رفت و برگشت هر دو نسبت به تعادل اولیه افزایش یافته، اما این سرعت‌ها با هم برابرند:



۲- با توضیحی مشابه می‌توان گفت که با کاهش دما سرعت واکنش‌های رفت و برگشت هر دو به‌طور هم‌زمان کاهش می‌یابد، اما این کاهش در جهت واکنش گرماده کمتر است. بنابراین تعادل به سمت تولید گرما یعنی بیشتر جابه‌جا می‌شود و پس از مدتی به تعادل جدیدی می‌رسیم که در آن سرعت واکنش‌های رفت و برگشت هر دو نسبت به تعادل اولیه کاهش یافته اما این سرعت‌ها با هم برابرند.



نکته

در واکنش‌های تعادلی، به هنگام جابه‌جایی تعادل و در نخستین لحظه تغییر دما، سرعت واکنشی که q در آن سمت قرار دارد، با تغییر دما بیشتر تغییر می‌کند، یعنی سرعت آن با زیاد شدن دما افزایش بیشتری داشته و با کم شدن دما نیز کاهش بیشتری دارد.

با افزایش دما در سامانه تعادلی، واکنش در جهت مصرف گرما پیش می‌رود (طبق اصل لوشاتلیه). اگر واکنش گرماگیر باشد، q سمت چپ قرار دارد و با افزایش دما واکنش در جهت رفت جابه‌جا شده و مقدار واکنش‌دهنده‌ها در سامانه کاهش می‌یابد.

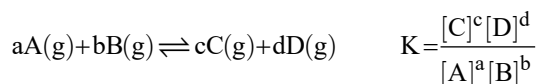
تغییر دما تنها عامل مؤثر بر تغییر K

کلاس درس

۳۸

همان‌طور که اشاره شد از بین عوامل مؤثر بر تعادل یعنی غلظت، فشار، دما و کاتالیزگر، تنها عاملی که موجب تغییر مقدار ثابت تعادل می‌شود، دما است. به‌طور کلی در مورد رابطه میان K و دما می‌توان به نکته زیر اشاره کرد:

توجه: اگر با تغییر دما، تعادل به سمت راست (در جهت رفت) جابه‌جا شود، مقدار K افزایش می‌یابد و اگر با تغییر دما تعادل به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا شود، مقدار K کاهش می‌یابد، برای این که موضوع را بهتر متوجه شوید یکبار دیگر به رابطه ثابت تعادل نگاه کنید:



در ادامه به‌صورت جداگانه به بررسی اثر تغییر دما در واکنش‌های گرماده و گرماگیر می‌پردازیم.

تغییر K با دما در واکنش‌های گرماگیر

۱- در واکنش‌های گرماگیر بر اثر افزایش دما، طبق اصل لوشاتلیه تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین غلظت فراورده‌ها افزایش و غلظت واکنش‌دهنده‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه مقدار K افزایش می‌یابد.

۲- در این واکنش‌ها بر اثر کاهش دما طبق اصل لوشاتلیه تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بنابراین غلظت فراورده‌ها کاهش و غلظت واکنش‌دهنده‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه مقدار K کاهش می‌یابد.

۳- در واکنش‌های گرماگیر با افزایش دما پیشرفت واکنش افزایش می‌یابد، در واقع پیشرفت واکنش با دما رابطه مستقیم دارد.

نتیجه: در واکنش گرماگیر، دما و K رابطه مستقیم دارند
 افزایش دما ← افزایش K ← افزایش پیشرفت واکنش
 کاهش دما ← کاهش K ← کاهش پیشرفت واکنش

تغییر K با دما در واکنش‌های گرماده

۱- در واکنش‌های گرماده بر اثر افزایش دما، طبق اصل لوشاتلیه تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بنابراین غلظت فراورده‌ها کاهش و غلظت واکنش‌دهنده‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه مقدار K کاهش می‌یابد.

۲- در این واکنش‌ها بر اثر کاهش دما تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین غلظت فراورده‌ها افزایش و غلظت واکنش‌دهنده‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه مقدار K افزایش می‌یابد.

۳- در واکنش‌های گرماده با افزایش دما پیشرفت واکنش کاهش می‌یابد، در واقع پیشرفت واکنش با دما رابطه عکس دارد.

نتیجه: در واکنش‌های گرماده دما و K رابطه عکس دارند
 افزایش دما ← کاهش K ← کاهش پیشرفت واکنش
 کاهش دما ← افزایش K ← افزایش پیشرفت واکنش

مثال: داده‌های جدول روبه‌رو مربوط به واکنش تعادلی $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$ است. با توجه به

دما (°C)	K
۲۵	$2/5 \times 10^{-25}$
۲۲۵	4×10^{-11}
۴۳۵	4×10^{-5}

این جدول کدام مطلب نادرست است؟

(۱) پیشرفت این واکنش برخلاف مقدار عددی K، با افزایش دما کاهش می‌یابد.

(۲) بر اثر افزایش دما سرعت واکنش‌های رفت و برگشت، هر دو افزایش می‌یابد.

(۳) در هر سه دما، ۲ مول SO_3 از مخلوط ۲ مول SO_2 و ۱ مول O_2 پایدارتر است.

(۴) بر اثر کاهش دما، این تعادل در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

راه‌حل: با توجه به این که با افزایش دما، K افزایش یافته است، می‌توان نتیجه گرفت که این واکنش گرماگیر است. در واکنش‌های گرماگیر پیشرفت واکنش و مقدار عددی K با افزایش دما افزایش می‌یابند. (گزینه ۱)

نوع واکنش تغییر اعمال شده	واکنش گرماده $(A(g) \rightleftharpoons B(g) + q)$	واکنش گرماگیر $(A(g) + q \rightleftharpoons B(g))$
کاهش دما	۱- جابه‌جایی تعادل در جهت رفت (به سمت راست) ۲- کاهش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت ۳- کاهش غلظت واکنش‌دهنده $([A] \downarrow)$ و افزایش غلظت فراورده $([B] \uparrow)$ ۴- افزایش ثابت تعادل (K)	۱- جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت (به سمت چپ) ۲- کاهش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت ۳- افزایش غلظت واکنش‌دهنده $([A] \uparrow)$ و کاهش غلظت فراورده $([B] \downarrow)$ ۴- کاهش ثابت تعادل (K)
افزایش دما	۱- جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت (به سمت چپ) ۲- افزایش سرعت رفت و برگشت ۳- افزایش غلظت واکنش‌دهنده $([A] \uparrow)$ و کاهش غلظت فراورده $([B] \downarrow)$ ۴- کاهش ثابت تعادل (K)	۱- جابه‌جایی تعادل در جهت رفت (به سمت راست) ۲- افزایش سرعت رفت و برگشت ۳- کاهش غلظت واکنش‌دهنده $([A] \downarrow)$ و افزایش غلظت فراورده $([B] \uparrow)$ ۴- افزایش ثابت تعادل (K)

با سرد کردن یک واکنش گرماگیر، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و مقدار K کاهش می‌یابد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): برای یک واکنش معین (چه گرماگیر و چه گرماده)، ثابت تعادل فقط تابع دما است، پس با تغییر دما، مقدار ثابت تعادل (K) هم تغییر می‌کند.
 گزینه‌های (۲) و (۴): طبق اصل لوشاتلیه، تعادل سعی می‌کند تا آن‌جا که امکان دارد با تغییر وارد شده مقابله کند، بنابراین هرگاه دما افزایش یابد، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که گرما را جذب (مصرف) کند و هرگاه دما کاهش یابد، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که گرما را آزاد (تولید) کند.

۲۳۷ (A) ۲: در تعادل داده شده $\Delta H < 0$ بوده و گرماده است، پس q در سمت راست معادله واکنش قرار دارد. با افزایش دما، مانند این است که گرما (q) وارد سامانه تعادلی شده است، پس تعادل سعی می‌کند با این افزایش دما مقابله کند، از این‌رو، تعادل در جهت مصرف گرما، یعنی به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود تا از این طریق، دما به تدریج کاهش یابد.

با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد، از این‌رو زمان رسیدن به تعادل، کاهش یافته و در مدت زمان کمتری تعادل برقرار می‌شود.
۲۳۸ (A) ۳: در صورت سؤال، گرماگیر و یا گرماده بودن واکنش مشخص نشده است، اما می‌دانیم که در واکنش‌های تعادلی، q در سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد. با توجه به این نکته، واکنش مورد نظر گرماگیر است.

با کاهش دما، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که گرما تولید شود، پس تعادل به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود، تا از این طریق، مقداری گرما تولید کند و با کاهش دما مقابله کند.

در سمت راست معادله واکنش، ۴ مول گاز و در سمت چپ، ۲ مول گاز وجود دارد، در نتیجه، بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، تعداد مول‌های گاز موجود در تعادل کاهش می‌یابد (از ۴ مول به ۲ مول).

$$2\text{NH}_3(g) + q \rightleftharpoons \text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g)$$
 ۲ مول گاز ۴ مول گاز

۲۳۹ (B) ۲: عبارت‌های (الف) و (پ) درست هستند. در صورت سؤال، گرماگیر یا گرماده بودن واکنش مشخص نشده است، اما می‌دانیم که در واکنش‌های تعادلی، q سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد. با توجه به این نکته، واکنش مورد نظر گرماگیر است.

$$\text{PCl}_5(g) + q \rightleftharpoons \text{PCl}_3(g) + \text{Cl}_2(g)$$

بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): از آن‌جا که واکنش گرماگیر می‌باشد، با افزایش دما، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود.
 عبارت (ب): از آن‌جا که واکنش گرماگیر می‌باشد، بر اثر افزایش دما، مقدار K افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش دما، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین غلظت فراورده‌ها افزایش و غلظت واکنش‌دهنده کاهش می‌یابد، در نتیجه، مقدار K بزرگ‌تر می‌شود.

عبارت (پ): با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد.

عبارت (ت): بر اثر جابه‌جایی تعادل به سمت راست، غلظت PCl_5 کاهش و غلظت گازهای PCl_3 و Cl_2 افزایش می‌یابد.

۲۴۰ (B) ۳: تغییرات بیان شده در عبارت‌های (الف)، (ب) و (ت)، رخ می‌دهند. در واکنش‌های تعادلی، q سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، بنابراین واکنش داده شده، گرماگیر است.

$$q + 2\text{SO}_3(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g)$$

بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): با کاهش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت کاهش می‌یابد.

عبارت (ب): بر اثر کاهش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بنابراین تعداد مول گازها از ۳ مول در فراورده‌ها به ۲ مول واکنش‌دهنده کاهش می‌یابد، با کاهش تعداد مول گاز موجود در تعادل، فشار گازهای داخل ظرف هم کم می‌شود.

عبارت (پ): با کاهش دما، واکنش در جهت تولید گرما، یعنی به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود، پس غلظت گازهای SO_3 و O_2 کاهش یافته و غلظت SO_2 افزایش می‌یابد، از این‌رو نسبت غلظت مولی فراورده‌ها به غلظت مولی واکنش‌دهنده ثابت نیست و کاهش می‌یابد.

عبارت (ت): واکنش در جهت برگشت (چپ) جابه‌جا می‌شود.

۲۴۱ (B) ۳ تعادل داده شده گرماده است، بنابراین با کاهش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود که نتیجه آن کاهش تعداد مول H_2 و Br_2 و افزایش تعداد مول HBr می‌باشد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): با افزایش دما، تعادل اولیه به هم می‌خورد، از این رو طبق اصل لوشاتلیه تعادل سعی می‌کند با این افزایش دما مقابله کند، بنابراین تعادل در جهت مصرف گرما، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود تا از این طریق، دما به تدریج کاهش یابد، اما به دلیل این که به طور معمول، تعادل نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به طور کامل از بین ببرد، دما در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه، اندکی بیشتر خواهد بود.

گزینه (۲): ΔH (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) - (مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها) = ΔH واکنش

ΔH (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) - (مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها) $\Rightarrow < 0$ ΔH واکنش

(مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) $<$ (مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها)

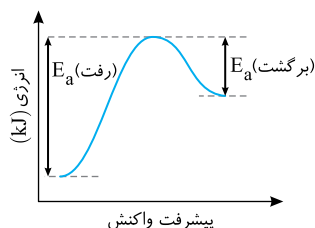
گزینه (۴): با افزایش دما، انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت تغییر نمی‌کند، بلکه شدت برخوردها و تعداد برخوردهای دارای انرژی کافی افزایش می‌یابد. تنها عاملی که موجب تغییر انرژی فعال‌سازی واکنش می‌شود، کاتالیزگر است.

۲۴۲ (B) ۱ این واکنش در جهت برگشت گرماده است، بنابراین با افزایش دما، ثابت تعادل آن کاهش می‌یابد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۲): با توجه به گرماگیر بودن واکنش، با کاهش دما واکنش در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

گزینه (۳): در یک واکنش گرماگیر، انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت (E_a برگشت) از انرژی فعال‌سازی واکنش رفت (E_a رفت) کوچک‌تر است، پس سطح انرژی قله نمودار به سطح انرژی فراورده‌ها نزدیک‌تر می‌باشد.

گزینه (۴): در تعادل‌های گرماگیر، ثابت تعادل (K) با دما، رابطه مستقیم دارد، از این رو با افزایش دما، مقدار ثابت تعادل افزایش می‌یابد.



۲۴۳ (A) ۴ **بررسی پرسش‌ها:**

پرسش (الف): عبارت ثابت تعادل به صورت $\frac{[SO_2]^2 [O_2]}{[SO_3]^2}$ می‌باشد.

پرسش (ب): با توجه به جدول در دمای $435^\circ C$ ، مقدار ثابت تعادل بزرگ‌تر و پیشرفت واکنش بیشتر است.

پرسش (پ): با افزایش دما، ثابت تعادل افزایش یافته، پس واکنش، گرماگیر است.

۲۴۴ (B) ۲ عبارت‌های (ب) و (ت) درست هستند. از آن‌جا که در واکنش‌های تعادلی، باید q در سمت تعداد مول گازی کمتر قرار گیرد، در این واکنش $CaCO_3(s) + q \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ در سمت چپ قرار داشته و واکنش گرماگیر است.

بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): اگر محفظه تعادل را در مخلوط آب و یخ قرار دهیم، دما کاهش می‌یابد. پس تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود و مقدار K کاهش می‌یابد. عبارت ثابت تعادل به صورت $K = [CO_2]$ بوده و فقط شامل غلظت گاز CO_2 است، پس با کاهش مقدار K ، غلظت گاز CO_2 در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کاهش می‌یابد.

عبارت (ب): با کاهش مقدار K و در نتیجه کاهش غلظت گاز CO_2 ، فشار گاز داخل ظرف هم در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کاهش می‌یابد.

عبارت (پ): $CaCO_3$ یک جامد خالص است، در نتیجه غلظت آن ثابت می‌ماند.

عبارت (ت): در سمت چپ معادله واکنش، جامد خالص $CaCO_3$ و در سمت راست معادله واکنش، جامد خالص CaO را داریم، جرم این دو ماده با یکدیگر تفاوت دارد، بنابراین با کاهش دما و جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، جرم مواد جامد تغییر می‌کند.

۲۴۵ (B) ۳ از آن‌جا که با افزایش دما، مقدار بیشتری A تولید شده و از مقدار B کاسته شده است، می‌توان نتیجه گرفت که واکنش در جهت برگشت جابه‌جا شده است. در واکنش‌های تعادلی گرماده، با افزایش دما، واکنش در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

توجه: در این واکنش تعداد مول مواد گازی سمت چپ و راست برابر است، بنابراین در رابطه ثابت تعادل به جای غلظت می‌توان از مول استفاده کرد (حجم ظرف را در نظر نمی‌گیریم).

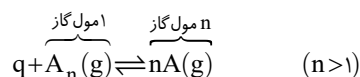
$$K = \frac{[B]}{[A]} = \frac{\frac{100-40}{100}}{\frac{40}{100}} = \frac{60}{40} = 1.5$$

۲۴۶ (A) ۴ تعادل داده شده گرماده است، پس با افزایش دما، در جهت مصرف گرما، یعنی به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود. بر اثر این جابه‌جایی، تعداد مول SO_3 کاهش و تعداد مول SO_2 و O_2 افزایش می‌یابد. البته تغییر تعداد مول‌ها باید به نسبت ضرایب استوکیومتری مواد انجام شود.

در گزینه (۴)، تعداد مول SO_3 ، از ۲ مول به ۱ مول کاهش یافته است، یعنی تعداد مول SO_3 به اندازه ۱ مول کاهش پیدا کرده است. ضریب استوکیومتری SO_3 و SO_2 یکسان می‌باشد، از این رو، با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، تعداد مول SO_2 هم به اندازه ۱ مول افزایش یافته و از ۳ مول به ۴ مول می‌رسد.

همچنین ضریب استوکیومتری O_2 ، نصف ضریب استوکیومتری SO_3 است، پس تعداد مول O_2 به اندازه ۰.۵ مول افزایش یافته و از ۲ مول به ۲.۵ مول می‌رسد.

۲۴۷ (B) می‌دانیم در واکنش‌های برگشت پذیر q سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، پس باید q را در سمت چپ قرار دهیم و واکنش داده شده، گرماگیر می‌باشد.



اگر محفظه واکنش را به یک منبع حرارتی نزدیک کنیم، دمای محفظه افزایش می‌یابد، پس طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و تعدادی از مولکول‌های A_n به مولکول‌های A تبدیل می‌شوند. به دلیل افزایش تعداد مول گاز، فشار مخلوط گازی داخل ظرف افزایش می‌یابد، اما به دلیل این که تعدادی از مولکول‌های A_n به مولکول‌های A تبدیل شده‌اند، ماهیت (نوع) گاز درون ظرف تغییر می‌کند.

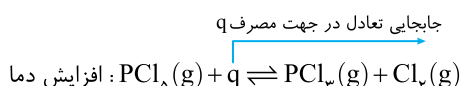
تغییر دما و تأثیر آن بر غلظت مواد

کلاس درس

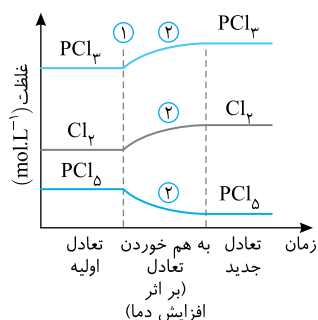
می‌دانیم شیب نمودار (غلظت - زمان) یک ماده بیانگر سرعت مصرف یا تولید آن ماده است، از طرفی دما نیز سرعت تمام واکنش‌ها را افزایش می‌دهد، بنابراین تغییر دما نمودار (غلظت - زمان) را تغییر می‌دهد. در این کلاس درس به بررسی اثر تغییر دما بر نمودار (غلظت - زمان) می‌پردازیم:

۱- اثر تغییر دما بر نمودار (غلظت - زمان)

۱- فرض کنید در یک محفظه یک لیتری در دمای 25°C تعادل $\text{PCl}_5(g) + q \rightleftharpoons \text{PCl}_3(g) + \text{Cl}_2(g)$ برقرار شده است. اگر دمای محفظه انجام واکنش را افزایش دهیم، تعادل به هم خورده و طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش دما، تعادل در جهت مصرف گرما، یعنی به سمت راست (در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود:



۲- با افزایش دما و جابه‌جایی تعادل به سمت راست، به تدریج غلظت $\text{Cl}_2(g)$ و $\text{PCl}_3(g)$ افزایش و غلظت $\text{PCl}_5(g)$ کاهش می‌یابد تا به تعادل جدید برسد، البته تغییر غلظت مواد با توجه به ضریب‌های استوکیومتری آن‌ها انجام می‌شود، به عنوان مثال، چون ضریب استوکیومتری $\text{PCl}_5(g)$ با ضریب استوکیومتری $\text{Cl}_2(g)$ برابر است، به همان اندازه که غلظت $\text{PCl}_5(g)$ کاهش می‌یابد، غلظت $\text{Cl}_2(g)$ افزایش می‌یابد. با توجه به توضیحات داده شده، نمودار (غلظت - زمان) مواد موجود در تعادل مورد بحث بر اثر افزایش دما به صورت زیر است:

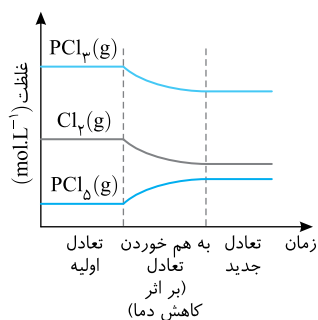
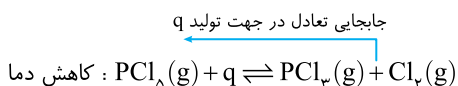


در این نمودار ۱) نخستین لحظه افزایش دما می‌باشد. ۲) با جابه‌جایی تعادل به سمت راست، به تدریج غلظت PCl_5 کاهش می‌یابد.

۳) البته تغییر غلظت مواد تا رسیدن به تعادل جدید ادامه خواهد داشت، پس از رسیدن به تعادل جدید غلظت همه مواد ثابت شده و تغییر نمی‌کند.

واکنش بالا گرماگیر است و با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد اما به دلیل این که q در سمت چپ معادله واکنش قرار دارد، سرعت واکنش رفت بیشتر افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش دما، تعادل به هم خورده و به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

۳- در تعادل گرماگیر مورد بحث، اگر دما را کاهش دهیم، تعادل به هم خورده و طبق اصل لوشاتلیه در جهت تولید گرما، یعنی به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود:



۴- با کاهش دما و جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، به تدریج $\text{Cl}_2(g)$ و $\text{PCl}_3(g)$ کاهش و غلظت $\text{PCl}_5(g)$ افزایش می‌یابد. این تغییرات غلظت تا رسیدن به تعادل جدید ادامه دارد. پس از رسیدن به تعادل جدید غلظت‌ها ثابت شده و تغییر نمی‌کند. با توجه به توضیحات ارائه شده نمودار (غلظت - زمان) تعادل مورد نظر در اثر کاهش دما به صورت مقابل است:

کاهش دما ← جابه‌جایی تعادل به سمت چپ (تولید q)

کاهش $[\text{Cl}_2]$

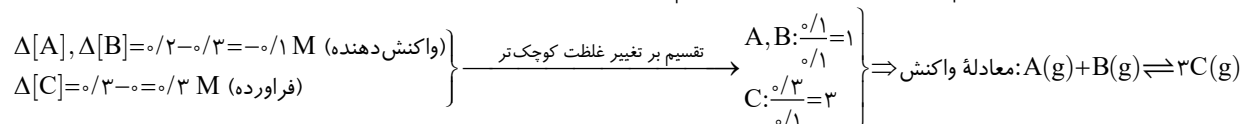
کاهش $[\text{PCl}_3]$

افزایش $[\text{PCl}_5]$

نکته

در تعادل مورد بحث کاهش دما، سرعت واکنش رفت و برگشت را کاهش می‌دهد، اما به دلیل این که q در سمت چپ معادله واکنش قرار دارد، سرعت واکنش رفت بیشتر کاهش می‌یابد، بنابراین با کاهش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود.

عبارت‌های (الف) و (ت) نادرست هستند. در قدم اول باید با استفاده از نمودار (غلظت - زمان) داده شده، معادله واکنش را بنویسیم. برای این کار، تغییر غلظت هر یک از مواد را از آغاز واکنش تا هنگام برقراری تعادل به دست می‌آوریم.



در واکنش‌های تعادلی، q سمت مول گازی کمتر قرار دارد، پس در این واکنش، q سمت چپ قرار داشته و واکنش گرماگیر می‌باشد. با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت C افزایش و غلظت A و B کاهش می‌یابد:

بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): چگالی مخلوط گازی از تقسیم جرم مخلوط گازی به حجم آن به دست می‌آید. حجم ظرف ثابت است، از طرفی، طبق قانون بقای جرم، مجموع جرم مخلوط گازی حین انجام واکنش ثابت است.

عبارت (ب): با افزایش دما تعادل در جهت مصرف گرما یعنی جهت رفت جابه‌جا می‌شود و تعداد مول گازی افزایش می‌یابد.

عبارت (پ): با کاهش دما تعادل در جهت تولید گرما یعنی جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

عبارت (ت): در واکنش‌های گرماگیر، انرژی فعال‌سازی واکنش رفت (E_a (رفت)، بیشتر از انرژی فعال‌سازی واکنش برگشت (E_a (برگشت) است.

$$\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}), \Delta H > 0 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) > E_a(\text{برگشت})$$

مقدار ثابت تعادل K در دمای 227°C نسبت به دمای 25°C کوچک‌تر است، پس واکنش در دمای 227°C پیشرفت کمتری دارد. هر چه مقدار K بزرگ‌تر باشد، پیشرفت واکنش رفت بیشتر است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): با توجه به جدول، با افزایش دما، مقدار K کاهش یافته است، یعنی رابطه دما با K وارونه می‌باشد، بنابراین واکنش گرماده است. در واکنش‌های گرماده، سطح انرژی فراورده‌ها پایین‌تر از واکنش‌دهنده‌ها است.

گزینه (۲): تعادل گرماده است، بنابراین طبق اصل لوشاتلیه، با کاهش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و تعداد مول SO_3 افزایش می‌یابد.

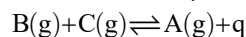
گزینه (۴): با توجه به جدول، مقدار K در دمای 436°C بزرگ است ($K > 10^2$)، در نتیجه در این دما، تعادل پیشرفت خوبی در جهت رفت دارد.

با توجه به رابطه ($\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$)، اگر در واکنشی، ($\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت})$) بزرگ‌تر باشد، $\Delta H > 0$ بوده و واکنش گرماگیر می‌باشد. در واکنش‌های گرماگیر، با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و مقدار K افزایش می‌یابد، بنابراین در این دسته از واکنش‌ها، دما و K ، رابطه مستقیم دارند. شیب نمودار K بر حسب دما، تابع نوع واکنش است و برای واکنش‌های گرماگیر مختلف متفاوت می‌باشد.

عبارت‌های (الف)، (ب) و (ت) درست هستند. در نمودار داده شده، با افزایش دما، مقدار K کاهش یافته، بنابراین رابطه دما و K به صورت وارونه بوده و می‌توانیم نتیجه بگیریم که واکنش گرماده است. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): با افزایش دما، مقدار K کاهش می‌یابد، از این رو در دماهای بالا، واکنش از نظر پیشرفت نامساعدتر است.

عبارت (ب): اگر q را سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دهیم، واکنش داده شده در این گزینه، گرماده است. پس با نمودار صورت سؤال مطابقت دارد.



عبارت (پ): در واکنش‌های تعادلی، q سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، پس با توجه به گرماده بودن واکنش، می‌توانیم یک معادله فرضی برای واکنش به صورت $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + q$ در نظر بگیریم. با افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و تعداد مول‌های گاز موجود در ظرف افزایش می‌یابد.

عبارت (ت): در اثر افزایش دما در تولید آمونیاک طبق معادله $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، زیرا یک واکنش گرماده است.

با توجه به نمودار، با افزایش دما، مقدار K هم افزایش یافته، بنابراین واکنش در جهت رفت گرماگیر است. اگر واکنش در جهت رفت، گرماگیر باشد، در جهت برگشت گرماده است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در واکنش‌های گرماگیر $\Delta H > 0$ است: (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) - (مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها) = $\Delta H_{\text{واکنش}}$

$$> 0 \text{ (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) - (مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها) } > 0 \Rightarrow \Delta H_{\text{واکنش}} > 0$$

$$> 0 \text{ (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) } > \text{ (مجموع آنتالپی پیوند واکنش دهنده‌ها) }$$

گزینه (۲): مقدار ثابت تعادل K در دمای 727°C نسبت به دمای 2727°C کوچک‌تر است، پس پیشرفت واکنش رفت در دمای 727°C نسبت به دمای 2727°C کمتر است.

گزینه (۳): در نقطه A ، واکنش در تعادل است، بنابراین سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت برابر است.

۲۵۳ (B) ۳

در واکنش‌های تعادلی، q سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، پس در این واکنش q سمت چپ قرار داشته و گرماگیر می‌باشد. با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و تعداد مول SO_3 کاهش و تعداد مول SO_2 و O_2 افزایش می‌یابد. البته تغییر مول مواد، با توجه به ضریب‌های استوکیومتری آن‌ها انجام می‌شود. در شکل داده شده در پرسش، ۵ مولکول SO_3 ، ۵ مولکول SO_2 و ۴ مولکول O_2 وجود دارد. در شکل گزینه (۳)، تعداد مولکول‌های SO_3 برابر ۳ است، یعنی SO_3 به اندازه ۲ مولکول کاهش یافته است، ضریب استوکیومتری SO_3 و SO_2 با هم برابر است، پس باید ۲ مولکول به تعداد مولکول‌های SO_3 افزوده شود و از ۵ مولکول به ۷ مولکول برسد. همچنین به دلیل این که ضریب استوکیومتری O_2 ، نصف ضریب استوکیومتری SO_3 است، باید ۱ مولکول به تعداد مولکول‌های O_2 افزوده شده و از ۴ مولکول به ۵ مولکول برسد. اگر با دقت نگاه کنید، متوجه می‌شوید که در شکل گزینه (۳)، تعداد مولکول‌های SO_3 و O_2 به ترتیب برابر ۷ و ۵ می‌باشد.

۲۵۴ (A) ۱

اگر به داده‌های جدول توجه کنید، متوجه می‌شوید که با افزایش دما، غلظت A افزایش و غلظت B کاهش یافته است، پس می‌توانیم نتیجه بگیریم که واکنش مورد نظر گرما داده بوده و بر اثر افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده است. به همین ترتیب می‌توانیم بیان کنیم که با توجه به گرما داده بودن واکنش، با کاهش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۲): در دمای $300^\circ C$ ، غلظت تعادلی A از غلظت تعادلی B کوچک‌تر است، پس نمی‌توانیم بیان کنیم که تعادل در جهت برگشت پیشرفت بسیار بیشتری نسبت به جهت رفت دارد. در حالی که غلظت واکنش‌دهنده به مقدار قابل توجهی از غلظت فراورده بیشتر باشد، تعادل در جهت برگشت پیشرفت بسیار بیشتری نسبت به جهت رفت دارد.

گزینه (۳): نیازی به محاسبه عدد K نیست. یکای K برای تعادل $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ برابر $mol^{-1}.L$ است.

$$K = \frac{[B]}{[A]^2} = \frac{(0.72 mol.L^{-1})}{(0.25 mol.L^{-1})^2} = 11.52 mol^{-1}.L$$

گزینه (۴): با کاهش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت کاهش می‌یابد، اما به دلیل این که تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، میزان کاهش سرعت واکنش رفت از میزان کاهش سرعت واکنش برگشت کمتر می‌باشد.

۲۵۵ (B) ۱

تنها عبارت (ب) نادرست است. با افزایش دما، غلظت A کاهش و غلظت B افزایش یافته است، به عبارت دیگر، با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده است پس می‌توانیم نتیجه بگیریم که واکنش مورد نظر گرماگیر بوده و q در سمت چپ معادله واکنش قرار دارد. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): برای این که n را به دست آوریم، از نسبت تغییر غلظت‌ها کمک می‌گیریم. با افزایش دما، غلظت A به اندازه $0.25 mol.L^{-1} (0.75 - 0.5)$ کاهش و غلظت B به اندازه $0.5 mol.L^{-1} (0.5 - 0.1)$ افزایش یافته است، یعنی تغییر غلظت B دو برابر تغییر غلظت A است، پس ضریب استوکیومتری B دو برابر ضریب استوکیومتری A بوده ($n=2$) و معادله واکنش به صورت $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ نوشته می‌شود. عبارت (ب): مقدار a ، ثابت تعادل واکنش را در دمای $200 K$ نشان می‌دهد.

$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{(0.5 mol.L^{-1})^2}{(0.1 mol.L^{-1})} = 2.5 \times 10^{-2} mol.L^{-1}$$

عبارت (پ): تعادل داده شده گرماگیر است، پس با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و مقدار K افزایش می‌یابد، بنابراین $b > a$ است. عبارت (ت): با افزایش حجم ظرف، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا شده و از این رو، تعداد مولکول‌های گاز موجود در ظرف افزایش می‌یابد.

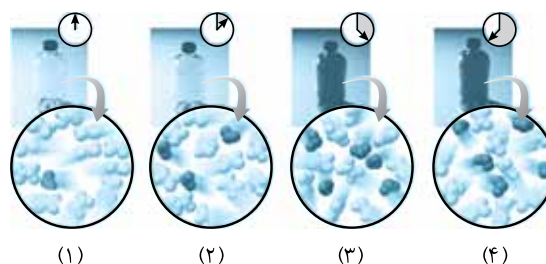
۲۵۶ (A) ۱

بررسی واکنش تعادلی $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

کلاس درس

۴.

شکل زیر، پیشرفت واکنش تبدیل گاز بی‌رنگ N_2O_4 به گاز قهوه‌ای رنگ NO_2 را با گذشت زمان در دمای ثابت نشان می‌دهد:



با توجه به این شکل و واکنش انجام شده به نتایج مهم زیر می‌رسیم:

- ۱- در ظرف (۱) و (۲) هنوز تعادل برقرار نشده و سرعت واکنش رفت بیشتر از سرعت واکنش برگشت است. در واقع سرعت تولید $NO_2(g)$ قهوه‌ای رنگ بیشتر از سرعت تولید $N_2O_4(g)$ بی‌رنگ است، به همین دلیل مدام بر شدت رنگ قهوه‌ای افزوده می‌شود و رنگ محلول واکنش تیره‌تر می‌شود.
- ۲- از مقایسه ظرف (۳) و (۴) می‌توان متوجه شد که غلظت و مقدار $NO_2(g)$ و $N_2O_4(g)$ در این دو ظرف یکسان است، این موضوع نشان‌دهنده برقراری تعادل $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ است. در واقع در ظرف (۳) واکنش به تعادل رسیده است و رنگ محلول نیز ثابت شده و دیگر تغییر نمی‌کند.

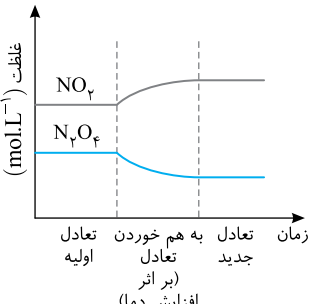
توجه شدت رنگ محلول واکنش مدام بیشتر شده و رنگ محلول قهوه‌ای‌تر می‌شود (البته تا هنگام برقراری تعادل) که این موضوع نشان می‌دهد که تا قبل از برقراری تعادل واکنش در جهت رفت $(N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g))$ پیشرفت بیشتری دارد، در واقع سرعت واکنش رفت بیشتر از سرعت واکنش برگشت است، البته بعد از برقراری تعادل سرعت واکنش رفت و سرعت واکنش برگشت برابر می‌شوند.

۳- واکنش تعادلی مورد بحث گرماگیر است:

$$N_2O_4(g) + q \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

افزایش دما در تعادل $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

اگر ظرف (۳) را که در آن تعادل $N_2O_4(g) + q \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ برقرار است را در مخلوط آب گرم قرار دهیم، دمای این سامانه تعادلی افزایش می‌یابد که این موضوع دلیل وقوع موارد زیر است:



(الف) افزایش دما باعث جابه‌جایی تعادل در جهت مصرف گرما یعنی در جهت رفت می‌شود.

(ب) در اثر جابه‌جایی، تعادل $[N_2O_4]$ کاهش و $[NO_2]$ افزایش می‌یابد.

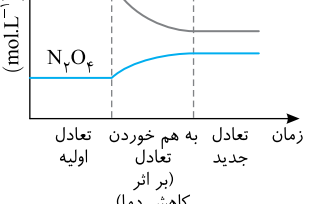
(پ) پس از جابه‌جایی تعادل و رسیدن به تعادل جدید، مقدار ثابت تعادل (K) افزایش می‌یابد.

(ت) به دلیل پیشرفت واکنش در جهت رفت (برای لحظاتی) و تولید بیشتر $NO_2(g)$ قهوه‌ای‌رنگ، مخلوط واکنش پررنگ‌تر می‌شود.

(ث) در کل تعداد مول‌های گازی موجود در ظرف واکنش افزایش می‌یابد، زیرا در جهت رفت ۱ مول N_2O_4 مصرف ولی ۲ مول NO_2 تولید می‌شود.

کاهش دما در تعادل $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

اگر ظرف (۳) را که در آن تعادل $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ برقرار است، در مخلوط آب و یخ قرار دهیم، تغییرات زیر رخ می‌دهد:



(الف) دما کاهش می‌یابد که این موضوع باعث جابه‌جایی تعادل در جهت تولید گرما یعنی در جهت برگشت می‌شود.

(ب) شدت رنگ محلول کاهش می‌یابد.

(پ) پس از جابه‌جایی، تعادل و رسیدن به تعادل جدید، مقدار ثابت تعادل (K) کاهش می‌یابد.

(ت) در اثر جابه‌جایی تعادل $[NO_2]$ کاهش و $[N_2O_4]$ افزایش می‌یابد.

(ث) در کل تعداد مولکول‌های گازی موجود در ظرف واکنش کاهش می‌یابد.

تغییر رنگ در تعادل $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

۱- در این تعادل، موارد زیر موجب افزایش شدت رنگ مخلوط می‌شوند، زیرا در تمام این موارد تعادل به سمت راست (در جهت رفت) جابه‌جا شده و غلظت $NO_2(g)$ قهوه‌ای‌رنگ افزایش می‌یابد:

$$N_2O_4(g) + q \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

جابه‌جایی تعادل

→

(الف) افزایش دما ($q \uparrow$)

(ب) افزایش غلظت N_2O_4

۲- در این تعادل، موارد زیر موجب کاهش شدت رنگ مخلوط می‌شوند، زیرا در تمام این موارد تعادل به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا شده و غلظت $NO_2(g)$ قهوه‌ای‌رنگ کاهش می‌یابد:

$$N_2O_4(g) + q \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

جابه‌جایی تعادل

←

(الف) کاهش دما ($q \downarrow$)

(ب) کاهش غلظت N_2O_4

۳- با افزایش حجم ظرف، در لحظه اعمال تغییر، مولکول‌های NO_2 از هم دور شده و فاصله می‌گیرند (کاهش غلظت NO_2) و مخلوط کم‌رنگ می‌شود، اما با گذشت زمان طبق اصل لوشاتلیه، تعادل در جهت رفت (تعداد مول گازی بیشتر) جابه‌جا شده و NO_2 بیشتری تولید می‌شود. به همین دلیل مخلوط گازی، اندکی پررنگ‌تر می‌شود. اما در کل جابه‌جایی تعادل در جهت رفت نمی‌تواند به‌طور کامل اثر تغییر اعمال شده (کاهش غلظت NO_2) را جبران کند، به همین دلیل مخلوط تعادلی، نسبت به تعادل اولیه، کم‌رنگ‌تر می‌شود.

