فصل اول سینتیک شیمیایی

بخش اول

سرعت واکنش‌های شیمیایی

۱. برخی شیمیدان‌ها در پی: (کدام گزینه عبارت درستی را بیان نمی‌کند؟

۱) سرعت بخشیدن به واکنش‌های پربازده برای افزایش طول عمر مواد واکنش‌دهنده هستند.

۲) یافتن واکنش‌هایی هستند که در مدتی کوتاه مقدار زیادی فرآورده‌ی خالص مقرون به صرفه تولید کنند.

۳) یافتن راهی برای کاهش سرعت و یا توقف واکنش‌های ناخواسته، برای استفاده‌ی بیش‌تر از فرآورده‌ها هستند.

۴) ایجاد شرایط مناسب برای نگه‌داری و افزایش طول عمر فرآورده‌ها هستند.

جعبه‌ی آموزش!

اهمیت سرعت در شیمی

● برخی شیمیدان‌ها در پی **سرعت بخشیدن** به واکنش‌ها یا **یافتن** واکنش‌های **پربازده** برای تولید یک فرآورده‌ی شیمیایی هستند. (واکنش پربازده، واکنشی است که در **مدتی کوتاه مقدار چشم‌گیری فرآورده** تولید کند، فرآورده‌ای **خالص** که **تولید آن به‌صرفه** باشد.)

● برخی شیمیدان‌ها در پی یافتن راهی برای **کاهش سرعت** یا **متوقف کردن** واکنش‌های **ناخواسته** مانند زنگ زدن و از بین رفتن فلزها می‌باشند، تا شاید از این طریق شرایط مناسبی برای **نگه‌داری و افزایش طول عمر فرآورده‌ها**ی شیمیایی بیابند و امکان استفاده از آن‌ها را برای مدت بیش‌تری تضمین کنند. *مثلاً در یک کارخانه‌ی خودکار سازی، بعضی‌ها پول می‌گیرند که سرعت تولید کارخانه را بالا ببرند (تا کارخانه بازار را قبضه کند.) و بعضی‌ها پول می‌گیرند که سرعت زنگ زدن فلزهای موجود در خودکار را کاهش بدهند. (تا کیفیت کالا بالا برود.)*

پاسخ: با انجام یک واکنش پربازده، در مدتی کوتاه مواد واکنش‌دهنده مصرف شده و مواد فرآورده حاصل می‌شوند. پس در گزینه‌ی ۱ به جای واکنش دهنده باید می‌گفت فرآورده.

☺ ✓

★۲. **واکنش پربازده واکنشی است که در:** (کامل‌ترین تعریف را انتخاب کنید.)

۱) زمان انجام واکنش، بیش‌ترین محصول ممکن را تولید می‌کند.

۲) کم‌ترین زمان ممکن، بیش‌ترین محصول خالص را تولید می‌کند.

۳) بیش‌ترین زمان، بیش‌ترین محصول خالص را تولید می‌کند.

۴) زمان انجام واکنش، کم‌ترین محصول را با بهترین کیفیت تولید می‌کند.

پاسخ: واکنش پربازده، واکنشی است که در مدتی کوتاه مقدار چشم‌گیری فرآورده تولید کند، فرآورده‌ای خالص که تولید آن به صرفه باشد. در مورد گزینه‌ی

(۱) و (۴) باید بدانید که زمان انجام واکنش ممکن است طولانی باشد و در این دو گزینه باید به زمان کم نیز اشاره می‌شد.

★۳. کدام یک از موردهای زیر، موضوع مورد بحث در علم سینتیک شیمیایی نمی‌باشد؟

۱) بررسی ساختار و ویژگی مواد شرکت‌کننده در واکنش
۲) بررسی چگونگی انجام واکنش‌ها
۳) بررسی عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌ها
۴) بررسی امکان انجام واکنش‌ها

جمع‌بندی آموزش!

سینتیک و ترمودینامیک شیمیایی

◄ سینتیک شیمیایی، شاخه‌ای از علم شیمی است که به مطالعه‌ی موارد زیر در واکنش‌های شیمیایی می‌پردازد:

۱. **سرعت** واکنش‌ها

۲. **چگونگی انجام واکنش‌ها** (بررسی **ساختار و ویژگی مواد** شرکت‌کننده در واکنش و **ساز و کار واکنش‌ها**)

۳. **عوامل مؤثر بر سرعت** واکنش‌ها

۴. **چگونگی کنترل سرعت واکنش‌ها و روش‌های افزایش یا کاهش سرعت آن‌ها** (**شرایط بهینه** برای انجام واکنش‌ها)

◄ ترمودینامیک شیمیایی، شاخه‌ای از علم شیمی است که به مطالعه‌ی موارد زیر می‌پردازد:

۱. **امکان انجام** واکنش‌ها (بررسی **تغییر آنتالپی و آنتروپی** واکنش‌ها و **تعیین انرژی آزاد گیبس**)

۲. **خودبخودی** بودن یا نبودن واکنش‌ها

۳. جهت **پیشرفت** واکنش‌ها

● ترمودینامیک با تعیین سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌ها (تعیین آنتالپی یا ΔH)، تغییر میزان بی‌نظمی (تغییر آنتروپی یا ΔS) و تعیین انرژی آزاد گیبس (ΔG) امکان انجام واکنش و جهت پیشرفت واکنش شیمیایی را پیش‌بینی می‌کند ولی درباره‌ی این که واکنش با چه سرعتی انجام می‌شود، بحث نمی‌کند.

● به همین دلیل، واکنش‌های زیادی وجود دارند که **ترمودینامیک امکان** انجام آن‌ها را **پیش‌بینی می‌کند، ولی از نظر سینتیک** شیمیایی، **راه مناسبی** برای انجام آن‌ها **وجود ندارد**.

● بنابراین **سینتیک شیمیایی و ترمودینامیک** را می‌توان **مکمل** هم دانست.