۴- با کاهش حجم (افزایش فشار) در لحظه اعمال تغییر به دلیل افزایش غلظت NO_2 (تعداد مول NO_2 ثابت است و حجم کاهش می‌یابد، بنابراین غلظت آن افزایش می‌یابد) مخلوط پررنگ‌تر می‌شود، اما با جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت (تعداد مول گازی کمتر) مقدار NO_2 کاهش می‌یابد. به همین دلیل مخلوط تعادلی کم‌رنگ‌تر می‌شود. اما در کل جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت نمی‌تواند به‌طور کامل اثر تغییر اعمال شده (افزایش غلظت NO_2) را جبران کند. به همین دلیل، مخلوط تعادلی، نسبت به تعادل اولیه، پررنگ‌تر می‌شود.

مثال ۱: اگر دمای ظرفی را که در آن واکنش تعادلی $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ برقرار است، از 25°C به 70°C افزایش دهیم. کدام تغییر انجام نمی‌شود؟

- (۱) مقدار K کوچک‌تر می‌شود.
 - (۲) مخلوط گازی درون ظرف، پررنگ‌تر می‌شود.
 - (۳) نسبت شمار مولکول‌های NO_2 به شمار مولکول‌های N_2O_4 کاهش می‌یابد.
 - (۴) سرعت واکنش رفت افزایش می‌یابد.
- راه‌حل:** تعادل داده شده گرماده است $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) + q$ ، بنابراین با افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، شمار مولکول‌های NO_2 افزایش و شمار مولکول‌های N_2O_4 کاهش می‌یابد. از این رو نسبت شمار مولکول‌های NO_2 به شمار مولکول‌های N_2O_4 افزایش می‌یابد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
 گزینه (۱): تعادل گرماده است، در نتیجه با افزایش دما، مقدار K کوچک‌تر می‌شود.
 گزینه (۲): با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، غلظت مولکول‌های قهوه‌ای NO_2 افزایش می‌یابد.
 گزینه (۴): با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد.
 (گزینه ۳)

مثال ۲: سامانه تعادلی $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ در ظرف سر بسته دلیتری وجود دارد. اگر این مخلوط در دمای ثابت به یک ظرف یک لیتری منتقل شود، کدام تغییر مشاهده می‌شود؟

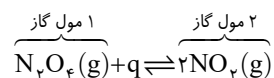
- (۱) شمار مولکول‌های N_2O_4 کاهش می‌یابد.
 - (۲) شدت رنگ قهوه‌ای در سامانه، ابتدا افزایش و سپس به تدریج کاهش می‌یابد.
 - (۳) غلظت NO_2 کاهش می‌یابد.
 - (۴) مقدار ثابت تعادل ابتدا افزایش و سپس به تدریج کاهش می‌یابد.
- راه‌حل:** در نخستین لحظه کاهش حجم ظرف، ابتدا غلظت هر دو گاز NO_2 و N_2O_4 افزایش می‌یابد. گاز NO_2 قهوه‌ای‌رنگ و گاز N_2O_4 بی‌رنگ است. بر اثر افزایش غلظت NO_2 ، ابتدا شدت رنگ قهوه‌ای در سامانه افزایش می‌یابد. سپس تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت N_2O_4 جابه‌جا می‌شود. $(\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}))$ بر اثر این جابه‌جایی شمار مولکول‌های NO_2 کاهش و شمار مولکول‌های N_2O_4 افزایش می‌یابد. بنابراین به دلیل کاهش غلظت NO_2 ، شدت رنگ قهوه‌ای به تدریج کاهش می‌یابد. پس از برقراری تعادل جدید، غلظت مولکول‌های NO_2 و N_2O_4 ثابت می‌شود اما به دلیل این‌که بر اثر کاهش حجم ظرف، غلظت هر دو گاز NO_2 و N_2O_4 در تعادل جدید، نسبت به تعادل اولیه افزایش یافته است. شدت رنگ قهوه‌ای در تعادل جدید از تعادل اولیه بیشتر است. (گزینه ۲)

کلاس درس ۱۴

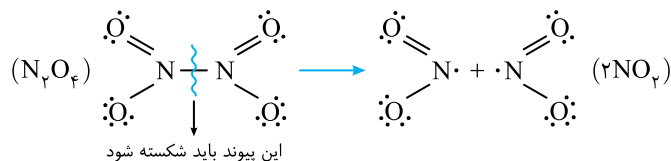
جمع‌بندی

تغییر تحمیل شده به تعادل	نتیجه تغییر تحمیل شده
افزایش دما افزایش $[\text{N}_2\text{O}_4]$	$\rightleftharpoons$ جابه‌جایی تعادل به سمت راست $\rightleftharpoons$ افزایش $[\text{NO}_2]$ $\rightleftharpoons$ افزایش شدت رنگ
کاهش دما کاهش $[\text{N}_2\text{O}_4]$	$\rightleftharpoons$ جابه‌جایی تعادل به سمت چپ $\rightleftharpoons$ کاهش $[\text{NO}_2]$ $\rightleftharpoons$ کاهش شدت رنگ
کاهش حجم (افزایش فشار)	$\rightleftharpoons$ افزایش $[\text{NO}_2]$ $\rightleftharpoons$ افزایش شدت رنگ
افزایش حجم (کاهش فشار)	$\rightleftharpoons$ کاهش $[\text{NO}_2]$ $\rightleftharpoons$ کاهش شدت رنگ

ابتدا باید گرماگیر و یا گرماده بودن واکنش را تعیین کنیم. در واکنش‌های تعادلی، q سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، پس در این واکنش q سمت چپ قرار داشته و واکنش گرماگیر می‌باشد.



از راه دیگری هم می‌توانیم به گرماگیر بودن واکنش برسیم. برای این که از یک مولکول N_2O_4 به دو مولکول NO_2 برسیم، باید پیوند بین اتم‌های نیتروژن در مولکول N_2O_4 شکسته شود. از آن‌جا که شکستن یک پیوند با صرف انرژی صورت می‌گیرد، واکنش داده شده گرماگیر است.



دما در حالت (آ) کمتر است، پس طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و غلظت $NO_2(g)$ کاهش و غلظت $N_2O_4(g)$ افزایش می‌یابد، از این‌رو شمار مولکول‌های NO_2 در حالت (آ)، کمتر از حالت (ب) است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۲): در حالت (ب)، دما بیشتر است، پس سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت در این حالت بیشتر از حالت (آ) است.
گزینه (۳): مولکول‌های N_2O_4 بی‌رنگ هستند، دلیل افزایش شدت رنگ در حالت (ب)، افزایش غلظت مولکول‌های قهوه‌ای‌رنگ NO_2 می‌باشد.
گزینه (۴): واکنش رفت گرماگیر است و ΔH آن باید مثبت باشد.

۲۵۷. ۲ در واکنش تعادلی داده شده، q را سمت تعداد مول گازی کمتر قرار می‌دهیم ($N_2O_4(g) + q \rightleftharpoons 2NO_2(g)$)، پس واکنش گرماگیر می‌باشد. اگر به شکل‌ها دقت کنید، در شکل (۱)، مخلوط تعادلی درون مخلوط آب و یخ و در شکل (۲)، درون آب گرم قرار گرفته است. با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و تعداد مولکول‌های NO_2 افزایش و تعداد مولکول‌های N_2O_4 کاهش می‌یابد، از این‌رو در دمای بالاتر، نسبت تعداد مولکول‌های NO_2 به تعداد مولکول‌های N_2O_4 بیشتر می‌باشد. بنابراین شکل (۳)، مربوط به دمای بالاتر و شکل (۴)، مربوط به دمای پایین‌تر است. به عبارت دیگر، شکل (۳) نشان‌دهنده مخلوط تعادلی در دمای شکل (۲) بوده و شکل (۴) هم نشان‌دهنده مخلوط تعادلی در دمای شکل (۱) است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۳): با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و تعداد مولکول‌های گازی موجود در ظرف افزایش می‌یابد، بنابراین فشار گاز درون محفظه شکل (۲) که دمای بالاتری دارد، بیشتر می‌باشد.
گزینه (۴): به دلیل یکسان نبودن دما و جابه‌جایی تعادل، شمار مولکول‌های NO_2 و N_2O_4 در دو ظرف یکسان نیست، پس ماهیت مخلوط گازی موجود در دو ظرف متفاوت می‌باشد.

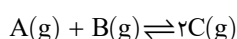
۲۵۸. ۱ در واکنش‌های تعادلی، q در سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، پس در این واکنش q در سمت راست معادله واکنش قرار داشته و گرماده است. با کاهش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، از این‌رو باید غلظت SO_3 افزایش و غلظت O_2 و SO_2 کاهش یابد. توجه داشته باشید که تغییر غلظت مواد باید با توجه به ضرایب استوکیومتری آن‌ها انجام شود، به این ترتیب که به همان میزان که به غلظت SO_3 اضافه می‌شود، باید از غلظت SO_2 کم شود. همچنین میزان کاهش غلظت O_2 ، نصف میزان کاهش غلظت SO_3 است.

۲۵۹. ۳ با توجه به گرماگیر بودن واکنش، با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین غلظت گازهای CO و H_2O کاهش و غلظت گازهای CO_2 و H_2 افزایش می‌یابد. از آن‌جا که حجم ظرف ۱ لیتر است، پس غلظت هر گاز با تعداد مول آن برابر می‌باشد. در تعادل جدید، مقدار K برابر با ۱۶ است.

	$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$				$K = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]} = 16 = \frac{(3+x)(3+x)}{(1-x)(1-x)} = \frac{(3+x)^2}{(1-x)^2}$	
غلظت در تعادل اولیه	۱	۱	۳	۳	$\xrightarrow{\text{از دو طرف تساوی جذر می‌گیریم}} \sqrt{16} = \frac{3+x}{1-x} \Rightarrow x = 0.2 \text{ mol.L}^{-1}$	
تغییر غلظت	-x	-x	+x	+x		
غلظت در تعادل جدید	۱-x	۱-x	۳+x	۳+x	$[H_2]_{\text{تعادل جدید}} = 3+x = 3+0.2 = 3.2 = 3/2 \text{ mol.L}^{-1} \xrightarrow{V=1L} n_{H_2} = 3/2 \text{ mol}$	

۲۶۰. ۳ ابتدا ثابت تعادل اولیه را در دمای $50^\circ C$ محاسبه می‌کنیم:

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{\left(\frac{4}{5}\right)^2}{\left(\frac{1}{5}\right)\left(\frac{1}{5}\right)} = 16$$



غلظت اولیه	۲	۲	۸
تغییرات غلظت	+x	+x	-2x
غلظت در تعادل جدید	۲+x	۲+x	۸-2x

با افزایش دمای تعادل به $100^\circ C$ ، ثابت تعادل کاهش پیدا کرده. پس تعادل به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا شده است.

$$K_2 = \frac{1}{16} K_1 = 1 \Rightarrow \frac{(8-2x)^2}{(2+x)^2} = 1 \xrightarrow{\text{جذر}} \frac{8-2x}{2+x} = 1$$

$$8-2x = x+2 \Rightarrow 3x = 6 \Rightarrow x = 2$$

پس غلظت نهایی C در تعادل جدید برابر با $8-2x = 8-4 = 4 \text{ mol.L}^{-1}$ است.

۲۶۱ **۴** **B** با افزایش دما، مقدار ثابت تعادل زیاد شده است. پس می‌توان گفت که تعادل در جهت رفت جابه‌جا شده و با افزایش غلظت فراورده‌ها همراه است. $\text{NiO}_2(s) + \text{CO}(g) \rightleftharpoons \text{Ni}(s) + \text{CO}_2(g)$

تعداد مول اولیه	۰/۲۱	۰/۱	۰/۲۱	۰/۱
تغییرات مول	-X	-X	+X	+X
تعداد مول در تعادل جدید	۰/۲۱-X	۰/۱-X	۰/۲۱+X	۰/۱+X

$$K = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]} = \frac{0.1+X}{0.1-X} = 0.98 \Rightarrow X = 0.08$$

$$[\text{CO}_2] = 0.1+X = 0.1+0.08 = 0.18 \text{ mol.L}^{-1}$$

۲۶۲ **۴** **A** در نمودار نشان داده شده، مقدار ثابت تعادل با افزایش دما، افزایش یافته است؛ در واقع با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و گرما را مصرف کرده است. در نتیجه واکنش در جهت رفت گرماگیر است. واکنشی که در جهت رفت گرماگیر باشد، در جهت برگشت گرماده است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۲): با توجه به گرماگیر بودن واکنش در جهت رفت می‌توان نوشت: $\Delta H = E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}) > 0 \Rightarrow E_a(\text{رفت}) > E_a(\text{برگشت})$
گزینه (۳): با افزایش دما، تعادل به سمت راست حرکت می‌کند و مقدار A_p افزایش می‌یابد.

۲۶۳ **۱** **C**



با پایین آمدن دمای سامانه، تعادل برای جبران اثر کاهش دما، به سمت تولید گرما یعنی در جهت رفت پیشرفت می‌کند. با جابه‌جایی تعادل در جهت رفت، بر غلظت فراورده‌ها افزوده و از غلظت واکنش‌دهنده‌ها کاسته می‌شود؛ در نتیجه، مقدار عددی ثابت تعادل افزایش می‌یابد. (در تعادل‌های گرماده، مقدار ثابت تعادل با دما، رابطه معکوس دارد.)

۲۶۴ **۴** **A**

اثر کاتالیزگر بر تعادل

کلاس درس

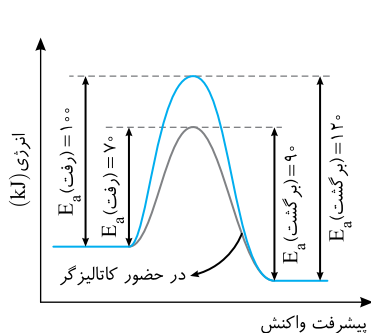
۴۱

می‌دانیم کاتالیزگر از طریق کاهش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش‌های شیمیایی را افزایش می‌دهد، در این کلاس درس به بررسی اثر کاتالیزگر بر تعادل می‌پردازیم:

کاتالیزگر نمی‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود

۱- کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش رفت و واکنش برگشت را به یک اندازه (به یک مقدار) کاهش می‌دهد.

مثال ۱: به نمودار زیر توجه کنید:



میزان کاهش	در حضور کاتالیزگر	در غیاب کاتالیزگر	
در حضور کاتالیزگر $E_a(\text{رفت})$ و $E_a(\text{برگشت})$ به یک اندازه کاهش می‌یابند.	۷۰	۱۰۰	$E_a(\text{رفت}) (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
	۹۰	۱۲۰	$E_a(\text{برگشت}) (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
در حضور کاتالیزگر، ΔH تغییر نمی‌کند.	۰	$100 - 120 = -20$	$\Delta H (\text{kJ})$ $(E_a(\text{رفت}) - E_a(\text{برگشت}))$

۲- تا پیش از برقراری تعادل، اگر از کاتالیزگر استفاده کنیم، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت افزایش می‌یابد. اما میزان افزایش سرعت هر یک از واکنش‌های رفت و برگشت، تابع عوامل مختلفی مانند دما، فشار و ماهیت واکنش‌دهنده‌هاست و نمی‌توانیم ارتباط خاصی میان آن‌ها برقرار کنیم. حال اگر پس از این که واکنش به تعادل رسید، از کاتالیزگر استفاده کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

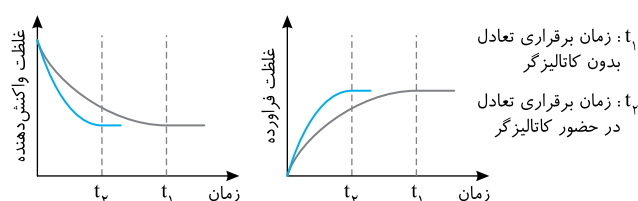
نکته

در واکنش‌های تعادلی، کاتالیزگر سرعت واکنش‌های رفت و برگشت را به یک اندازه و همچنین به یک نسبت تغییر می‌دهد. بنابراین موجب جابه‌جایی تعادل نمی‌شود.

مثال ۲: فرض کنید در واکنش تعادلی $A \rightleftharpoons 2B$ ، در زمان برقراری تعادل، سرعت واکنش رفت و برگشت با یکدیگر مساوی بوده و برابر $0.2 \text{ mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$ باشد. به عنوان مثال، اگر از یک کاتالیزگر مناسب استفاده کنیم، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت از $0.2 \text{ mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$ به $0.6 \text{ mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$ افزایش می‌یابد. ملاحظه می‌کنید که سرعت هر دو واکنش به اندازه $0.4 \text{ mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$ زیاده‌تر شده است. اما به دلیل این که یک واکنش تعادلی داریم و سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در ابتدا با یکدیگر برابر بوده، می‌توانیم نتیجه بگیریم که سرعت واکنش‌ها به یک نسبت افزایش یافته است.

نسبت سرعت‌ها $\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$	تغییر سرعت $(R_2 - R_1)$	در حضور کاتالیزگر (R_2)	تعادل اولیه (R_1)
(۳) $\frac{0.6}{0.2} = 3$	(۱) $0.6 - 0.2 = 0.4$	۰/۶	۰/۲
(۴) $\frac{0.6}{0.2} = 3$	(۲) $0.6 - 0.2 = 0.4$	۰/۶	۰/۲
		$R(\text{برگشت}) (\text{mol.L}^{-1}\text{s}^{-1})$	$R(\text{رفت}) (\text{mol.L}^{-1}\text{s}^{-1})$

(۱) و (۲) $\Leftarrow$ در حضور کاتالیزگر، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به یک اندازه افزایش می‌یابد.
(۳) و (۴) $\Leftarrow$ در حضور کاتالیزگر، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به یک نسبت افزایش می‌یابد.



۳- کاتالیزگر، شیب نمودار (غلظت - زمان) واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها را افزایش می‌دهد و در نتیجه زمان رسیدن به تعادل را کوتاه‌تر می‌کند.
توضیح: در حضور کاتالیزگر، واکنش با سرعت بیشتری انجام می‌شود. بنابراین آن مقدار از واکنش‌دهنده‌ها که باید تا زمان برقراری تعادل مصرف شوند، زودتر مصرف شده و از این‌رو، تعادل سریع‌تر برقرار می‌شود.

نکته

کاتالیزگر غلظت تعادلی واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها را تغییر نمی‌دهد، بلکه فقط زمان رسیدن به غلظت‌های تعادلی را کاهش می‌دهد.

۴- در صورت استفاده از کاتالیزگر، مقدار ثابت تعادل (K) تغییر نمی‌کند. زیرا کاتالیزگر، میزان پیشرفت واکنش تا لحظه برقراری تعادل را تغییر نمی‌دهد. بنابراین غلظت تعادلی مواد موجود در واکنش در حضور و غیاب کاتالیزگر یکسان است. پس وقتی غلظت تعادلی را در عبارت K قرار می‌دهیم، مقدار آن بدون تغییر خواهد بود.

کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی رفت و برگشت را کاهش می‌دهد و موجب افزایش سرعت رسیدن مواد به تعادل می‌شود. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۱): کاتالیزگر بر غلظت مولی فراورده‌ها تأثیری ندارد.

گزینه (۲): کاتالیزگر بر مقدار ثابت تعادل و میزان پیشرفت واکنش اثری ندارد.

گزینه (۳): کاتالیزگر سرعت رسیدن به تعادل را افزایش می‌دهد و باعث می‌شود که تعادل زودتر برقرار شود.

۲۶۵ (ب) ۳- عبارتهای (الف)، (ب) و (ت) جمله داده شده را به‌درستی تکمیل می‌کنند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت مربوط به تعادل هابر را به یک اندازه کاهش می‌دهد و باعث می‌شود که تعادل با سرعت بیشتری برقرار شود.

عبارت (ب): کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش‌های رفت و برگشت را به یک اندازه کاهش می‌دهد.

عبارت (پ): استفاده از کاتالیزگر تأثیری بر جابه‌جایی تعادل ندارد.

عبارت (ت): کاتالیزگر بر میزان آنتالپی واکنش، میزان پیشرفت واکنش و مقدار عبارت ثابت تعادل بی‌تأثیر است.

۲۶۶ (ب) ۲- با کاهش حجم، تعادل $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ، به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین تعداد مول SO_2 و O_2 کاهش و تعداد مول SO_3 افزایش می‌یابد، اما توجه داشته باشید که با کاهش حجم، غلظت همه گازهای موجود در تعادل افزایش می‌یابد. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): افزودن مقداری KI به تعادل $\text{PbI}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq})$ موجب افزایش غلظت یون دید شده و تعادل در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

گزینه (۳): افزایش دما، موجب افزایش سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت شده و کاهش دما هم موجب کاهش سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت می‌شود.

گزینه (۴): با افزایش غلظت $\text{Cl}_2(\text{g})$ ، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود.

۲۶۷ (ب) ۲- عبارتهای (ب) و (ت) نادرست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): با افزایش فشار (کاهش حجم)، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست (در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود، بنابراین در اثر افزایش فشار، سرعت واکنش رفت، بیشتر از سرعت واکنش برگشت می‌شود. به عبارت دیگر با افزایش فشار، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد، اما میزان افزایش سرعت واکنش رفت بیشتر از واکنش برگشت است.

عبارت (ب): در اثر افزایش غلظت N_2 ، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود، اما به‌طور معمول تعادل نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد و مقداری از تغییر وارد شده در تعادل باقی می‌ماند، پس از جابه‌جایی تعادل، تمام 0.5 مول N_2 اضافه شده مصرف نمی‌شود.

ضریب استوکیومتری N_2 و O_2 یکسان است، از این رو تعداد مول O_2 هم به مقدار $5/^\circ$ مول کاهش نمی‌یابد.

عبارت (پ): با کاهش دما واکنش در جهت تولید گرما پیش می‌رود و با توجه به این که واکنش به سمت تولید فراورده پیش رفته، پس واکنش گرماده است.
عبارت (ت): در این تعادل، تعداد مول گازی دو طرف معادله واکنش برابر است، بنابراین با کاهش حجم، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

۲۶۸ (A) ۳ با افزایش حجم از ۲ لیتر به ۴ لیتر، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در واکنش‌های تعادلی، q در سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد. از این رو تعادل داده شده، گرماده است. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + q$

با کاهش دما، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل در جهت تولید گرما، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

گزینه (۲): در اثر کاهش غلظت $NH_3(g)$ ، تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

گزینه (۴): با افزایش غلظت $N_2(g)$ ، تعادل در جهت مصرف آن، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

۲۶۹ (A) ۲ با کاهش حجم ظرف، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. در واکنش‌های تعادلی، q در سمت تعداد

مول گازی کمتر قرار دارد، پس این واکنش گرماگیر است. $H_2S(g) + I_2(s) + q \rightleftharpoons 2HI(g) + S(s)$

طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش دما، تعادل در جهت مصرف گرما، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. ملاحظه می‌کنید که دو تغییر کاهش حجم ظرف و

افزایش دما، موجب جابه‌جایی تعادل در دو جهت مخالف می‌شوند. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): I_2 یک جامد خالص است، بنابراین با اضافه یا کم کردن آن، تعادل جابه‌جا نمی‌شود. از طرفی با افزایش غلظت $HI(g)$ ، تعادل به سمت چپ

جابه‌جا می‌شود.

گزینه (۳): در اثر کاهش فشار (افزایش حجم)، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. استفاده از کاتالیزگر باعث

جابه‌جایی تعادل نمی‌شود و فقط سرعت رسیدن به تعادل را افزایش می‌دهد.

گزینه (۴): افزودن مقداری از یک گاز بی‌اثر مانند $Ar(g)$ در دمای ثابت، موجب جابه‌جایی تعادل نمی‌شود. اگر غلظت $H_2S(g)$ را افزایش دهیم، تعادل به

سمت راست جابه‌جا می‌شود.

۲۷۰ (B) ۴ فقط تغییر اعمال شده در مورد (الف) موجب کاهش مقدار K در تعادل مورد نظر می‌شود. تنها عاملی که موجب تغییر مقدار ثابت تعادل (K)

می‌شود، دما است. تعادل $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) + q$ گرماده می‌باشد، بنابراین با افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و مقدار K کاهش می‌یابد.

بررسی سایر موارد:

موارد (ب) و (پ): تغییر حجم و فشار تأثیری در مقدار K ندارد.

مورد (ت): این واکنش گرماده بوده و با کاهش دما به سمت راست جابه‌جا شده و مقدار K افزایش می‌یابد.

۲۷۱ (B) ۲ در اثر کاهش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، جابه‌جا می‌شود. با توجه به این که کاهش حجم، موجب جابه‌جایی تعادل در جهت

برگشت شده است، ضریب استوکیومتری A از ضریب استوکیومتری B کوچک‌تر می‌باشد ($n > m$). با افزایش دما، تعادل در جهت مصرف گرما جابه‌جا

می‌شود. از آن‌جا که در اثر افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده، q در سمت چپ معادله واکنش قرار داشته و واکنش رفت گرماگیر می‌باشد.

$mA(g) + q \rightleftharpoons nB(g)$

اگر واکنش در جهت رفت گرماگیر باشد، در جهت برگشت گرماده است.

۲۷۲ (C) ۲ ابتدا باید معادله واکنش را مشخص کنیم. دو ماده A و B که غلظت آن‌ها در حال کاهش است، واکنش‌دهنده هستند و ماده C که غلظت آن

در حال افزایش است، فراورده می‌باشد. تغییر غلظت هر یک از مواد را از آغاز واکنش تا زمان برقراری تعادل تعیین کرده و سپس آن‌ها را به تغییر غلظت

کوچک‌تر تقسیم می‌کنیم:

$$\left. \begin{aligned} \Delta[A] &= (0.2 - 0.6) \times 10^{-2} = -0.4 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \\ \Delta[B] &= (0.1 - 0.3) \times 10^{-2} = -0.2 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \\ \Delta[C] &= (0.4 - 0) \times 10^{-2} = 0.4 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} A: \frac{0.4 \times 10^{-2}}{0.2 \times 10^{-2}} &= 2 \\ B: \frac{0.2 \times 10^{-2}}{0.2 \times 10^{-2}} &= 1 \\ C: \frac{0.4 \times 10^{-2}}{0.2 \times 10^{-2}} &= 2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 2A + B \rightleftharpoons 2C$$

$$K = \frac{[C]^2}{[A]^2[B]} = \frac{[0.4 \times 10^{-2}]^2}{[0.2 \times 10^{-2}]^2 [0.1 \times 10^{-2}]} = 4 \times 10^3 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$$

مقدار عددی ثابت تعادل بزرگ است ($K > 10^2$)، از این رو تعادل در سمت رفت پیشرفت بهتری دارد. با افزایش حجم ظرف از ۲ لیتر به ۴ لیتر، تعادل به

سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود. اگر q را در سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دهیم، واکنش گرماده

می‌شود ($2A + B \rightleftharpoons 2C + q$). بنابراین با کاهش دما، تعادل در جهت تولید گرما، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود.

۲۷۳ (B) تغییرات (ت) و (ث) باعث افزایش غلظت $H_2(g)$ می‌شوند. بررسی موارد:

مورد (الف): در اثر افزایش حجم ظرف، غلظت همه گازهای موجود در تعادل کاهش می‌یابد.
 مورد (ب): واکنش گرماده است، بنابراین در اثر کاهش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت $H_2(g)$ کاهش می‌یابد.
 مورد (پ): با کاهش غلظت $NH_3(g)$ ، تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، پس غلظت $H_2(g)$ کاهش می‌یابد.
 مورد (ت): با افزایش فشار (کاهش حجم)، غلظت همه گازهای موجود در تعادل افزایش می‌یابد.
 مورد (ث): در اثر افزودن مقداری $H_2(g)$ ، تعادل در جهت مصرف آن پیش می‌رود، ولی همه آن را مصرف نکرده و در نهایت غلظت این ماده از مقدار اولیه بیشتر خواهد شد.

۲۷۴ (B) با کاهش فشار (افزایش حجم)، غلظت همه گازهای موجود در تعادل کاهش می‌یابد. اگر غلظت $C(g)$ را کاهش دهیم، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، از این رو غلظت گازهای A و B کاهش و غلظت $C(g)$ هم اندکی افزایش می‌یابد، اما به دلیل این که تعادل به‌طور معمول نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به‌طور کامل از بین ببرد، غلظت $C(g)$ هم در تعادل جدید، کمتر از تعادل اولیه خواهد بود. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): با افزایش حجم، غلظت همه گازهای موجود در تعادل کاهش می‌یابد. از طرفی با کاهش غلظت B، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، پس غلظت C کاهش و غلظت A افزایش می‌یابد.
 گزینه (۳): واکنش رفت گرماگیر است، از این رو با کاهش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و غلظت گازهای A و B افزایش می‌یابد.
 گزینه (۴): با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت C افزایش می‌یابد. با کاهش غلظت A، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و غلظت C کاهش و غلظت B افزایش می‌یابد.

۲۷۵ (A) در واکنش‌هایی که بین واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها، حداقل یک ماده گازی داشته باشیم، با افزایش فشار، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد. در تعادل داده شده، با افزایش فشار، تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود، از این رو میزان افزایش سرعت واکنش رفت از میزان افزایش سرعت واکنش برگشت بیشتر است. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): در اثر افزایش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود.
 گزینه (۳): با کاهش غلظت $O_2(g)$ تعادل در جهت تولید $O_2(g)$ یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود.
 گزینه (۴): تعادل مورد نظر گرماده است، از این رو با افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و مقدار K کاهش می‌یابد.

۲۷۶ (B) عبارتهای (الف) و (ب) نادرست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): با افزایش دما، مقدار ثابت تعادل هم افزایش یافته است. به عبارت دیگر دما با K رابطه مستقیم دارد؛ از این نکته می‌توانیم نتیجه بگیریم که واکنش در جهت رفت گرماگیر بوده و $\Delta H > 0$ است.

(مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) - (مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها) = $\Delta H_{\text{واکنش}}$
 $\Delta H_{\text{واکنش}} > 0$ (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) - (مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها) $\Rightarrow$
 (مجموع آنتالپی پیوند فراورده‌ها) > (مجموع آنتالپی پیوند واکنش‌دهنده‌ها)

عبارت (ب): در تعادل داده شده، تعداد مول گازی دو طرف معادله واکنش برابر است، بنابراین با افزایش حجم، تعادل جابه‌جا نمی‌شود، اما غلظت همه گازهای موجود در تعادل کاهش می‌یابد. با کاهش غلظت گاز A که زرد رنگ می‌باشد، مخلوط گازی کم‌رنگ‌تر می‌شود.
 عبارت (پ): با افزایش فشار (کاهش حجم)، غلظت A(g) افزایش یافته و به همین دلیل شدت رنگ مخلوط گازی زیادتر می‌شود.
 عبارت (ت): با کاهش غلظت $C(g)$ تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. در اثر این جابه‌جایی، غلظت $A(g)$ کاهش می‌یابد، از این رو شدت رنگ مخلوط گازی نیز کاهش می‌یابد.

۲۷۷ (B) با کاهش دما، تعادل در جهت تولید گرما، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. بنابراین مقدار فراورده‌ها کاهش یافته و مقدار واکنش‌دهنده‌ها افزایش می‌یابد. در سمت راست، ۲ مول ماده جامد Fe و در سمت چپ، ۱ مول ماده جامد Fe_2O_3 داریم که ۲ مول Fe، ۱۱۲ گرم و ۱ مول Fe_2O_3 ، ۱۶۰ گرم جرم دارد، از این رو با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، جرم مواد جامد موجود در سامانه افزایش می‌یابد. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۲): تعداد مول گازی دو طرف معادله واکنش برابر است، پس با تغییر فشار تعادل جابه‌جا نمی‌شود.
 گزینه (۳): چون واکنش گرماگیر است، پس با سرد کردن تعادل، مقدار K کاهش پیدا می‌کند.
 گزینه (۴): واکنش گرماگیر است. در نتیجه با افزایش دما، تعادل در جهت مصرف گرما، یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود.

۲۷۸ (B) برای تشخیص گرماگیر و یا گرماده بودن واکنش می‌توانیم از این نکته استفاده کنیم که در واکنش‌های تعادلی، گرما (q)، سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، از این رو، واکنش داده شده گرماده می‌باشد.

هنگامی که حجم سامانه تعادلی را از ۵/۰ لیتر به ۳ لیتر افزایش می‌دهیم، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، در این تعادل اگر دما را افزایش دهیم، تعادل در جهت کاهش آن (در جهت گرماگیری) یعنی در جهت برگشت (به سمت چپ) جابه‌جا می‌شود. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۲): با افزایش حجم، تعادل به سمت مول گازی بیشتر جابه‌جا می‌شود.
 گزینه (۳): با توجه به قانون پایستگی جرم، جرم مواد موجود در تعادل ثابت می‌ماند.
 گزینه (۴): در واکنش‌هایی که در واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها، ماده گازی شکل وجود دارد، با افزایش حجم، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت کاهش می‌یابد.

۲۷۹ (B) عبارتهای (ب) و (ت) درست هستند. بررسی عبارتهای:

عبارت (الف): در اثر استفاده از کاتالیزگر، تعادل جابه‌جا نمی‌شود و فقط سرعت رسیدن به تعادل بیشتر می‌شود، پس رنگ سامانه تعادلی تغییری نمی‌کند.
عبارت (ب): در اثر افزودن $\text{NO}_2(\text{g})$ به تعادل با این که تعادل در جهت مصرف آن پیش می‌رود، اما غلظت نهایی این گاز بیشتر شده و باعث افزایش رنگ سامانه می‌شود.

عبارت (پ): مولکول‌های $\text{NO}_2(\text{g})$ قهوه‌ای‌رنگ و مولکول‌های $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ بی‌رنگ هستند. با افزایش حجم، غلظت هر دو گاز NO_2 و N_2O_4 کاهش می‌یابد و در اثر کاهش غلظت $\text{NO}_2(\text{g})$ ، سامانه گازی کم‌رنگ‌تر می‌شود.

عبارت (ت): با افزایش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت مولکول‌های قهوه‌ای‌رنگ $\text{NO}_2(\text{g})$ افزایش می‌یابد، پس با افزایش دما، شدت رنگ قهوه‌ای بیشتر می‌شود.

۲۸۰ (B) ۴

تعادل‌هایی که اثر تغییر تحمیلی را به‌طور کامل جبران می‌کنند

کلاس درس

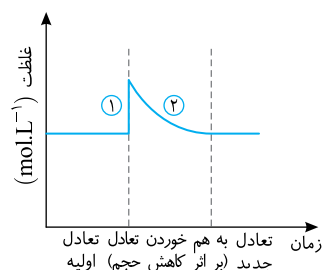
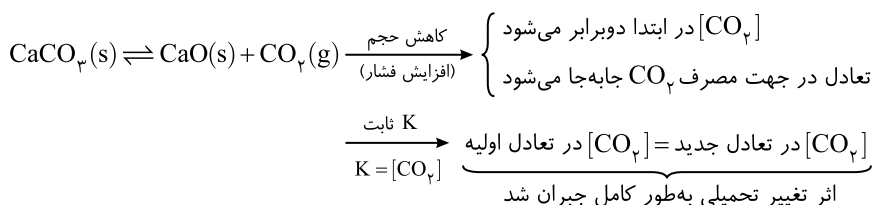
۴۴

می‌دانیم که بعد از اعمال یک تغییر بر تعادل، طبق اصل لوشاتلیه، تعادل جابه‌جا شده و تا آن‌جا که بتواند، اثر تغییر تحمیل شده را جبران می‌کند، ولی به‌طور معمول نمی‌تواند با تغییر اعمال شده به‌طور کامل مقابله کند و مقداری از اثر تغییر مورد نظر در تعادل باقی می‌ماند. حال یک سؤال مطرح می‌شود: آیا ممکن است تعادلی بتواند اثر تغییر تحمیلی را به‌طور کامل از بین ببرد؟
۱- در یک حالت خاص، پس از اعمال تغییر و جابه‌جایی تعادل، اثر تغییر تحمیل شده به‌طور کامل از بین می‌رود:

نکته

در تعادل‌هایی که در عبارت ثابت تعادل آن‌ها فقط غلظت یک ماده وجود دارد، پس از اعمال یک تغییر در دمای ثابت، تعادل به‌طور کامل اثر تغییر تحمیل شده را جبران کرده و غلظت ماده مورد نظر در تعادل جدید با تعادل اولیه یکسان است. در این تعادل‌ها، غلظت ماده‌ای که در عبارت ثابت تعادل نوشته می‌شود، فقط با تغییر دما می‌تواند تغییر کند.

۲- تعادل $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ را در نظر بگیرید. فرض کنید این تعادل در یک ظرف سر بسته ۲ لیتری در دمای معین برقرار شده است، حال اگر حجم ظرف را در دمای ثابت به نیم‌لیتر کاهش دهیم، چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ پاسخ این سؤال مشخص است، بر اثر کاهش حجم (افزایش فشار) تعادل به هم خورده و به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود. در ابتدا چون حجم نصف شده است، غلظت $\text{CO}_2(\text{g})$ دو برابر می‌شود، ولی پس از جابه‌جایی تعادل غلظت $\text{CO}_2(\text{g})$ کاهش یافته و با غلظت خود قبل از اعمال تغییر برابر می‌شود، زیرا عبارت ثابت تعادل K فقط تابع $[\text{CO}_2]$ است و از طرفی، به دلیل ثابت بودن دما مقدار K نیز باید ثابت و بدون تغییر باشد و این تنها در صورتی امکان‌پذیر است، که غلظت CO_2 به غلظت اولیه خود برسد.



توجه در نمودار زیر، به غلظت $\text{CO}_2(\text{g})$ در تعادل اولیه و تعادل جدید دقت کنید:

در این نمودار } (۱) نخستین لحظه کاهش حجم ظرف
(۲) با جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، به تدریج غلظت CO_2 کاهش می‌یابد.

مثال: در یک ظرف سر بسته ۲ لیتری، گاز CO_2 در تعادل با دو جامد CaO و CaCO_3 وجود دارد. $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ اگر حجم ظرف را در دمای ثابت به ۱ لیتر کاهش دهیم، پس از برقراری تعادل جدید، غلظت CO_2 چه تغییری می‌کند؟

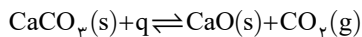
(۱) دو برابر می‌شود. (۲) نصف می‌شود. (۳) بدون تغییر است. (۴) با غلظت CaO برابر می‌شود.

راه‌حل: عبارت K برای این تعادل، به‌صورت $K = [\text{CO}_2]$ است. بنابراین به دلیل ثابت بودن دما، مقدار K و غلظت CO_2 تغییر نمی‌کند. (گزینه ۳)

عبارت ثابت تعادل برای این واکنش به صورت $K=[CO_2(g)]$ است (ملاحظه می‌کنید که در عبارت K ، فقط غلظت $CO_2(g)$ وجود دارد). از طرفی می‌دانیم که K فقط تابع دما می‌باشد. پس اگر مقداری $CO_2(g)$ را در دمای ثابت به این تعادل بیفزاییم، به دلیل این که مقدار K تغییر نمی‌کند، غلظت $CO_2(g)$ هم در نهایت تغییر نخواهد کرد. به عبارت دیگر، در اثر جابه‌جایی تعادل به سمت چپ، تمام $CO_2(g)$ اضافه شده، به‌طور کامل مصرف می‌شود.

۲۸۱ (ب) تغییرات (ب) و (ث) باعث افزایش مقدار $CaCO_3(s)$ می‌شوند. بررسی تغییرات:

تغییر (الف): در واکنش‌های تعادلی، q در سمت تعداد مول گازی کمتر قرار می‌گیرد. پس در این واکنش، q در سمت چپ قرار داشته و واکنش در جهت رفت گرماگیر است.



با افزایش دما، تعادل در جهت مصرف گرما، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود که در اثر آن، مقدار (تعداد مول) $CaCO_3(s)$ کاهش و مقدار $CaO(s)$ و $CO_2(g)$ افزایش می‌یابد.

تغییر (ب): طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. در اثر این جابه‌جایی، مقدار (تعداد مول) $CaCO_3(s)$ افزایش می‌یابد. اما توجه داشته باشید که $CaCO_3$ یک جامد خالص و غلظت آن ثابت می‌باشد.

تغییر (پ): با افزایش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر (که همان سمت راست است) جابه‌جا می‌شود، از این‌رو مقدار $CaCO_3$ کاهش می‌یابد. تغییر (ت): CaO یک جامد خالص است. به همین دلیل اضافه یا کم کردن آن اثری بر جابه‌جایی تعادل و مقدار $CaCO_3$ ندارد.

تغییر (ث): با افزودن مقداری گاز CO_2 ، تعادل در جهت مصرف آن یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود و باعث افزایش مقدار $CaCO_3$ خواهد شد.

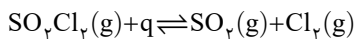
۲۸۲ (ب) ۳ با توجه به نمودار، مشاهده می‌شود که با اعمال تغییر، غلظت هر سه ماده افزایش یافته است. در واکنش‌های تعادلی، q در معادله واکنش در

سمتی قرار می‌گیرد که تعداد مول گازی کمتری دارد؛ بنابراین واکنش موجود در صورت سؤال، یک واکنش گرماگیر است. بنابر اصل لوشاتلیه، با افزایش فشار یا کاهش حجم، غلظت هر سه ماده افزایش می‌یابد. اگر چه تعادل در جهت تولید تعداد مول گازی کمتر (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود و از شمار مول‌های B و C کاسته و به مول A می‌افزاید، اما نمی‌تواند افزایش غلظت حاصل از افزایش فشار اولیه را جبران کند.

همچنین با افزودن مقداری A ، غلظت ماده A افزایش یافته، تعادل در جهت رفت جابه‌جا می‌شود و غلظت B و C را افزایش و غلظت A را کاهش می‌دهد، اما نمی‌تواند بر افزایش غلظت اولیه A غلبه کند و در نتیجه غلظت هر سه ماده افزایش می‌یابد. با افزودن B و C به ظرف، غلظت این دو ماده افزایش یافته، تعادل در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود و غلظت B و C را کاهش و غلظت A را افزایش می‌دهد، اما نمی‌تواند بر افزایش غلظت اولیه B و C غلبه کند و در نتیجه غلظت هر سه ماده افزایش می‌یابد. پس تغییر اعمال شده می‌تواند افزایش فشار، کاهش حجم، افزودن مقداری A یا افزودن B و C به ظرف باشد.

۲۸۳ (ب) ۳ از آن‌جا که می‌دانیم در واکنش‌های تعادلی، q در سمت تعداد مول گازی کمتر قرار دارد، در این واکنش، q در سمت چپ قرار داشته و واکنش

گرماگیر است.



با افزایش دما، تعادل در جهت مصرف گرما، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، از این‌رو، غلظت $SO_3Cl_2(g)$ کاهش و غلظت گازهای SO_3 و Cl_2 افزایش می‌یابد.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): در نخستین لحظه کاهش فشار (افزایش حجم)، غلظت همه گازهای موجود در تعادل به یک‌باره کاهش می‌یابد. در نمودار داده شده، این کاهش غلظت وجود ندارد.

گزینه (۲): در نخستین لحظه کاهش حجم، غلظت همه گازهای موجود در تعادل به یک‌باره افزایش می‌یابد. در نمودار داده شده، این افزایش غلظت وجود ندارد.

گزینه (۴): در نخستین لحظه افزودن مقداری SO_3Cl_2 ، نمودار مربوط به این ماده باید به یک‌باره افزایش یابد، اما در نمودار صورت پرسش، این افزایش غلظت را نمی‌بینیم.

۲۸۴ (ب) ۱ در نمودار رسم شده، غلظت یک ماده به‌طور ناگهانی کاهش یافته است، از این‌رو تغییر وارد شده بر تعادل کاهش غلظت یک ماده می‌باشد. با

توجه به این که پس از تغییر وارد شده، غلظت دو ماده کاهش یافته و غلظت یک ماده افزایش یافته است، می‌توانیم نتیجه بگیریم که تغییر مورد نظر کاهش غلظت SO_3 بوده است. پس از این که مقداری از SO_3 را از ظرف خارج کنیم، تعادل در جهت تولید آن، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، بنابراین غلظت گازهای SO_3 و O_2 به تدریج کاهش و غلظت SO_3 به تدریج افزایش می‌یابد تا به تعادل جدید برسیم. به دلیل کاهش غلظت مواد در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید کمتر از تعادل اولیه است.

۲۸۵ (ب) ۳ در صورتی که دمای سامانه را افزایش دهیم، تعادل در جهت مصرف گرما جابه‌جا می‌شود. در نتیجه تعادل مورد نظر، گرماگیر و معادله نمادی

واکنش به صورت $mA(g) + q \rightleftharpoons nB(g)$ است. با توجه به این که نماد q در واکنش‌های تعادلی سمت تعداد مول گازی کمتر است، $m < n$ می‌باشد. در این تعادل در اثر خارج کردن مقداری B از سامانه و در اثر افزایش حجم هم، تعادل به سمت شمار مول گازی بیشتر یعنی در جهت رفت جابه‌جا می‌شود.

۲۸۶ (ب) ۲ تعادل داده شده گرماده است، بنابراین با کاهش دما، به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت H_2 و I_2 کاهش و غلظت HI افزایش می‌یابد.

اگر به عددی جدول دقت کنید، متوجه می‌شوید که دقیقاً عکس این تغییرات اتفاق افتاده است، پس تغییر وارد شده بر تعادل، کاهش دما نیست. می‌توانیم

مقدار K را در هر دو تعادل محاسبه کنیم:

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} \quad \text{تعادل (۱)}: K = \frac{(8)^2}{(4)(4)} = 4 \quad \text{تعادل (۲)}: K = \frac{(6)^2}{(5)(5)} = 1.44$$

ملاحظه می‌کنید که مقدار K در دو تعادل یکسان نیست، از این‌رو تغییر وارد شده بر تعادل، افزایش حجم هم نیست. زیرا K فقط تابع دما است و با افزایش حجم مقدار K تغییر نمی‌کند. نتیجه نهایی این است که تغییر مورد نظر ما افزایش دما می‌باشد. با افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و مقدار K کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل افزایش دما، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید، بیشتر از تعادل اولیه است.

۲۸۷ (B) تغییرات (الف) و (ب) موجب جابه‌جایی تعادل شده و با برقراری تعادل جدید، غلظت A کمتر از تعادل اولیه خواهد شد. بررسی تغییرات:

تغییر (الف): با افزایش حجم سامانه، غلظت گازهای A و B کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش حجم سامانه و کاهش فشار، تعادل در جهت تعداد مول گازی بیشتر (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود و مقدار غلظت گاز A (واکنش‌دهنده) را افزایش می‌دهد، اما چون نمی‌تواند اثر کاهش غلظت این گاز را در اثر افزایش حجم، به‌طور کامل جبران کند، غلظت A در تعادل جدید، کمتر از تعادل اولیه خواهد بود.

تغییر (ب): با خارج کردن مقداری گاز A، غلظت این گاز کم شده و تعادل برای جبران آن در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود، اما چون نمی‌تواند اثر کاهش غلظت این گاز را به‌طور کامل جبران کند، غلظت A در تعادل جدید، کمتر از تعادل اولیه خواهد بود.

تغییر (پ): در این واکنش تعادلی در سمت راست (سمت تعداد مول گازی کمتر) قرار دارد. یعنی تعادل در جهت رفت، گرماده است. با افزایش دما، تعادل در جهت برگشت (جهت جذب گرما) جابه‌جا شده و غلظت A در تعادل جدید، بیشتر از تعادل اولیه خواهد بود.

تغییر (ت): ماده C جامد و غلظت آن ثابت است. با خارج کردن مقداری C، تعادل جابه‌جا نمی‌شود.

۲۸۸ (C) ۴ در شکل داده شده، ۵ مولکول $SO_3(g)$ وجود دارد که با توجه به آن می‌توانیم غلظت اولیه $SO_3(g)$ را به‌دست آوریم:

$$[SO_3] = \frac{(5 \times 0.1) \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.5 \text{ mol.L}^{-1}$$

با افزایش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. از این‌رو، تعداد مول SO_3 کاهش و تعداد مول SO_2 و O_2 افزایش می‌یابد. اما غلظت هر سه گاز کاهش می‌یابد، به همین دلیل غلظت SO_3 در تعادل جدید باید کوچک‌تر از 0.5 mol.L^{-1} باشد و غلظت

0.75 mol.L^{-1} برای این ماده قابل قبول نیست. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در شکل داده شده، ۵ مولکول SO_3 وجود دارد. با افزایش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. از این‌رو، تعداد مولکول‌های SO_3 افزایش می‌یابد و می‌تواند برابر با ۷ مولکول شود.

گزینه (۲): در اثر افزودن مقداری $SO_3(g)$ به ظرف، تعادل در جهت مصرف آن و به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. در سمت چپ تعداد مول‌های بیشتری قرار دارد، پس در نتیجه تعداد مول‌های گازی افزایش می‌یابد.

گزینه (۳): در اثر کاهش دما، تعادل در جهت تولید گرما، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. در سمت چپ ۳ مول گاز (۲ مول SO_3 و ۱ مول O_2) و در سمت راست ۲ مول گاز (۲ مول SO_3) داریم. در نتیجه با جابه‌جایی تعادل به سمت راست، تعداد مولکول‌های گاز موجود در ظرف کاهش می‌یابد.

۲۸۹ (C) ۱ واکنش گرماده است، پس در اثر افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و غلظت گازهای C و D کاهش و غلظت گازهای A و B افزایش می‌یابد. حجم ظرف برابر با ۱ لیتر است، از این‌رو غلظت هر ماده با تعداد مول آن برابر می‌باشد.

	$A + B \rightleftharpoons C + D$			
تعادل اولیه	۱	۱	۲	۵
تغییر غلظت	+x	+x	-x	-x
تعادل جدید	۱+x	۱+x	۲-x	۵-x

$$[D] = 5 - x = 4 \Rightarrow x = 1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[A] = [B] = 1 + x = 1 + 1 = 2 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[C] = 2 - x = 2 - 1 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$$

اگر ۳ مول C را به تعادل بیفزاییم، تعادل در جهت مصرف C، یعنی به سمت چپ جابه‌جا می‌شود.

	$A + B \rightleftharpoons C + D$			
تعادل اولیه	۲	۲	۱+۳	۴
تغییر غلظت	+y	+y	۱+۳-y	۴-y
تعادل جدید	۲+y	۲+y	۴-y	۵-y

$$[D]_{\text{نهایی}} = 4 - x = 3 \Rightarrow x = 1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[B]_{\text{نهایی}} = 2 + x = 2 + 1 = 3 \text{ mol.L}^{-1}$$

۲۹۰ (B) موارد (الف)، (ب) و (ت) برای تکمیل جمله داده شده مناسب هستند. q در معادله واکنش در سمتی قرار می‌گیرد که تعداد مول گازی کمتری دارد. بررسی موارد:

مورد (الف): در این معادله q در سمت راست معادله واکنش قرار می‌گیرد. در نتیجه افزایش دما، فشار و حجم واکنش را به‌ترتیب به سمت چپ، راست و چپ جابه‌جا می‌کند.

مورد (ب): در این واکنش q در سمت چپ معادله واکنش قرار می‌گیرد. در نتیجه افزایش دما، فشار و حجم واکنش را به‌ترتیب به سمت راست، چپ و راست جابه‌جا می‌کند.

مورد (پ): در این واکنش q در سمت راست معادله واکنش قرار می‌گیرد. در نتیجه افزایش دما، فشار و حجم واکنش را به‌ترتیب به سمت چپ، راست و چپ جابه‌جا می‌کند.

مورد (ت): در این واکنش q در سمت چپ معادله واکنش قرار می‌گیرد. در نتیجه افزایش دما، فشار و حجم واکنش را به‌ترتیب به سمت راست، چپ و راست جابه‌جا می‌کند.

۲۹۱ (C) ۴ معادلهٔ این تعادل به صورت $dD(g) \rightleftharpoons aA(g) + bB(g)$ است. در اثر کاهش دما از غلظت A و B کاسته و بر غلظت D افزوده شده است، به عبارتی واکنش در جهت برگشت حرکت کرده است. در نتیجه تعادل مورد نظر گرماگیر است و $(d < a + b)$. حال اگر معادلهٔ این واکنش را به طور فرضی به صورت $dD(g) \rightleftharpoons aA(s) + bB(s) + q$ در نظر بگیریم، این تعادل باید گرماده باشد، زیرا نماد q در تعادل باید سمت تعداد مول گازی کمتر باشد. در یک تعادل گرماده با کاهش دما، تعادل در جهت رفت جابه‌جا می‌شود. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۱): با افزایش دما سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد.
گزینه (۲): در اثر افزایش حجم، غلظت تمام مواد گازی در تعادل جدید نسبت به تعادل اولیه کمتر خواهد بود.
گزینه (۳): تعادل نمی‌تواند اثر افزایش دما را به طور کامل خنثی کند. بنابراین دمای تعادل جدید اندکی بیشتر از تعادل اولیه خواهد بود.

۲۹۲ (B) ۱ فقط عبارت (الف) درست است. **بررسی عبارت‌ها:**
عبارت (الف): تعادل $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ که یک تعادل گرماگیر است، با افزایش دما در جهت رفت و تولید NO_2 بیشتر پیش می‌رود که باعث پررنگ شدن سامانه می‌شود.
عبارت (ب): در واکنش‌های گرماده با کاهش دما، ثابت تعادل افزایش می‌یابد.
عبارت (پ): در اثر کاهش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت چپ (جهت برگشت) پیش می‌رود.
عبارت (ت): در اثر افزودن نقره نیترات به تعادل، یون‌های Ag^+ با یون‌های Cl^- تشکیل رسوب داده و باعث کاهش غلظت یون Cl^- می‌شوند و تعادل به سمت چپ (در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود.

۲۹۳ (B) ۲ عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**
عبارت (الف): با توجه به حالت فیزیکی واکنش‌دهنده‌ها، مقدار ثابت تعادل به صورت $K = \frac{[CO_2]}{[CO]}$ است.
عبارت (ب): در واکنش‌های گرماده با کاهش دما، مقدار ثابت تعادل افزایش می‌یابد.
عبارت (پ): Ni جامد است و افزودن یا کاهش آن تغییر در تعادل ایجاد نمی‌کند.
عبارت (ت): در اثر کاهش حجم ثابت تعادل تغییر نمی‌کند.

۲۹۴ (B) ۳ عبارت‌های (الف)، (پ) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**
عبارت (الف): واکنش b یک واکنش گرماگیر است و با افزایش دما در جهت رفت جابه‌جا می‌شود.
عبارت (ب): فسفر جامد است و با تغییر مقدار آن تعادل جابه‌جا نخواهد شد.
عبارت (پ): با توجه به نبودن مواد گازی در سامانه a، تغییر حجم تأثیری روی این تعادل ندارد.
عبارت (ت): با کاهش حجم واکنش، تعادل به سمت شمار مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست (جهت رفت) پیش می‌رود.

۲۹۵ (B) ۲ عبارت‌های (الف) و (ث) موجب جابه‌جایی واکنش در جهت رفت می‌شوند. **بررسی عبارت‌ها:**
عبارت (الف): با افزایش فشار، حجم کاهش می‌یابد و تعادل به سمت مول گازی کمتر جابه‌جا می‌شود.
عبارت (ب): با افزایش دما تعادل به سمت برگشت جابه‌جا می‌شود، زیرا واکنش گرماده است.
عبارت (پ): مصرف کاتالیزگر باعث جابه‌جایی تعادل نمی‌شود.
عبارت (ت): با افزایش حجم، تعادل به سمت مول گازی بیشتر جابه‌جا می‌شود.
عبارت (ث): با وارد کردن اکسیژن، تعادل در جهت مصرف آن یعنی جهت رفت جابه‌جا می‌شود.

۲۹۶ (C) ۴ با افزایش فشار، غلظت همهٔ گونه‌های گازی موجود در تعادل افزایش می‌یابد و طبق اصل لوشاتلیه، تعادل برای مقابله با این اثر، به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی سمت راست جابه‌جا می‌شود. دو برابر کردن غلظت واکنش‌دهنده‌ها، باعث جابه‌جایی تعادل به سمت راست می‌شود و افزایش غلظت واکنش‌دهنده‌ای که ضریب استوکیومتری بزرگ‌تری دارد، تأثیر بیشتری بر جابه‌جایی تعادل به سمت راست می‌گذارد.

۲۹۷ (A) ۲

فرایند هابر و تولید آمونیاک

کلاس درس

۳۴

آموختیم که با تغییر غلظت، فشار و دما می‌توان سامانه‌های تعادلی را در جهت دلخواه جابه‌جا کرد. حال می‌خواهیم کاربرد این موارد را در صنعت برای تولید یک مادهٔ صنعتی مهم به نام آمونیاک بررسی کنیم:

آمونیاک و دشواری تولید آن در دمای اتاق

۱- امروزه در صنعت، مواد گوناگونی از گاز نیتروژن تهیه می‌شود که آمونیاک (NH_3) یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. آمونیاک کاربردهای زیادی دارد، مثلاً از آن به عنوان کود شیمیایی استفاده می‌شود. آمونیاک مایع را به عنوان کود شیمیایی مستقیم به خاک تزریق می‌کنند. حال سؤالی مطرح می‌شود: با توجه به اهمیت آمونیاک، چگونه می‌توان این ماده را ارزش را تهیه کرد؟
۲- واکنش تهیهٔ آمونیاک از گازهای N_2 و H_2 نیاز به انرژی فعال‌سازی زیادی دارد، به همین دلیل در دمای اتاق سرعت ناچیزی داشته و به تعادل نمی‌رسد.

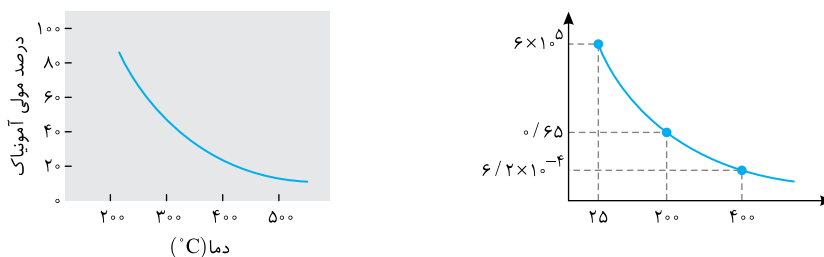
در واقع این واکنش به طور سینتیکی کنترل می‌شود (از نظر سینتیکی نامساعد است):
$$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightleftharpoons{25^\circ C}$$
 به تعادل نمی‌رسد

فرایند هابر، افزایش یا کاهش دما

هابر برای حل این مشکل (عدم تأمین انرژی فعال‌سازی واکنش میان $N_2(g)$ و $H_2(g)$ در دمای اتاق) و تأمین انرژی فعال‌سازی این واکنش، دما را افزایش داد و واکنش را در دماهای بالاتر بررسی کرد. او متوجه شد که با افزایش دما این واکنش با سرعت چشم‌گیری انجام می‌شود، اما با پیشرفت کمی به تعادل می‌رسید، به‌طوری که سامانه محتوی مخلوطی از هر سه گاز (N_2 ، H_2 و NH_3) بود و جالب این‌که او هر چه دما را بالاتر می‌برد، درصد مولی آمونیاک در مخلوط کاهش می‌یافت، از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که واکنش تهیه آمونیاک از گازهای N_2 و H_2 گرماده است، به همین دلیل افزایش دما باعث جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت (به سمت چپ) شده و مقدار آمونیاک را کاهش می‌دهد، در حالی که هدف ما تولید آمونیاک بیشتر است، از طرفی چون این واکنش گرماده است، افزایش دما موجب کاهش مقدار عددی K می‌شود.

- ۱- سرعت واکنش را افزایش می‌دهد.
 - ۲- باعث جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت (مصرف آمونیاک) می‌شود.
 - ۳- پیشرفت واکنش را کاهش می‌دهد.
 - ۴- درصد مولی آمونیاک را در مخلوط کاهش می‌دهد.
 - ۵- مقدار عددی K کاهش می‌یابد.
- افزایش دما در تعادل $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + q$

استنباط کنید هر چند کاهش دما واکنش را در جهت تولید آمونیاک بیشتر و افزایش درصد مولی $NH_3(g)$ جابه‌جا می‌کند و به‌طور کلی به دلیل افزایش K پیشرفت واکنش را نیز افزایش می‌دهد؛ اما سرعت واکنش را کاهش می‌دهد، به همین دلیل باید تا حد قابل قبولی (برای افزایش سرعت واکنش) دما را افزایش دهیم، بنابراین نمی‌توان دما را کاهش داد. فرایند هابر گرماده است، به همین دلیل با افزایش دما مقدار عددی ثابت تعادل (K) کاهش می‌یابد، می‌دانیم پیشرفت واکنش با مقدار عددی ثابت تعادل (K) رابطه مستقیم دارد، به همین دلیل با کاهش مقدار K ، پیشرفت واکنش تولید آمونیاک نیز کاهش یافته و آمونیاک کمتری تولید می‌شود، بنابراین درصد مولی آمونیاک در مخلوط واکنش کاهش می‌یابد:



افزایش دما
کاهش K و پیشرفت واکنش تهیه آمونیاک
کاهش درصد مولی آمونیاک در مخلوط تعادلی

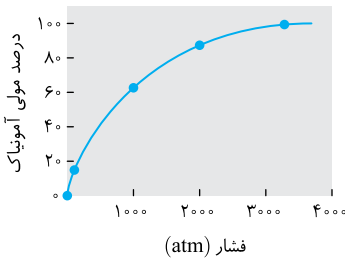
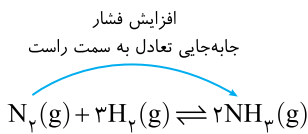
نقش کاتالیزگر در فرایند هابر

هابر دریافت که افزایش دما نمی‌تواند برای تولید آمونیاک بیشتر کارساز باشد، زیرا با افزایش دما هر چند سرعت واکنش‌های رفت و برگشت افزایش می‌یابد، اما با توجه به گرماده بودن واکنش و جابه‌جایی تعادل در جهت برگشت (مصرف آمونیاک) مقدار آمونیاک تولیدی کاهش می‌یابد. به همین دلیل او با استفاده از کاتالیزگر توانست واکنش را در دماهای پایین‌تر با سرعت مناسب انجام دهد. البته پس از استفاده از کاتالیزگر نیز درصد مولی آمونیاک در مخلوط مطلوب نبود.

استفاده از کاتالیزگر در فرایند هابر ← افزایش سرعت واکنش رفت و برگشت در دماهای پایین‌تر ← ولی همچنان درصد مولی آمونیاک در مخلوط مطلوب نیست

توجه در شیمی دهم آموختیم که هابر برای افزایش سرعت واکنش از کاتالیزگر آهن استفاده کرد.

۱- افزایش فشار و حل مشکل درصد مولی کم آمونیاک



۱- هابر برای حل مشکل درصد مولی کم آمونیاک، فشار را در سامانه تعادلی $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ افزایش داد، در واکنش فرایند هابر تعداد مول گازی دو طرف برابر نیست، بنابراین تغییر فشار می‌تواند موجب جابه‌جایی این تعادل شود. با توجه به وجود ۴ مول گازی در سمت چپ (واکنش‌دهنده‌ها) و ۲ مول گازی در سمت راست (فرآورده‌ها)، با افزایش فشار تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود؛ با جابه‌جایی تعادل به سمت راست، پیشرفت واکنش رفت بیشتر شده و آمونیاک بیشتری تولید می‌شود. به همین دلیل فرایند هابر را تا حد امکان در فشارهای بالا انجام می‌دهند.

۲- نمودار روبه‌رو نشان می‌دهد که با افزایش فشار، درصد مولی آمونیاک در مخلوط تعادلی افزایش می‌یابد، البته شیب این نمودار ثابت نیست، در واقع تغییر درصد مولی آمونیاک بر حسب فشار خطی نیست.

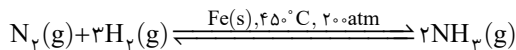
افزایش فشار ← افزایش درصد مولی آمونیاک

توجه: در شیمی دهم آموختیم که هابر واکنش مورد نظر را در فشار ۲۰۰ atm انجام داد.

نتیجه: هابر توانست با افزایش دما (تا 450°C) و افزایش فشار (تا ۲۰۰ atm) و استفاده از کاتالیزگر، شرایط بهینه برای تولید آمونیاک را بیابد، شرایطی که در آن، تنها ۲۸ درصد مولی مخلوط را آمونیاک تشکیل می‌دهد.

۱- شرایط بهینه انجام فرایند هابر

۱- هابر برای تولید آمونیاک دما را 450°C و فشار را ۲۰۰ atm در نظر گرفت و از کاتالیزگر آهن (Fe) نیز استفاده کرد که در این شرایط تنها ۲۸ درصد

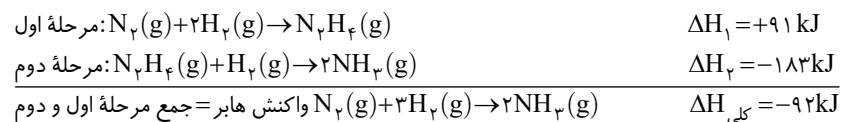
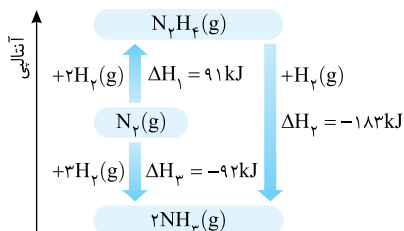


مولی (حجمی) مخلوط را آمونیاک تشکیل می‌دهد:

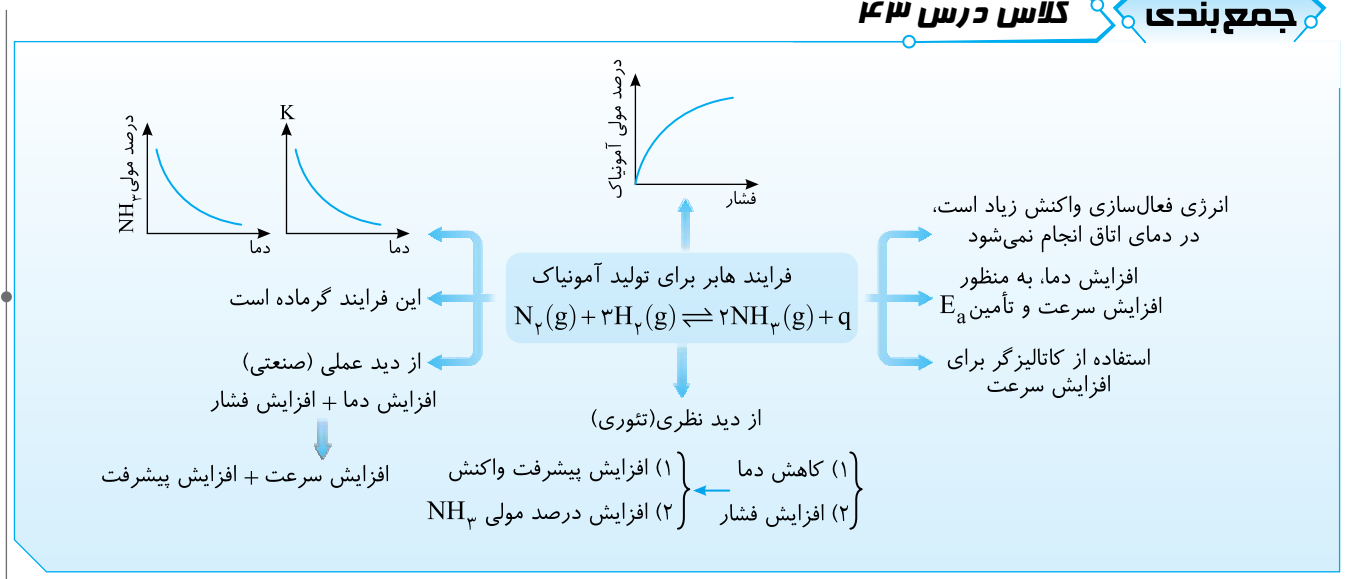
۲- فرایند هابر نمونه تاریخی جالبی از تأثیر پیچیده شیمی بر زندگی ماست، هر چند تولید آمونیاک باعث طولانی‌تر شدن جنگ جهانی اول شد، اما به دنبال آن شرایط تولید کودهای شیمیایی و افزایش بازدهی فرآورده‌های کشاورزی فراهم شد.

۳- هابر دانشمند مشهور آلمانی و همکارانش کارل بوش برای تلاش در تهیه آمونیاک از واکنش گازهای نیتروژن و هیدروژن، جایزه نوبل دریافت کردند.

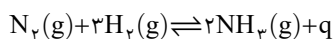
۴- شواهد تجربی نشان می‌دهند که تهیه آمونیاک به روش هابر از گازهای نیتروژن و هیدروژن مطابق نمودار روبه‌رو یک واکنش دومرحله‌ای است:



جمع‌بندی کلاس درس ۱۴



فریتس هابر انتظار داشت که با تغییر غلظت، فشار و دما بتواند مقدار آمونیاک را در مخلوط تعادلی افزایش دهد. این تغییر لزوماً به معنای افزایش غلظت، فشار و یا دما نیست و می‌تواند کاهش مقدار هر یک از عوامل را هم دربر بگیرد.



۲۹۸ (A) واکنش تولید آمونیاک در فرایند هابر گرماده است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): با افزایش دما، واکنش در جهت برگشت جابه‌جا شده و باعث کاهش درصد مولی آمونیاک می‌شود.

گزینه (۲): با افزایش فشار، یعنی کاهش حجم سامانه، تعادل به سمت مول گازی کمتر، یعنی سمت راست و تولید آمونیاک جابه‌جا می‌شود.

گزینه (۴): با افزایش دما در فرایند هابر، سرعت انجام واکنش بالا بود، اما پیشرفت واکنش کم بود. (به دلیل مقدار کم K)

۲۹۹ (A) در واکنش فرایند هابر، ۴ مول گاز در سمت واکنش‌دهنده‌ها (۱ مول $N_2(g)$ و ۳ مول $H_2(g)$) و ۲ مول گاز در سمت فراورده (۲ مول $NH_3(g)$) وجود دارد. با افزایش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. به علت گرماده بودن، افزایش دما باعث می‌شود که تعادل در جهت جذب گرما یعنی به سمت چپ جابه‌جا شود. با جابه‌جایی تعادل به سمت راست، پیشرفت واکنش رفت بیشتر شده و آمونیاک بیشتری تولید می‌شود، به همین دلیل فرایند هابر را تا آن‌جا که ممکن باشد (موجب از کار افتادن دستگاه‌ها نشود)، در فشارهای بالا انجام می‌دهند. در صنعت، فرایند هابر در فشار ۲۰۰ اتمسفر و دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود.

۳۰۰ (A) از آن‌جا که واکنش فرایند هابر، گرماده است، کاهش دما واکنش را به سمت راست و در جهت تولید آمونیاک بیشتر جابه‌جا می‌کند. اما از طرف دیگر، کاهش دما منجر به کاهش سرعت واکنش‌های رفت و برگشت می‌شود، بنابراین اگرچه تولید آمونیاک در دماهای پایین مطلوب به نظر می‌رسد، اما تعادل آن‌قدر آهسته برقرار می‌شود که تهیه آمونیاک در عمل امکان‌پذیر نخواهد بود. با وجود استفاده از کاتالیزگر، درصد مولی آمونیاک در مخلوط تعادلی مطلوب نیست و تنها ۲۸ درصد مخلوط تعادلی را آمونیاک تشکیل می‌دهد.

۳۰۱ (B) ابتدا تعداد مول هر سه ترکیب را حساب می‌کنیم:

$$N_2: \text{تعداد مول اولیه } N_2 = 392 \text{ g } N_2(g) \times \frac{1 \text{ mol } N_2}{28 \text{ g } N_2(g)} = 14 \text{ mol } N_2$$

$$H_2: \text{تعداد مول اولیه } H_2 = 111 \text{ g } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2 \text{ g } H_2} = 55.5 \text{ mol } H_2$$

$$NH_3: \text{تعداد مول اولیه } NH_3 = 408 \text{ g } NH_3 \times \frac{1 \text{ mol } NH_3}{17 \text{ g } NH_3} = 24 \text{ mol } NH_3$$

با توجه به این‌که در واکنش، ۲۴ مول NH_3 تولید شده است، به کمک ضریب استوکیومتری H_2 و NH_3 می‌توان به تعداد مول مصرفی N_2 و H_2 رسید.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad N_2: \text{تعداد مول مصرفی} = \frac{24}{2} = 12 \text{ mol}$$

$$H_2: \text{تعداد مول مصرفی} = \frac{3}{2} \times 24 = 36 \text{ mol}$$

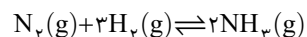
$$\text{درصد مولی آمونیاک در مخلوط} = \frac{\text{مول آمونیاک}}{\text{مجموع تعداد مول‌ها}} \times 100 = \frac{24}{45.5} \times 100 \approx 53\%$$

با توجه به نمودار در دمایی حدود $321^\circ C$ ، درصد مولی آمونیاک در مخلوط برابر ۵۳٪ می‌شود.

۳۰۲ (B) فقط عبارت (الف) نادرست است. بررسی عبارت‌ها:

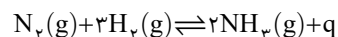
عبارت‌های (الف) و (ب): واکنش تولید آمونیاک گرماده است، از این‌رو، در اثر افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و مقدار آمونیاک تولید شده کاهش می‌یابد. افزودن کاتالیزگر موجب می‌شود که تعادل سریع‌تر برقرار شود. در واقع کاتالیزگر کمک می‌کند تا در دماهای به نسبت کمتری، آمونیاک سریع‌تر تشکیل شود و در نتیجه NH_3 به مقدار بیشتر و ارزان‌تر تولید شود. توجه داشته باشید که هرچه دما را افزایش دهیم، سرعت انجام واکنش‌های رفت و برگشت و مقدار فراورده زیاده‌تر می‌شود، اما با توجه به گرماده بودن واکنش، در اثر افزایش دما، پیشرفت واکنش رفت و مقدار فراورده کاهش می‌یابد. به همین دلیل در فرایند هابر سعی می‌کنند که به جای افزایش زیاد دما، با استفاده از کاتالیزگر، سرعت واکنش‌ها را افزایش دهند. توجه داشته باشید که کاتالیزگر تأثیری بر مقدار آمونیاک تولیدی ندارد.

عبارت (پ): با افزایش فشار یا کاهش حجم در دمای ثابت، تعادل به سمت مول‌های گازی کمتر، یعنی تولید آمونیاک بیشتر پیش می‌رود.



عبارت (ت): در فرایند تولید آمونیاک به روش هابر، در شرایط بهینه، مقدار ۲۸ درصد مولی (حجمی) مخلوط گازها را آمونیاک و مقدار ۷۲ درصد مولی (حجمی) آن را گازهای هیدروژن و نیتروژن تشکیل می‌دهند.

۳۰۳ (A) مقدار ثابت تعادل تنها تابع دما است. واکنش تولید آمونیاک گرماده است، از این‌رو با کاهش دما، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و مقدار ثابت تعادل افزایش می‌یابد.



در اثر افزایش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، پس تعداد مول NH_3 افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد مول NH_3 ، درصد مولی این گاز در مخلوط تعادلی بیشتر می‌شود.

۳۰۴ B عبارات‌های (ب)، (پ) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

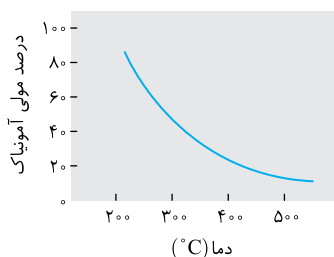
عبارت (الف): نمودار درصد مولی آمونیاک در دماهای مختلف به صورت روبه‌رو است.

با افزایش دما درصد مولی آمونیاک در مخلوط کمتر می‌شود.

عبارت (ب): واکنش تولید آمونیاک یک واکنش گرماده است، پس انرژی فعال‌سازی رفت در واکنش تولید آمونیاک کمتر از انرژی فعال‌سازی برگشت است.

عبارت (پ): در اثر کاهش دما تعادل به سمت راست و تولید آمونیاک پیش می‌رود و در اثر کاهش حجم هم تعادل به سمت مول گازی کمتر، یعنی تولید آمونیاک پیش می‌رود.

عبارت (ت): با کاهش دما ثابت تعادل افزایش می‌یابد (واکنش گرماده)، پس در دمای 25°C بیشترین مقدار ثابت تعادل از بین داده‌های داده شده را دارد.



۳۰۵ A

جداسازی آمونیاک از مخلوط واکنش در فرایند هابر

کلاس درس

هابر برای یافتن شرایط بهینه انجام واکنش $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ و تولید آمونیاک دو چالش عمده داشت:

چالش اول: واکنش بالا در دما و فشار اتاق به تعادل نمی‌رسید (انجام نمی‌شد) که در کلاس درس قبل این موضوع را بررسی کردیم.

چالش دوم: این واکنش تعادلی است و آمونیاک تولید شده در بین مخلوطی از گازهای N_2 و H_2 قرار می‌گیرد، بنابراین جداسازی آن مشکل خواهد بود.

جداسازی آمونیاک از مخلوط تعادلی با توجه به نقطه جوش

گاز	$\text{H}_2(\text{g})$	$\text{N}_2(\text{g})$	$\text{NH}_3(\text{g})$
نقطه جوش	-253°C	-196°C	-33°C

۱- هابر برای جداسازی آمونیاک از مخلوط واکنش، از تفاوت آشکار در نقطه جوش آمونیاک با دو گاز دیگر استفاده کرد. برای درک بهتر موضوع ابتدا به نقطه جوش این سه گاز در جدول روبه‌رو توجه نمایید: $\text{NH}_3 > \text{N}_2 > \text{H}_2$ مقایسه نقطه جوش

نتیجه در بین سه گاز H_2 ، N_2 و NH_3 ، آمونیاک (NH_3) آسان‌تر و در دمای بالاتری مایع می‌شود.