◄ **توجه: خودبخودی بودن** یک واکنش از دید ترمودینامیک **به این معنا نیست که واکنش** یاد شده **باید با سرعت انجام شود**. مثلاً از نظر ترمودینامیک شیمیایی واکنش شیمیایی که $\Delta G < 0$ دارد ($\Delta H < 0$ و $\Delta S > 0 \Leftarrow \Delta G = \Delta H - T.\Delta S < 0$) خودبخودی است. حال این واکنش ممکن است از نظر سینتیک شیمیایی به سرعت انجام شود و یا واکنشی کند باشد. مانند زنگ زدن آهن که از نظر ترمودینامیک این واکنش خودبه‌خودی است. ($\Delta G < 0$) در حالی که سرعت زنگ زدن بسیار آهسته است مگر در شرایط خاصی، مثلاً وجود نمک یا اسید در محیط سرعت زنگ زدن را افزایش می‌دهد.

سینتیک	ترمودینامیک
ـ چگونگی انجام واکنش	ـ امکان انجام واکنش
ـ سریع و آهسته بودن واکنش	ـ خودبه‌خودی بودن واکنش

● برای این که یک واکنش شیمیایی به صورت قابل ملاحظه‌ای انجام شود، دو شرط باید وجود داشته باشد:

۱. از نظر ترمودینامیکی امکان انجام آن وجود داشته باشد.

۲. از نظر سینتیکی شرایط مناسب و سرعت مناسب داشته باشد.

پاسخ: بررسی امکان انجام واکنش‌ها مربوط به علم ترمودینامیک شیمیایی است نه سینتیک شیمیایی.

۴. کدام یک از موردهای زیر موضوع مورد بحث در علم ترمودینامیک شیمیایی نمی‌باشد؟

۱) خودبخودی بودن واکنش‌ها
۲) امکان انجام واکنش‌ها
۳) ساز و کار واکنش‌ها
۴) جهت پیشرفت واکنش‌ها

پاسخ: بررسی ساز و کار واکنش‌ها یا چگونگی انجام واکنش‌ها مربوط به علم سینتیک شیمیایی است نه ترمودینامیک شیمیایی. سینتیک شیمیایی با بررسی ساختار و ویژگی مواد شرکت‌کننده در واکنش، ساز و کار واکنش را مورد مطالعه قرار می‌دهد.

★۵. کدام یک از گزینه‌های زیر عبارت درستی را بیان نمی‌کند؟

۱) واکنش‌های بسیاری وجود دارد که ترمودینامیک امکان وقوع آن‌ها را پیش‌بینی می‌کند.

۲) واکنش‌های بسیاری وجود دارد که از دید سینتیک راه مناسبی برای وقوع آن‌ها وجود ندارد.

۳) خودبخودی بودن یک واکنش به این معناست که واکنش باید به سرعت انجام شود.

۴) سینتیک شیمیایی و ترمودینامیک شیمیایی را می‌توان مکمل یکدیگر دانست.

پاسخ: خودبخودی بودن یک واکنش از دید ترمودینامیک به این معنا نیست که واکنش یادشده باید با سرعت انجام شود. واکنش‌های بسیاری وجود دارد که

ترمودینامیک امکان وقوع آن‌ها را پیش‌بینی می‌کند اما از دید سینتیک شیمیایی راه مناسبی برای وقوع آن‌ها وجود ندارد. سینتیک شیمیایی و ترمودینامیک شیمیایی را می‌توان مکمل هم دانست. برای توضیح بیش‌تر به جعبه‌ی آموزش قبلی مراجعه کنید.

۶. **همه‌ی گزینه‌های زیر عبارت درستی را بیان می‌کنند به‌جز گزینه‌ی:**

۱) زمان لازم برای وقوع واکنش‌ها گستره‌ای کم‌تر از چند صدم ثانیه تا چند سده را در برمی‌گیرد.

۲) واکنش سوختن بنزین در سیلندر یک خودرو سریع است.

۳) واکنش شیمیایی خردشدن ورقه‌های کتاب کندتر از زنگ زدن آهن است.

۴) اشیای آهنی در هوا و رطوبت به آرامی زنگ زده و زنگار آن‌ها با گذشت زمان نازک‌تر شده و فرو می‌ریزد.

جعبه‌ی آموزش!

انواع واکنش‌های شیمیایی از نظر سرعت

- روزانه میلیاردها واکنش شیمیایی در اطراف و درون بدن ما به وقوع می‌پیوندد.
- زمان لازم برای وقوع کامل واکنش‌های شیمیایی **گستره‌ای کم‌تر از چند صدم ثانیه تا چند سده** (قرن) را در برمی‌گیرد.

از این واکنش‌ها:

ـ برخی **به سرعت** انجام می‌شوند. مانند واکنش‌های سوختن، واکنش فلزهای قلیایی با آب و واکنش‌های کیسه‌ی هوا در خودرو.

ـ برخی **به آهستگی** انجام می‌شوند. مانند: زنگ‌زدن وسایل آهنی در معرض هوا و رطوبت و واکنش برخی فلزهای واسطه با آب.

ـ برخی **آهسته‌تر** انجام می‌شوند. مانند خردشدن ورقه‌های یک کتاب و حل‌شدن شیشه در آب.

توجه (۱): اشیای آهنی در معرض هوا (O_2) و رطوبت (H_2O) **به آرامی** زنگ می‌زنند و زنگاری بر چهره‌ی آن‌ها می‌نشیند. (زنگ آهن)

$$2Fe + \frac{3}{2}O_2 + nH_2O \longrightarrow Fe_2O_3.nH_2O$$

پوششی که با گذشت زمان **ضخیم‌تر** شده، به دلیل **تردی** فرو می‌ریزد و سرانجام از فلزی چون آهن ترکیب یونی بیش باقی نمی‌گذارد.

توجه (۲): خردشدن ورقه‌های یک کتاب، واکنشی **شیمیایی** است که بر اثر **تجزیه‌ی سلولوز** (ماده‌ی سازنده‌ی کاغذ) صورت می‌گیرد. این واکنش در قیاس با زنگ زدن آهن **آهسته‌تر** است.

توجه (۳): برخی واکنش‌ها شاید در شرایط معمولی با گذشت هزارها سال انجام نشود. مانند مخلوط H_2 و O_2 که با زدن جرقه به شدت انفجاری است ولی اگر هزارها سال در دمای اتاق در کنار هم بمانند، واکنشی صورت نمی‌گیرد.