۲- اگر بعد از انجام فرایند هابر، دما را کمی پایین‌تر از دمای جوش آمونیاک در نظر بگیریم (مثلاً دمای -40°C)، از بین این ۳ گاز فقط آمونیاک مایع شده و می‌توان آن را از مخلوط تعادلی واکنش جدا کرد.

- ۱- کاهش دما تا کمی پایین‌تر از نقطه جوش NH_3
- ۲- مایع کردن آمونیاک
- ۳- جداسازی فیزیکی آمونیاک مایع

در انتها

- ۱- افزایش دما تا 450°C ← افزایش سرعت
- ۲- استفاده از کاتالیزگر ← افزایش سرعت
- ۳- افزایش فشار ← افزایش درصد مولی NH_3

در ابتدا

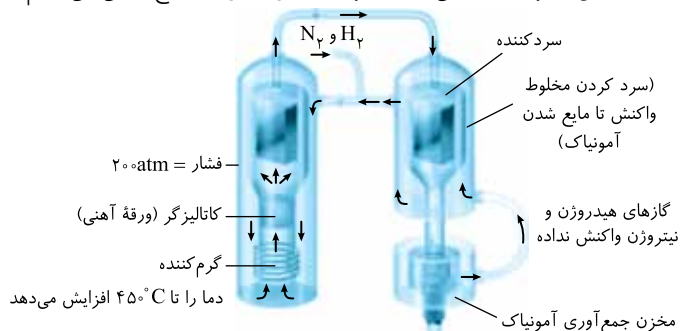
فرایند هابر

نکته

آمونیاک (NH_3) بین مولکول‌های خود پیوند هیدروژنی دارد، به همین دلیل نسبت به مولکول‌های ناقطبی N_2 و H_2 نقطه جوش بالاتری دارد، به همین دلیل در دمای بالاتر و قبل از گازهای N_2 و H_2 ، از حالت گاز به مایع تبدیل می‌شود.

فناوری تولید آمونیاک و یک شکل مهم

این شکل نمایی از فناوری تولید آمونیاک به روش هابر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل به نتایج مهمی می‌رسیم:

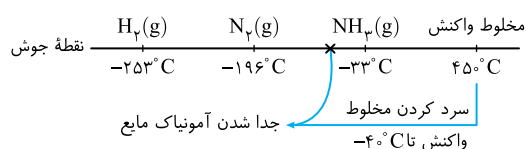


۱- $N_2(g)$ و $H_2(g)$ به صورت پیوسته از ورودی بالای شکل وارد شده و به مخزن انجام واکنش (مخزن سمت چپ) هدایت می‌شوند.

توجه: ورود پیوسته گازهای N_2 و H_2 باعث افزایش غلظت این دو گاز شده و تعادل را در جهت مصرف آن‌ها (در جهت رفت) جابه‌جا می‌کند، که این موضوع به پیشرفت بیشتر واکنش و تولید آمونیاک بیشتر کمک می‌کند.

۲- پس از ورود گازهای N_2 و H_2 به مخزن انجام واکنش، ابتدا دمای آن‌ها تا $450^\circ C$ افزایش می‌یابد، سپس به کاتالیزگر (اغلب ورقه آهنی) برخورد می‌کنند. این دو کار (افزایش دما و استفاده از کاتالیزگر) سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. در ادامه فشار محفظه انجام واکنش را تا 200 atm افزایش می‌دهد.

پس از ورود گازها به محفظه انجام واکنش ← افزایش دما ← برخورد به کاتالیزگر ← افزایش فشار



۳- آمونیاک تولید شده به همراه تعدادی از مولکول‌های $N_2(g)$ و $H_2(g)$ که واکنش نداده‌اند از مخزن انجام واکنش خارج شده و وارد مخزن سردکننده می‌شوند. در این مخزن هدف، تولید آمونیاک مایع است تا از این طریق آمونیاک از مخلوط گازهای N_2 و H_2 جدا شود.

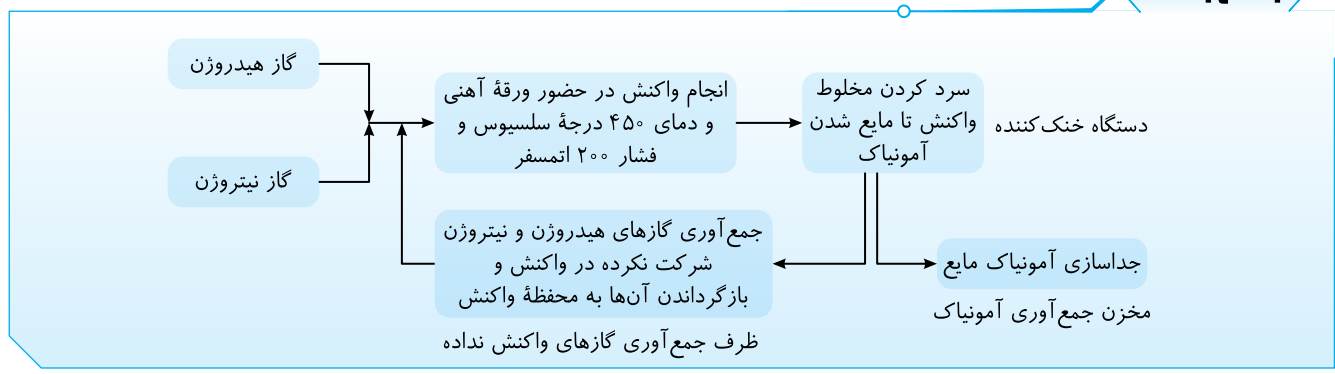
۴- پس از تبدیل آمونیاک گازی به آمونیاک مایع، آمونیاک مایع به همراه گازهای N_2 و H_2 که در واکنش شرکت نکرده‌اند، وارد مخزن جمع‌آوری آمونیاک می‌شوند. در این قسمت آمونیاک مایع جداسازی می‌شود و از طرفی N_2 و H_2 واکنش نداده دوباره به سمت واکنش‌دهنده‌ها (در مخزن انجام واکنش) هدایت می‌شوند.

نکته

بازگردانی $N_2(g)$ و $H_2(g)$ به محفظه انجام واکنش و نیز جمع‌آوری آمونیاک مایع هر دو باعث جابه‌جایی تعادل در جهت رفت شده و پیشرفت واکنش و درصد مولی آمونیاک را افزایش می‌دهند. بنابراین هابر برای تولید بهینه آمونیاک، علاوه بر استفاده از اثر دما، اثر فشار بر تعادل و استفاده از کاتالیزگر، از اثر غلظت بر جابه‌جایی تعادل نیز استفاده کرد.

کلاس درس ۱۴

جمع‌بندی



در فرایند هابر، مخلوط گازی موجود در محفظه واکنش را که به تعادل رسیده است، به محفظه دیگری انتقال می‌دهند. سپس در این محفظه، دما را کاهش می‌دهند. بین سه گاز N_2 ، H_2 و NH_3 به دلیل داشتن پیوندهای هیدروژنی در بین مولکول‌های خود، آسان‌تر و در دمای بالاتری مایع می‌شود، از این رو NH_3 قبل از گازهای N_2 و H_2 به حالت مایع تبدیل شده و به راحتی از ظرف خارج می‌شود. با این کار، غلظت NH_3 کاهش یافته و تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود. همچنین با کاهش دما، علاوه بر مایع شدن NH_3 ، پیشرفت واکنش رفت هم بیشتر می‌شود.

۳۰۶ (پ) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): در شرایط بهینه تولید آمونیاک به روش هابر، تنها ۲۸ درصد مولی (نه جرمی!) مخلوط را آمونیاک تشکیل می‌دهد.
عبارت (ب): در پایان برای جداسازی آمونیاک از مخلوط واکنش، از تفاوت زیاد در نقطه جوش آمونیاک با دو گاز دیگر استفاده می‌شود.
عبارت‌های (پ) و (ت): فرایند هابر نمونه تاریخی جالبی از تأثیر پیچیده شیمی بر زندگی ماست. هرچند تولید آمونیاک توسط هابر باعث طولانی‌تر شدن جنگ جهانی اول گردید، اما به دنبال آن، شرایط تولید کودهای شیمیایی و افزایش بازدهی فراورده‌های کشاورزی فراهم شد.

۳۰۷ (پ) و (ت) نادرست هستند. نمودار، نشان‌دهنده تأثیر افزایش فشار بر درصد مولی آمونیاک در مخلوط است. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): در بازه ۰ تا ۱۰۰۰ اتمسفر میزان درصد مولی آمونیاک از صفر به حدود ۷۰ و در بازه ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ اتمسفر از حدود ۷۰ به حدود ۹۰ افزایش می‌یابد.
عبارت (ب): با توجه به نمودار این مورد هم درست است.
عبارت (پ): بر اثر افزایش دما، فرایند هابر در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود و مقدار عبارت ثابت تعادل کاهش می‌یابد. در نتیجه نمودار تأثیر دما بر مقدار ثابت تعادل نزولی است.

عبارت (ت): با توجه به داده‌های این عبارت، درصد مولی آمونیاک برابر ۲۸٪ است و می‌دانیم در فشار ۲۰۰ اتمسفر و در دمای $450^\circ C$ ، درصد مولی آمونیاک در مخلوط تعادلی به ۲۸٪ می‌رسد.

همه موارد مشخص شده در شکل، درست هستند. **۳۰۸ (A) ۴**

استفاده از کاتالیزگر بر میزان پیشرفت واکنش بی‌تأثیر است؛ در واقع استفاده از ورقه آهنی فقط سرعت رسیدن به تعادل را افزایش می‌دهد. افزایش فشار تا ۲۰۰ اتمسفر باعث جابه‌جایی تعادل به سمت تولید تعداد مول گازی کمتر و حرکت تعادل در جهت رفت می‌شود. **بررسی سایر گزینه‌ها:** گزینه‌های (۱) و (۳): سرد کردن مخلوط تعادلی تا دمای -4°C باعث مایع شدن آمونیاک و خروج آن از محفظه انجام واکنش می‌شود. در نتیجه کاهش غلظت فراورده، تعادل در جهت تولید بیشتر آن جابه‌جا می‌شود که همان جهت رفت است. گزینه (۲): این مورد باعث افزایش غلظت واکنش‌دهنده‌ها (گازهای H_2 و N_2) می‌شود. طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت مصرف این دو گاز، یعنی جهت رفت حرکت می‌کند و باعث پیشرفت بیشتر فرایند هابر می‌شود.

قسمت (۴): سردکننده را نشان می‌دهد. در این قسمت دما را تا دمای -4°C کاهش می‌دهند. گاز آمونیاک در این محل به آمونیاک مایع تبدیل می‌شود. بین مولکول‌های آمونیاک پیوند هیدروژنی برقرار است. **بررسی سایر گزینه‌ها:** گزینه (۱): قسمت (۱) محل ورود گازهای N_2 و H_2 به مخزن انجام واکنش است. با توجه به این که این دو گاز واکنش‌دهنده‌های فرایند هابر هستند، با ورود آن‌ها به مخزن، تعادل در جهت مصرف این دو گاز پیش می‌رود (جهت رفت) که این موضوع به پیشرفت بهتر فرایند هابر کمک می‌کند. گزینه (۲): قسمت (۲): گرم‌کننده است. در این قسمت دمای گازهای وارد شده به مخزن تا 450°C افزایش می‌یابد. قسمت (۳): کاتالیزگر است که جنس آن از آهن می‌باشد و آهن جزء فلزهای واسطه است. گزینه (۴): در قسمت (۵)، آمونیاک و گازهای H_2 و N_2 حضور دارند، بنابراین در این قسمت، سه مولکول جمع‌آوری می‌شود. با توجه به این که آمونیاک فراورده فرایند هابر است، خارج کردن آن از مخزن موجب پیشرفت تعادل در جهت رفت می‌شود.

دما در دو حالت a_1 و a_3 یکسان است، اما فشار در حالت a_3 بیشتر از حالت a_1 می‌باشد. با افزایش فشار، تعادل تولید آمونیاک به سمت تعداد مول گازی کمتر یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. در اثر این جابه‌جایی تعداد مول و درصد مولی NH_3 در مخلوط تعادلی افزایش می‌یابد، بنابراین اگر a_1 برابر با ۵۱ درصد باشد، مقدار a_3 باید بزرگ‌تر از ۵۱ درصد بوده و نمی‌تواند برابر با ۲۸ درصد باشد. **بررسی سایر گزینه‌ها:** گزینه (۲): دما در حالت a_4 از حالت a_3 بیشتر است. واکنش تولید آمونیاک، گرماده می‌باشد، در نتیجه با افزایش دما، مقدار K کاهش می‌یابد. پس مقدار K در حالت a_4 از حالت a_3 کوچک‌تر است.

گزینه (۳): فشار در دو حالت a_4 و a_8 یکسان است. اما دما در حالت a_8 بیشتر از حالت a_4 می‌باشد. با افزایش دما، تعادل تولید آمونیاک به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. در اثر این جابه‌جایی، تعداد مول و درصد مولی NH_3 در مخلوط تعادلی کاهش می‌یابد. بنابراین اگر a_8 برابر با ۵ درصد باشد، مقدار a_4 بزرگ‌تر از ۵ درصد بوده و می‌تواند برابر با ۸۲ درصد باشد. گزینه (۴): دما و فشار در حالت a_4 از حالت a_1 بیشتر است. با افزایش دما و همچنین با افزایش فشار، سرعت واکنش افزایش می‌یابد، از این رو، سرعت واکنش در حالت a_4 از حالت a_1 بیشتر می‌باشد.

با توجه به جدول، با افزایش دما، مقدار K هم افزایش یافته، بنابراین در واکنش مورد نظر رابطه مقدار K با دما، مستقیم است. به همین دلیل واکنش گرماگیر بوده و $\Delta H > 0$ است. اگر به یکی از سطرهای جدول دقت کنید، متوجه می‌شوید که در دمای ثابت، با افزایش فشار، درصد مولی C که فراورده واکنش است، کاهش یافته است. می‌دانیم که با افزایش فشار، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر جابه‌جا می‌شود، از این رو، باید مجموع ضرایب‌های مولی گازها در فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها بزرگ‌تر باشد و این شرط در واکنش گرماگیر گزینه (۱) وجود دارد.

عبارت‌های (الف) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:** **۳۱۳ (B) ۳**

عبارت (الف): در این فرایند ابتدا گازهای N_2 و H_2 را گرم می‌کنند و از روی کاتالیزگر عبور می‌دهند و سپس مخلوط تعادلی را سرد می‌کنند.

عبارت (ب): در مخزن جمع‌آوری آمونیاک، آمونیاک را به‌صورت مایع از مخلوط گازهای نیتروژن و هیدروژن جدا می‌کنند.

عبارت (پ): نقطه جوش آمونیاک، نیتروژن و هیدروژن به‌ترتیب -33°C ، -196°C و -253°C درجه سلسیوس است. برای جدا کردن آمونیاک از این مخلوط باید دمای سردکننده بین دمای جوش آمونیاک و نیتروژن باشد و این ماده را به‌صورت مایع از مخلوط جدا کند. لذا دمای -200°C درجه سلسیوس مناسب این کار نیست. عبارت (ت): گازهای نیتروژن و هیدروژن واکنش نداده را دوباره برگردانده و با گازهای جدید ورودی، مجدد وارد فرایند می‌کنند.

با وجود گرماده بودن واکنش، تا آنجا که ممکن است این واکنش در دما و فشار بالا مجدد انجام می‌شود. اگر چه افزایش دما میزان پیشرفت تعادل را کم می‌کند اما سرعت رسیدن به تعادل را افزایش می‌دهد. **بررسی سایر گزینه‌ها:** گزینه (۱): با افزایش فشار، تعادل در جهت رفت و با افزایش دما، تعادل در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود. در نتیجه نمودار درصد مولی آمونیاک برحسب فشار و دما به‌ترتیب صعودی و نزولی می‌باشد. گزینه (۳): ورقه آهنی به‌عنوان کاتالیزگر سرعت رسیدن به تعادل را افزایش می‌دهد. گزینه (۴): با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت بیشتر می‌شود و تعادل در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:** **۳۱۵ (A) ۲**

عبارت (الف): انجام فرایند هابر نمونه تاریخی جالبی از تأثیر پیچیده شیمی بر زندگی ما است.

عبارت (ب): در فرایند هابر، نیتروژن و هیدروژن به‌طور کامل مصرف نمی‌شوند و در دمای معین به حالت تعادل می‌رسند.

عبارت (پ): طبق واکنش فرایند هابر، به ازای تولید $1/5$ مول آمونیاک، $2/25$ مول هیدروژن و 75% مول نیتروژن مصرف می‌شوند.

عبارت (ت): افزایش فشار باعث پیشرفت واکنش تولید آمونیاک شده، اما افزایش دما باعث جابه‌جا شدن تعادل به سمت چپ می‌شود و بازده درصدی کاهش می‌یابد؛ زیرا واکنش گرماده است.

۳۱۶) **برداشت اول:** در شرایط بهینه فرایند هابر، ۲۸ درصد واکنش دهنده‌ها به فراورده تبدیل می‌شود.

$$? \text{ g NH}_3 = 10 \text{ mol N}_2 \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol N}_2} \times \frac{17 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} \times \frac{28}{100} = 95/2 \text{ g NH}_3$$

با توجه به متن کتاب درسی این برداشت نادرست است زیرا براساس بیان کتاب درسی ۲۸ درصد مولی مخلوط تعادلی را گاز آمونیاک تشکیل می‌دهد و این برداشت که ۲۸ درصد واکنش دهنده‌ها به فراورده تبدیل می‌شوند، نادرست است.

برداشت دوم: در فرایند هابر، درصد مولی آمونیاک در مخلوط تعادلی ۲۸ درصد است:

$$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$$

مول اولیه	۱۰	۳۰	۰
تغییر مول	-x	-۳x	+۲x
مول تعادلی	۱۰-x	۳۰-۳x	۲x

$$\frac{2x}{2x + (10-x) + (30-3x)} \times 100 = 28 \Rightarrow x = 4/375 \text{ mol}$$

$$? \text{ g NH}_3 = 2 \times 4/375 \text{ mol NH}_3 \times \frac{17 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} = 148/75 \text{ g NH}_3$$

متأسفانه با توجه به برداشت دوم که برداشت درست است، جواب این سؤال در گزینه‌ها وجود ندارد!

۳۱۷) **بررسی عبارت‌ها:** عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند.

عبارت (الف): با افزایش غلظت یک ماده در سامانه تعادلی، واکنش در جهت مصرف آن تا حد امکان پیش می‌رود تا به تعادل جدید برسد، اما ثابت تعادل تغییری نمی‌کند و با ثابت تعادل آغازی برابر است.

عبارت (ب): با کاهش فشار (افزایش حجم) بر روی یک سامانه تعادلی، واکنش در جهت مول‌های گازی بیشتر پیش می‌رود تا به تعادل جدید برسد.
عبارت (پ): با افزایش دما در یک سامانه تعادلی، واکنش در جهت مصرف گرما پیش می‌رود، اما افزایش یا کاهش ثابت تعادل به گرماده بودن یا گرماگیر بودن واکنش بستگی دارد.

عبارت (ت): در شرایط بهینه هابر فقط ۲۸ درصد مولی (حجمی) مخلوط تعادلی را آمونیاک تشکیل می‌داد.

۳۱۸) **بررسی عبارت‌ها:** عبارت‌های (ب) و (ت) نادرست هستند.

عبارت (الف): با توجه به شکل روبه‌رو، انرژی فعال‌سازی واکنش (E_a) از آنتالپی واکنش (ΔH) بزرگ‌تر است.

توجه: به‌طور کلی در واکنش‌های گرماگیر E_a بزرگ‌تر از ΔH واکنش است.

عبارت (ب): در واکنش‌های گرماگیر آنتالپی (محتوای انرژی) فراورده‌ها (H_p) از آنتالپی واکنش دهنده‌ها (H_r) بیشتر است.

عبارت (پ): محتوای انرژی با پایداری و آنتالپی پیوند رابطه عکس دارد، در این نمودار محتوای انرژی واکنش دهنده‌ها کمتر از فراورده‌ها است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مجموع آنتالپی پیوندها در واکنش دهنده‌ها بزرگ‌تر از فراورده‌ها است.

عبارت (ت): افزایش فشار موجب جابه‌جایی تعادل در جهت رسیدن به مول‌گازی کمتر می‌شود بنابراین در تعادل $3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{O}_3(\text{g})$ با افزایش فشار، تعادل در جهت رفت جابه‌جا می‌شود که این موضوع باعث افزایش شمار مول‌های اوزون می‌شود.

۳۱۹) **بررسی پرسش‌ها:** پرسش (الف): نقطه جوش آمونیاک، هیدروژن و نیتروژن به ترتیب ۳۳- (البته در شیمی دهم -34°C گفته شده است)، ۱۹۶- و ۲۵۳- درجه سلسیوس است.

پرسش (ب): در واکنش‌های گرماده با کاهش دما مقدار ثابت تعادل افزایش می‌یابد. در سامانه‌های تعادلی q سمت مول‌های گازی کمتر است. واکنش‌های گزینه (۱) و (۳) گرماده هستند.

پرسش (پ): واکنش تولید آمونیاک در فرایند هابر $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ یک واکنش گرماده است.

۳۲۰) **بررسی عبارت‌ها:** عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند.

عبارت (الف): با افزایش دما واکنش در جهت مصرف گرما پیش می‌رود و اگر در جهت رفت جابه‌جا شود، واکنش گرماگیر است.

عبارت (ب): اصل لوشاتلیه بیان می‌کند که اگر تغییری سبب به هم خوردن یک سامانه تعادلی شود که تا حد امکان اثر آن را جبران کند، اما بیان نمی‌کند که ثابت تعادل به مقدار اولیه خواهد رسید. (با تغییر دما، ثابت تعادل جدید، با ثابت تعادل اولیه برابر نخواهد بود.)

عبارت (پ): نمودار داده شده روند تغییرات درصد مولی آمونیاک با افزایش دما در سامانه تعادلی هابر را نشان می‌دهد. با افزایش دما مقدار درصد مولی آمونیاک کمتر شده و واکنش در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

عبارت (ت): کاهش فشار روی واکنش داده شده اثری ندارد، زیرا شمار مول‌های گازی طرفین با هم برابر است. افزایش دما و افزایش غلظت بخار آب تعادل را به ترتیب به سمت چپ و راست جابه‌جا می‌کند.

ارزش فناوری‌های شیمیایی

کلاس درس

۴۵

از شیمی یازدهم به یاد داریم که منابع شیمیایی گوناگون به‌طور یکسان در جهان توزیع نشده‌اند و همین پراکندگی منابع شیمیایی می‌تواند دلیل پیدایش تجارت جهانی باشد. برخی از این منابع شیمیایی ارزشمند عبارتند از: نفت خام، گاز طبیعی، زغال سنگ و معادن مس، آهن، طلا، مرمر و فیروزه که به‌طور یکسان در جهان توزیع نشده‌اند. به همین دلیل برخی از کشورها صادرکننده این منابع و برخی دیگر واردکننده آن‌ها هستند.

۱- خام‌فروشی یا تولید فراورده

- ۱- بسیاری از کشورها منابع خود مانند نفت خام را کم و بیش بدون فراوری و به همان صورتی که از طبیعت به‌دست می‌آید، می‌فروشند. به این فرایند اصطلاحاً خام‌فروشی منابع گفته می‌شود. این در حالی است که برخی دیگر از کشورها با استفاده از فناوری‌های شیمیایی، مواد خام و اولیه را به فراورده‌های ارزشمند دیگری تبدیل کرده و مواد جدید را با قیمت بالاتری به فروش می‌رسانند.
- ۲- فروش نفت خام (خام‌فروشی نفت) ساده‌ترین راه بهره‌برداری از این منبع طبیعی است و راه دیگر آن، پالایش نفت خام و تبدیل آن به فراورده‌های پتروشیمیایی مانند آمونیاک، سولفوریک اسید، متانول، بنزین و ... است.

یادآوری از شیمی دهم:

- ۱) امروزه نفت خام در دنیای کنونی دو نقش اساسی ایفا می‌کند: ۱- منبعی برای تأمین انرژی ۲- ماده اولیه برای تهیه بسیاری از مواد و کالاهای ۲) نفت خام و مواد سازنده آن کاربردهای زیادی دارند که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

- الف) حدود نیمی از نفت خام که از چاه‌های نفت بیرون کشیده می‌شود، به‌عنوان سوخت در وسایل نقلیه استفاده می‌شود.
- ب) بخش اعظم نیم دیگر آن برای تأمین گرما و انرژی الکتریکی مورد نیاز به کار می‌رود.
- پ) کمتر از ۱۰ درصد آن برای تولید الیاف و پارچه، شوینده‌ها، مواد آرایشی و بهداشتی، رنگ، پلاستیک، مواد منفجره و لاستیک‌ها به کار می‌روند.

- ۳- خام‌فروشی محدود به نفت خام نمی‌شود و برای منابع معدنی مانند سنگ معدن آهن، مس و روی نیز صادق است. برای نمونه سنگ معدن مس به دلیل این که دارای ناخالصی است، قیمت پایین‌تری نسبت به مس خالص دارد، به‌طوری که قیمت یک تن مس خالص هزاران برابر قیمت یک تن سنگ معدن مس است.
- ۴- درصد خلوص مواد روی قیمت تمام شده آن‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، به‌طوری که هر چه درصد خلوص ماده شیمیایی بیشتر باشد، قیمت آن نیز بیشتر است. برای نمونه قیمت فلز مس با خلوص ۹۹/۹ درصد نسبت به فلز مس با خلوص ۹۶ درصد به‌طور چشمگیری بیشتر است.

نتیجه با توجه به تفاوت بسیار زیاد قیمت مواد معدنی خالص با قیمت سنگ معدن آن‌ها می‌توان پی‌برد که دانش و فناوری استخراج و خالص‌سازی این مواد تا چه اندازه ارزشمند است. البته فناوری‌های جداسازی و خالص‌سازی مواد یکی از فناوری‌های پیشرفته، گران، پرکاربرد و در عین حال کارآفرین و درآمدزا است.

- ۵- خام‌فروشی منابع کشاورزی نیز نمونه دیگری از خام‌فروشی است. به‌عنوان مثال، پنبه را می‌توان به‌صورت خام فروخت اما راه بهتر فراوری پنبه و تبدیل آن به الیاف یا لباس است تا از این طریق به سود بیشتری دست یافت.

۲- فناوری شیمیایی در خدمت بهره‌وری اقتصادی

- ۱- در جدول زیر قیمت تقریبی نفت خام و چند فراورده نفتی را مشاهده می‌کنید:

نام ماده	نفت خام (۱۵۹ لیتر)	اتانول (۱۵۹ لیتر)	بنزین (۱۵۹ لیتر)	متانول (۱ تن)	اتیلن گلیکول (۱۵۹ لیتر)	پلی‌اتن (۱ تن)
قیمت ۱۵۹ لیتر یا یک تن (ریال)	۲۹۴۰۰۰۰	۹۵۴۰۰۰۰	۱۵۹۰۰۰۰	۲۹۴۰۰۰۰	۶۴۳۹۵۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰۰

توجه با توجه به اطلاعات این جدول به نتایج مهم زیر می‌رسیم:

- الف) هر بشکه نفت خام و فراورده‌های آن تقریباً ۱۵۹ لیتر حجم دارد.
 - ب) الکل‌های اتانول، متانول، اتیلن گلیکول و پلیمر پلی‌اتن و بنزین جزء مواد فراوری شده از نفت خام هستند.
 - پ) قیمت مواد فراوری شده از نفت خام به مراتب بالاتر از قیمت نفت خام است.
- ۲- به کارگیری فناوری و تبدیل مواد خام و اولیه به مواد فراوری شده، سبب رشد و بهره‌وری اقتصاد یک کشور می‌شود.

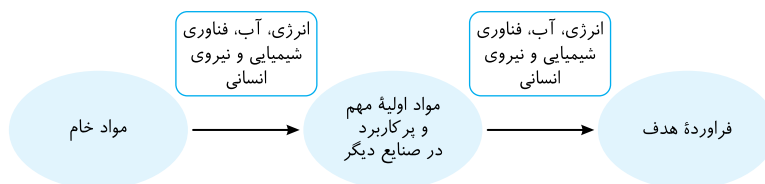
۳- افزایش بهره‌وری با استفاده از فناوری‌های شیمیایی

- ۱- فناوری به معنی به کار بردن دانش برای حل یک مسئله در صنعت یا زندگی روزانه، برای رسیدن به یک هدف خاص است.

توجه فناوری همواره با ساخت یا استفاده از یک وسیله همراه است. برای نمونه دانشمندان و مهندسان با استفاده از دانش مواد و دانش الکترونیک و مغناطیس، وسایلی مانند تلفن، رایانه همراه و بی‌سیم طراحی و تولید می‌کنند، وسایلی که مشکل برقراری ارتباط را برطرف می‌سازند.

۲- شیمی‌دان‌ها با استفاده از دانش شیمی: ۱- مواد جدیدی می‌سازند. ۲- روشی برای ساخت آسان‌تر و با صرفه‌تر آن‌ها ارائه می‌کنند. ۳- آن‌ها همچنین به دنبال یافتن روش، طراحی و ساخت دستگاه‌هایی برای شناسایی دقیق ساختار مواد هستند. هر یک از این موارد بیانی از فناوری شیمیایی است.

۳- انسان با استفاده از انرژی، آب و به‌کارگیری فناوری شیمیایی و نیروی انسانی می‌تواند مواد خام را ابتدا به مواد اولیه مهم و پرکاربرد تبدیل کرده و در انتها فرآورده هدف را تولید کند. نمودار زیر، روند کلی افزایش بهره‌وری با استفاده از فناوری‌های شیمیایی را نمایش می‌دهد:



توجه: مواد خام و اولیه، موادی مانند نمک، سنگ معدن، نفت خام و هوا هستند که فرآوری نشده‌اند و با استفاده از آن‌ها می‌توان مواد شیمیایی جدید تولید کرد.

نتیجه: استفاده از فناوری‌های شیمیایی سبب افزایش بهره‌وری تولید فرآورده هدف می‌گردد.

یک روش برای فروش منابع شیمیایی خام‌فروشی است که منابع به همان شکل اولیه به فروش می‌رسند و درآمد حاصل از آن کمتر از فروش مواد فرآوری شده است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): نفت خام، زغال سنگ و معادن مس، آهن، فیروزه و ... از جمله منابع شیمیایی ارزشمند هستند که به‌طور یکسان در جهان توزیع نشده‌اند.

گزینه (۲): بسیاری از کشورها منابع طبیعی خود را کم و بیش بدون فرآوری و به همان صورتی که از طبیعت به‌دست می‌آید، به فروش می‌رسانند.

گزینه (۴): فروش نفت خام ساده‌ترین راه بهره‌برداری از این منبع طبیعی است. همچنین خام‌فروشی برای منابع معدنی مانند سنگ معدن آهن، مس، روی و حتی منابع کشاورزی مانند پنبه نیز صادق است. راه دیگر برای فروش این منبع، تبدیل آن به فرآورده‌های دیگر به کمک فناوری‌های شیمیایی است.

۳۲۲ (B) ۴ همة عبارت‌ها درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): یکی از روش‌های فروش نفت خام، پالایش و تبدیل آن به فراورده‌های پتروشیمیایی مانند آمونیاک، سولفوریک اسید، متانول، بنزین و ... است.
عبارت (ب): فروش نفت خام ساده‌ترین روش بهره‌برداری از این منبع طبیعی است. همچنین خام‌فروشی برای منابع معدنی مانند سنگ معدن آهن، مس، روی و حتی منابع کشاورزی مانند پنبه نیز صادق است.
عبارت (پ): قیمت یک تن مس خالص در بازارهای جهانی به هزاران برابر قیمت یک تن سنگ معدن مس می‌رسد.
عبارت (ت): اولین و دومین عضو خانواده الکل‌های تک‌عاملی، متانول و اتانول هستند که همانند اتیلن گلیکول و پلی‌اتن از محصولات نفت خام هستند.

۳۲۳ (A) ۲ عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): درصد خلوص کمیتی است که بر روی قیمت تمام شده مواد شیمیایی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. هر چه درصد خلوص ماده‌ای بیشتر باشد، قیمت تمام‌شده آن نیز بیشتر خواهد بود.
عبارت (ب): قیمت فلز مس با خلوص ۹۹/۹ درصد نسبت به فلز مس با خلوص ۹۶ درصد به‌طور چشمگیری بیشتر است.
عبارت (پ): فناوری‌های جداسازی و خلوص‌سازی مواد یکی از فناوری‌های پیشرفته، گران، پرکاربرد و در عین حال کارآفرین و درآمدزا به شمار می‌رود.
عبارت (ت): با کمک فناوری‌های شیمیایی و تبدیل مواد خام و اولیه به فراورده‌های دیگر می‌توان آن‌ها را به قیمت بالاتری به فروش رساند.

۳۲۴ (A) ۳ ابتدا هزینه لازم برای خرید ۱۲۰۰۰ لیتر متانول را حساب می‌کنیم.

$$\text{ریال} = 28224000 = \frac{294 \times 10^4}{1 \text{ ton متانول}} \times \frac{1 \text{ ton متانول}}{10^6 \text{ g متانول}} \times \frac{1 \text{ ml متانول}}{1 \text{ g متانول}} \times \frac{1000 \text{ ml متانول}}{1 \text{ L متانول}} \times 12000 \text{ L متانول} = ? \text{ ریال}$$

حال حساب می‌کنیم با فروش چند تن پلی‌اتن، 28224×10^3 ریال به دست می‌آوریم:

$$\text{پلی اتن } 47 \text{ ton} = \frac{1 \text{ ton پلی اتن}}{1000 \text{ kg پلی اتن}} \times \frac{1 \text{ kg پلی اتن}}{60000 \text{ ریال}} \times 28224000 \text{ ریال} = ? \text{ ton}$$

۳۲۵ (A) ۳ با توجه به شکل، قیمت هر لیتر اتانول 6×10^4 ریال است. حال به محاسبه قیمت ۸ کیلوگرم از آن می‌پردازیم:

$$\text{ریال} = 6 \times 10^5 = \frac{6 \times 10^4 \text{ ریال}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ L اتانول}}{1000 \text{ ml اتانول}} \times \frac{1 \text{ ml اتانول}}{1 \text{ g اتانول}} \times 8 \text{ kg اتانول} = ? \text{ ریال}$$

قیمت یک لیتر اتیلن گلیکول 405×10^3 ریال است. قیمت ۲۲۰۰ گرم از آن را به دست می‌آوریم.

$$\text{ریال} = 81 \times 10^4 = \frac{405 \times 10^3 \text{ ریال}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ L اتیلن گلیکول}}{1000 \text{ ml اتیلن گلیکول}} \times \frac{1 \text{ ml اتیلن گلیکول}}{1/1 \text{ g اتیلن گلیکول}} \times 2200 \text{ g اتیلن گلیکول} = ? \text{ ریال}$$

$$\text{تومان} = 21000 = 210000 - 600000 = 810000 - 600000$$

هر ۸ کیلوگرم اتانول ۲۱۰۰۰ تومان ارزان‌تر از هر ۲۲۰۰ گرم اتیلن گلیکول است.

۳۲۶ (A) ۴ مقایسه قیمت یک لیتر بنزین، اتانول و اتیلن گلیکول به صورت «بنزین > اتانول > اتیلن گلیکول» است.

۳۲۷ (B) ۱ عبارت‌های (الف)، (ب) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): A، B و C به ترتیب نشان‌دهنده مواد خام، مواد اولیه مهم و پرکاربرد در صنایع دیگر و فراورده هدف هستند.
عبارت (ب): فرایندهای (۱) و (۲)، فراوری مواد را نشان می‌دهند که در طی این فرایند قیمت محصولات فراوری شده تفاوت چشمگیری با مواد خام و اولیه دارد.
عبارت (پ): در هر دو فرایند (۱) و (۲)، انرژی، آب، فناوری شیمیایی و نیروی انسانی مداخله دارند.
عبارت (ت): مواد خام و اولیه موادی مانند نمک، سنگ معدن، نفت خام و هوا هستند که فراوری نشده‌اند و با استفاده از آن‌ها می‌توان مواد شیمیایی جدید تولید کرد.

۳۲۸ (A) ۴

یادآوری گروه‌های عاملی

کلاس درس

۴۷

اغلب مواد آلی (مانند الکل‌ها، کربوکسیلیک اسیدها، استرها و ...) شامل گروه‌های عاملی گوناگونی هستند که خواص و رفتار آن‌ها را تعیین می‌کند؛ در واقع گروه‌های عاملی، آرایش منظمی از اتم‌ها است که به مولکول آلی دارای آن، خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی می‌بخشد. تولید یک ماده آلی جدید می‌توان با تغییر ساختار یا ایجاد یک یا چند گروه عاملی همراه باشد. بنابراین لازم است تا گروه‌های عاملی را بشناسیم.

گروه‌های عاملی، عامل ایجاد خواص ویژه

۱- شواهد تجربی نشان می‌دهد که تفاوت در خواص مواد آلی (به‌عنوان مثال ادویه‌ها) به دلیل تفاوت در ساختار این مواد است. در واقع علت تفاوت در خواص مواد، تفاوت در شیوه اتصال اتم‌ها به یکدیگر یا تفاوت در پیوند میان آن‌ها در گروه‌های عاملی است.

۲- در جدول زیر گروه‌های عاملی مطرح شده در کتاب درسی دهم، یازدهم و دوازدهم را مشاهده می‌کنیم. در تمام موارد R و R' گروه‌های هیدروکربنی هستند.

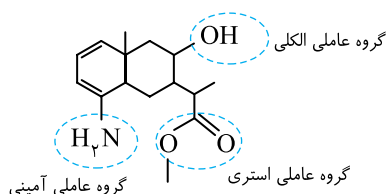
نام خانواده	آلدهیدها	کتون‌ها	الکل‌ها	اترها
فرمول ساختاری	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \text{ یا } \text{R} - \text{C} - \text{H} \end{matrix}$	$\text{R}' - \overset{\text{O}}{\parallel} - \text{R}$	$\text{R} - \text{OH}$	$\text{R}' - \text{O} - \text{R}$
فرمول ساختاری و نام گروه عاملی	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ - \text{C} - \text{H} \end{matrix}$ آلدهیدی	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ - \text{C} - \end{matrix}$ کتونی	$-\text{OH}$ هیدروکسیل	$-\text{O}-$ اتری
اولین عضو این خانواده	$\text{H} - \overset{\text{O}}{\parallel} - \text{H}$ متانال	$\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\parallel} - \text{CH}_3$ استون (دی‌متیل کتون)	$\begin{matrix} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{matrix}$ متانول	$\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$ دی‌متیل اتر
چند مثال مهم که در ساختار خود این گروه عاملی را دارند.				
			ویتامین «آ» ویتامین «ت» ویتامین «دی»	
نام خانواده	کربوکسیلیک اسیدها	استرها	آمین‌ها	آمیدها
فرمول ساختاری	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R} \text{ یا } \text{H} - \text{C} - \text{OH} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R} \text{ یا } \text{H} - \text{C} - \text{O} - \text{R}' \end{matrix}$	$\text{R} - \ddot{\text{N}} - \begin{cases} \text{R}' \\ \text{یا} \\ \text{H} \end{cases}$ $\begin{cases} \text{H} \\ \text{یا} \\ \text{R}'' \end{cases}$	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R} \text{ یا } \text{H} - \text{C} - \text{N} - \begin{cases} \text{R}' \\ \text{یا} \\ \text{H} \end{cases} \\ \text{یا} \\ \text{R}'' \end{matrix}$
فرمول ساختاری و نام گروه عاملی	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ - \text{C} - \text{OH} \end{matrix}$ کربوکسیل	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ - \text{C} - \text{O} - \end{matrix}$ استری	$-\ddot{\text{N}}-$ آمینی	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ (- \text{C} - \ddot{\text{N}} -) \\ \\ \text{آمیدی} \end{matrix}$
اولین عضو این خانواده	$\text{H} - \overset{\text{O}}{\parallel} - \text{O} - \text{H}$ متانوئیک اسید	$\text{H} - \overset{\text{O}}{\parallel} - \text{O} - \text{CH}_3$ متیل متانات	$\text{CH}_3 - \ddot{\text{N}} - \text{H}$ متیل آمین	$\text{H} - \overset{\text{O}}{\parallel} - \text{NH}_2$
چند مثال مهم که در ساختار خود این گروه عاملی را دارند.				
		ویتامین «ت»	آمین دوعاملی	اتیل اتانات
	اگزالیک اسید		اتیل‌متیل آمین	

۳- همان‌طور که گفته شد گروه‌های عاملی خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی برای مولکول‌های دارای خود ایجاد می‌کنند. در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

- یکی از مواد آلی موجود در بادام ← یک آلدئید آروماتیک به نام بنزالدهید است.
- ترکیب آلی موجود در دارچین ← یک آلدئید آروماتیک است.
- عطر گل میخک ← به دلیل وجود یک کتون به نام ۲- هپتانون در آن است.
- یکی از مواد آلی موجود در زردچوبه ← یک کتون آروماتیک است.
- طعم و بوی گشنیز ← به دلیل وجود یک الکل سیرنشده ($C_{10}H_{17}OH$) است.
- طعم و بوی رازیانه ← به دلیل وجود یک اتر ($C_{10}H_{14}O$) است.
- مزه ترش میوه‌هایی مثل لیموترش و ریواس ← به دلیل وجود کربوکسیلیک اسیدها در آن‌ها است.
- شیر ترش شده ← یک کربوکسیلیک اسید به نام لاکتیک اسید در آن وجود دارد.
- بو و طعم خوش آناناس ← به دلیل وجود یک استر به نام اتیل بوتانوات در آن است.
- بوی بد ماهی ← به دلیل وجود متیل آمین و برخی آمین‌های دیگر در آن است.
- مو، ناخن، پوست بدن ما و شاخ حیوانات و پشم گوسفند نمونه‌هایی از پلیمرهای طبیعی، دارای گروه عاملی آمیدی هستند.

دارچین برخلاف رازیانه فاقد گروه عاملی اتری است. برای بررسی سایر گزینه‌ها به کلاس درس ۴۵ مراجعه نمایید.

۳۲۹ (B) ۲ در این ساختار گروه‌های عاملی الکلی، استری و آمینی وجود دارد.



۳۳۰ (A) ۳

گروه عاملی، کلید سنتز مولکول‌های آلی

کلاس درس ۴۷

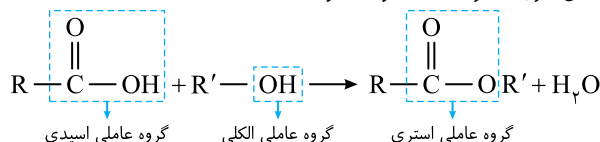
سنتز، کانون بسیاری از پژوهش‌های شیمیایی است که منجر به تولید مواد جدید می‌شود. حال یک سؤال اساسی مطرح است که برای تولید یک ماده آلی جدید از یک ماده، ساختار ماده اولیه چه تغییری خواهد داشت؟

۱- سنتز و تولید مواد شیمیایی

- ۱- سنتز یک فرایند شیمیایی هدفمند است که در آن با استفاده از مواد ساده‌تر، مواد شیمیایی دیگر را تولید می‌کنند.
- ۲- یکی از لذت‌بخش‌ترین فناوری‌های شیمیایی، سنتز مواد نو از جمله رنگدانه‌ها، خوشبوکننده‌ها، داروهای ضدسرطانی، الیاف، سوخت‌های دوست‌دار محیط زیست و مواد هوشمند جدید است. در واقع سنتز، کانون بسیاری از پژوهش‌های شیمیایی است که منجر به طراحی و تولید مواد جدید می‌شود.

۲- تولید یک ماده آلی جدید با تغییر یا ایجاد گروه عاملی

- ۱- می‌دانیم که اغلب مواد آلی شامل گروه‌های عاملی گوناگونی هستند که خواص و رفتار آن‌ها را تعیین می‌کند. تولید یک ماده آلی جدید می‌تواند با تغییر ساختار یا ایجاد یک یا چند گروه عاملی همراه باشد. به عنوان مثال برای سنتز ماده‌ای با گروه عاملی استری، کافی است یک اسید آلی را با یک الکل در شرایط مناسب واکنش دهیم تا مولکول جدید که شامل گروه استری است، تولید شود:



نتیجه

- ۱- در واکنش استری شدن، گروه‌های عاملی اسیدی و الکلی (در سمت واکنش‌دهنده‌ها) تبدیل به گروه عاملی استری (در سمت فراورده‌ها) می‌شوند.
- ۲- شیمی‌دان‌ها با استفاده از دانش مربوط به ساختار و رفتار گروه‌های عاملی و دانستن شرایط و عوامل مؤثر بر انجام واکنش‌های شیمیایی از مواد خام یا اولیه در دسترس، ماده‌ای نو برای کاربردی معین سنتز می‌کنند.

$$\begin{array}{ccc} \text{O} & & \text{O} \\ \parallel & & \parallel \\ (-\text{C}-\text{O}-) & \xleftarrow{\text{با استفاده از یک الکل}} & (-\text{C}-\text{OH}) \end{array}$$
 گروه عاملی استری ← گروه عاملی اسیدی

$$\begin{array}{ccc} \text{O} & & \text{O} \\ \parallel & & \parallel \\ (-\text{C}-\text{O}-) & \xleftarrow[\text{H}_2\text{SO}_4]{\text{در واکنش با آب در مجاورت}} & (-\text{C}-\text{OH}) \end{array}$$
 گروه عاملی استری ← گروه عاملی الکلی + گروه

نمودار روبه‌رو، الگوی کلی تبدیل برخی مواد آلی به یکدیگر را نشان می‌دهد، در اثر انجام شدن هر یک از تبدیل‌های زیر، گروه عاملی مواد اولیه تغییر می‌کند:

با توجه به نمودار، به چند نتیجه مهم می‌رسیم:

(الف) از آلکن‌ها می‌توان برای سنتز الکل‌ها استفاده کرد.

(ب) الکل‌ها مواد بسیار ارزشمندی هستند چرا که با استفاده از آن‌ها می‌توان مواد مختلفی مانند آلدهید، کتون، آمین و کربوکسیلیک اسیدها را سنتز کرد.

(پ) برای سنتز و تهیه آلدهیدها و کتون‌ها می‌توان از الکل‌ها استفاده کرد، در واقع از اکسایش برخی دیگر الکل‌ها، آلدهید و از اکسایش برخی از الکل‌ها کتون به دست می‌آید!

۲) $\text{H}-\overset{\text{OH}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H} \xrightarrow{\text{اکسایش (اضافه شدن O)}} \text{H}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H} + \text{H}_2\text{O}$
(آلدهید)

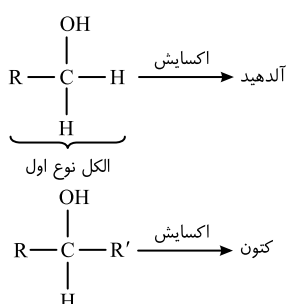
۱) $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{اکسایش (اضافه شدن O)}} \text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
(کتون)

نتیجه در واکنش (۱)، گروه عاملی هیدروکسیل (—OH) تبدیل به گروه عاملی آلدهیدی و در واکنش (۲)، گروه عاملی هیدروکسیل (—OH) به گروه عاملی کتونی تبدیل شده است.

برای سنتز کربوکسیلیک اسیدها دو راه وجود دارد:

(الف) استفاده مستقیم از الکل‌ها (ب) تبدیل آلکن در دسترس به الکل و سپس تبدیل الکل به کربوکسیلیک اسید	}
---	---

- ۱- شیمی‌دان‌ها با دانستن ساختار ترکیب آلی مورد نظر و با استفاده از مواد اولیه و فناوری‌های در دسترس و شناخت واکنش‌های شیمیایی به دنبال روشی برای سنتز ترکیب هدف هستند.
- ۲- هر چه نوع و تعداد گروه‌های عاملی موجود در مولکول هدف بیشتر باشد، ساخت آن دشوارتر بوده و به دانش پیشرفته‌تر و فناوری کارآمدتری نیاز دارد.
- ۳- **توجه:** بازده واکنش، هزینه مواد و انرژی مصرف شده برای تولید ماده هدف به نوع واکنش و فناوری به کار رفته بستگی دارد.
- ۳- شیمی‌دان‌ها برای کاهش هزینه تمام شده تولید یا سنتز مواد به دنبال یافتن مواد مناسب، ارزان و دوستدار محیط زیست و همچنین واکنش‌های شیمیایی آسان و پربازده هستند.
- ۴- دانش مهندسی نیز به کمک شیمی می‌آید تا برای تولید صنعتی ماده هدف فناوری لازم طراحی و اجرا شود.



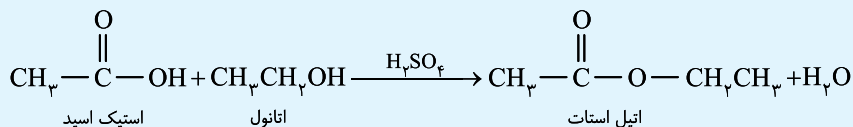
۱- الف) در برخی از الکلهای گروه OH روی کربنی قرار دارد که این اتم کربن فقط با یک اتم کربن دیگر پیوند داده است. از اکسایش این نوع از الکلهای که به الکال نوع اول معروفاند، آلدئید به دست می‌آید.

(ب) در برخی از الکل‌ها، گروه OH روی کربنی قرار دارد که این اتم کربن با دو اتم کربن دیگر پیوند داده است، از اکسایش این نوع از الکل‌ها که به الکل‌های نوع دوم معروف‌اند، کتون به‌دست می‌آید:

توجه: R و R' گروه‌های هیدروکربنی هستند.

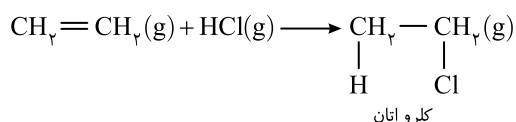
نکته

از واکنش اتانول با اتانویک اسید (استیک اسید یا اسید سرکه) می‌توان اتیل استات را تولید کرد که از آن به‌عنوان حلال چسب استفاده می‌شود.



واکنش اتن با گاز هیدروژن کلرید

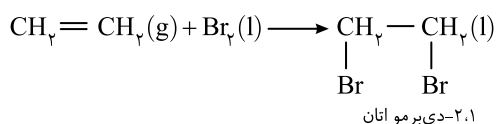
گاز اتن با گاز هیدروژن کلرید یک واکنش افزایشی انجام داده و به گاز کلرو اتان تبدیل می‌شود. از کلرو اتان به‌عنوان افشانه بی‌حس کننده موضعی استفاده می‌شود:



واکنش شناسایی گاز اتن با استفاده از برم

۱- در واکنش هالوژن‌ها یا گاز هیدروژن با آلکن‌ها، پیوند یگانه بین دو اتم هالوژن یا پیوند یگانه بین دو اتم هیدروژن و یکی از پیوندها در پیوند دوگانه کربن - کربن ($\text{C}=\text{C}$) در آلکن شکسته شده و دو اتم هالوژن یا دو اتم هیدروژن به این کربن‌ها متصل می‌شوند.

۲- یکی دیگر از واکنش‌های گاز اتن ترکیب شدن آن با **برم مایع** است، به معادله این واکنش شیمیایی توجه کنید:

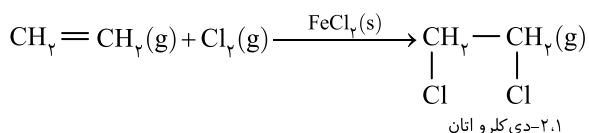


اما چند نتیجه مهم از این واکنش:

- (الف) هرگاه گاز اتن را در محلولی از برم وارد کنیم، رنگ قرمز محلول از بین می‌رود. این تغییر رنگ، نشانه انجام یک واکنش شیمیایی است.
- (ب) نام فراورده حاصل ۲،۱-دی‌برمو اتان است، که در واقع یک آلکان با زنجیر اصلی دو کربنه و دو شاخه فرعی برم می‌باشد.
- (پ) در این واکنش مولکول برم به پیوند دوگانه کربن - کربن در مولکول اتن افزوده شده و فراورده‌ای سیر شده تولید شده است.

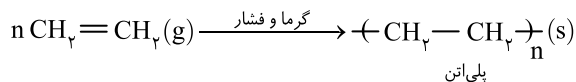
واکنش کلردار کردن گاز اتن

در این واکنش نیز پیوند دوگانه بین اتم‌های کربن در گاز اتن به یگانه تبدیل شده و یک ترکیب سیر شده به نام ۲،۱-دی‌کلرو اتان به‌دست می‌آید:



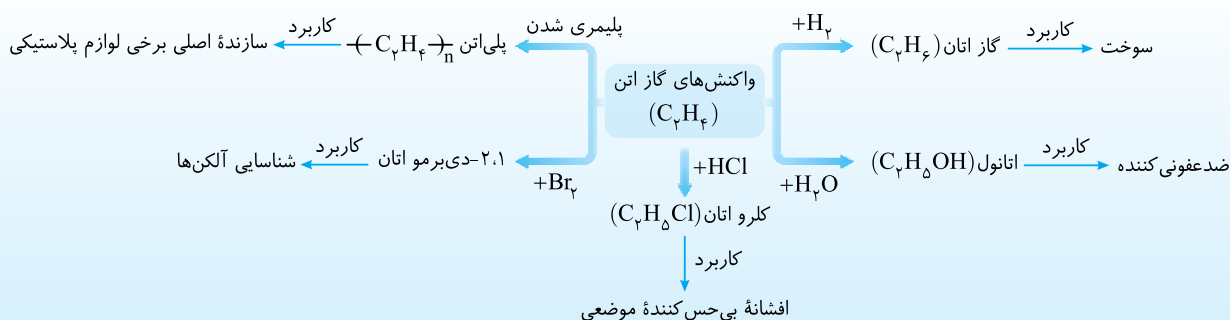
واکنش پلیمری شدن اتن

اگر تعداد زیادی از مولکول‌های گاز اتن در شرایط مناسب (دما و فشار) با هم پیوند تشکیل دهند، یک پلیمر به نام پلی‌اتن به‌دست می‌آید، پلی‌اتن ماده اصلی سازنده برخی لوازم پلاستیکی است.



کلاس درس ۱۴۸

جمع‌بندی

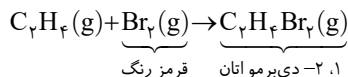


از واکنش گاز اتن و آب، اتانول ساخته می‌شود.

از واکنش گاز اتن با گاز هیدروژن کلرید (HCl)، کلرو اتان به دست می‌آید.

از واکنش اتانول و اتانوتیک اسید (استیک اسید)، اتیل استات (اتیل اتانوات) تهیه می‌شود.

۳۳۴ (A) ۴ معادله واکنش مورد نظر به صورت زیر است. نام C_2H_5Br ، ۱، ۲-دی‌برمو اتان است. می‌دانیم آلکن‌ها با محلول برم مایع قرمز رنگ واکنش داده و محلولی بی‌رنگ تولید می‌کنند.



بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): گاز اتن یکی از مهم‌ترین خوراک‌ها در صنایع پتروشیمی است که می‌توان از آن مواد آلی گوناگون، پرمصرف و ارزشمند تهیه کرد.

گزینه (۲): در اثر واکنش اتن با آب، اتانول تولید می‌شود. اسید موجود در سرکه، استیک اسید است و در اثر واکنش با اتانول به اتیل استات تبدیل می‌شود که به عنوان حلال چسب کاربرد دارد.

گزینه (۳): با استفاده از آلکن می‌توان الکل تهیه کرد و از الکل نیز طی واکنش‌های شیمیایی می‌توان به آلدئید، کتون و آمین رسید.

۳۳۵ (B) ۳

عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): پلی‌اتن در دما و فشار مناسب طی یک واکنش پلیمری شدن از گاز اتن تولید می‌شود.

عبارت (ب): برای تهیه اتیل استات از واکنش اتانول (الکل دو کربنی) با اتانویک اسید (استیک اسید) که همان اسید موجود در سرکه است، استفاده می‌کنیم.

عبارت (پ): گاز اتان که به عنوان سوخت کاربرد دارد، از واکنش گاز اتن با گاز هیدروژن در حضور کاتالیزگر تولید می‌شود.

عبارت (ت): تفاوت جرم کلرو اتان که به عنوان افشانه بی‌حس کننده موضعی کاربرد دارد، با فرمول C_2H_5Cl و گاز اتن با فرمول C_2H_4 برابر جرم یک هالوژن (کلر) و یک اتم هیدروژن است.

عبارت (ث): واکنشی که در آن از یک هیدروکربن، ترکیب آلی اکسیژن‌دار تولید می‌شود، قطعاً یک واکنش اکسایش - کاهش است.

۳۳۶ (B) ۲

تنها عبارت (ت) نادرست است. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): بدیهی است هرچه نوع و تعداد گروه‌های عاملی موجود در مولکول هدف بیشتر باشد، ساخت آن دشوارتر بوده و به دانش پیشرفته‌تری نیاز دارد. عبارت‌های (ب) و (پ): بازده واکنش، هزینه مواد و انرژی مصرف شده برای تولید ماده هدف، به نوع واکنش و فناوری به کار رفته بستگی دارد. از این رو شیمی‌دان‌ها در پی یافتن مواد مناسب، ارزان و دوست‌دار محیط زیست، همچنین واکنش‌های آسان و پربازده هستند تا هزینه تمام شده تولید یا سنتز را کاهش دهند.

عبارت (ت): از گاز اتن به‌طور مستقیم می‌توان اتان، کلرواتان، اتانول، پلی‌اتن و ... را تهیه کرد.

۳۳۷ (A) ۳ از واکنش پروپن با آب، پروپانول تهیه می‌شود. از واکنش پروپانول و استیک اسید، پروپیل استات تولید می‌شود که فرمول مولکولی آن به صورت $C_5H_{10}O_2$ است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): برای تهیه بوتانول از واکنش بوتن (C_4H_8) با آب استفاده می‌شود که در هر واحد فرمولی آن ۱۲ اتم دیده می‌شود.

گزینه (۲): در واکنش تولید برومو هگزان از هگزن (C_6H_{14}) استفاده می‌شود که در هر واحد فرمولی آن ۱۸ پیوند کووالانسی وجود دارد.

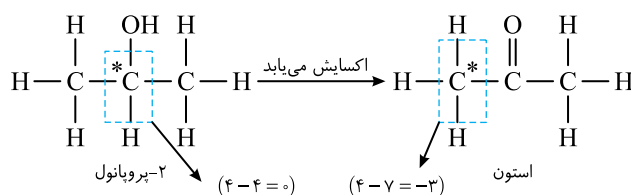
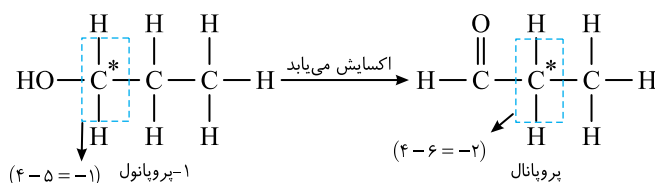
گزینه (۴): ساختار نقطه - خط نشان داده شده مربوط به پلی‌پروپن است که حاصل واکنش پلیمری شدن دومین عضو خانواده آلکن‌ها (پروپن) است. توجه داشته باشید که آلکن یک کربنه نداریم.

۳۳۸ (B) ۳

واکنش‌های مطرح شده به صورت روبه‌رو هستند:

اتم‌های کربنی که با ستاره مشخص شده‌اند، متصل به گروه عاملی هستند. عدد اکسایش اتم کربن متصل به گروه عاملی در ۱- پروپانول برابر (۱-) و عدد اکسایش اتم کربن متصل به گروه عاملی در پروپانال برابر (۲-) است. بنابراین تغییر عدد اکسایش اتم کربن متصل به گروه عاملی در این واکنش برابر (۱-) است (یک واحد کاهش یافته است).

اتم‌های کربنی که در واکنش‌های روبه‌رو با ستاره مشخص شده‌اند، متصل به گروه عاملی هستند. عدد اکسایش کربن متصل به گروه عاملی در (۲- پروپانول) برابر صفر و عدد اکسایش کربن متصل به گروه عاملی در استون برابر (۳-) است. بنابراین تغییر عدد اکسایش اتم کربن متصل به گروه عاملی در این واکنش برابر (۳-) است. تغییر عدد اکسایش کربن متصل به گروه عاملی در این دو واکنش (۲) واحد تفاوت دارد.

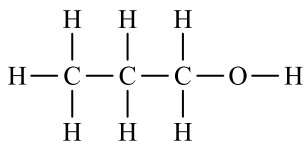


۳۳۹ (A) ۲: کلرو اتان، یکی از فراورده‌های حاصل از گاز اتن است که در واکنش $C_2H_4 + HCl \rightarrow C_2H_5Cl$ تولید می‌شود. این ترکیب، دو اتم کلر کمتر

از کلروفرم ($CHCl_3$) دارد. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): با استفاده از الکل‌ها می‌توان آمین‌ها، آلدهیدها، کتون‌ها و کربوکسیلیک اسیدها را تولید کرد.

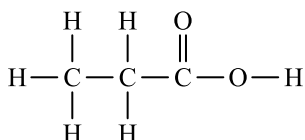
گزینه (۳): اتانول، اتانوتیک اسید و اتیل اتانوات در دمای اتاق مایع هستند اما هالو آلکان تولید شده از اتن همان کلرو اتان است که به‌عنوان افشانه کاربرد دارد و در دمای اتاق گاز است.



گزینه (۴): آلدهید و کتون با ۳ اتم کربن را به‌طور مستقیم می‌توان از الکی با ۳ اتم کربن (به‌ترتیب، ۱- پروپانول و ۲- پروپانول) به‌دست آورد. اما در ساختار پروپانول ۱۱ جفت الکترون پیوندی دیده می‌شود.

۳۴۰ (A) ۲: استر نشان داده شده، اتیل پروپانوات است. در نتیجه جاهای خالی به‌صورت زیر پر می‌شوند:

اتیل پروپانوات $\rightarrow$ (پروپانوتیک اسید) + C (اتانول) B ، A (اتن) + $H_2O \rightarrow$ B (اتانول)

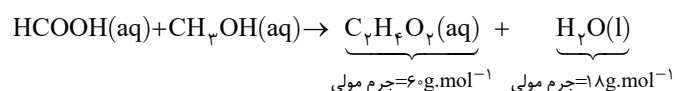


تعداد اتم‌های هیدروژن در اتن (C_2H_4) برابر ۴ است و در ساختار پروپانوتیک اسید (C_3H_5COOH)، ۱۱ پیوند کووالانسی وجود دارد.

۳۴۱ (B) ۴: هر چهار عبارت درست است. D ساده‌ترین استر یعنی متیل متانوات و B الکل چوب یعنی متانول است، در نتیجه C متانوتیک اسید، E آب و

در واکنش (I) هم A متان است. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): واکنش (III) به‌صورت روبه‌رو است:



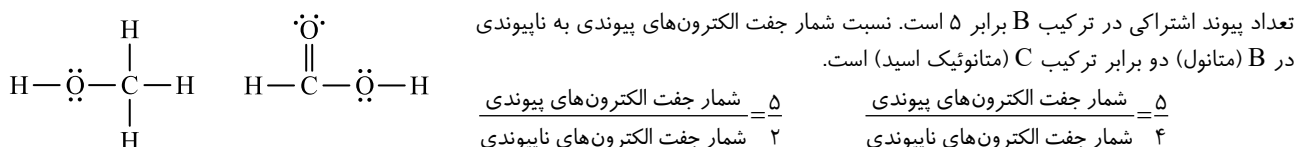
$$\text{درصد جرمی آب} = \frac{\text{جرم آب}}{\text{مجموع جرم فراورده‌ها}} \times 100 = \frac{18}{78} \times 100 = 23\%$$

عبارت (ب): واکنش مورد نظر به‌صورت روبه‌رو است:

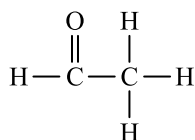
$CH_4(g) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + 3H_2(g)$ با ۳ مول گاز هیدروژن، می‌توان هر ۳ مول پیوند دوگانه ($C=C$) موجود در یک مول بنزن را به پیوند یگانه ($C-C$) تبدیل کرد.

عبارت (پ): ترکیب D یک استر است. ترکیبی که به‌عنوان حلال چسب کاربرد دارد، اتیل استات است که آن هم در ساختار خود گروه عاملی استری دارد.

عبارت (ت): ساختار دو ترکیب B و C به‌صورت زیر است:



۳۴۲ (A) ۳: الکی که ۶ اتم هیدروژن داشته باشد، اتانول است. آلدهید حاصل از اکسایش اتانول، اتانال است که در ساختار آن



۷ پیوند کووالانسی دیده می‌شود:

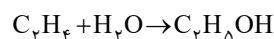
بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): استر حاصل از واکنش کربوکسیلیک اسید ۴ کربنه و اتانول، دارای ۶ اتم کربن است و فرمول مولکولی آن به‌صورت $C_6H_{12}O_4$ است.

گزینه (۲): فرمول عمومی آمین‌ها به‌صورت $C_nH_{2n+3}N$ است، بنابراین آمینی که ۹ اتم هیدروژن داشته باشد، ۳ اتم کربن دارد و در ساختار الکل سازنده این آمین هم ۳ اتم کربن دیده می‌شود.

گزینه (۴): الکل سازنده کتون مورد نظر، ۳ اتم کربن دارد و فرمول مولکولی آن به‌صورت C_3H_7OH است. مجموع اعداد اکسایش اتم‌های کربن در این الکل برابر (۶-) است. $(x + 8 \times (+1)) + (-2) = 0$

۳۴۳ (A) ۴: واکنش انجام شده به‌صورت روبه‌رو است:

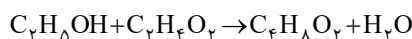


روش اول (ضریب تبدیل): ابتدا مقدار اتن خالص مورد نیاز را به‌دست می‌آوریم.

$$\text{ناخالص } C_2H_4 = 22g \times \frac{100g C_2H_4}{70g C_2H_4 \text{ خالص}} \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_4}{28g C_2H_4} \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_5OH}{46g C_2H_5OH} \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_4}{25/3g C_2H_4} = 22g C_2H_4$$

$$\frac{\text{درصد خلوص} \times \text{جرم اتن ناخالص}}{100} = \frac{\text{جرم اتانول}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{x \times 70}{1 \times 28} = \frac{25/3}{1 \times 46} \Rightarrow x = 22g C_2H_4 \text{ ناخالص}$$

روش دوم (تناسب):



واکنش انجام شده به صورت روبه‌رو است: **۳۴۴ (B)**

روش اول (ضریب تبدیل): ابتدا مقدار اسید خالص را به دست می‌آوریم:

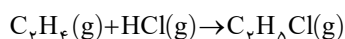
$$\text{اسید خالص} = \frac{\text{مقدار خالص}}{\text{مقدار ناخالص}} \times 100 \Rightarrow 80 = \frac{x}{210} \times 100 \Rightarrow x = 168 \text{ g}$$

$$? \text{ g } C_2H_5O_2 = 168 \text{ g } C_2H_5O_2 \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_5O_2}{60 \text{ g } C_2H_5O_2} \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_5O_2}{1 \text{ mol } C_2H_5O_2} \times \frac{88 \text{ g } C_2H_5O_2}{1 \text{ mol } C_2H_5O_2} = 246/4 \text{ g } C_2H_5O_2$$

$$\text{حال مقدار عملی استر تولید شده را محاسبه می‌کنیم.} \quad \frac{\text{بازده درصدی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow 90 = \frac{x}{246/4} \times 100 \Rightarrow x = 221/76 \text{ g } C_2H_5O_2$$

روش دوم (تناسب):

$$\frac{\text{بازده درصدی} \times \text{درصد خلوص} \times \text{جرم اتانویک اسید ناخالص}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{جرم استر}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{90 \times 80 \times 210}{100 \times 60} = \frac{x}{100 \times 88} \Rightarrow x = 221/76 \text{ g } C_2H_5O_2$$



واکنش انجام شده به صورت روبه‌رو است: **۳۴۵ (B)**

روش اول (ضریب تبدیل):

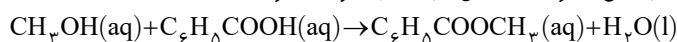
$$\text{با توجه به بازده، ابتدا مقدار نظری کلرو اتان را محاسبه می‌کنیم:} \quad \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow 70 = \frac{8960 \text{ L}}{x \text{ L}} \times 100 \Rightarrow 12800 \text{ L } C_2H_5Cl$$

$$? \text{ kg } C_2H_5 = 12800 \text{ L } C_2H_5Cl \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_5Cl}{22/4 \text{ L } C_2H_5Cl} \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_5}{1 \text{ mol } C_2H_5Cl} \times \frac{28 \text{ g } C_2H_5}{1 \text{ mol } C_2H_5} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 16 \text{ kg } C_2H_5$$

$$\frac{\text{بازده درصدی} \times \text{جرم اتان}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{حجم کلرواتان}}{\text{حجم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{70 \times 1000}{100 \times 28} = \frac{x \times 1000}{100 \times 22/4} \Rightarrow x = 16 \text{ kg } C_2H_5$$

روش دوم (تناسب):

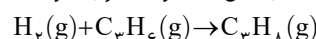
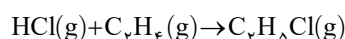
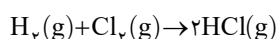
کربن دی‌اکسید را به متانول و بنزوئیک اسید تبدیل می‌کنند. واکنش استری شدن این دو ماده به صورت زیر است: **۳۴۶ (A)**



جرم مولی استر تولید شده برابر با ۱۳۶ گرم بر مول است و درصد جرمی آن در محصولات را محاسبه می‌کنیم:

$$\text{محصولات} \begin{cases} \text{استر: } 136 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \text{آب: } 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{cases} \Rightarrow \text{درصد جرمی استر} = \frac{136}{154} \times 100 = 88/31$$

معادله واکنش‌های مورد نظر به صورت زیر است: **۳۴۷ (B)**

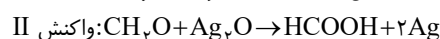
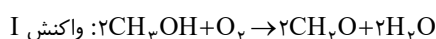


ابتدا مقدار گاز هیدروژن مصرفی در واکنش اول را به دست می‌آوریم:

$$? \text{ g } H_2 = 21/5 \text{ g } C_2H_5Cl \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_5Cl}{64/5 \text{ g } C_2H_5Cl} \times \frac{1 \text{ mol } HCl}{1 \text{ mol } C_2H_5Cl} \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol } HCl} = \frac{1}{6} \text{ mol } H_2$$

$$? \text{ L } C_3H_6 = \frac{1}{6} \text{ mol } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } C_3H_6}{1 \text{ mol } H_2} \times \frac{22/4 \text{ L } C_3H_6}{1 \text{ mol } C_3H_6} = 3/73 \text{ L } C_3H_6$$

معادله نمادی واکنش‌های I و II به صورت زیر است: **۳۴۸ (B)**



مقدار نظری نقره در واکنش II را محاسبه می‌کنیم، به تعداد مول متانول می‌رسیم:

$$\text{بازده درصدی} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow 70 = \frac{45 \text{ g}}{x} \times 100 \Rightarrow x = 64/28 \text{ g } Ag$$

$$? \text{ mol } CH_3O = 64/28 \text{ g } Ag \times \frac{1 \text{ mol } Ag}{107 \text{ g } Ag} \times \frac{1 \text{ mol } CH_3O}{2 \text{ mol } Ag} = 0/3 \text{ mol } CH_3O$$

$$\text{مقدار نظری متانول در واکنش I را محاسبه می‌کنیم:} \quad \frac{\text{بازده درصدی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow 50 = \frac{0/3 \text{ mol}}{x} \times 100 \Rightarrow x = 0/6 \text{ mol } CH_3O$$

$$? \text{ mol } CH_3OH = 0/6 \text{ mol } CH_3O \times \frac{2 \text{ mol } CH_3OH}{2 \text{ mol } CH_3O} = 0/6 \text{ mol } CH_3OH$$

در انتها از تعداد مول متانول به تعداد مول مصرفی متانول می‌رسیم:

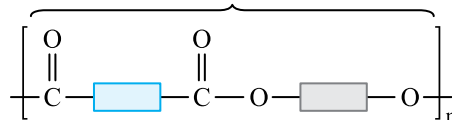
یادآوری ساختار پلی استرها

کلاس درس

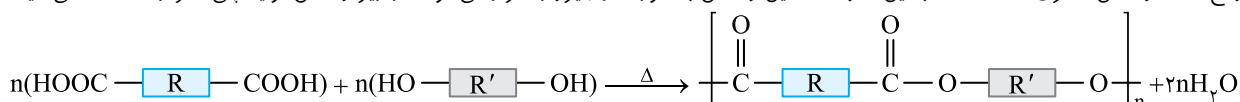
۴۰

- ۱- پلی استرها دسته‌ای از پلیمرهای ساختگی هستند که در ساختار آن‌ها اتم‌های کربن، هیدروژن و اکسیژن وجود دارد.
- ۲- شکل زیر نمایشی از ساختار کلی پلی استرها می‌باشد، که در آن ساختار واحد تکرارشونده نیز مشخص شده است.

واحد تکرارشونده



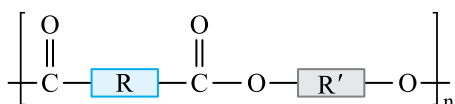
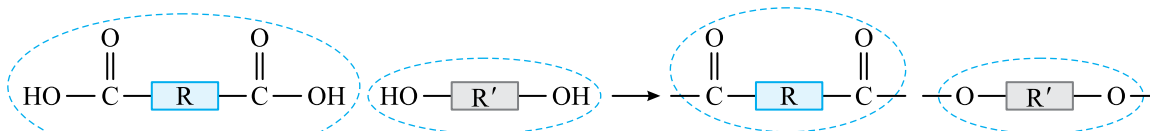
- ۳- یک پلی استر از واکنش یک کربوکسیلیک اسید دوغاملی با یک الکل دوغاملی در شرایط مناسب تولید می‌شود، واکنش اسید دوغاملی با الکل دوغاملی در واقع همان واکنش استری شدن است، با این تفاوت که این واکنش به صورت زنجیروار تکرار می‌شود. در زیر واکنش تولید پلی استر را مشاهده می‌کنید:



رسم ساختار پلی استر با استفاده از دی‌اسید و دی‌الکل سازنده آن

اگر ساختار اسید و الکل سازنده پلی استر را داشته باشیم، برای به دست آوردن ساختار پلی استر به صورت زیر عمل می‌کنیم:

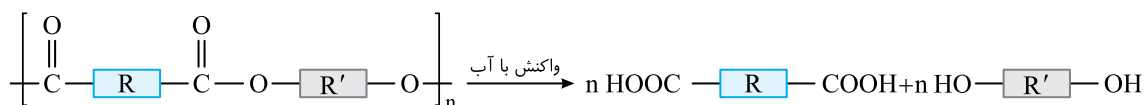
- ۱- ابتدا کربوکسیلیک اسید دوغاملی و سپس الکل دوغاملی را کنار هم می‌نویسیم. (از چپ به راست)
- ۲- از اسید دوغاملی هر دو گروه HO و از الکل دوغاملی دو اتم هیدروژن را جدا می‌کنیم:



- ۳- سپس دو گروه به دست آمده را به هم نزدیک می‌کنیم و با پیوند یگانه (C—O) به هم متصل می‌کنیم و ترکیب به دست آمده را داخل نماد کروشه $[]_n$ قرار می‌دهیم.

واکنش پلی استرها با آب (آبکافت پلی استرها)

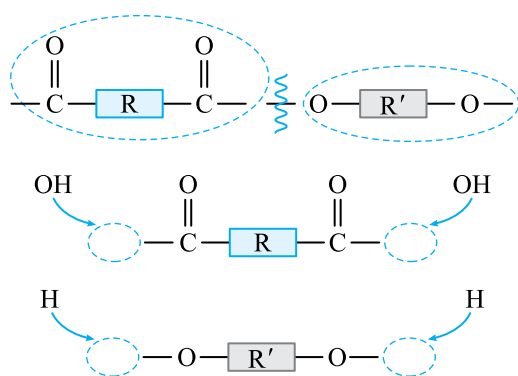
- ۱- پلی استرها در شرایط مناسب با مقدار کافی آب واکنش داده و به مونومرهای سازنده خود، یعنی الکل‌های دوغاملی و کربوکسیلیک اسیدهای دوغاملی تبدیل می‌شوند، به واکنش پلی استرها با آب توجه نمایید:



الکل دوغاملی + کربوکسیلیک اسید دوغاملی → آب + پلی استر

معادله نوشتاری آبکافت پلی استرها به صورت روبه‌رو است:

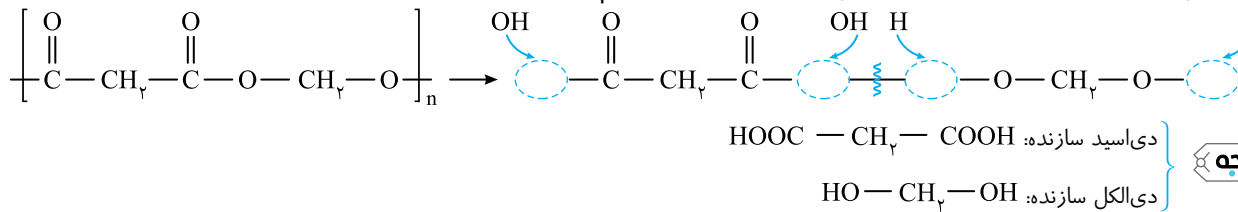
- ۲- برای تشخیص اسید و الکل سازنده پلی استر به صورت زیر عمل می‌کنیم:



الف) ابتدا نماد $[]_n$ را حذف می‌کنیم و سپس پیوند یگانه بین O و C را می‌شکنیم. $\text{C}(=\text{O}) - \text{O}$

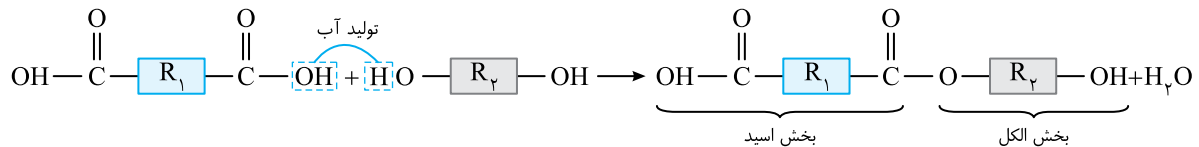
ب) با اضافه کردن دو گروه (—OH) به دو سر آزاد بخشی که دو گروه (C=O) دارد، به فرمول ساختاری کربوکسیلیک اسید دوغاملی سازنده پلی استر می‌رسیم.
پ) با اضافه کردن دو اتم هیدروژن به دو سر آزاد بخشی که در آن اتم اکسیژن با پیوند یگانه به گروه هیدروکربنی متصل است، به فرمول ساختاری الکل دوغاملی سازنده پلی استر می‌رسیم.