پاسخ: با گذشت زمان، زنگ آهن تشکیل شده بر روی اشیای آهنی ضخیم‌تر شده و به دلیل تردی فرو می‌ریزد.

۷. **در شرایط معمولی سرعت کدام یک از واکنش‌های زیر کم‌تر است؟**

۱) سوختن بنزین در سیلندر خودرو
۲) سوختن متان در اجاق گاز
۳) واکنش فلزهای قلیایی با آب
۴) زنگ زدن وسایل آهنی

پاسخ: سوختن انواع سوخت‌ها جزو واکنش‌های تند محسوب می‌شوند. (گزینه‌ی ۱ و ۲) واکنش فلزهای قلیایی مانند سدیم و پتاسیم با آب نیز جزو

واکنش‌های تند می‌باشند. (گزینه‌ی ۳)

۸. **کدام گزینه‌ی زیر عبارت درستی را بیان می‌کند؟**

۱) واکنش اکسید شدن فلزها یک واکنش کند است.
۲) واکنش فلزها با آب یک واکنش کند است.
۳) واکنش خردشدن ورقه‌های کاغذ یک تغییر فیزیکی کند است.
۴) حل شدن شیشه در آب واکنشی کند است.

پاسخ:

بررسی گزینه‌های نادرست!

بررسی گزینه‌ی (۱): واکنش اکسیدشدن برخی فلزها، تند است مانند فلزهای قلیایی که به سرعت با اکسیژن هوا وارد واکنش شده و تیره می‌شوند، به همین دلیل آن‌ها را در آزمایشگاه زیر نفت نگه‌داری می‌کنند.

بررسی گزینه‌ی (۲): واکنش برخی فلزها با آب، تند است مانند فلزهای قلیایی که به سرعت حتی با آب سرد واکنش می‌دهند.

بررسی گزینه‌ی (۳): خردشدن ورقه‌های کاغذ، در اثر تجزیه‌ی سلولوز کاغذ صورت می‌گیرد که این واکنش نوعی واکنش شیمیایی کند است.

۹. **در دمای اتاق و در شرایط یکسان، کدام واکنش با سرعت کم‌تری صورت می‌گیرد؟**

۱) مخلوط آهن با آب
۲) مخلوط منیزیم با آب جوش
۳) از بین رفتن کاغذ
۴) مخلوط هیدروژن و اکسیژن

پاسخ: مخلوط H_2 و O_2 در دمای اتاق، با گذشت هزارها سال واکنش نمی‌دهند. (این مطلب مربوط به فکر کنید صفحه‌ی ۱۶ کتاب درسی پیش‌دانشگاهی است.)

۱۰. **همه‌ی گزینه‌های زیر عبارت درستی را بیان می‌کنند به جز گزینه‌ی:**

۱) در مسابقه‌ی اتومبیل‌رانی، برنده‌ی مسابقه خودرویی است که با بالاترین سرعت لحظه‌ای رانده می‌شود.
۲) سرعت‌سنج خودرو سرعت لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد.
۳) سرعت لحظه‌ای و سرعت متوسط برای یک واکنش شیمیایی قابل محاسبه است.
۴) سرعت واکنش کمیتی تجربی است که به ما می‌گوید واکنش تا چه اندازه‌ای سریع روی می‌دهد.

جمع‌بندی آموزش!

مفهوم سرعت

● مفهوم سرعت در فیزیک، جابجایی انجام شده تقسیم بر زمان طی مسیر است. سرعت‌سنج خودرو، سرعت لحظه‌ای خودرو در هر لحظه را نشان می‌دهد. در یک مسابقه‌ی اتومبیل‌رانی خودرویی که با بالاترین سرعت متوسط رانده می‌شود، برنده است. (زیرنویس شکل صفحه‌ی (۱) کتاب درسی شیمی پیش‌دانشگاهی)

● در شیمی، سرعت **پیشرفت واکنش در واحد زمان** است. (منظور از پیشرفت یک واکنش، **کاهش مقدار مواد واکنش‌دهنده و افزایش مقدار فرآورده‌ها**ست.)

● سرعت واکنش کمیتی **تجربی** است و با اندازه‌گیری سرعت مصرف واکنش‌دهنده (ها) یا سرعت تولید فرآورده (ها) معین می‌شود. از این رو بسته به ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری واکنش‌دهنده (ها) یا فرآورده (ها) از جمله **جرم، حجم، فشار، غلظت** یا **رنگ** و با توجه به **دما** می‌توان سرعت یک واکنش شیمیایی را تعیین کرد.

● برای یک واکنش شیمیایی می‌توان سرعت **لحظه‌ای** و سرعت **متوسط** را اندازه‌گیری کرد.

توجه: با اندازه‌گیری تغییرات جرم، حجم و غلظت می‌توان به طور مستقیم سرعت واکنش را تعیین کرد. ولی به کمک برخی عوامل به طور غیرمستقیم می‌توان سرعت واکنش را تعیین کرد. مانند: دما، رنگ و فشار. مثلاً اگر واکنش‌دهنده‌ای رنگی باشد و در طول واکنش به ماده‌ای بی‌رنگ تبدیل شود، از بین رفتن رنگ نشان‌گر مصرف کامل واکنش‌دهنده‌ی رنگی است. و یا افزایش هر ۱۰ درجه دما، سرعت برخی واکنش‌ها را دو برابر می‌کند، پس با داشتن میزان تغییر دما می‌توان سرعت برخی واکنش‌ها را تعیین کرد.

پاسخ: باتوجه به زیرنویس شکل صفحه‌ی (۱) کتاب درسی شیمی پیش‌دانشگاهی، در مسابقه‌ی اتومبیل‌رانی، برنده‌ی مسابقه خودرویی است که با بالاترین سرعت متوسط (نه بالاترین سرعت لحظه‌ای) رانده می‌شود.

۱۱. **به کمک اندازه‌گیری کدام یک از موارد زیر نمی‌توان سرعت یک واکنش شیمیایی را تعیین کرد؟**

۱) غلظت مواد شرکت‌کننده
۲) رنگ مواد شرکت‌کننده
۳) سطح انرژی مواد شرکت‌کننده
۴) جرم مواد شرکت‌کننده

پاسخ: بسته به ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری واکنش‌دهنده‌ها یا فرآورده‌ها از جمله جرم، حجم، فشار، غلظت یا رنگ و با توجه به دما می‌توان سرعت یک واکنش شیمیایی را تعیین کرد. سطح انرژی (محتوای انرژی) مواد واکنش‌دهنده و فرآورده قابل اندازه‌گیری نیست و فقط با مقایسه‌ی آن‌ها می‌توان گرماده یا گرماگیر بودن واکنش را تعیین کرد.

۱۲. با توجه به واکنش $aA(g) \longrightarrow bB(g)$ کدام گزینه‌ی درست است؟

۱) سرعت متوسط مصرف A از رابطه‌ی $\frac{\Delta n_A}{\Delta t}$ قابل محاسبه است. ۲) تغییر تعداد مول ماده‌ی A در واحد زمان عددی مثبت است.

۳) سرعت متوسط مصرف A و تولید B عددی مثبت است. ۴) سرعت متوسط تولید B از رابطه‌ی $\frac{\Delta n_B}{b.\Delta t}$ قابل محاسبه است.

جمبه‌ی آموزش!

رابطه‌ی سرعت متوسط مصرف یا تولید یک ماده

● سرعت در شیمی کمیتی **مثبت** است، زیرا برخلاف فیزیک سرعت در شیمی کمیتی برداری نیست.

● در واکنش فرضی $aA \longrightarrow bB$ سرعت متوسط مصرف A از رابطه‌ی $\overline{R}_{A\ \text{مصرف}} = -\frac{\Delta n_A}{\Delta t}$ و سرعت متوسط تولید B از رابطه‌ی $\overline{R}_{B\ \text{تولید}} = +\frac{\Delta n_B}{\Delta t}$ محاسبه می‌گردد.

● در هر واکنشی، Δn (تغییر تعداد مول) **مواد واکنش‌دهنده مقداری منفی است**، زیرا با پیشرفت واکنش، مواد واکنش‌دهنده، مصرف شده و در نتیجه n_2 از n_1 کوچک‌تر است. بنابراین $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ برای یک واکنش‌دهنده مقداری منفی است و از آنجایی که سرعت در شیمی (چه مصرف و چه تولید) کمیتی است مثبت، بنابراین کسر $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ را در منفی ضرب می‌کنیم تا مقداری مثبت به دست آید.

[illegible]

منفی در کنار رابطه‌ی **سرعت مصرف** ضمن **تأکید بر مصرف** آن ماده و **کاهش تعداد مول‌های** آن، عدد محاسبه شده، مثبت خواهد شد.

● Δn **مواد فرآورده مقداری مثبت** است، زیرا با پیشرفت واکنش، مواد فرآورده تولید شده در نتیجه n_2 از n_1 بزرگ‌تر است. بنابراین کسر $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ برای فرآورده مقداری مثبت است.

● بنابراین **علامت مثبت** در رابطه‌ی **سرعت متوسط تولید** یک فرآورده نشان‌دهنده‌ی **افزایش مقدار** آن است. به عبارت دیگر با گذشت زمان بر مقدار فرآورده افزوده می‌شود.

توجه داشته باشید که ضریب استوکیومتری مواد در رابطه‌ی سرعت متوسط مصرف یا تولید آن‌ها دیده نمی‌شود. به همین دلیل وقتی در تست اطلاعات یک ماده داده می‌شود و سرعت همان ماده خواسته می‌شود، نیاز به نوشتن معادله‌ی واکنش نیست.

پاسخ: - سرعت متوسط مصرف A از رابطه‌ی $-\frac{\Delta n_A}{\Delta t}$ قابل محاسبه است.

- تغییر تعداد مول ماده‌ی A در واحد زمان $\left(\frac{\Delta n_A}{\Delta t}\right)$ عددی منفی است زیرا n_{2A} از n_{1A} کوچک‌تر است و در نتیجه Δn_A مقداری منفی است.

- سرعت در شیمی کمیتی مثبت است. (چه مصرف و چه تولید)

✓ ☺

۱۳. در یک واکنش شیمیایی:

۱) نسبت $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ برای مواد شرکت‌کننده مقداری مثبت است. ۲) نسبت $\frac{n_1 - n_2}{t_2 - t_1}$ برای یک فرآورده مقداری مثبت است.

۳) نسبت $\frac{n_1 - n_2}{t_1 - t_2}$ برای یک واکنش‌دهنده مقداری مثبت است. ۴) نسبت $-\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$ برای یک واکنش‌دهنده مقداری مثبت است.

پاسخ: منظور از مواد شرکت‌کننده، واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌ها است.

برای مواد واکنش‌دهنده (مصرف شونده) داریم:

$$n_2 < n_1 \Rightarrow n_2 - n_1 < 0 \Rightarrow \Delta n < 0 \Rightarrow \frac{\Delta n}{\Delta t} < 0 \Rightarrow \overline{R}_{\text{واکنش‌دهنده}} = -\frac{\Delta n}{\Delta t} > 0$$

در مواد فرآورده (تولیدشونده) داریم:

$$n_2 > n_1 \Rightarrow n_2 - n_1 > 0 \Rightarrow \Delta n > 0 \Rightarrow \frac{\Delta n}{\Delta t} > 0 \Rightarrow \overline{R}_{\text{فرآورده}} = +\frac{\Delta n}{\Delta t} > 0$$

✓ ☺

بررسی گزینه‌های نادرست!

بررسی گزینه‌ی (۱): مواد شرکت‌کننده شامل واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌ها است پس نمی‌توان $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ را تعیین علامت کرد.

بررسی گزینه‌ی (۲): توجه کنید که در گزینه‌ی (۲) در صورت کسر $n_1 - n_2$ است (نه $n_2 - n_1$) پس کسر داده شده منفی است.

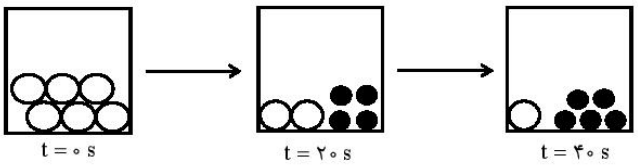
بررسی گزینه‌ی (۳): در مواد واکنش‌دهنده مقدار کسر $\left(\frac{n_1 - n_2}{t_1 - t_2}\right) = \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$ مقداری منفی است.