مثال: در پلی‌استر زیر دی‌اسید و دی‌الکل سازنده پلی‌استر را به دست می‌آوریم:

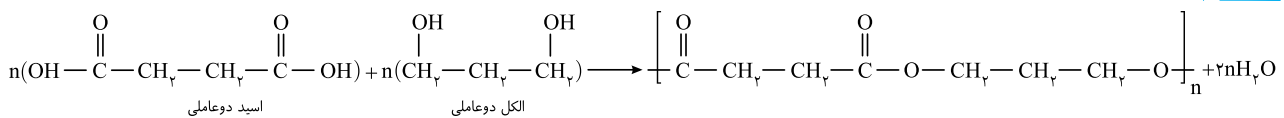


نتیجه

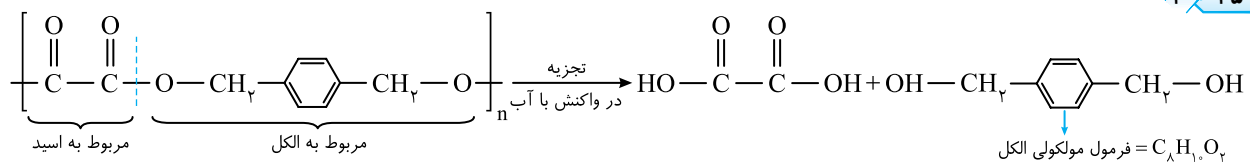
از واکنش یک کربوکسیلیک اسید دوعاملی (دی‌اسید) و یک الکل دوعاملی (دی‌آل) یک پلی‌استر تولید می‌شود. در مرحله نخست این واکنش یکی از گروه‌های کربوکسیل موجود در دی‌اسید با یکی از گروه‌های هیدروکسیل موجود در عامل دی‌الکل ترکیب شده و با از دست دادن آب، گروه عاملی استری را ایجاد می‌کند.



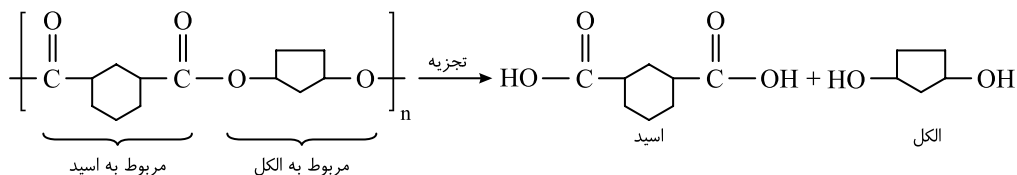
۳۵۰ (A) ۲



۳۵۱ (A) ۳



۳۵۲ (A) ۱ فرمول مولکولی اسید: $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}_4$



۳۵۳ (A) ۲

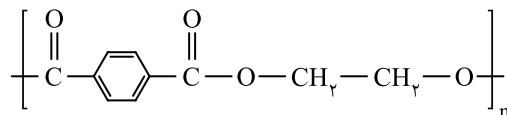
ساخت بطری آب

کلاس درس

۵.

۱- بطری آب از پلیمری به نام پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) ساخته می‌شود. برای ساخت این بطری، ابتدا پلیمر پلی‌اتیلن ترفتالات را تهیه می‌کنند و سپس این پلیمر را به همراه برخی افزودنی‌ها در قالب‌های ویژه‌ای می‌ریزند تا به شکل بطری مورد نظر درآید.

۲- پلی‌اتیلن ترفتالات به خانواده پلی‌استرها تعلق دارد، بنابراین در ساختار واحد تکرارشونده آن گروه عاملی استری وجود دارد. فرمول ساختاری پلیمر سازنده بطری آب (PET) به شکل زیر است:



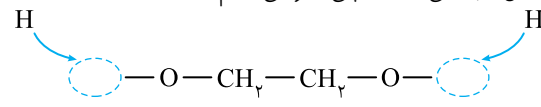
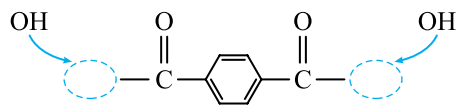
۳- با دقت در ساختار کلی واحد تکرارشونده پلی‌اتیلن ترفتالات به نتایج مهم زیر می‌رسیم:

- (الف) در ساختار این پلیمر حلقه بنزن وجود دارد، به همین دلیل یک ترکیب آلی معطر است.
- (ب) فرمول کلی واحد تکرارشونده این پلیمر به صورت $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ می‌باشد.
- (پ) ۵ پیوند دوگانه و ۸ جفت الکترون ناپیوندی در ساختار واحد تکرارشونده آن وجود دارد.

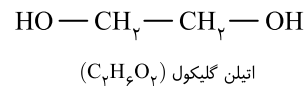
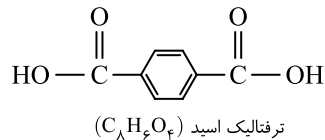
۴- پلی‌اتیلن ترفتالات یک پلی‌استر است، بنابراین مونومرهای سازنده آن یک کربوکسیلیک اسید دوعاملی و یک الکل دوعاملی هستند. با استفاده از ساختار این پلیمر، ساختار مونومرهای سازنده آن را به دست می‌آوریم:



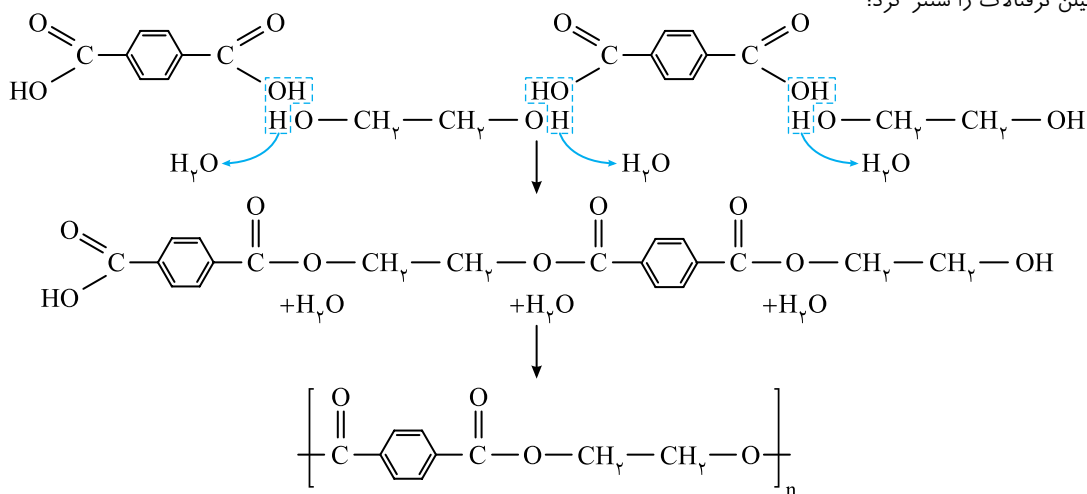
با اضافه کردن دو گروه (OH-) به دو سر آزاد بخشی که دارای دو گروه (C=O) است، به فرمول ساختاری کربوکسیلیک اسید دوعاملی سازنده پلی استر می‌رسیم. در انتها با اضافه کردن دو اتم هیدروژن (H) به دو سر آزاد بخشی که در آن اتم اکسیژن با پیوند یگانه به گروه هیدروکربنی متصل است، به فرمول ساختاری الکل دوعاملی سازنده پلی استر می‌رسیم:



نتیجه ساختار مونومرهای سازنده پلی اتیلن ترفتالات به صورت زیر است:



۵- از واکنش مونومرهای سازنده پلی اتیلن ترفتالات، یعنی اتیلن گلیکول (الکل دوعاملی) و ترفتالیک اسید (کربوکسیلیک اسید دوعاملی) در شرایط مناسب می‌توان پلی اتیلن ترفتالات را سنتز کرد:



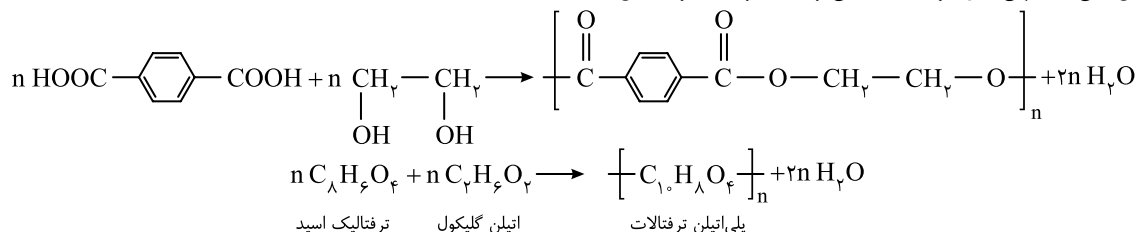
توجه با توجه به واکنش بالا به نتایج مهم زیر می‌رسیم:

(الف) برای تولید پلی اتیلن ترفتالات، مانند تمام پلی استرها، از اسیدهای دوعاملی گروه OH و از الکل‌های دوعاملی اتم‌های H جدا شده و با هم مولکول‌های آب را تشکیل می‌دهند.

(ب) اگر دو مولکول اتیلن گلیکول با دو مولکول ترفتالیک اسید وارد واکنش شوند، ساختاری حاصل می‌شود که یک سر آن دارای عامل الکلی بوده و می‌تواند همچنان با یک دی‌اسید دیگر واکنش دهد، از طرفی سر دیگر آن دارای یک عامل اسیدی بوده و می‌تواند با یک دی‌الکل دیگر وارد واکنش شود.

(پ) اگر از هر مونومر سازنده پلی اتیلن ترفتالات دو مولکول وارد واکنش شوند، در انتها علاوه بر تولید پلی استر سه مولکول آب نیز از ساختار مونومرها جدا می‌شود (سه مولکول آب تولید می‌شود).

(ت) واکنش کلی تهیه پلی اتیلن ترفتالات را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:



نکته

اتیلن گلیکول و ترفتالیک اسید در نفت خام وجود ندارند و به طور مستقیم نمی‌توان آن‌ها را از نفت خام جداسازی کرده و به دست آورد. البته می‌توان با استفاده از دانش شیمی و با توجه به مواد اولیه و خاصی که در دسترس هستند و از نفت خام جداسازی می‌شوند، آن‌ها را سنتز کرد.

نماد اختصاری پلی اتیلن ترفتالات، PET است. PET از دسته پلی استرهاست و از واکنش میان اسیدها و الکل‌های دوعاملی تولید می‌شود. برای ساخت بطری آب، نخست PET را تهیه می‌کنند، سپس این پلیمر را به همراه برخی افزودنی‌ها در قالب‌های ویژه‌ای می‌ریزند تا به شکل بطری مورد نظر درآید.

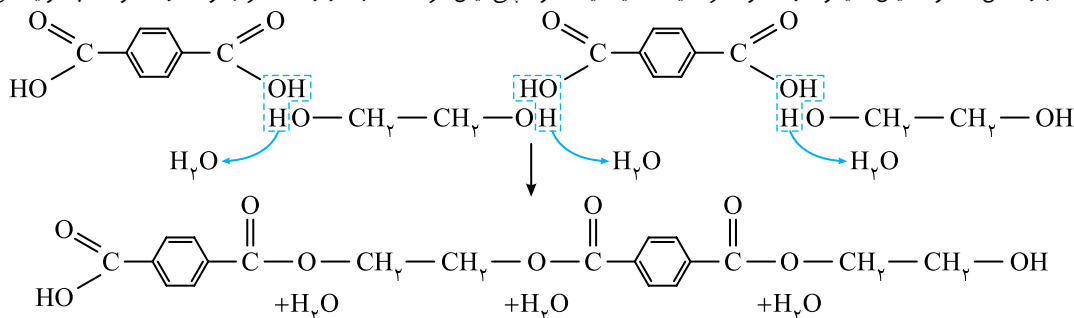
۳۵۴ (A) فرمول عمومی واحد تکرارشونده پلی‌اتیلن ترفتالات به صورت $(C_{10}H_8O_4)_n$ است. بنابراین نسبت تعداد اتم‌های هیدروژن به تعداد اتم‌های

اکسیژن برابر ۲ است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینه (۱): ساختار پلی‌اتیلن ترفتالات به صورت روبه‌رو است:
گزینه (۲): از واکنش اتیلن گلیکول و ترفتالیک اسید در شرایط مناسب می‌توان پلی‌اتیلن ترفتالات را تهیه کرد.

گزینه (۴): دی‌اسید سازنده پلی‌اتیلن ترفتالات، ترفتالیک اسید $(C_8H_6O_4)$ و دی‌الکل سازنده آن، اتیلن گلیکول $(C_2H_6O_2)$ است که نسبت جرم مولی

آن‌ها برابر است با: $\frac{166}{62} = \frac{83}{31}$
۳۵۵ (A) اسید سازنده پلیمر موجود در ساختار بطری آب (پلی‌اتیلن ترفتالات)، ترفتالیک اسید با ساختار $HO-C(=O)-C_6H_4-C(=O)-OH$ و الکل سازنده آن اتیلن گلیکول با ساختار $HO-CH_2-CH_2-OH$ است.

۳۵۶ (B) از واکنش ۲ مول اتیلن گلیکول و ۲ مول ترفتالیک اسید، یک مول پلی‌اتیلن ترفتالات با دو واحد تکرارشونده و ۳ مول آب تولید می‌شود.



بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): عدد اکسایش هر کدام از اتم‌های کربن در اتیلن گلیکول (CH_2-CH_2) برابر (-1) است و عدد اکسایش هر کدام از اتم‌های کربنی که به‌طور مستقیم به گروه عاملی اسیدی متصل شده‌اند، (0) است. پس به‌ازای ۲ اتم کربن، دو واحد تغییر عدد اکسایش داریم. (هر اتم کربن یک واحد تغییر عدد اکسایش دارد).

گزینه (۳): فرمول مولکولی ترفتالیک اسید، $(C_8H_6O_4)$ است.

گزینه (۴): اتیلن گلیکول و ترفتالیک اسید در نفت خام وجود ندارند. به دیگر سخن، به‌طور مستقیم نمی‌توان آن‌ها را از نفت خام به‌دست آورد.

۳۵۷ (B) همه عبارت‌ها درست هستند. اسید و الکل سازنده پلی‌اتیلن ترفتالات، ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): با توجه به فرمول ساختاری واحد تکرارشونده این پلیمر که به‌صورت روبه‌رو است، فرمول مولکولی آن به‌صورت $(C_{10}H_8O_4)_n$ می‌باشد و در فرمول مولکولی واحد تکرارشونده آن ۲۲ اتم دیده می‌شود.

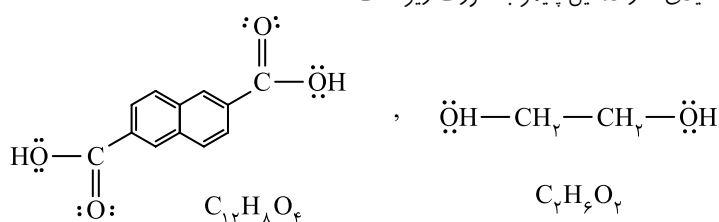
عبارت (ب): فرمول ساختاری اسید سازنده این پلیمر، به‌صورت روبه‌رو است که به دلیل وجود حلقه بنزن، آروماتیک می‌باشد.

عبارت (پ): در ساختار هر واحد تکرارشونده این پلیمر ۵ پیوند دوگانه و به سبب حضور ۴ اتم اکسیژن، ۸ جفت الکترون ناپیوندی دیده می‌شود، پس به ازای n مونومر، $5n$ پیوند دوگانه و $8n$ زوج ناپیوندی دیده می‌شود.

عبارت (ت): جرم مولی اسید و الکل سازنده این پلی‌استر، برابر است با:

$$\left. \begin{aligned} C_8H_6O_4 &\Rightarrow \text{ترفتالیک اسید} \Rightarrow \text{اسید سازنده} \\ C_2H_6O_2 &\Rightarrow \text{اتیلن گلیکول} \Rightarrow \text{الکل سازنده} \end{aligned} \right\} \Rightarrow 166 - 62 = 104 \text{ g.mol}^{-1}$$

۳۵۸ (A) مونومرهای الکلی و اسیدی سازنده این پلیمر به‌صورت زیر است:



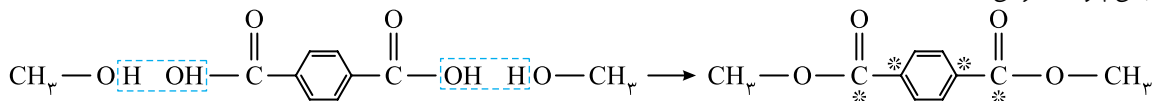
فرمول مولکولی اسید سازنده این پلی استر $C_{12}H_{10}O_4$ است. بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۲): دی‌الکل سازنده این پلی استر همان اتیلن گلیکول است که در تهیه پلی استر موجود در بطری آب نیز استفاده می‌شود.

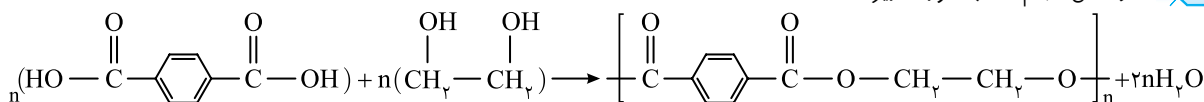
گزینه (۳): در ساختار اسید سازنده آن، ۵ پیوند دوگانه (کربن - کربن) و ۲ پیوند دوگانه (کربن - اکسیژن) وجود دارد.

گزینه (۴): در دی اسید سازنده این پلی استر، ۸ جفت الکترون ناپیوندی و در دی‌الکل سازنده اش، ۴ جفت الکترون ناپیوندی مشاهده می‌شود.

۳۵۹ (A) ۲ فرمول مولکولی این ترکیب به صورت $(C_{10}H_{10}O_4)$ است. این دی استر قادر به ایجاد پیوند هیدروژنی نیست و اتم‌های کربن ستاره‌دار، با هیچ اتم هیدروژنی پیوند اشتراکی ندارند.



۳۶۰ (B) ۲ واکنش انجام شده به صورت زیر است:

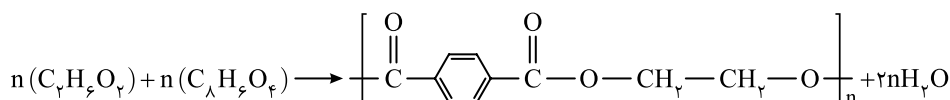


همان‌طور که در واکنش می‌بینید، تعداد مول‌های مصرفی ترفتالیک اسید با اتیلن گلیکول برابر است، پس:

روش اول (ضریب تبدیل): $g C_7H_6O_2 = 581g C_8H_6O_4 \times \frac{1 \text{ mol } C_8H_6O_4}{166g C_8H_6O_4} \times \frac{n \text{ mol } C_7H_6O_2}{n \text{ mol } C_8H_6O_4} \times \frac{62g C_7H_6O_2}{1 \text{ mol } C_7H_6O_2} = 217g C_7H_6O_2$

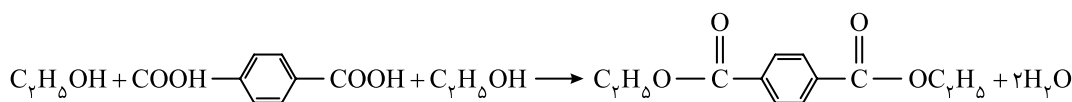
روش دوم (تناسب): $\frac{\text{جرم ترفتالیک اسید}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{جرم اتیلن گلیکول}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{581}{1 \times 166} = \frac{x}{1 \times 62} \Rightarrow x = 217g$

۳۶۱ (C) ۴ واکنش تولید پلی اتیلن ترفتالات به صورت زیر است. با توجه به این، ۴ مول پیوند دوگانه $(C=O)$ در ترکیب موجود است، پس $n=2$ می‌باشد.



محلول $C_7H_6O_2 = 2 \text{ mol } C_7H_6O_2 \times \frac{62g C_7H_6O_2}{1 \text{ mol } C_7H_6O_2} \times \frac{100g \text{ محلول}}{77/5g C_7H_6O_2} = 160g \text{ محلول}$

۳۶۲ (C) ۴ معادله واکنش انجام شده به صورت زیر است و یک مول دی استر، به همراه دو مول آب تولید می‌شود.



$\frac{2 \times 18}{(2 \times 18 + 222)} \times 100 = 7.13/95$ درصد جرمی آب ، $18g \cdot mol^{-1}$ جرم مولی آب ، $222g \cdot mol^{-1}$ جرم مولی دی استر

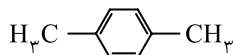
۳۶۳ (A) ۳

مواد به دست آمده از تقطیر نفت خام

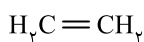
کلاس درس

۱۵

بررسی‌ها نشان می‌دهند که از تقطیر نفت خام می‌توان مواد زیر را به دست آورد:



پارازایلن (C_8H_{10})



اتن (C_2H_4)



بنزن (C_6H_6)

حال به بیان چند نکته در مورد این مواد می‌پردازیم:

۱- بنزن یک ترکیب حلقوی سیر نشده (۳ پیوند دوگانه دارد) به فرمول مولکولی C_6H_6 است. بنزن سرگروه خانواده مهمی از هیدروکربن‌ها به نام ترکیب‌های آروماتیک است. در واقع ترکیب‌های آروماتیک دارای حلقه بنزن و مشتقات آن هستند.

۲- اتن با فرمول مولکولی C_2H_4 یک ترکیب سیر نشده است (۱ پیوند دوگانه دارد). اتن اولین عضو خانواده آلکن‌ها نیز می‌باشد.

۳- پارازایلن دارای ویژگی‌های زیر است:

(الف) یک ترکیب آلی سیر نشده است، زیرا ۳ پیوند دوگانه دارد.

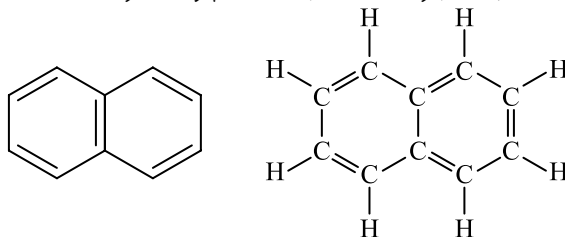
(ب) فرمول مولکولی آن $C_{10}H_{14}$ است.

(پ) در ساختار خود دو گروه متیل متصل به حلقه بنزی دارد.

(ت) پارازایلن به دلیل داشتن حلقه بنزن جزء ترکیب‌های معطر است.

استنباه نکید: فرمول شیمیایی پارازایلن $(C_{10}H_{14})$ را با فرمول شیمیایی نفتالن $(C_{10}H_8)$ اشتباه نگیرید:

نفتالن یک هیدروکربن **حلقوی آروماتیک** و دارای دو حلقهٔ بنزن است که البته در یک پیوند مشترک هستند.



بنابراین در فرمول ساختاری نفتالن، ۵ پیوند دوگانه وجود دارد و فرمول مولکولی آن به صورت $C_{10}H_8$ است.

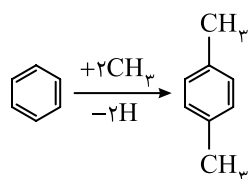
موادی مانند $CH_2=CH_2$ ، $CH_3-C_6H_4-CH_3$ از تقطیر نفت خام حاصل می‌شوند، اما اتیلن گلیکول $\begin{pmatrix} CH_2-CH_2 \\ | \quad | \\ OH \quad OH \end{pmatrix}$ به طور مستقیم از تقطیر نفت خام به دست نمی‌آید.

۳۶۴ (A) ۲ پلیمر موجود در ساختار بطری آب، پلی‌اتیلن ترفتالات می‌باشد که همانند پارازایلین یک ترکیب آروماتیک است، اما دی‌الکل سازندهٔ آن اتیلن گلیکول بوده که آروماتیک محسوب نمی‌شود. **بررسی سایر گزینه‌ها:**
گزینهٔ (۱): فرمول شیمیایی پارازایلین، (C_8H_{10}) و فرمول شیمیایی نفتالن، $(C_{10}H_8)$ است. تعداد اتم‌های هیدروژن در پارازایلین با تعداد اتم‌های کربن در نفتالن برابر است.

گزینهٔ (۳): در ساختار هر مول پارازایلین، ۳ مول پیوند دوگانه وجود دارد. هر مول پیوند دوگانه در اثر واکنش دادن با ۲ گرم گاز هیدروژن (یک مول گاز هیدروژن)، تبدیل به دو مول پیوند یگانه می‌شود.
گزینهٔ (۴): فرمول مولکولی بنزن C_6H_6 ، فرمول مولکولی اتن C_2H_4 و فرمول مولکولی پارازایلین C_8H_{10} است که مجموع تعداد اتم‌های کربن و اتم‌های هیدروژن دو ترکیب اول برابر با ترکیب سوم است.

۳۶۵ (B) ۳ عبارت‌های (الف)، (پ) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

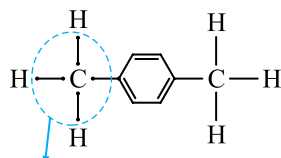
عبارت (الف): پارازایلین از جایگزین کردن دو گروه متیل به جای دو اتم هیدروژن در بنزن تشکیل می‌شود.
عبارت (ب): جرم مولی این دو ترکیب برابر است با:



$$\text{نفتالن: } C_{10}H_8 \Rightarrow 10(12) + 8(1) = 128 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$\text{پارازایلین: } C_8H_{10} \Rightarrow 8(12) + 10(1) = 106 \text{ g.mol}^{-1}$$

عبارت (پ): عدد اکسایش کربن متصل به بنزن در پارازایلین، به صورت روبه‌رو محاسبه می‌شود:



$$\text{عدد اکسایش کربن} = 4 - 7 = (-3)$$

عبارت (ت): درصد جرمی اتم کربن در این دو ترکیب برابر است با:

$$\text{بنزن: } \frac{6(12)}{6(12) + 6(1)} \times 100 \approx 92/3$$

$$\text{پارازایلین: } \frac{8(12)}{8(12) + 10(1)} \times 100 \approx 90/56$$

۳۶۶ (A) ۳

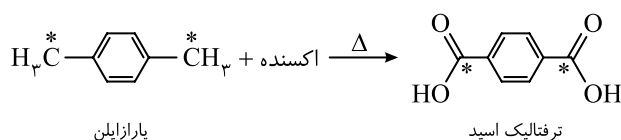
تولید ترفتالیک اسید از پارازایلین

کلاس درس

می‌دانیم یکی از مونومرهای مورد نیاز برای ساخت پلی‌اتیلن ترفتالات، ترفتالیک اسید است که نمی‌توان آن را به طور مستقیم از نفت خام به دست آورد، بنابراین باید به دنبال تهیهٔ آن از موادی باشیم که از تقطیر نفت خام به دست آمده‌اند. برای این منظور از پارازایلین استفاده می‌کنیم.

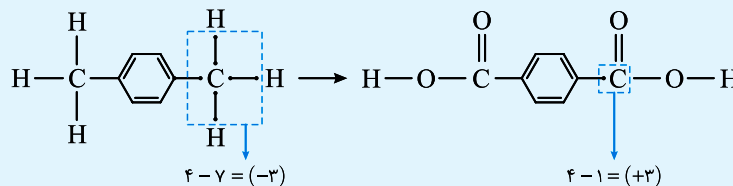
۱. تولید ترفتالیک اسید با اکسایش پارازایلین

برای تبدیل پارازایلین به ترفتالیک اسید باید از یک اکسندهٔ مناسب استفاده کرد. اکسنده‌ها موادی هستند که با دریافت الکترون از یک گونهٔ دیگر خود کاهش یافته و باعث اکسایش آن گونه می‌شوند:



نکته

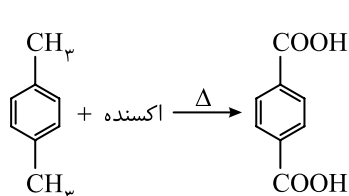
عدد اکسایش اتم‌های کربن در گروه‌های متیل (CH_3) در پارازایلن و عدد اکسایش کربن در گروه‌های کربوکسیل (COOH) در ترفتالیک اسید را به دست می‌آوریم:



همان‌طور که مشاهده کردید، در اثر تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید عدد اکسایش اتم‌های کربن در گروه‌های متیل که روی حلقه بنزن قرار گرفته‌اند، از (-3) به $(+3)$ تغییر یافته است. به بیان دیگر، در اثر این تبدیل عدد اکسایش اتم‌های این کربن افزایش یافته است. بنابراین برای انجام این تبدیل نیاز به کمک یک ماده اکسندۀ داریم تا با دریافت الکترون عدد اکسایش اتم‌های کربن معرفی شده را افزایش دهد.

نتیجه واکنش تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید توسط یک اکسندۀ، از نوع واکنش‌های اکسایش - کاهش می‌باشد.

اکسایش پارازایلن با پتاسیم پرمنگنات



پتاسیم پرمنگنات اکسندۀ‌ای است که محلول غلیظ آن در شرایط مناسب (محیط بازی و گرم)، پارازایلن را با بازده نسبتاً خوب به ترفتالیک اسید تبدیل می‌کند. واکنش روبه‌رو، تولید ترفتالیک اسید را در این شرایط نمایش می‌دهد:

با بررسی دقیق واکنش روبه‌رو به نتایج مهم زیر می‌رسیم:

۱- تغییر عدد اکسایش کربن مشخص شده (که در نکته بالا محاسبه شد) به صورت زیر است:

$+3 = \text{عدد اکسایش کربن در گروه کربوکسیل ترفتالیک اسید} \xrightarrow{\text{در اثر اکسایش}} -3 = \text{عدد اکسایش اتم‌های کربن در گروه متیل } (\text{CH}_3) \text{ پارازایلن}$

۲- در این واکنش یون پرمنگنات (MnO_4^-) به منگنز (IV) اکسید (MnO_2) تبدیل می‌شود:

$+4 = \text{عدد اکسایش Mn در MnO}_2 \xrightarrow{\text{در اثر کاهش}} +7 = \text{عدد اکسایش Mn در KMnO}_4$

$$\begin{cases} (+1) + x + (-8) = 0 \\ x = +7 \end{cases} \quad \begin{cases} x + (-4) = 0 \\ x = +4 \end{cases}$$

نتیجه

در واقع عدد اکسایش اتم کربن مشخص شده، ۶ واحد افزایش و عدد اکسایش اتم Mn، ۳ واحد کاهش یافته است. بنابراین این واکنش جزء واکنش‌های اکسایش - کاهش است، زیرا عدد اکسایش اتم کربن گروه‌های متیل که روی حلقه بنزن قرار گرفته‌اند و نیز عدد اکسایش اتم منگنز (Mn) تغییر کرده است.

۳- با توجه به تغییر عدد اکسایش کربن و منگنز در واکنش بالا می‌توان گفت که:

اتم منگنز (Mn): عدد اکسایش آن کاهش یافته $\Leftarrow$ کاهش یافته $\Leftarrow$ اکسندۀ است.

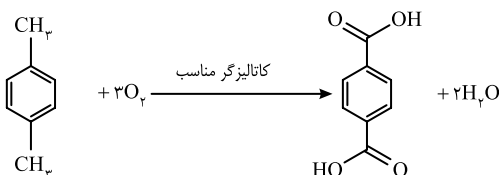
اتم کربن در گروه (CH_3) روی حلقه بنزن: عدد اکسایش آن افزایش یافته $\Leftarrow$ اکسایش یافته $\Leftarrow$ کاهندۀ است.

توجه در واکنش تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید در بین فراورده‌ها یک باز قوی (KOH) وجود دارد؛ به همین دلیل با انجام این واکنش محیط بازی شده و شناساگر لیتموس در این محیط به رنگ آبی خواهد بود.

نکته

انرژی فعال‌سازی این واکنش زیاد است، به همین دلیل با وجود غلظت بالای یون پرمنگنات، باز هم شرایط تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید تأمین نمی‌شود، مگر این که دمای مخلوط واکنش را افزایش دهیم. توجه داشته باشید که با افزایش دما اگرچه شرایط انجام واکنش تأمین می‌شود، اما هنوز بازده واکنش همچنان مطلوب نیست، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اکسایش پارازایلن به ترفتالیک اسید دشوار است. از این رو شیمی‌دان‌ها در پی یافتن شرایطی آسان با بازده بالا برای انجام این واکنش هستند. آن‌ها با پژوهش‌های فراوان دریافته‌اند که استفاده از اکسیژن هوا و کاتالیزگرهای مناسب می‌تواند راهگشا باشد.^۱ البته پژوهش‌ها برای یافتن واکنشی پربازده و با صرفه اقتصادی همچنان ادامه دارد.

۱- برای تولید اسید می‌توان از اکسایش پارازایلن توسط مولکول اکسیژن (طبق معادله زیر) استفاده کرد:



فرمول مولکولی ترفتالیک اسید $C_8H_6O_4$ و فرمول مولکولی پارازایلن C_8H_{10} است، در نتیجه جرم مولی آن‌ها 60 g.mol^{-1} با هم تفاوت دارد.

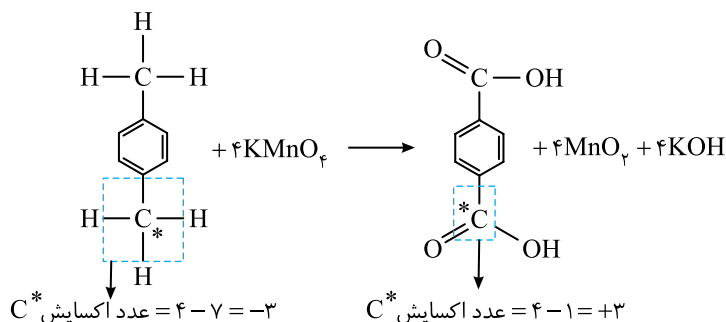
بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): برای تهیه ترفتالیک اسید از پارازایلن باید از دسته اکسندها مانند $KMnO_4$ استفاده کنیم.

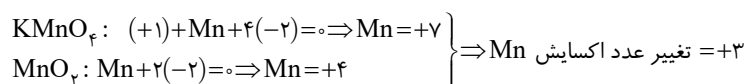
گزینه (۲): پتاسیم پرمنگنات اکسنده‌ای است که محلول غلیظ آن در شرایط مناسب، پارازایلن را با بازده نسبتاً خوب در اثر گرم شدن، به ترفتالیک اسید تبدیل می‌کند.

گزینه (۴): انرژی فعال‌سازی این واکنش بالاست، زیرا واکنش در اثر گرم کردن مواد اولیه انجام می‌شود.

۳۶۷ (A) ۱



اندازه تغییر عدد اکسایش اتم C مشخص شده، برابر ۶ واحد است.



اندازه تغییر عدد اکسایش C از اندازه تغییر عدد اکسایش اتم Mn، سه واحد بزرگ‌تر است و این واکنش در محیطی گرم انجام می‌گیرد.

۳۶۸ (B) ۳ عبارات‌های (الف)، (پ) و (ت) درست هستند. بررسی عبارات:

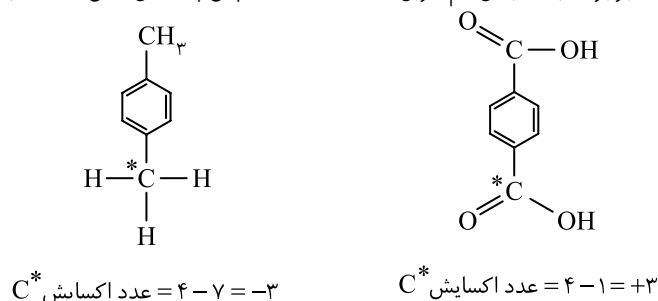
عبارت (الف): با وجود غلظت بالای یون پرمنگنات، باز هم شرایط تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید تأمین نمی‌شود.

عبارت (ب): با افزایش دما اگر چه شرایط انجام این واکنش تأمین می‌شود، اما بازده همچنان مطلوب نیست.

عبارت (پ): شیمی‌دان‌ها در پی یافتن شرایطی آسان با بازده بالا برای انجام این واکنش هستند.

عبارت (ت): شیمی‌دان‌ها متوجه شدند با استفاده از اکسیژن هوا و کاتالیزگرهای مناسب می‌توانند واکنش مورد نظر را با بازدهی بالا به انجام برسانند.