۱۴. علامت ..... در کنار رابطه‌ی سرعت متوسط ..... یک ماده نشان‌گر ..... مقدار ماده در واکنش است.

۱) منفی، مصرف، کاهش ۲) منفی، مصرف، افزایش ۳) مثبت، مصرف، کاهش ۴) مثبت، تولید، کاهش

پاسخ: علامت منفی در کنار رابطه‌ی سرعت متوسط مصرف یک ماده نشان‌گر کاهش مقدار ماده در واکنش است. و علامت مثبت در کنار رابطه‌ی سرعت متوسط تولید یک ماده نشان‌گر افزایش مقدار ماده در واکنش است.

۱۵. باتوجه به شکل زیر اگر هر گلوله‌ی سفید نشان‌گر ۰/۰۴ مول **A** باشد. سرعت متوسط مصرف این ماده در ۲۰ ثانیه‌ی اول واکنش چند مول بر دقیقه است؟



۱) ۰/۰۰۸
۲) $۱/۳\times۱۰^{-۴}$
۳) ۰/۴۸
۴) ۰/۰۸

پاسخ:

$$\bar{R}_{A\ \text{مصرف}} = -\frac{\Delta n_A}{\Delta t} = -\frac{n_۲ - n_۱}{t_۲ - t_۱} = -\frac{(۲-۶)۰/۰۴\ \text{mol}}{(۲۰-۰)\ \text{s}} = \frac{۰/۱۶\ \text{mol}}{۲۰\ \text{s}} \times \frac{۶۰\ \text{s}}{۱\ \text{min}} = ۰/۴۸\ \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

توجه: این شکل نشان‌گر پیشرفت واکنش نیز می‌باشد. (چون کاهش واکنش‌دهنده و افزایش فرآورده را نشان می‌دهد.)

۱۶. اگر در تست قبل هر گلوله‌ی مشکی نشان‌گر ۰/۰۴ مول **B** باشد، سرعت متوسط تولید این ماده در این واکنش چند مول بر دقیقه است؟

۱) ۰/۰۰۵ ۲) ۰/۳ ۳) ۰/۴۸ ۴) $۸/۳\times۱۰^{-۴}$

توجه: وقتی در تست محدوده‌ی زمانی برای تولید یا مصرف یک ماده مشخص نمی‌شود، باید زمان کل انجام واکنش را در نظر بگیرید.

پاسخ:

$$\bar{R}_{B\ \text{تولید}} = +\frac{\Delta n_B}{\Delta t} = +\frac{n_۲ - n_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{(۵-۰)۰/۰۴\ \text{mol}}{(۴۰-۰)\ \text{s}} = \frac{۰/۲\ \text{mol}}{۴۰\ \text{s}} = \frac{۱\ \text{mol}}{۲۰۰\ \text{s}} \times \frac{۶۰\ \text{s}}{۱\ \text{min}} = ۰/۳\ \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

۱۷. در واکنش سدیم با آب، در فاصله زمانی ۲ تا ۶ دقیقه، تعداد مول سدیم از ۴/۲ به ۲/۶ مول رسیده است. سرعت متوسط مصرف سدیم در این محدوده‌ی زمانی چند مول بر دقیقه است؟

۱) ۰/۰۴ ۲) ۰/۰۶ ۳) ۰/۴ ۴) ۰/۶

پاسخ:

$$\bar{R}_{Na\ \text{مصرف}} = -\frac{n_۲ - n_۱}{t_۲ - t_۱} = -\frac{۲/۶ - ۴/۲\ \text{mol}}{(۶-۲)\ \text{min}} = ۰/۴\ \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

۱۸. در واکنش روی با سولفوریک اسید، در مدت ۳۰ ثانیه تعداد مول هیدروژن تولید شده از ۰/۶ مول به ۱ مول رسیده است. سرعت متوسط تولید این گاز چند مول بر دقیقه است؟

۱) $\frac{۱}{۷۵}$ ۲) ۰/۸ ۳) $\frac{۴}{۳}$ ۴) ۰/۴

پاسخ:

$$\bar{R}_{H_۲\ \text{تولید}} = +\frac{n_۲ - n_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{۱ - ۰/۶\ \text{mol}}{۳۰\ \text{s}} = \frac{۰/۴}{۳۰} = \frac{۴}{۳۰۰}\ \frac{\text{mol}}{\text{s}} \qquad \frac{۴\ \text{mol}}{۳۰۰\ \text{s}} \times \frac{۶۰\ \text{s}}{۱\ \text{min}} = ۰/۸\ \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

۱۹. در واکنش منیزیم با هیدروکلریک اسید، در مدت سه دقیقه، تعداد مول منیزیم به ۰/۹ مول رسیده است. اگر سرعت متوسط مصرف منیزیم ۰/۱ مول بر دقیقه باشد، تعداد مول اولیه‌ی منیزیم کدام است؟

۱) ۰/۶ ۲) ۰/۷ ۳) ۰/۹ ۴) ۱/۲

پاسخ:

$$\bar{R}_{Mg\ \text{مصرف}} = -\frac{n_۲ - n_۱}{t_۲ - t_۱} \Rightarrow ۰/۱\frac{\text{mol}}{\text{min}} = -\frac{(۰/۹ - n_۱)\text{mol}}{۳\ \text{min}} \Rightarrow n_۱ = ۱/۲$$

۲۰. در واکنش منیزیم با هیدروکلریک اسید، در مدت سه دقیقه، تعداد مول هیدروژن به ۰/۹ مول رسیده است. اگر سرعت متوسط تولید هیدروژن ۰/۱ مول بر دقیقه باشد، تعداد مول اولیه‌ی هیدروژن کدام است؟

۱) ۰/۶ ۲) ۰/۷ ۳) ۰/۹ ۴) ۱/۲

پاسخ: $\bar{R}_{H_2}$ تولید $= +\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow 0/1\frac{mol}{min} = \frac{(0/9 - n_1)\,mol}{3\,min} \Rightarrow n_1 = 0/6$

✓ ☺

۲۱. در واکنش سدیم با آب، در مدت ۴ دقیقه جرم سدیم از ۹۲ گرم به ۲۳ گرم رسیده است، سرعت متوسط مصرف سدیم چند مول بر دقیقه است؟ $\left(Na = 23\ g.mol^{-1}\right)$

۱) ۰/۷۵ ۲) ۱۷ ۳) ۱/۷ ۴) ۷/۵

جعبه‌ی آموزش!