تغییر عدد اکسایش اتم C برابر ۶ واحد و این اتم کربن اکسید شده است؛ پس پارازایلن نقش کاهنده و O_2 نقش اکسنده را دارد. ۳۶۹ (A) ۲



واکنش موازنه‌شده مورد نظر به صورت زیر است: ۳۷۰ (B) ۳



$$? \text{ g } C_8H_6O_4 = 318 \text{ g } C_8H_{10} \times \frac{1 \text{ mol } C_8H_{10}}{106 \text{ g } C_8H_{10}} \times \frac{1 \text{ mol } C_8H_6O_4}{1 \text{ mol } C_8H_{10}} \times \frac{166 \text{ g } C_8H_6O_4}{1 \text{ mol } C_8H_6O_4} \times \frac{60}{100} = 300 \text{ g } C_8H_6O_4$$

بازده درصدی

واکنش موازنه‌شده به صورت زیر است: ۳۷۱ (B) ۳



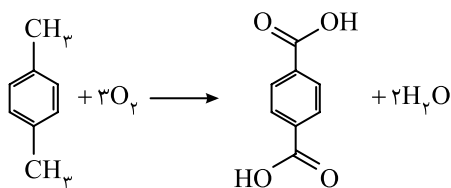
روش اول (ضریب تبدیل): باز تولید شده KOH است، به کمک غلظت آن، جرم اسید تولیدی را حساب می‌کنیم.

$$? \text{ g } C_8H_6O_4 = 5 \text{ L } KOH \times \frac{0.6 \text{ mol } KOH}{1 \text{ L } KOH} \times \frac{1 \text{ mol } C_8H_6O_4}{4 \text{ mol } KOH} \times \frac{166 \text{ g } C_8H_6O_4}{1 \text{ mol } C_8H_6O_4} = 124/5 \text{ g } C_8H_6O_4$$

روش دوم (تناسب):

$$\frac{\text{جرم ترفتالیک اسید}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{حجم} \times \text{غلظت پتاسیم هیدروکسید}}{\text{ضریب}} \Rightarrow \frac{x}{1 \times 166} = \frac{0.6 \times 5}{4} \Rightarrow x = 124/5 \text{ g } C_8H_6O_4$$

۳۷۲ واکنش موازنه به صورت زیر است:



روش اول (ضریب تبدیل): به کمک حجم گاز O_2 مصرفی در شرایط STP، جرم اسید تولید شده را محاسبه می‌کنیم:

$$? \text{ g C}_6\text{H}_4\text{O}_4 = 13/44 \text{ L O}_2 \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{22/4 \text{ L O}_2} \times \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_4\text{O}_4}{3 \text{ mol O}_2} \times \frac{166 \text{ g C}_6\text{H}_4\text{O}_4}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_4\text{O}_4} = 33/2 \text{ g C}_6\text{H}_4\text{O}_4$$

سپس مقدار عملی این اسید را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow 90 = \frac{x}{33/2} \times 100 \Rightarrow x = 29/88 \text{ g C}_6\text{H}_4\text{O}_4$$

روش دوم (تناسب):

$$\frac{\text{بازده}}{100} \times \text{جرم گاز اکسیژن} = \frac{\text{جرم ترفتالیک اسید}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{90}{100} \times 13/44 = \frac{x}{3 \times 22/4} \Rightarrow x = 29/88 \text{ g}$$

۳۷۳

تولید اتیلن گلیکول

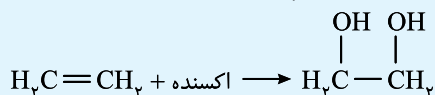
کلاس درس

دومین واکنش دهنده مورد نیاز در واکنش تولید پلی‌اتیلن ترفتالات، یعنی اتیلن گلیکول را نیز نمی‌توان به طور مستقیم از نفت خام به دست آورد. در این کلاس درس با روش تهیه این الکل دوعاملی آشنا خواهیم شد.

۱- برای تهیه دومین واکنش دهنده مورد نیاز در واکنش تولید پلی‌اتیلن ترفتالات، یعنی اتیلن گلیکول می‌توان از گاز اتن که از تقطیر نفت خام به دست می‌آید، استفاده کرد. برای این منظور می‌توانیم از اکسایش گاز اتن با استفاده از یک اکسنده مناسب استفاده کنیم.

نکته

برای اکسایش آلکن‌ها (C_nH_{2n}) می‌توان از اکسنده قوی پتاسیم پرمنگنات که رنگ آن بنفش تیره است، استفاده کرد:



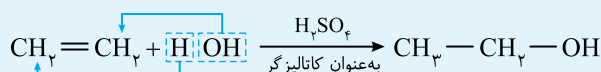
۲- در واکنش اکسایش اتن به اتیلن گلیکول توسط محلول آبی و رقیق پتاسیم پرمنگنات، یکی از پیوندها در پیوند دوگانه بین دو اتم کربن در گاز اتن شکسته شده و به هر اتم کربن یک گروه ($-\text{OH}$) متصل می‌شود.

اکسایش آلکن‌ها (مانند اتن) با یک اکسنده مناسب ← تولید الکل دوعاملی (مانند اتیلن گلیکول)

برای تهیه الکل سازنده پلی‌اتیلن ترفتالات (پلیمر موجود در بطری آب) که اتیلن گلیکول نام دارد، همانند تهیه اسید سازنده آن (ترفتالیک اسید) از پارازیلن، از پتاسیم پرمنگنات (KMnO_4) به عنوان اکسنده استفاده شود.

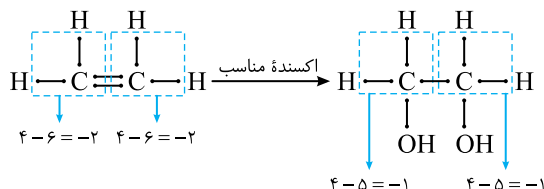
یادآوری از شیمی دهم:

از واکنش آلکن‌ها با آب الکل‌های یک‌عاملی تولید می‌شود. به عنوان مثال در صنعت از واکنش گاز اتن با آب در مجاورت کاتالیزگر سولفوریک اسید (H_2SO_4) برای تولید الکل یک‌عاملی اتانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ استفاده می‌شود.



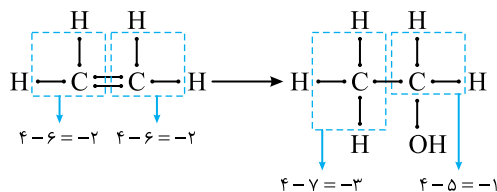
۳- تغییر اعداد اکسایش اتم کربن در دو واکنش بالا را بررسی می‌کنیم:

الف) بررسی تغییر عدد اکسایش اتم کربن در واکنش اکسایش گاز اتن که منجر به تولید اتیلن گلیکول (الکل دوعاملی) می‌شود:



توجه: بنابراین عدد اکسایش اتم کربن از (۲-) به (۱-) رسیده و یک درجه افزایش یافته است. اتم کربن در این واکنش گونه اکسایش یافته بوده و نقش آن کاهنده می‌باشد.

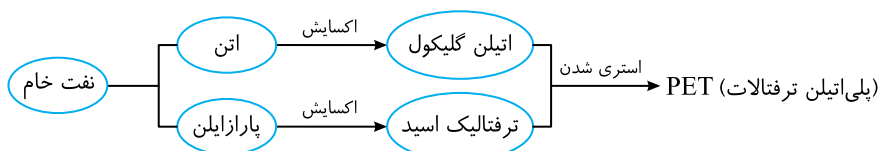
(ب) بررسی تغییر عدد اکسایش اتم کربن در واکنش گاز اتن با آب که منجر به تولید اتانول (الکل یک‌عاملی) می‌شود:



توجه: در این واکنش عدد اکسایش اتم کربن از عدد (۲-) در سمت واکنش دهنده‌ها به اعداد (۳-) و (۱-) در سمت فراورده‌ها رسیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نیمی از اتم‌های کربن اکسایش و نیمی دیگر از اتم‌های کربن کاهش یافته‌اند؛ در واقع اتم‌های کربن در این واکنش هم نقش اکسند و هم نقش کاهنده را دارند.

۴- در واکنش اکسایش گاز اتن با پتاسیم پرمنگنات و همچنین واکنش گاز اتن با آب، گروه عاملی آلکنی ($C=C$) تبدیل به گروه عاملی هیدروکسیل ($-OH$) یا همان گروه عاملی ۱ می‌شود. می‌دانیم با تغییر گروه عاملی، خواص فیزیکی و شیمیایی واکنش دهنده (اتن) تغییر خواهد کرد.

۵- حال که روش‌های تولید مونومرهای سازنده پلی‌اتیلن ترفتالات را آموختیم، می‌توانیم با انجام واکنش بین آن‌ها این پلیمر را سنتز کنیم:



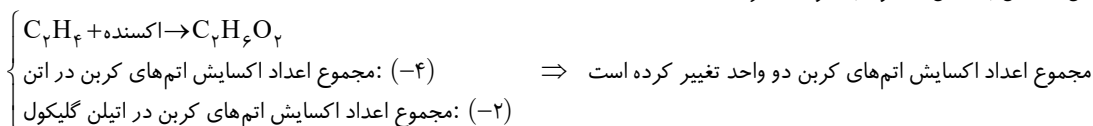
الکل سازنده پلیمر موجود در بطری آب، اتیلن گلیکول نام دارد که برای تولید آن همانند تولید ترفتالیک اسید از $KMnO_4$ به عنوان اکسند استفاده می‌شود.

۳۷۴ (B) بررسی عبارت‌ها: عبارت‌های (ب) و (ت) درست هستند.

عبارت (الف): برای تهیه اتیلن گلیکول، از اکسند پتاسیم پرمنگنات ($KMnO_4$) استفاده می‌شود.

عبارت (ب): گاز اتن در اثر واکنش با محلول آبی و رقیق پتاسیم پرمنگنات در شرایط مناسب به اتیلن گلیکول تبدیل می‌شود.

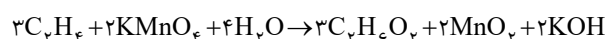
عبارت (پ): واکنش تبدیل گاز اتن به اتیلن گلیکول به صورت زیر است:



عبارت (ت): جرم مولی دو ترکیب برابر است با: $C_2H_6O_2 \rightarrow 2(12) + 6(1) + 2(16) = 62 \text{ g.mol}^{-1}$ اتیلن گلیکول

اتن: $C_2H_4 \rightarrow 2(12) + 4(1) = 28 \text{ g.mol}^{-1} \Rightarrow 62 - 28 = 34 \text{ g.mol}^{-1}$

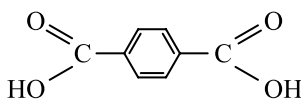
۳۷۵ (B) معادله موازنه شده واکنش مورد نظر به صورت زیر است:



$$? \text{ L } C_2H_6O_2 = 336 \text{ L } C_2H_4 \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_4}{22.4 \text{ L } C_2H_4} \times \frac{3 \text{ mol } C_2H_6O_2}{2 \text{ mol } C_2H_4} \times \frac{62 \text{ g } C_2H_6O_2}{1 \text{ mol } C_2H_6O_2} \times \frac{1 \text{ L } C_2H_6O_2}{1.2 \text{ g } C_2H_6O_2} = 775 \text{ L } C_2H_6O_2$$

۳۷۶ (A) عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. شکل، فرایند کلی سنتز PET را نشان می‌دهد. ترکیب (۱) اتن و ترکیب (۲) ترفتالیک اسید است.

بررسی عبارت‌ها:

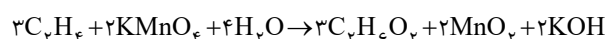


عبارت (ب): اتن را می‌توان از تقطیر نفت خام به دست آورد.

عبارت (پ): ترفتالیک اسید در ساختار خود ۵ پیوند دوگانه دارد.

عبارت (ت): اتن در اثر واکنش با یک ماده اکسند، اکسایش یافته و به اتیلن گلیکول تبدیل می‌شود.

۳۷۷ (B) معادله موازنه شده واکنش مورد نظر به صورت زیر است:



روش اول (ضریب تبدیل): به کمک جرم MnO_2 (اکسید فلزی) تولید شده، جرم اتیلن گلیکول تولیدی را به دست می‌آوریم:

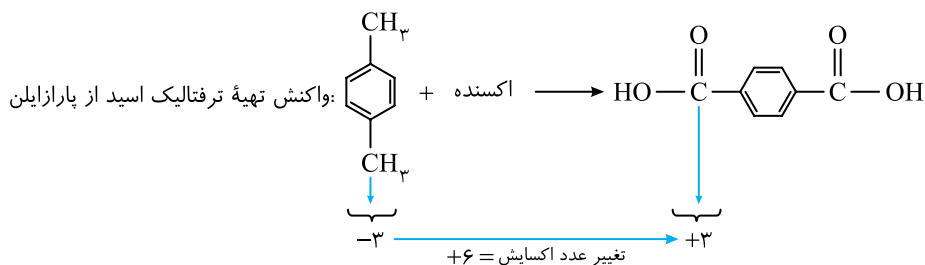
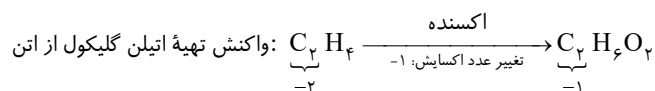
$$? \text{ g } C_2H_6O_2 = 21.75 \text{ g } MnO_2 \times \frac{1 \text{ mol } MnO_2}{87 \text{ g } MnO_2} \times \frac{3 \text{ mol } C_2H_6O_2}{2 \text{ mol } MnO_2} \times \frac{62 \text{ g } C_2H_6O_2}{1 \text{ mol } C_2H_6O_2} = 23.25 \text{ g } C_2H_6O_2$$

$$\frac{\text{جرم اتیلن گلیکول}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{جرم } MnO_2}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{x}{3 \times 62} = \frac{21.75}{2 \times 87} \Rightarrow x = 23.25 \text{ g}$$

روش دوم (تناسب):

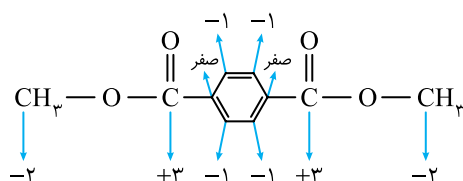
۳۷۸ (B) عبارت‌های (الف)، (ب) و (ت) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): واکنش‌ها به صورت زیر هستند:



عبارت (ب): در هر دو واکنش از پتاسیم پرمنگنات به عنوان اکسنده استفاده می‌شود.

عبارت (پ): ترکیب حاصل به صورت زیر است:



همان‌طور که می‌بینید علاوه بر عدد اکسایش‌های (-۳) و (+۲) عدد اکسایش‌های صفر و (-۱) هم دیده می‌شود.

عبارت (ت): به نسبت‌های داده شده توجه کنید:

بار الکتریکی آنیون CO_3^{2-} : $\frac{2}{3}$ = تعداد اتم‌های اکسیژن
 بار الکتریکی آنیون MnO_4^- : $\frac{1}{4}$ = تعداد اتم اکسیژن

۳۷۹ (B) فرض می‌کنیم در هر دو واکنش X مول یون پرمنگنات مصرف شود.

$$\begin{aligned} ? \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4 &= x \text{ mol MnO}_4^- \times \frac{1 \text{ mol KMnO}_4}{1 \text{ mol MnO}_4^-} \times \frac{1 \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4}{4 \text{ mol KMnO}_4} \times \frac{166 \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4}{1 \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4} \\ &= 0.26 \\ ? \text{ g C}_7\text{H}_6\text{O}_2 &= x \text{ mol MnO}_4^- \times \frac{\Delta \text{mol C}_7\text{H}_6\text{O}_2}{2 \text{ mol MnO}_4^-} \times \frac{62 \text{ g C}_7\text{H}_6\text{O}_2}{1 \text{ mol C}_7\text{H}_6\text{O}_2} \end{aligned}$$

۳۸۰ (A) در این واکنش عدد اکسایش ۲ اتم کربن در C_8H_{10} از (-۳) به (+۳) رسیده است. بنابراین در واکنش زیر ۱۲ مول

الکترون مبادله می‌شود.

$$? \text{ mol e}^- = 298 / 8 \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4 \times \frac{1 \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4}{166 \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4} \times \frac{12 \text{ mol e}^-}{1 \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4} = 21.6 \text{ mol e}^-$$

۳۸۱ (B)



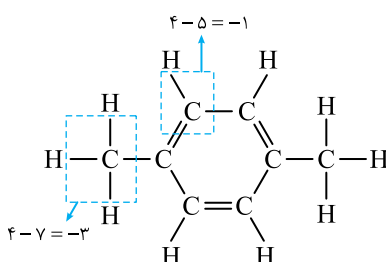
$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \Rightarrow 1/3 = -\log[\text{H}^+] \Rightarrow [\text{H}^+] = 5 \times 10^{-2}$$

$$\text{mol (HCl)} = M \times V = 5 \times 10^{-2} \times 6 = 3 \times 10^{-1} \text{ mol HCl}$$

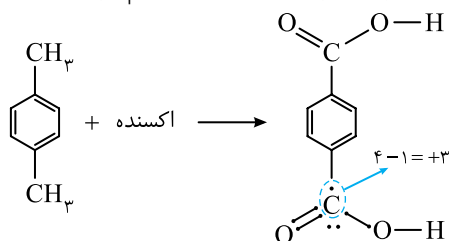
در این واکنش برای خنثی کردن 3 mol KOH از 3 mol HCl استفاده می‌شود (KOH و HCl هر دو اسید و باز تک‌ظرفیتی هستند).

$$? \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4 = 3 \times 10^{-1} \text{ mol KOH} \times \frac{1 \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4}{4 \text{ mol KOH}} \times \frac{166 \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4}{1 \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4} = 12.45 \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4$$

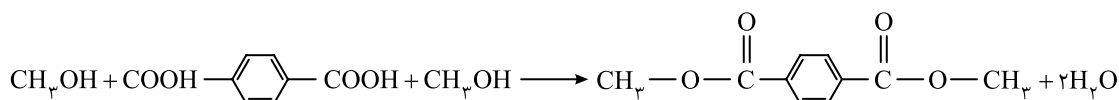
۳۸۲ (C) بررسی پرسش‌ها: پرسش (الف): مجموع اعداد اکسایش دو اتم کربن مشخص شده برابر (-۴) است.



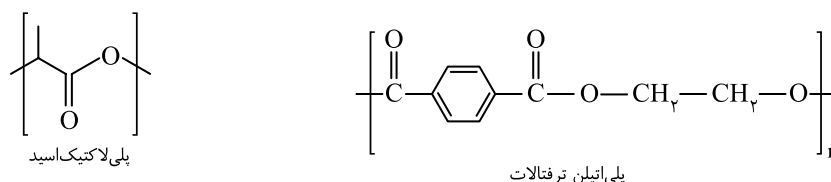
پرسش (ب): واکنش تبدیل پارازایلین به ترفتالیک اسید، به صورت زیر است. عدد اکسایش اتم کربن دارای عدد اکسایش (۳-) تغییر کرده و به (۳+) می‌رسد.



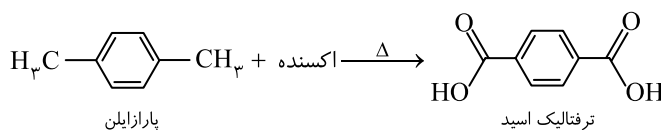
پرسش (پ): از واکنش متانول با ترفتالیک اسید، یک دی‌استر تولید می‌شود.



۳۸۳ ۴ لاکتیک اسید، دارای گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل است. گروه هیدروکسیل یک مولکول می‌تواند با گروه کربوکسیل مولکول مجاور واکنش داده و یک گروه عاملی استر را تولید کند. ساختار پلی‌لاکتیک اسید و پلی‌اتیلن ترفتالات در زیر آورده شده است. در ساختار هر دو ترکیب گروه عاملی استر وجود دارد.



۳۸۴ ۱ از اکسایش پارازایلین به وسیله محلول غلیظی از پتاسیم پرمنگنات در شرایط مناسب ترفتالیک اسید تهیه می‌شود.



۳۸۵ ۳

بازیافت پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)

کلاس درس

۵۴

پلی‌اتیلن ترفتالات همانند پلیمرهای سنتزی ماندگاری زیادی دارد و در طبیعت به کندی تجزیه می‌شود، به همین دلیل پسماند آن‌ها تهدیدی جدی برای زندگی روی کره زمین به شمار می‌آید، بنابراین ضروری است بازیافت پلاستیک‌ها را به طور دقیق بررسی کنیم تا با نقش فناوری در بازیافت آن‌ها آشنا شویم.

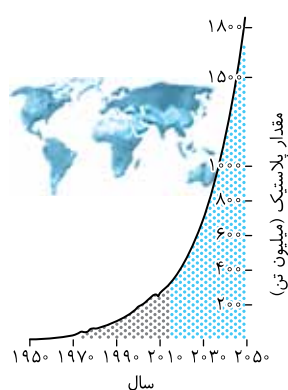
پلاستیک‌های زیست تخریب‌ناپذیر

۱- پلاستیک‌ها محصول خلایق و نوآوری بشر هستند. این مواد دارای ویژگی‌های زیر هستند:

- (الف) سبک هستند. (چگالی کمی دارند).
- (ب) هوا به هیچ وجه در آن‌ها نفوذ نمی‌کند. (غیر قابل نفوذ به وسیله هوا)
- (پ) ضد آب هستند. (آب در آن‌ها نفوذ نمی‌کند).
- (ت) ارزان هستند.
- (ث) در برابر خوردگی مقاوم هستند.

۲- به دلیل ویژگی‌های خاص و مهمی که پلاستیک‌ها دارند، که به چند مورد از آن‌ها اشاره کردیم، این مواد کاربردهای وسیعی در زندگی پیدا کرده‌اند. امروزه سالانه تقریباً ۴۰۰ میلیون تن از آن‌ها در سرتاسر جهان تولید می‌شود، نمودار روبه‌رو روند تولید پلاستیک در جهان را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، به نتایج زیر می‌رسیم:

- (الف) روند تولید پلاستیک در سرتاسر جهان با گذشت زمان رو به افزایش است. به همین دلیل این نمودار صعودی است.
- (ب) در این نمودار روند تولید پلاستیک در جهان تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است، به طوری که در سال ۲۰۵۰ میزان تولید پلاستیک در جهان تقریباً به ۱۸۰۰ میلیون تن خواهد رسید.



ار بازیافت پلاستیک

۱- استفاده بی‌رویه و بسیار زیاد از انواع پلاستیک در صنایع گوناگون از یک سو و زیست‌تخریب‌ناپذیر بودن آن‌ها از سوی دیگر سبب شده است که در همه جای کره زمین یافت شوند. ماندگاری پلاستیک تهدیدی بسیار جدی برای سلامت محیط زیست است. یکی از راه‌های حفظ محیط زیست در برابر این تهدیدها بازیافت پلاستیک است.

۲- وسایل پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات را می‌توان بازیافت کرد. برای این منظور، باید آن‌ها را جداگانه جمع‌آوری نمود و سپس با انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، به مواد قابل استفاده تبدیل کرد.

۳- یکی از راه‌های بازیافت مواد پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات این است که آن‌ها را پس از شستشو دادن و تمیز کردن:

- (الف) ذوب کنیم و دوباره از آن‌ها برای تولید وسایل و ابزار دیگر استفاده کنیم.
- (ب) این مواد پلاستیکی را خرد کرده و به تکه‌های کوچک به نام پرک تبدیل کنیم و در تولید مواد پلاستیکی دیگر استفاده کنیم.
- (پ) راه دیگر این است که بتوانیم پسماندها را به مونومرهای سازنده یا مواد اولیه مفید و ارزشمند تبدیل کنیم، که این راه موفقیت بزرگ‌تری برای ما به ارمغان خواهد آورد.

توجه: در واقع سطح فناوری هر کشور یا گروه صنعتی تعیین می‌کند که کدام راه را باید انتخاب کرد، زیرا برگرداندن پسماندها به مونومرهای سازنده بسیار دشوار است.

۴- پلی‌اتیلن ترفتالات در اثر واکنش با متانول (CH_3OH) به مواد مفیدی تبدیل می‌شود.

موارد (الف)، (پ) و (ت) درست هستند.

پلاستیک‌ها سبک (دارای چگالی کم)، غیرقابل نفوذ به وسیله هوا و آب، ارزان و مقاوم در برابر خوردگی هستند.

۳۸۶ (A) پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۵۰ مقدار ۱۸۰۰ میلیون تن پلاستیک در سال تولید شود که افزایش ۳۵۰ درصدی نسبت به مقدار پلاستیک تولیدی در حال حاضر را دارد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

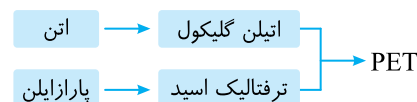
گزینه (۱): در حال حاضر سالانه تقریباً ۴۰۰ میلیون تن پلاستیک در سراسر جهان تولید می‌شود.

گزینه (۳): پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۰ تقریباً ۸۰۰ میلیون تن پلاستیک تولید شود که دو برابر تولید امروزه خواهد بود.

گزینه (۴): با توجه به افزایش تولید مواد پلاستیکی در جهان، روند تولید پلاستیک در سرتاسر جهان با گذشت زمان رو به افزایش است. به همین دلیل این نمودار صعودی است.

۳۸۷ (A) پلی‌اتیلن ترفتالات همانند پلیمرهای سنتزی ماندگاری زیادی دارد و در طبیعت به کندی تجزیه می‌شود. به همین دلیل پسماند آن‌ها تهدیدی جدی برای زندگی روی کره زمین به شمار می‌آید. بنابراین ضروری است بازیافت پلاستیک‌ها را به‌طور دقیق بررسی کنیم تا با نقش فناوری شیمیایی در بازیافت آن‌ها آشنا شویم.

بررسی گزینه (۱): فرایند کلی سنتز PET از مونومرهای سازنده آن به‌صورت روبه‌رو است: ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول برخلاف پارازایلن و اتن از نفت خام به‌دست نمی‌آیند.



۳۸۸ (A) همه مواد پلاستیکی، قابل بازیافت نیستند. پلی‌اتیلن ترفتالات یکی از مواد پلاستیکی قابل بازیافت است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): از پلاستیک‌ها به‌صورت بی‌رویه استفاده می‌شود. این ترکیب‌ها چگالی کمی (نسبت $\frac{\text{حجم}}{\text{جرم}}$ زیادی) دارند.

گزینه (۲): پلاستیک‌ها زیست‌تخریب‌ناپذیرند و از این رو بازیافت آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

گزینه (۳): پلاستیک‌ها در همه جای کره زمین یافت می‌شوند و مقاومت بالایی در برابر خوردگی (واکنش دادن با گاز اکسیژن) دارند.

۳۸۹ (A) پسماندهای این مواد را به مونومرهای سازنده‌اش تبدیل می‌کنند که کاری بسیار دشوار است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): یکی از مواد پلاستیکی قابل بازیافت، پلی‌اتیلن ترفتالات است. برای این منظور باید این مواد را جداگانه جمع‌آوری و سپس با انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی به مواد قابل استفاده تبدیل کرد.

گزینه (۲): یکی از راه‌های بازیافت این است که پس از شست‌وشو و تمیز کردن این مواد، آن‌ها را ذوب کرده و دوباره از آن‌ها برای تولید وسایل و ابزار دیگر استفاده می‌کنند.

گزینه (۳): می‌توان پس از شست‌وشوی این مواد آن‌ها را خرد کرده و به تکه‌های کوچک به نام پرک تبدیل و در تولید مواد پلاستیکی دیگر استفاده کرد.

۳۹۰ (A) به منظور بازیافت پلی‌اتیلن ترفتالات، آن‌ها را جداگانه جمع‌آوری کرده و با انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی به مواد قابل استفاده تبدیل می‌کنند. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): وسایل پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات (پلیمر سازنده بطری آب) را می‌توان بازیافت کرد.

گزینه (۲): یکی از راه‌های بازیافت این مواد این است که آن‌ها را پس از شست‌وشو و تمیز کردن، ذوب کرده و دوباره از آن‌ها برای تولید وسایل و ابزار دیگر استفاده کرد. (تبدیل جامد به مایع)

گزینه (۴): اگر این مواد پلاستیکی را خرد کرده و به تکه‌های کوچک تبدیل کنیم به آن‌ها پرک می‌گویند.

۳۹۱ (B) عبارات‌های (الف) و (ب) نادرست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): در فرایند بازیافت، پسماندهای پلاستیکی را به مونومرهای سازنده‌شان تبدیل می‌کنند نه عناصر سازنده.
عبارت (ب): واکنش تولید پلی‌استرها برگشت‌پذیر است و امکان بازیافت این ترکیب‌ها وجود دارد.

توجه: واکنش برگشت تولید پلی‌استرها، واکنش آبکافت پلی‌استر است.

عبارت (پ): در یکی از راه‌های بازیافت مواد پلاستیکی در جریان بازیافت، پس از شست‌وشو این مواد را خرد کرده و به تکه‌های کوچک به نام پرک تبدیل می‌کنند. سطح تماس قطعات پرک بیشتر از قطعه پلاستیکی اولیه است.

عبارت (ت): سطح فناوری هر کشور یا گروه صنعتی تعیین‌کننده نوع بازیافت پلاستیک در آن کشور است.

۳۹۲ (A) ۱

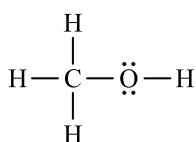
روش‌های تهیه متانول

کلاس درس

۵۵

شیمی‌دان‌ها با بررسی‌های فراوان متوجه شدند که پلی‌اتیلن ترفتالات در شرایط مناسب با متانول واکنش داده و به مواد مفیدی تبدیل می‌شود. موادی که می‌توان از آن‌ها برای تولید پلیمرها استفاده کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سالانه به مقدار زیادی متانول در مقیاس صنعتی نیاز است، اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چگونه می‌توان در مقیاس صنعتی متانول تولید کرد؟ در این کلاس درس با روش‌های تهیه متانول آشنا می‌شویم.

ویژگی‌های متانول

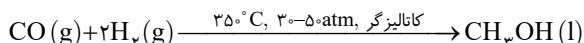


۱- متانول مایعی بی‌رنگ، بسیار سمی و ساده‌ترین عضو خانواده الک‌ها است.

۲- متانول را می‌توان از جوب تهیه کرد، به همین دلیل به الک جوب معروف است.

۳- فرمول مولکولی متانول CH_3OH و ساختار لوویس آن به صورت روبه‌رو است:

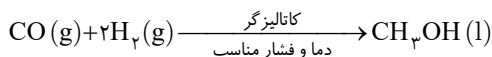
۴- از آن‌جا که متانول کاربردهای زیادی در صنایع گوناگون دارد، باید آن را در مقیاس صنعتی تولید کرد. در صنعت از واکنش زیر متانول را تولید می‌کنند:



توجه: این واکنش در شرایط خاصی یعنی حضور کاتالیزگر، دمای 350°C و فشار بین 30 تا 50 اتمسفر انجام می‌شود.

چالش در تهیه متانول

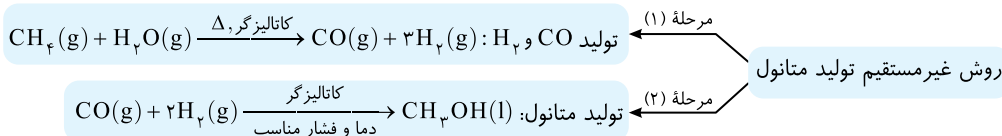
۱- در صنعت، گاز کربن مونوکسید را با گاز هیدروژن در شرایط مناسب و در حضور کاتالیزگر واکنش می‌دهند تا متانول تولید شود:



۲- برای انجام واکنش بالا یک مشکل اساسی وجود دارد، واکنش‌دهنده‌های این واکنش (یعنی گازهای کربن مونوکسید و هیدروژن) در دسترس نیستند، بنابراین ابتدا باید این گازها را تولید کرد و بعد از تولید آن‌ها، متانول را سنتز کرد.

روش غیرمستقیم تبدیل متان به متانول

۱- در روش غیرمستقیم تولید متانول، ابتدا گازهای کربن مونوکسید و هیدروژن را از واکنش گاز متان با بخار آب در حضور کاتالیزگر تولید کرده و سپس از واکنش این گازها در شرایطی خاص متانول تهیه می‌شود. در واقع این روش شامل دو مرحله زیر است:



۲- گاز متان، سازنده اصلی گاز طبیعی است که در میدان‌های نفتی به فراوانی یافت می‌شود. در این میدان‌ها برای افزایش ایمنی، بخش قابل توجهی از آن را می‌سوزانند. بنابراین کاملاً در دسترس است و برای تأمین گاز متان مورد نیاز در واکنش بالا مشکلی وجود ندارد.

روش مستقیم تبدیل متان به متانول

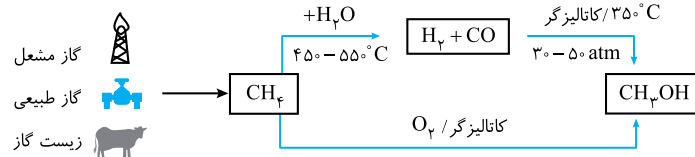
۱- گاز متان ($\text{CH}_4\text{(g)}$) یک هیدروکربن سیرشده (یک آلکان) است و واکنش‌پذیری بسیار کمی دارد، بنابراین تبدیل مستقیم آن به متانول فرایندی دشوار است و به فناوری پیشرفته‌ای نیاز دارد. با این حال می‌توان گاز متان را در حضور کاتالیزگر مناسب و اکسنده‌ای مانند O_2 به‌طور مستقیم به متانول تبدیل کرد. روش مستقیم تبدیل متان به متانول شامل یک مرحله است:



۲- به دلیل اهمیت متانول در صنایع گوناگون از یک سو و ارزان بودن گاز متان از سوی دیگر، پژوهش‌های شیمیایی زیادی در حال انجام است تا بتوان روشی برای تبدیل گاز متان به متانول پیدا کرد.

مقایسهٔ دو روش مستقیم و غیرمستقیم تبدیل متان به متانول

نمودار زیر دو روش تبدیل مستقیم و غیرمستقیم متان به متانول را نشان می‌دهد:



با توجه به این نمودار به نتایج مهم زیر می‌رسیم:

۱- گاز متان را به دو روش می‌توان تهیه کرد:

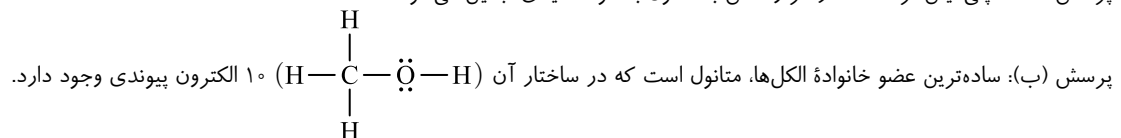
- { الف) گاز طبیعی موجود در میدان‌های نفتی
- { ب) زیست گاز (گاز حاصل از فضولات حیوانی)

۲- تولید غیرمستقیم متانول اثرات مخرب زیست محیطی بیشتری دارد و ردپای کربن دی‌اکسید را بیشتر افزایش می‌دهد؛ زیرا در این روش دما را باید به 450°C تا 550°C درجهٔ سلسیوس افزایش داد که این کار (تأمین دمای بالا) با مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی و در نتیجه تولید CO_2 بیشتر همراه است.

۳- تولید مستقیم متانول از گاز متان تعداد مراحل کمتری دارد، به همین دلیل به انرژی کمتری نیاز دارد. این در حالی است که روش غیرمستقیم تبدیل گاز متان به متانول در دماهای بالا انجام شده و نیاز به انرژی زیادی دارد.

بررسی پرسش‌ها:

پرسش (الف): پلی‌اتیلن ترفتالات در اثر واکنش با متانول به مواد مفیدی تبدیل می‌شود.



پرسش (پ): متانول (ساده‌ترین عضو خانوادهٔ الکل‌ها) را می‌توان از چوب تهیه کرد.

B ۳۹۳ ۲ عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): متانول مایعی بی‌رنگ، بسیار سمی و ساده‌ترین عضو خانوادهٔ الکل‌هاست. از آن‌جا که این الکل کاربردهای زیادی در صنایع گوناگون دارد، باید آن را در مقیاس صنعتی به مقدار زیادی تولید کرد.

عبارت (ب): در صنعت برای تهیهٔ متانول گاز کربن مونوکسید را با گاز هیدروژن در شرایط مناسب و در حضور کاتالیزگر واکنش می‌دهند.

عبارت (پ): مواد واکنش‌دهنده برای واکنش تولید متانول در دسترس نیستند؛ از این رو نخست باید آن‌ها را تولید و سپس به متانول تبدیل کرد.

عبارت (ت): دمای 350°C ، حضور کاتالیزگر و فشار $30-50\text{ atm}$ شرایط انجام واکنش تولید متانول از گازهای CO و H_2 در صنعت است.



روش اول (ضریب تبدیل): گاز ناقطبی، H_2 می‌باشد که با توجه به حجم مصرفی آن، مقدار نظری الکل را می‌توانیم به دست آوریم:

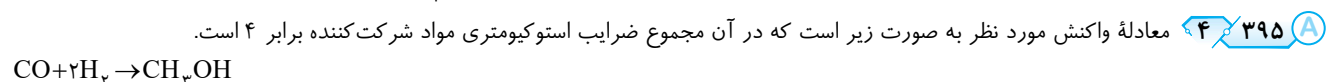
$$? \text{ g CH}_3\text{OH} = 17/92 \text{ L H}_2 \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{22/4 \text{ L H}_2} \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{2 \text{ mol H}_2} \times \frac{32 \text{ g CH}_3\text{OH}}{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}} = 12/8 \text{ g CH}_3\text{OH}$$

$$\frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 \Rightarrow 60 = \frac{x \text{ g CH}_3\text{OH}}{12/8 \text{ g CH}_3\text{OH}} \times 100 \Rightarrow x = 7/68 \text{ g CH}_3\text{OH}$$

مقدار عملی الکل را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{\text{بازده درصدی} \times \text{حجم گاز هیدروژن}}{100} = \frac{\text{جرم متانول}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{17/92 \times 60}{100} = \frac{x}{2 \times 22/4} \Rightarrow x = 7/68 \text{ g}$$

روش دوم (تناسب):



بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): یکی دیگر از روش‌های تولید صنعتی متانول، استفاده از گاز متان می‌باشد.

گزینه (۲): به منظور تهیهٔ متانول از گازهای CO و H_2 فشاری بین 30°C تا 50°C اتمسفر لازم است. فشار در شرایط STP برابر یک اتمسفر می‌باشد.

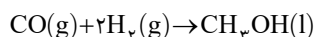
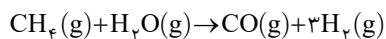
گزینه (۳): دمای این واکنش برابر 350°C یا 623 K است.

گزینه ۴: گاز متان به دلیل این که یک هیدروکربن سیر شده است، واکنش پذیری بسیار کمی دارد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه ۱: گازهای کربن مونوکسید و هیدروژن که برای تهیه صنعتی متانول به کار می‌روند، در دسترس نیستند و از واکنش بخار آب و گاز متان تولید می‌شوند.
گزینه ۲: واکنش انجام شده به صورت زیر است و مجموع ضرایب استوکیومتری در آن برابر ۶ است. $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{کاتالیزگر}} \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$
گزینه ۳: گاز متان سازنده اصلی گاز طبیعی است که در میدان‌های نفتی به فراوانی یافت می‌شود.

گزینه ۳: عبارتهای (پ) و (ت) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): تبدیل مستقیم گاز متان به متانول فرایندی دشوار است و در حضور کاتالیز گر و $\text{O}_2(\text{g})$ انجام می‌شود.



عبارت (ب): واکنش‌های انجام شده به صورت روبه‌رو هستند:

همان‌طور که مشخص است ضرایب مولی گاز هیدروژن در دو واکنش متفاوت است.

عبارت (پ): به دلیل اهمیت متانول در صنایع گوناگون از یک سو و ارزان بودن گاز متان از سوی دیگر، پژوهش‌های شیمیایی زیادی در حال انجام است تا بتوان روشی برای تبدیل گاز متان به متانول پیدا کرد.