روش تبدیل گرم و مول یک ماده به یکدیگر

$mol = \frac{m}{M}$ $\quad$ مول ماده $= \frac{\text{جرم ماده}}{\text{جرم مولی}} \Rightarrow$ گرم ماده $\times \frac{1\ mol}{\text{جرم مولی ماده}}$ = مول ماده

پاسخ: $\bar{R}_{Na}$ مصرف $= -\frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{\frac{23-92}{23}\,mol}{4\,min} = 0/75\,\frac{mol}{min}$

✓ ☺

۲۲. در واکنش تولید آمونیاک در مدت ۶ دقیقه، ۴۸ گرم گاز هیدروژن مصرف شده است. سرعت متوسط مصرف این گاز چند مول بر ثانیه است؟ $(H = 1)$

۱) ۰/۱۳ ۲) ۸ ۳) ۴ ۴) $\frac{1}{15}$

پاسخ: $\bar{R}_{H_2}$ مصرف $= -\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{\frac{48}{2}\,mol}{6\,min} = 4\,\frac{mol}{min}$ $\quad 4\,\frac{mol}{\cancel{min}} \times \frac{1\,\cancel{min}}{60\,s} = \frac{1}{15}\,\frac{mol}{s}$

✓ ☺

توجه داشته باشید که گاز هیدروژن H_2 است نه H.

۲۳. در واکنش کلسیم با آب در مدت ۲۰ ثانیه، ۰/۸ مول گاز هیدروژن تولید شده است. سرعت متوسط تولید این گاز چند گرم بر ثانیه است؟ $(H = 1)$

۱) ۰/۰۴ ۲) ۰/۴ ۳) ۰/۰۸ ۴) ۰/۸

پاسخ: $\bar{R}_{H_2} = +\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0/8\ mol}{20\,s} = \frac{8\ mol}{200\,s} \Rightarrow \frac{8\ \cancel{mol} \times \frac{2\,g}{1\ \cancel{mol}}}{200\,s} = 0/08\,\frac{g}{s}$

✓ ☺

۲۴. در واکنشی در شرایط استاندارد، در مدت ۳۰ ثانیه، ۰/۱۱۲ لیتر گاز نیتروژن تولید شده است. سرعت متوسط تولید این گاز چند مول بر دقیقه است؟

۱) ۰/۰۱ ۲) $1/6\times10^{-4}$ ۳) $1/6\times10^{-3}$ ۴) ۰/۱

جعبه‌ی آموزش!

روش تبدیل حجم گازها و مول به یکدیگر

$\frac{\text{حجم گاز}}{\text{حجم مولی گاز}} =$ مول گاز $\Rightarrow$ حجم گاز $\times \frac{1\ mol\ \text{گاز}}{\text{حجم مولی گاز}}$ = مول گاز

حجم مولی گازها در شرایط استاندارد (دمای $0^\circ C$ و فشار $1\ atm$) برابر ۲۲/۴ لیتر یا ۲۲۴۰۰ میلی‌لیتر است.

توجه: اگر در مسائل شرایط استاندارد نباشد یا حجم مولی گازها در آن شرایط را می‌دهند و یا چگالی گاز را. که در حالت دوم، به کمک چگالی می‌توان حجم و جرم را به یکدیگر تبدیل کنیم. $\left(\rho=\frac{m}{V}\right)$ $\quad$ چگالی $=\frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$

پاسخ: $\overline{R}_{\text{تولید } N_2}=+\frac{\Delta n}{\Delta t}=\frac{۰/۱۱۲\,\cancel{L}\times\frac{۱\,mol}{۲۲/۴\,\cancel{L}}}{۳۰\,\cancel{s}\times\frac{۱\,min}{۶۰\,\cancel{s}}}=\frac{۰/۰۰۵}{۰/۵}\frac{mol}{min}=۰/۰۱\frac{mol}{min}$

✓ ☺

---

۲۵. در واکنشی در مدت ۲ دقیقه، ۴۴۸ میلی‌لیتر گاز اکسیژن در شرایط استاندارد مصرف شده است. سرعت متوسط مصرف این گاز برحسب مول بر دقیقه کدام است؟

۱) ۱۰ $\quad$ ۲) ۰/۱ $\quad$ ۳) ۰/۰۱ $\quad$ ۴) ۱

پاسخ: $\overline{R}_{\text{مصرف } O_2}=\frac{۴۴۸\,\cancel{ml}\times\frac{۱\,mol}{۲۲۴۰۰\,\cancel{ml}}}{۲\,min}=۰/۰۱\frac{mol}{min}$

✓ ☺

---

۲۶. در یک واکنش در فاصله زمانی ۲ تا ۶ دقیقه حجم گاز متان از ۲۵۰ ml به ۷۵۰ ml رسیده است. در این فاصله‌ی زمانی سرعت متوسط تولید این گاز چند مول بر ساعت است؟ (حجم مولی گازها را ۲۵ لیتر در نظر بگیرید.)

۱) ۰/۰۰۳ $\quad$ ۲) ۰/۰۰۵ $\quad$ ۳) ۰/۰۰۲ $\quad$ ۴) ۰/۳

پاسخ: توجه داشته باشید که در تست حجم مولی گازها را ۲۵ لیتر (۲۵۰۰۰ میلی‌لیتر) داده است.

$$\overline{R}_{\text{تولید } CH_4}=\frac{(۷۵۰-۲۵۰)\,\cancel{ml}\times\frac{۱\,mol}{۲۵۰۰۰\,\cancel{ml}}}{۴\,\cancel{min}\times\frac{۱\,h}{۶۰\,\cancel{min}}}=۰/۳\ mol.h^{-۱}$$

✓ ☺

---

۲۷. سرعت متوسط تولید گاز اکسیژن در واکنشی ۰/۲ مول بر دقیقه است. به‌طور متوسط در ۳۰ ثانیه از این واکنش چند میلی‌لیتر گاز تولید می‌شود؟ (حجم مولی گازها در این شرایط ۲۴ لیتر است.)