عبارت (ت): در این واکنش عدد اکسایش هیدروژن از صفر در H_2 به (+۱) در متانول CH_3OH رسیده است، پس اکسایش یافته و نقش کاهنده را دارد.

گزینه ۲: قسمت‌های A و C درست بیان شده‌اند. قسمت B دمای 450°C تا 550°C و قسمت D، گاز اکسیژن O_2 است.

گزینه ۲: در واکنش (b) عدد اکسایش اتم هیدروژن در بخار آب (H_2O) از (+۱) به صفر در هیدروژن (H_2) رسیده است، پس کاهش یافته و نقش اکسنده را دارد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه ۱: در واکنش (a) عدد اکسایش اتم کربن از (+۲) در CO به (-۲) در CH_3OH رسیده است (عدد اکسایش کاهش یافته است)، پس کاهش یافته و نقش اکسنده را دارد.

گزینه ۳: عدد اکسایش اتم کربن در متان (-۴) و در کربن مونوکسید (+۲) است و مجموع آن‌ها برابر (-۲) است، در حالی که در این واکنش ۲ اتم اکسیژن با عدد اکسایش (-۲) و مجموع عدد اکسایش (-۴) وجود دارد.

گزینه ۴: هر چهار اتم هیدروژن موجود در ترکیب CH_3OH دارای عدد اکسایش (+۱) هستند و با یکدیگر تفاوتی ندارند.

گزینه ۲: **بررسی پرسش‌ها:** پرسش (الف): در واکنش (a) دو پسماند X و Y تولید شده‌اند اما در واکنش (b) همه واکنش‌دهنده‌ها به مواد ارزشمند تبدیل شده‌اند. (Z و A)

پرسش (ب): واکنشی که شمار بیشتری از اتم‌های واکنش‌دهنده را به فراورده‌های سودمند تبدیل کند، واکنشی به صرفه‌تر از دیدگاه اتمی است که واکنش (b) این شرایط را دارد.

پرسش (پ): هرچه بازده درصدی یک واکنش پایین‌تر باشد، اختلاف مقدار نظری و مقدار عملی برای فراورده تولید شده بیشتر خواهد بود. واکنش (a) بازده درصدی پایین‌تری دارد.

گزینه ۱: عبارتهای (ب)، (پ) و (ت) نادرست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): گاز متان را می‌توان به دو روش تهیه کرد: ۱- گاز طبیعی موجود در میدان‌های نفتی ۲- زیست گاز (گاز حاصل از فضولات حیوانی)

عبارت (ب): به صرفه بودن واکنش‌های شیمیایی از دیدگاه اتمی یعنی این که شمار بیشتری از اتم‌های واکنش‌دهنده به فراورده‌های سودمند تبدیل شوند. سودمند بودن فراورده در به صرفه بودن واکنش شیمیایی مهم‌ترین اصل است.

عبارت (پ): تولید غیرمستقیم متانول اثرات مخرب زیست محیطی بیشتری دارد و ردپای کربن دی‌اکسید را بیشتر افزایش می‌دهد. زیرا در این روش دما را باید 450°C تا 550°C درجه سلسیوس افزایش داد که این کار با مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی و در نتیجه تولید CO_2 بیشتر همراه است.

عبارت (ت): در مرحله دوم روش غیرمستقیم به دمای 350°C و در مرحله اول به دمای 450°C تا 550°C نیاز است.

گزینه ۴: روش مستقیم تهیه متانول از گاز متان، واکنش $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ است. در این واکنش عدد اکسایش اتم کربن در متان و متانول به ترتیب برابر با (-۴) و (-۲) است. بنابراین تغییر عدد اکسایش اتم کربن در این واکنش برابر (+۲) است.

مرحله اول روش غیرمستقیم تهیه متانول از متان، واکنش $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ است. در این واکنش عدد اکسایش اتم کربن در متان و کربن مونوکسید به ترتیب برابر با (-۴) و (+۲) است. بنابراین تغییر عدد اکسایش اتم کربن در این واکنش برابر (+۶) است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه ۱: معادله واکنش مورد نظر به صورت $\text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{O}_2 \rightarrow \text{A} + \text{Z}$ است. در این واکنش پسماندی تولید نمی‌شود و Z یک حلال صنعتی و A ماده مورد نظر است.

گزینه ۲: معادله واکنش به صورت $\text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{A} + \text{X} + \text{Y}$ است. در این واکنش X و Y پسماند هستند، بنابراین دو فراورده به عنوان پسماند تولید می‌شود.

گزینه ۳: متان جزء اصلی گاز شهری را تشکیل می‌دهد. دقت کنید که گاز متان با کاتالیزگر وارد واکنش نمی‌شود. در واقع کاتالیزگر در واکنش شرکت نمی‌کند و در پایان واکنش دست نخورده باقی می‌ماند.

گزینه ۱: هر چهار عبارت داده شده درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): با افزایش فشار در تعادل $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ ، تعادل به سمت تولید آمونیاک بیشتر پیش می‌رود اما به دلیل کاهش حجم، غلظت همه گونه‌ها افزایش می‌یابد.

عبارت (ب): اتیل استات از واکنش میان اتانول (الکل سازنده) و استیک اسید (اسید سازنده) تشکیل شده است که هر دو ماده دارای ۲ اتم کربن هستند.

عبارت (پ): ساده‌ترین الکل (متانول) در مقیاس صنعتی از واکنش گازهای H_2 و CO در دمای $350^\circ C$ به‌دست می‌آید.

عبارت (ت): گازهای دو اتمی موجود در اکزوز خودرو NO و CO هستند که در واکنش‌های انجام شده روی آن‌ها در مبدل کاتالیستی، ضریب اکسیژن برابر است.



واکنش گاز NO_2 با گاز اکسیژن، همچنین واکنش مربوط به تولید اتیل اتانوات (استات) به‌صورت زیر است:



بررسی سایر گزینه‌ها:

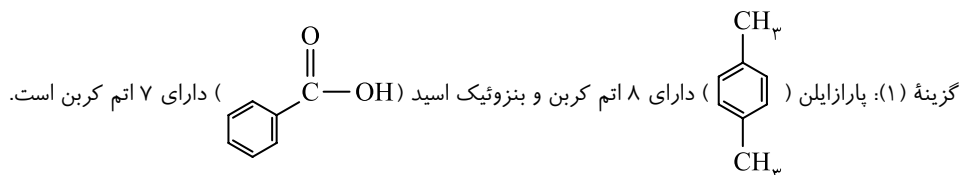
گزینه (۱): فرمول ترکیب یونی کلسیم پرمنگنات به‌صورت $Ca(MnO_4)_2$ است و در هر واحد فرمولی این ترکیب ۱۱ اتم دیده می‌شود.

گزینه (۲): در ساختار پارازایلن ۱۰ و در ساختار ترفتالیک اسید ۶ اتم هیدروژن وجود دارد و تفاوت تعداد اتم‌های هیدروژن آن‌ها برابر ۴ است.

گزینه (۴): هر دو مونومر سازنده پلیمر بطری آب، یعنی ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول را نمی‌توان به‌طور مستقیم از نفت خام به‌دست آورد.

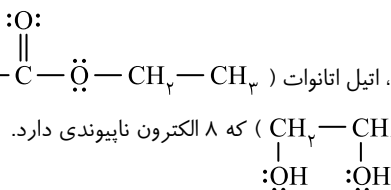
تنها مورد آخر توصیف نادرستی دارد، این واکنش در دمای $350^\circ C$ انجام می‌گیرد.

اثر تغییر دما بر تعادل‌های گوناگون یکسان نیست و به گرماده یا گرماگیر بودن آن‌ها بستگی دارد، در حالی که اثر تغییرات حجم یا غلظت به گرماگیر یا گرماده بودن واکنش بستگی ندارد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**



گزینه (۳): در اثر افزودن گاز NO_2 به سامانه تعادلی با وجود این که در جهت مصرف آن پیش می‌رود اما غلظت نهایی این گاز بیشتر شده و همین امر باعث افزایش رنگ سامانه می‌شود.

گزینه (۴): فراورده واکنش اتانول و اتانویک اسید، اتیل اتانوات (دارای ۸ الکترون ناپیوندی دارد و مونومر الکلی سازنده پلی‌اتیلن ترفتالات، اتیلن گلیکول است (دارای ۸ الکترون ناپیوندی دارد.



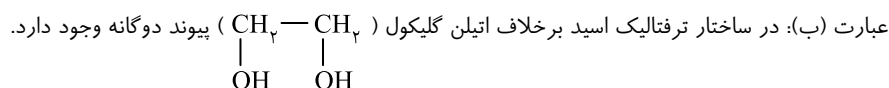
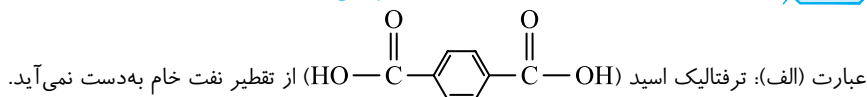
واکنش (۲)، گرماده است، بنابراین طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش دما، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد، اما میزان افزایش سرعت واکنش برگشت (که q در آن سمت قرار دارد) بیشتر است، بنابراین سرعت واکنش برگشت، نسبت به واکنش رفت بیشتر افزایش می‌یابد. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در اثر افزایش غلظت مواد، ثابت تعادل تغییری نمی‌کند. ثابت تعادل فقط تابع دما است.

گزینه (۳): در اثر تغییر حجم برای این واکنش چون تعداد مول‌های گازی طرفین با هم برابر است، تعادل به هم نمی‌خورد و جابه‌جا نمی‌شود، پس سرعت واکنش در هر دو جهت به یک میزان و نسبت افزایش می‌یابد.

گزینه (۴): تعداد مول گازی دو طرف معادله واکنش (۱) برابر است، بنابراین افزایش فشار، نمی‌تواند باعث جابه‌جایی تعادل شود، در واقع سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت به یک نسبت افزایش می‌یابد.

عبارت‌های (الف) و (ت) نادرست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**



عبارت (پ): اگر ماده جدیدی که قرار است سنتز شود، گروه‌های عاملی بیشتری داشته باشد، سنتز آن دشوارتر است.

عبارت (ت): امروزه سالانه ۴۰۰ میلیون تن مواد پلاستیکی در جهان تولید می‌شود.

بررسی عبارت‌ها: عبارت (الف): پتاسیم پرمنگنات همانند گاز اکسیژن خاصیت اکسندگی دارد.

عبارت (ب): در این واکنش یون پرمنگنات به منگنز (IV) اکسید تبدیل می‌شود. عدد اکسایش اتم Mn در یون پرمنگنات (MnO_4^-) برابر ۷ و در منگنز

(IV) اکسید (MnO_2) برابر ۴ است. پس تغییر عدد اکسایش اتم منگنز برابر ۳ است.

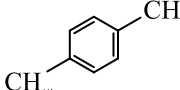
عبارت (پ): پلی‌اتیلن ترفتالات همانند پلیمرهای سنتزی ماندگاری زیادی دارد.

۴۱۰ (A) واکنش انجام شده به صورت $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ است که مجموع ضرایب مولی مواد در آن برابر ۶ است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): پلی استرها را می‌توان به مونومرهای سازنده‌شان تبدیل کرد. (واکنش آبکافت پلی استر)
گزینه (۳): کتون‌ها، آلدهیدها و آمین‌ها از الکل‌ها قابل تهیه هستند.

گزینه (۴): میزان گاز NO_2 موجود در هوا که رنگ قهوه‌ای دارد، در ساعات ابتدایی صبح بیشتر از ساعات انتهایی شب است.

۴۱۱ (B) همه عبارت‌ها درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): در ساختار پارازایلین () همانند بنزن () پیوند دوگانه وجود دارد.

عبارت (ب): در ترفتالیک اسید، ۴ و در اتیلن گلیکول، ۲ اتم اکسیژن وجود دارد.

عبارت (پ): در حضور کاتالیزگر نباید واکنش‌های ناخواسته دیگری انجام شود تا کاتالیزگر روی واکنش مربوطه تأثیرگذار باشد و در واکنش دیگری مصرف نشود.

عبارت (ت): پلاستیک‌ها زیست تخریب ناپذیرند، در همه جای کره زمین یافت می‌شوند و بازیافت آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

۴۱۲ (A) ساختار ترفتالیک اسید به صورت $(HO-C(=O)-C_6H_4-C(=O)-OH)$ است که تعداد اتم‌های اکسیژن موجود در آن یک واحد کمتر از تعداد پیوندهای دوگانه موجود در آن است. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): با انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی روی پلاستیک‌های قابل بازیافت مانند پلی‌اتیلن ترفتالات می‌توان آن‌ها را به مواد قابل استفاده تبدیل کرد.

گزینه (۳): مواد خام و اولیه، موادی مانند سنگ معدن و نفت خام و هوا هستند که فراوری نشده‌اند و با استفاده از آن‌ها می‌توان مواد شیمیایی جدید تولید کرد.

گزینه (۴): ورقه‌های مسی از سنگ معدن مس گران‌تر است و با تبدیل سنگ معدن مس به ورقه‌های مسی می‌توان به اقتصاد کشور کمک کرد.

۴۱۳ (A) به دلیل این که اتم اکسیژن قدرت الکترون‌گیری بیشتری نسبت به اتم کربن دارد، در این واکنش‌ها اتم اکسیژن الکترون گرفته و کاهش می‌یابد و اتم کربن اکسید می‌شود. البته ممکن است عدد اکسایش برخی از اتم‌های کربن بدون تغییر باقی بمانند. **بررسی سایر گزینه‌ها:**

گزینه (۱): در هوای آلوده هیدروکربن‌های نسوخته (C_xH_y) هم دیده می‌شود که در دسته مواد آلی قرار دارند و همچنین هوای آلوده حاوی مواد آلی فرار است.

گزینه (۲): در اثر افزودن محلول $AgNO_3$ به این تعادل، یون Ag^+ با یون Cl^- تشکیل رسوب $AgCl$ را می‌دهد. در نتیجه از غلظت یون کلرید کاسته

شده و واکنش در جهت رفت (تولید Cl^-) جابه‌جا می‌شود که این امر موجب کاهش جرم آمونیوم کلرید می‌گردد.

گزینه (۴): اتیل استات و اتانال را به‌طور غیرمستقیم از گاز اتن تهیه می‌کنند:

۱) اتانال → اتانول → اتن

۲) اتن $\left\{ \begin{array}{l} \xrightarrow{+H_2O} \text{اتانول} \\ \xrightarrow{\text{استیک اسید}} \text{اتانول} \end{array} \right\} \rightarrow \text{اتیل استات}$

پلی اتن → اتن
اتن $\xrightarrow{+H_2}$ اتان

توجه: گاز اتان و پلی‌اتن را می‌توان به‌طور مستقیم از گاز اتن تهیه کرد:

۴۱۴ (C) ابتدا هر ۴ واکنش را کامل می‌کنیم:

(A) $\left\{ \begin{array}{l} \text{اتانول} \xrightarrow[\text{(E)}]{\text{سولفوریک اسید}} \text{آب (A)} + \text{گاز اتن} \\ \text{آب} + \text{اتیل استات} \xrightarrow[\text{(F)}]{\text{سولفوریک اسید}} \text{استیک اسید (B)} + \text{اتانول} \end{array} \right\}$ (ب) $\left\{ \begin{array}{l} \text{اتیلن گلیکول (D)} \rightarrow \text{محلول آبی و رقیق پتاسیم پرمنگنات} + \text{گاز اتن} \\ \text{PET} \rightarrow \text{ترفتالیک اسید (C)} + \text{اتیلن گلیکول} \end{array} \right\}$

بررسی گزینه‌ها:

گزینه (۱): E و F هر دو سولفوریک اسید هستند که یک اسید قوی دو پروتون‌دار می‌باشند.

گزینه (۲): B استیک اسید (کربوکسیلیک اسید یک‌عاملی) و C ترفتالیک اسید (کربوکسیلیک اسید دوعاملی) است.

گزینه (۳): D اتیلن گلیکول است که یک الکل دوعاملی است.

گزینه (۴): مولکول A، همان مولکول آب (H_2O) است.

۴۱۵ (B) عبارت‌های (الف) و (ب) درست هستند. **بررسی عبارت‌ها:**

عبارت (الف): گازی که در مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی برای حذف کامل آلاینده‌های NO و NO_2 استفاده می‌شود، NH_3 است. نقطه جوش این گاز $-33^\circ C$ است، بنابراین در دمای $-4^\circ C$ در حالت مایع قرار دارد.

عبارت (ب): منشأ کیفیت پایین سوخت‌های فسیلی عنصر گوگرد است. گاز آلاینده گوگردار، SO_2 است و این گاز منشأ ایجاد باران اسیدی است.

$S + O_2 \rightarrow SO_2$ $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

عبارت (پ): لایه کثیف و قهوه‌ای روشن که سطح شهرهای بزرگ را می‌پوشاند، لایه‌ای از گاز NO_2 است. غلظت این گاز در روزهای سرد زمستان بیشتر است.

عبارت (ت): گاز متان یک هیدروکربن سیر شده است و واکنش‌پذیری بسیار کمی دارد، بنابراین تبدیل مستقیم آن به متانول فرایندی دشوار است.

۴۱۶ فقط عبارت (پ) جمله داده شده را به درستی تکمیل می کند. بررسی عبارت ها:

عبارت (الف): در مولکول هایی مانند NO(g) و $\text{NO}_2(\text{g})$ اتم نیتروژن تک الکترون ناپیوندی دارد و به آرایش هشت تایی نرسیده است.



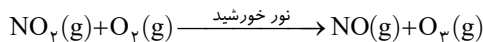
عبارت (ب): دگرشکل دیگر عنصر اکسیژن گاز اوزون است که در هوای آلوده یافت می شود.

عبارت (پ): رنگ قهوه ای هوای آلوده مربوط به مولکول $\text{NO}_2(\text{g})$ است که همانند اتیلن گلیکول دارای دو اکسیژن در فرمول مولکولی خود می باشد.

اتیلن گلیکول دارای ساختار $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$ و فرمول مولکولی $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ است.

عبارت (ت): در هوای آلوده هیدروکربن ها (C_xH_y) که در ساختار خود اکسیژن ندارند، نیز وجود دارند.

عبارت (ث): با افزایش مقدار NO_2 ، مقدار گاز O_3 نیز افزایش می یابد. زیرا در اثر نور خورشید واکنش زیر اتفاق می افتد.



۴۱۷ با توجه به وجود اتم اکسیژن، در گونه های CO(g) و NO(g) میزان حذف اتم های اکسیژن را از روی میزان حذف این دو گونه محاسبه می کنیم.

$\text{CO} = 5/38 \text{ g CO} = 5/61 \text{ g CO} - 5/99 \text{ g CO}$ جرم حذف شده

$5/38$ گرم گاز CO هنگام طی مسافت یک کیلومتر توسط خودرو حذف می شود.

$$? \text{ CO(g)} \quad \text{جرم گاز اکسیژن حذف شده از طریق CO(g)} = 5/38 \text{ g CO} \times \frac{1 \text{ mol CO}}{28 \text{ g CO}} \times \frac{1 \text{ mol O}}{1 \text{ mol CO}} = 0/19 \text{ mol O}$$

حال مقدار اکسیژن حذف شده از طریق حذف گاز NO هنگام طی مسافت یک کیلومتر را محاسبه می کنیم:

$$\text{NO} = 1 \text{ g NO} = 1/4 \text{ g NO} - 1/4 \text{ g NO}$$

$$? \text{ NO(g)} \quad \text{جرم گاز اکسیژن حذف شده از طریق NO(g)} = 1 \text{ g NO} \times \frac{1 \text{ mol NO}}{30 \text{ g NO}} \times \frac{1 \text{ mol O}}{1 \text{ mol NO}} = 0/3 \text{ mol O}$$

$$0/3 + 0/19 = 0/22 \quad (\text{مجموع تعداد مول اکسیژن حذف شده})$$

اکنون تعداد اتم های حذف شده اکسیژن هنگام طی مسافت یک کیلومتر را محاسبه می کنیم:

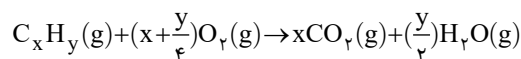
$$\text{اتم O} = 0/22 \times \frac{6/2 \times 10^{23} \text{ اتم O}}{1 \text{ mol O}} = 1/3244 \times 10^{23} \text{ اتم O}$$

حال مجموع تعداد کیلومترهای طی شده توسط خودروها را در مدت زمان مورد نظر محاسبه می کنیم:

$$\text{کیلومتر} = 6/3 \times 10^7 = 63000000 \text{ کیلومتر} = \frac{210 \text{ کیلومتر}}{1 \text{ روز}} \times \frac{150 \text{ روز}}{1 \text{ خودرو}} \times 2000 = 63000000 \text{ کیلومتر طی شده}$$

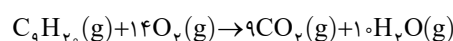
$$\text{اتم اکسیژن} = 1/3244 \times 10^{23} \text{ اتم O} \times \frac{63000000 \text{ کیلومتر}}{1 \text{ کیلومتر}} = 8/34 \times 10^{30} \text{ اتم اکسیژن}$$

۴۱۸ معادله واکنش سوختن کامل C_xH_y به صورت زیر است:

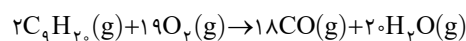


$$\frac{\text{جرم CO}_2}{\text{جرم H}_2\text{O}} = \frac{44(x)}{(\frac{y}{2})18} = \frac{44x}{9y} = \frac{2/2}{2/2} \Rightarrow \frac{44x}{9y} = \frac{2/2}{2/2} \Rightarrow 20x = 9y \Rightarrow \begin{cases} x=9 \\ y=20 \end{cases}$$

فرمول مولکولی هیدروکربن مورد نظر به صورت C_9H_{20} است. نیمی از این هیدروکربن به صورت کامل می سوزد:



$$\text{هوای هوا} = 784 \text{ L هوا} = \frac{14 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_9\text{H}_{20}} \times \frac{22/4 \text{ L O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \times \frac{5 \text{ L هوا}}{1 \text{ L O}_2} = 784 \text{ L هوا}$$



نیم دیگر از این هیدروکربن به صورت ناقص می سوزد:

$$\text{هوای هوا} = 532 \text{ L هوا} = \frac{19 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol C}_9\text{H}_{20}} \times \frac{22/4 \text{ L O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \times \frac{5 \text{ L هوا}}{1 \text{ L O}_2} = 532 \text{ L هوا}$$

$$\text{هوای هوا} = 784 \text{ L} + 532 \text{ L} = 1316 \text{ L}$$

دقت کنید که حدود ۲۰ درصد حجم هوا را گاز اکسیژن تشکیل می دهد.

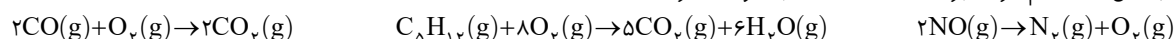
۴۱۹ (C) فقط عبارت (ب) نادرست است. بررسی عبارت‌ها:

عبارت (الف): اگر شیر (۱) را باز کنیم، حجم در اختیار مولکول‌های گاز افزایش می‌یابد. با افزایش حجم، غلظت هر دو گاز NO_2 و N_2O_4 کاهش می‌یابد. با کاهش غلظت NO_2 ، شدت رنگ سامانه تعادلی کاهش می‌یابد.

عبارت (ب): درون محفظه E، گاز N_2O_4 وجود دارد. اگر گاز درون این محفظه را به تعادل محفظه A بیفزاییم، تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت گاز NO_2 که قهوه‌ای رنگ است، افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت NO_2 ، شدت رنگ سامانه تعادلی افزایش می‌یابد.

عبارت (پ): اگر مخلوط تعادلی را از محفظه A به محفظه C انتقال دهیم، دمای مخلوط تعادلی افزایش می‌یابد، از این رو تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت مولکول‌های NO_2 افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت NO_2 ، شدت رنگ سامانه تعادلی افزایش می‌یابد.

عبارت (ت): درون محفظه D، گاز NO_2 وجود دارد. اگر گاز درون این محفظه را به تعادل محفظه A اضافه کنیم، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود، اما به دلیل این که تعادل به طور معمول نمی‌تواند اثر تغییر وارد شده را به طور کامل از بین ببرد، غلظت NO_2 در تعادل جدید بیشتر از تعادل اولیه می‌باشد و به همین دلیل، شدت رنگ سامانه تعادلی افزایش می‌یابد.

۴۲۰ (C) واکنش‌های انجام گرفته برای حذف آلاینده‌ها به صورت زیر است:


در دو واکنش اول گاز اکسیژن مصرف می‌شود. ابتدا باید مقدار گاز CO_2 تولیدی و گاز اکسیژن مصرفی را در واکنش دوم به کمک جرم بخار آب تولیدی

$$? \text{ g O}_2 = 162 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18 \text{ g H}_2\text{O}} \times \frac{8 \text{ mol O}_2}{6 \text{ mol H}_2\text{O}} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 384 \text{ g O}_2$$

محاسبه کنیم:

$$? \text{ g CO}_2 = 162 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18 \text{ g H}_2\text{O}} \times \frac{5 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol H}_2\text{O}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 330 \text{ g CO}_2$$

$$\text{مقدار CO}_2 \text{ تولیدی در واکنش اول} = 418 - 330 = 88 \text{ g CO}_2$$

به کمک مقدار CO_2 ، مقدار اکسیژن مصرف شده در واکنش اول را محاسبه می‌کنیم:

$$? \text{ g O}_2 = 88 \text{ g CO}_2 \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{44 \text{ g CO}_2} \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol CO}_2} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 32 \text{ g O}_2$$

$$\text{مجموع جرم گاز اکسیژن مصرف شده} = 384 + 32 = 416 \text{ g O}_2$$

۴۲۱ (C) عبارت K برای تعادل $\text{CaCO}_3\text{(s)} \rightleftharpoons \text{CaO(s)} + \text{CO}_2\text{(g)}$ به صورت $K = [\text{CO}_2]$ می‌باشد. K فقط تابع دما است، پس در این تعادل،

غلظت CO_2 ، فقط تابع دما می‌باشد. اگر در دمای ثابت، حجم ظرف دو برابر شود، ابتدا غلظت CO_2 کاهش می‌یابد، اما در اثر جابه‌جایی تعادل به سمت راست، کاهش غلظت CO_2 به طور کامل جبران شده و دوباره به همان غلظت قبلی می‌رسد. مقدار K و غلظت CO_2 در تعادل جدید با تعادل اولیه یکسان است. به همین ترتیب اگر غلظت CO_2 را در دمای ثابت افزایش دهیم، ابتدا غلظت گاز CO_2 افزایش یافته اما تعادل به سمت چپ جابه‌جا شده و تمام CO_2 اضافه شده را مصرف می‌کند و باز هم به همان غلظت اولیه می‌رسد.

۴۲۲ (C) اگر درجه (۱) را در دمای ثابت باز کنیم، سامانه واکنشی ما تبدیل به یک سامانه باز می‌شود و مولکول‌های CO_2 وارد هوا شده و دیگر واکنش

برگشت نمی‌تواند به خوبی انجام شود، از این رو دیگر تعادل نداریم و سرعت واکنش رفت از سرعت واکنش برگشت بیشتر می‌شود و این روند می‌تواند تا تجزیه تمام CaCO_3 ادامه پیدا کند.

اگر درجه (۲) را باز کنیم، هنوز یک سامانه بسته داریم، اما حجم ظرف واکنش که در آن CO_2 می‌تواند حرکت کند افزایش یافته است، بنابراین با باز شدن درجه (۲)، تعادل به سمت تعداد مول گازی بیشتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا شده و پس از مدتی یک تعادل جدید برقرار می‌شود. در صورت باز شدن هر دو درجه هم یک سامانه باز خواهیم داشت و دیگر تعادل برقرار نمی‌شود.

به خاطر داشته باشید که اگر در یک واکنش، ماده گازی داشته باشیم، تعادل تنها در صورتی برقرار می‌شود که واکنش مورد نظر در یک سامانه بسته انجام شود.

۴۲۳ فرض می‌کنیم ۱ مول NH_3 در سامانه ۰/۷۵ لیتری قرار داده شده و پس از مدتی تعادل برقرار می‌شود. پیشرفت ۰/۵ درصدی به این معنی است که نیمی از آمونیاک (۰/۵ مول آمونیاک) تجزیه می‌شود و سپس واکنش به تعادل می‌رسد. مطابق داده‌های سؤال داریم:

$$2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$$

تعداد مول در تعادل اولیه	۱	۰	۰
تغییر مول	-۲x	+x	+۳x
تعداد مول در تعادل جدید	۱-۲x	x	۳x

$$2x = 0.5 \Rightarrow x = 0.25 \text{ mol}$$

اکنون مقدار K را به دست می‌آوریم.

$$K = \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}{[\text{NH}_3]^2} = \frac{\left(\frac{x}{0.75}\right)\left(\frac{3x}{0.75}\right)^3}{\left(\frac{1-2x}{0.75}\right)^2} = \frac{\left(\frac{0.25}{0.75}\right)\left(\frac{3(0.25)}{0.75}\right)^3}{\left(\frac{1-2(0.25)}{0.75}\right)^2} = \frac{\frac{1}{3} \times \frac{27}{27}}{\left(\frac{2}{3}\right)^2} = 0.75$$

پیشرفت ۸۰ درصدی به این معنی است که ۸۰ درصد از آمونیاک تجزیه شده و سپس واکنش به تعادل می‌رسد. با فرض این که مقدار اولیه آمونیاک برابر ۱ مول است، داریم:

$$2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$$

تعداد مول در تعادل اولیه	۱	۰	۰
تغییر مول	-۲y	+y	+۳y
تعداد مول در تعادل جدید	۱-۲y	y	۳y

$$2y = \frac{80}{100} (1) \Rightarrow y = 0.4 \text{ mol}$$

اکنون از روی مقدار K، حجم سامانه را به دست می‌آوریم:

$$K = \frac{\left(\frac{y}{V}\right)\left(\frac{3y}{V}\right)^3}{\left(\frac{1-2y}{V}\right)^2} \Rightarrow 0.75 = \frac{\left(\frac{0.4}{V}\right)\left(\frac{1.2}{V}\right)^3}{\left(\frac{0.2}{V}\right)^2} \Rightarrow \frac{3}{4} = \frac{0.4 \times 1.2^3}{0.2 \times V^2} \Rightarrow V^2 = \frac{2 \times 0.4 \times 1.2^3}{0.2 \times 3} \Rightarrow V = 4 \times 1.2 = 4.8 \text{ L}$$

۴۲۴ a، نشان‌دهنده تعداد مول O_2 در تعادل اولیه است، می‌توانیم با استفاده از مقدار K، این عدد را به دست آوریم.

$$K = \frac{[\text{SO}_2]^2}{[\text{SO}_2][\text{O}_2]} \Rightarrow 100 = \frac{\left(\frac{0.6 \text{ mol}}{\Delta L}\right)^2}{\left(\frac{0.3 \text{ mol}}{\Delta L}\right)\left(\frac{a \text{ mol}}{\Delta L}\right)} \Rightarrow a = 0.2 \text{ mol}$$

با کاهش حجم، تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر، یعنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود، بنابراین تعداد مول گازهای SO_2 و O_2 کاهش و تعداد مول SO_3 افزایش می‌یابد. البته این تغییرات مول با توجه به نسبت ضریب استوکیومتری آن‌ها انجام می‌شود.

$$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$$

تعداد مول در تعادل اولیه	۰/۳	۰/۲	۰/۶
تغییر مول	-۲x	-x	+۲x
تعداد مول در تعادل جدید	۰/۳-۲x	۰/۲-x	۰/۶+۲x

با استفاده از غلظت مولی SO_3 در تعادل جدید و حجم ظرف می‌توانیم تعداد مول این ماده را در تعادل جدید به دست آورده و سپس با توجه به آن، مقدار x را پیدا کنیم.

$$[\text{SO}_3]_{\text{تعداد جدید}} = 0.115 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow \text{تعداد مول SO}_3 \text{ در تعادل جدید} = 0.115 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 2 \text{ L} = 0.23 \text{ mol}$$

$$\Rightarrow 0.3 - 2x = 0.23 \Rightarrow x = 0.035 \text{ mol}$$

$$[\text{SO}_2]_{\text{تعداد جدید}} = b = \frac{(0.6 + 2x) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.335 \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow a + b = 0.2 + 0.335 = 0.535$$

حجم ظرف یک لیتر است پس غلظت گازهای A, B, C و D به ترتیب برابر ۱، ۲ و ۵ مول بر لیتر است.

۴۲۵ C

$$K_1 = \frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{2 \times 5}{1 \times 1} = 10$$

مقدار K اولیه را محاسبه می‌کنیم:

با افزایش دما مقدار ثابت تعادل به $\frac{1}{10}$ مقدار اولیه خود یعنی ۱ رسیده است. بنابراین تعادل گرماده است و در اثر افزایش دما به سمت چپ می‌رود.

	A + B $\rightleftharpoons$ C + D			
غلظت اولیه	۱	۱	۲	۵
تغییرات غلظت	+x	+x	-x	-x
غلظت نهایی	۱+x	۱+x	۲-x	۵-x

$$K_2 = \frac{1}{10} K_1 = \frac{1}{10} (10) = 1 \Rightarrow K_2 = \frac{(5-x)(2-x)}{(1+x)^2} = 1 \Rightarrow x^2 + 2x + 1 = x^2 - 7x + 10 \Rightarrow 9x = 9 \Rightarrow x = 1$$

پس غلظت‌های گازهای A, B, C و D به ترتیب برابر ۲، ۲ و ۱ و ۴ مول بر لیتر می‌شود.

با افزایش ۳ مول C، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود اما مقدار K تغییر نخواهد کرد.

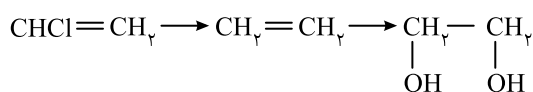
	A + B $\rightleftharpoons$ C + D			
غلظت در نخستین لحظه تغییر	۲	۲	۱+۳	۴
تغییر غلظت	+x'	+x'	-x'	-x'
غلظت نهایی	۲+x'	۲+x'	۴-x'	۴-x'

$$K_3 = K_2 = 1 \Rightarrow K_3 = \frac{(4-x')^2}{(2+x')^2} = 1 \Rightarrow \frac{4-x'}{2+x'} = 1 \Rightarrow 4-x' = 2+x' \Rightarrow x' = 1$$

پس غلظت B در نهایت به ۳ مول بر لیتر می‌رسد.

کلرو اتن ابتدا به آلکن و سپس آلکن حاصل به اتیلن گلیکول تبدیل می‌شود.

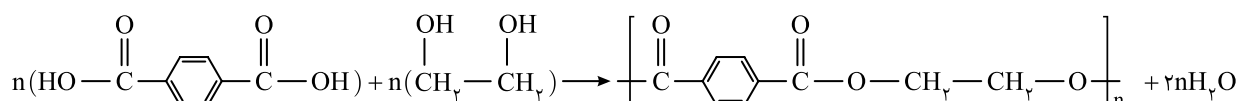
۴۲۶ C



تمام نسبت‌ها نیز یک به یک است. پس می‌توان نوشت:

$$? \text{ g C}_2\text{H}_4\text{O}_2 = 1775 \text{ g Cl} \times \frac{1 \text{ mol Cl}}{35.5 \text{ g Cl}} \times \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_3\text{Cl}}{1 \text{ mol Cl}} \times \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4\text{F}}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_3\text{Cl}} \times \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4\text{O}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4\text{F}} = 50 \text{ mol C}_2\text{H}_4\text{O}_2$$

حال از اتیلن گلیکول طبق واکنش زیر پلی‌اتیلن ترفتالات ساخته می‌شود:



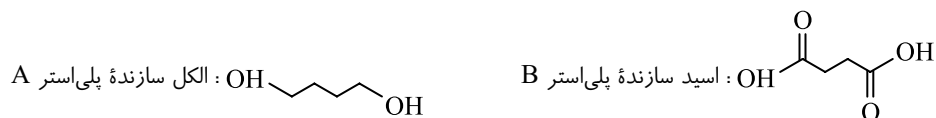
با توجه به واکنش بالا و تعداد مول به دست آمده برای اتیلن گلیکول، n برابر است با ۵۰.

فرمول مولکولی پلی‌اتیلن ترفتالات $(\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4)_n$ است، حال جرم آن را محاسبه می‌کنیم:

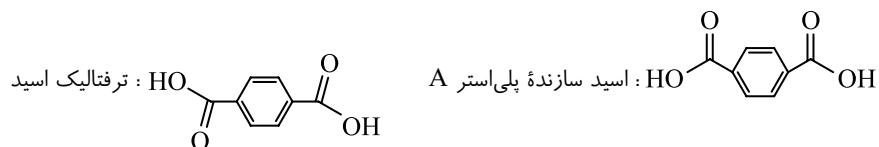
$$50 \times (192) = 9600 \text{ g پلی‌اتیلن ترفتالات}$$

۴۲۷ © عبارت‌های (الف)، (ب) و (پ) درست هستند. بررسی عبارت‌ها:

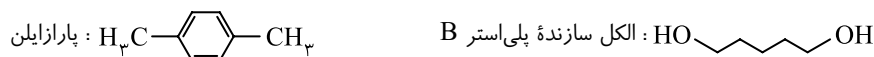
عبارت (الف):



هر دو ترکیب دارای چهار اتم کربن هستند.
عبارت (ب): اسید سازنده پلی‌استر A، همان ترفتالیک اسید است و دارای ۵ پیوند دوگانه است.

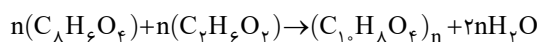


با توجه به ساختارهای بالا، هر دو ترکیب پنج پیوند دوگانه دارند.
عبارت (پ): تعداد پیوندهای بین مونومرها در هر پلیمر خطی، از تعداد مونومرها یک واحد کمتر است.
این دو پلی‌استر هر دو پلیمر خطی هستند، پس در صورت برابری تعداد مونومرها، تعداد پیوند بین مونومرها در دو پلی‌استر برابر است.
عبارت (ت):



با توجه به ساختارهای بالا فرمول مولکولی الکل سازنده پلی‌استر B، $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_2$ است. همچنین فرمول مولکولی پارازایلین C_8H_{10} است. پس تعداد اتم‌های هیدروژن این دو ترکیب یکسان نیست.

۴۲۸ © واکنش تولید پلی‌اتیلن ترفتالات را می‌نویسیم:



$$2n = 50 \Rightarrow n = 25 \quad , \quad \text{مجموع ضرایب واکنش دهنده‌ها در واکنش}$$

پس ۲۵ مول اتیلن گلیکول مصرف شده است:

$$? \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4 = 25 \text{ mol C}_8\text{H}_{18}\text{O}_2 \times \frac{62 \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4}{1 \text{ mol C}_8\text{H}_8\text{O}_4} = 1550 \text{ g C}_8\text{H}_8\text{O}_4$$