۱) ۲۲۴۰ $\quad$ ۲) ۴۰ $\quad$ ۳) ۱۲۶۰ $\quad$ ۴) ۲۴۰۰

پاسخ: $\overline{R}_{\text{تولید } O_2}=+\frac{\Delta n}{\Delta t}\Rightarrow ۰/۲\frac{mol}{min}=\frac{\Delta n}{۳۰\,\cancel{s}\times\frac{۱\,min}{۶۰\,\cancel{s}}}\Rightarrow \Delta n=۰/۱\ mol$

$$۰/۱\,\cancel{mol}\times\frac{۲۴۰۰۰\ ml}{\cancel{mol}}=۲۴۰۰\ ml$$

✓ ☺

★۲۸. در واکنش تجزیه‌ی سدیم آزید، در مدت ۲۰ دقیقه، ۷۰ میلی‌لیتر گاز نیتروژن تولید شده است. سرعت متوسط تولید این گاز چند مول بر دقیقه است؟ در شرایط آزمایش چگالی گاز نیتروژن ۰/۸ گرم بر میلی‌لیتر است. $(N=۱۴)$

۱) ۰/۱ $\quad$ ۲) ۰/۱۵ $\quad$ ۳) ۲ $\quad$ ۴) ۳

پاسخ: به کمک چگالی داده شده ابتدا حجم گاز را به جرم تبدیل می‌کنیم و بعد جرم را به مول تبدیل می‌کنیم.

$$\rho=\frac{m}{V}\Rightarrow ۰/۸\frac{g}{ml}=\frac{m}{۷۰\ ml}\Rightarrow m=۰/۸\frac{g}{\cancel{ml}}\times۷۰\,\cancel{ml}=۵۶g \qquad ۵۶\,\cancel{g}\times\frac{۱\,mol_{N_2}}{۲۸\,\cancel{g}}=۲mol$$

$$\overline{R}_{N_2}=\frac{\Delta n}{\Delta t}=\frac{۲\ mol}{۲۰\ min}=۰/۱\ mol.min^{-۱}$$

✓ ☺

---

۲۹. در یک ظرف ۲ لیتری در فاصله زمانی ۲ تا ۸ دقیقه تعداد مول گاز N_2O_5 از ۰/۹ به ۰/۳ مول رسیده است. سرعت متوسط مصرف این گاز چند مول بر لیتر بر دقیقه است؟

۱) ۰/۱ $\quad$ ۲) ۰/۱۵ $\quad$ ۳) ۰/۰۵ $\quad$ ۴) ۰/۲

جعبه‌ی آموزش!

بیان سرعت برحسب تغییر غلظت

برای مواد در حالت **گازی و محلول** می‌توان سرعت را برحسب تغییر غلظت به زمان بیان کرد و واحدهایی مانند مول بر لیتر بر دقیقه یا مولار بر ثانیه را به کار برد.

چرا فقط گاز و محلول؟ چون غلظت مواد جامد و مایع خالص تقریباً ثابت است و از رابطه‌ی $\frac{\text{چگالی}}{\text{جرم مولی}}$ به‌دست می‌آید. که این نسبت در دمای ثابت تغییر نمی‌کند. مثلاً چگالی آب خالص مقداری ثابت و جرم مولی آن $(H_2O = ۱۸)$ نیز ثابت است.

نحوه‌ی محاسبه‌ی غلظت مولی:

$$\text{غلظت جامد و مایع خالص} = \frac{\text{چگالی}}{\text{جرم مولی}} \quad \left(\text{چون}: \frac{\frac{m}{V}}{M} = \frac{\frac{m}{M}}{V} = \frac{mol}{V}\right)$$

$$\text{غلظت گاز} = \frac{\text{تعداد مول گاز}}{\text{حجم ظرف}}$$

$$\text{غلظت محلول} = \frac{\text{تعداد مول حل شونده}}{\text{حجم محلول}} \quad \left(C_M = \frac{mol}{L}\right)$$

پاسخ:

$$\bar{R}_{N_2O_5} = \frac{\frac{۰/۶\ mol}{۲\ L}}{۶\ min} = ۰/۰۵\ \frac{mol}{L.min}\left(\frac{M}{min}\right)$$

✓ ☺

---

۳۰. در ظرفی نیم‌لیتری در فاصله زمانی ۲۰ تا ۵۰ ثانیه، حجم گاز NO_2 از ۱۲۵ میلی‌لیتر به ۳۷۵ میلی‌لیتر رسیده است. سرعت متوسط تولید این‌گاز در این فاصله‌ی زمانی برحسب $M.min^{-1}$ کدام‌است؟ (حجم مولی گازها را ۲۵ لیتر بگیرید.)

۱) ۰/۰۱ ۲) ۰/۰۲ ۳) ۰/۰۸ ۴) ۰/۰۴

پاسخ:

$$(۳۷۵ - ۱۲۵)\cancel{ml} \times \frac{۱mol}{۲۵۰۰۰\cancel{ml}} = ۰/۰۱mol$$

$$\bar{R}_{NO_2} = \frac{۰/۰۱\ mol}{\frac{۵۰ - ۲۰}{۶۰}\ min} = ۰/۰۲\ \frac{mol}{min} \Rightarrow \frac{۰/۰۲}{۰/۵} = ۰/۰۴\ \frac{mol}{L.min}$$

✓ ☺

---

۳۱. در مدت ۹۰ ثانیه در واکنشی، ۱۲ گرم گاز هیدروژن تولید شده است. سرعت متوسط تولید این گاز چند مولار بر دقیقه است؟ (حجم ظرف را ۵ لیتر در نظر بگیرید.) $(H = ۱)$

۱) ۲۰ ۲) ۰/۸ ۳) ۴ ۴) ۱/۶

پاسخ:

$$\bar{R}_{H_2} = \frac{۱۲\cancel{g} \times \frac{۱mol}{۲\cancel{g}}}{۹۰\cancel{s} \times \frac{۱min}{۶۰\cancel{s}}} = ۴\ \frac{mol}{min}$$

$$\bar{R}_{H_2} = \frac{۴mol.min^{-1}}{۵L} = ۰/۸\ \frac{mol}{L.min}$$

✓ ☺

---

۳۲. جدول زیر حجم هیدروژن تولید شده در واکنش منیزیم با هیدروکلریک اسید در دمای $۰^\circ C$ و فشار ۱ atm را نشان می‌دهد. سرعت متوسط تولید این گاز چند مول بر دقیقه است؟

حجم گاز (ml)	۰	۵۶۰	۷۸۴	۸۹۶	۸۹۶
زمان (min)	۰	۴	۶	۸	۱۲

۱) ۰/۰۰۵
۲) ۰/۰۰۳
۳) ۱۱۲
۴) ۷۴/۶

پاسخ:
$$\bar{R}_{H_2}=\frac{۸۹۶\,\text{ml}\times\frac{۱\,\text{mol}}{۲۲۴۰۰\,\text{ml}}}{۸\ \text{min}}=۰/۰۰۵\ \text{mol.min}^{-۱}$$

توجه داشته باشید چون از دقیقه‌ی ۸ به بعد، حجم گاز تغییری نکرده است، بنابراین زمان انجام واکنش ۸ دقیقه می‌باشد.

۳۳. مقداری روی را در ظرفی محتوی سولفوریک اسید می‌ریزیم. حجم هیدروژن تولید شده از این واکنش مطابق جدول زیر است. سرعت متوسط تولید این گاز چند مول بر دقیقه است؟ (حجم مولی گازها را ۲۵ لیتر در نظر بگیرید.)

حجم گاز (ml)	۷۵۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۶۰۰
زمان (min)	۲	۴	۶	۸

۱) ۰/۰۱ ۲) ۰/۰۰۸ ۳) ۰/۰۰۵ ۴) ۰/۱۴

پاسخ: چون محدوده‌ی زمانی مشخص نشده، پس باید سرعت متوسط را در کل زمان واکنش (۰ تا ۸ دقیقه) محاسبه کنیم:
$$\bar{R}_{H_2}=\frac{۱۶۰۰\,\text{ml}\times\frac{۱\,\text{mol}}{۲۵۰۰۰\,\text{ml}}}{۸\ \text{min}}=۰/۰۰۸\,\text{mol.min}^{-۱}$$

۳۴. در تست قبل سرعت متوسط تولید گاز در فاصله زمانی ۲ تا ۸ دقیقه چند مول بر لیتر بر دقیقه است؟ (حجم ظرف را ۱/۷ لیتر در نظر بگیرید.)

۱) $\frac{۱}{۳۰۰}$ ۲) $\frac{۱۷}{۳۰۰۰}$ ۳) $\frac{۱}{۲۰۰}$ ۴) $\frac{۱}{۱۵۰}$

پاسخ:
$$\bar{R}_{H_2}=\frac{(۱۶۰۰-۷۵۰)\,\text{ml}\times\frac{۱\,\text{mol}}{۲۵۰۰۰\,\text{ml}}}{۸-۲\ \text{min}}=\frac{۰/۰۳۴\ \text{mol}}{۶\ \text{min}}\Rightarrow\frac{۰/۰۳۴}{۶\times۱/۷}\frac{\text{mol}}{\text{L.min}}=\frac{۱}{۳۰۰}\,\text{mol.L}^{-۱}.\text{min}^{-۱}$$

۳۵. باتوجه به جدول زیر سرعت مصرف NO_2 در ۵ ثانیه‌ی چهارم از واکنش چند مول بر لیتر بر دقیقه است؟

۱) ۶×۱۰^{-۴} ۲) $۳/۶\times۱۰^{-۲}$ ۳) ۶×۱۰^{-۲} ۴) ۳/۶

زمان (s)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
$[NO_2]$ $(\times۱۰^{-۲}\,\text{mol.L}^{-۱})$	۴/۱	۳/۱	۲/۵	۲/۱	۱/۸	۱/۴	۱	۰/۷

پاسخ: منظور از ۵ ثانیه‌ی چهارم، فاصله زمانی ۱۵ تا ۲۰ ثانیه است.
$$\bar{R}_{NO_2}=\frac{(۲/۱-۱/۸)\times۱۰^{-۲}\ \text{mol.L}^{-۱}}{\frac{۵}{۶۰}\ \text{min}}=۳/۶\times۱۰^{-۲}\,\text{mol.L}^{-۱}.\text{min}^{-۱}$$

توجه: گاهی وقت‌ها در جدول یا نمودار داده شده در تست، در کنار غلظت یا مول ماده در داخل پرانتز ضرب در عددی را می‌نویسند، در این گونه موارد فراموش نکنید که عدد داده شده را در محاسبه‌های خود اعمال کنید.

۳۶. در واکنش تجزیه‌ی سدیم آزید، در ثانیه‌های اول، دوم، سوم و چهارم از شروع واکنش به ترتیب ۴، ۲/۶، ۱/۴ و ۰/۴ مول گاز تولید شده است. سرعت متوسط تولید گاز چند مول بر ثانیه است؟

۱) ۰/۹ ۲) ۱/۲ ۳) ۲/۱ ۴) ۱

پاسخ: توجه داشته باشید که در این تست تعداد مول تولید شده در هر یک ثانیه داده شده است:

۴ mol = مول گاز تولید شده در ثانیه‌ی اول
۲/۶ mol = مول گاز تولید شده در یک ثانیه‌ی دوم +
۱/۴ mol = مول گاز تولید شده در یک ثانیه‌ی سوم +
۰/۴ mol = مول‌گاز تولید شده در یک ثانیه‌ی چهارم +
۸/۴ mol = مول گاز تولید شده در ۴ ثانیه

$$\bar{R}_{N_2}=\frac{\text{کل مول گاز تولید شده}}{\text{کل زمان}}\Rightarrow\bar{R}_{N_2}=\frac{۸/۴\ \text{mol}}{۴\ \text{s}}=۲/۱\,\text{mol.s}^{-۱}$$