

محلول‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل، هنرجو باید بتواند:

- ۱- مفهوم غلظت را بیان کند.
- ۲- غلظت حجمی، غلظت جرمی و غلظت جرمی حجمی را توضیح دهد و مسائل مربوطه را حل کند.
- ۳- مفهوم مولاریته و مولالیته را بیان کند و با داشتن پارامترهای مرتبط این دو کمیت را محاسبه نماید.
- ۴- تغییر حلالیت با دما را از روی منحنی حلالیت توضیح دهد.
- ۵- درباره‌ی بلوری شدن جزئی توضیح دهد و مسائل مربوطه را حل نماید.

مقدمه

می‌دانید که محلول، مخلوطی از دو یا چند ماده است که ترکیب شیمیایی و خواص آن در همه جای محلول یک‌سان و به عبارت دیگر همگن است. محلول دوتایی به محلولی گفته می‌شود که از دو جزء تشکیل شده باشد. برای نمونه، محلول حاصل شده از حل کردن نمک در آب یک محلول دوتایی است. به جزئی از محلول که، نسبت به جزء دیگر، وزن بیش‌تری داشته باشد یا حالت فیزیکی محلول را معین می‌کند، حلال گویند؛ و به جزء دیگر که در حلال حل می‌شود جسم حل شده گفته می‌شود. محلول ممکن است غلیظ و یا رقیق باشد. در محلول غلیظ، به طور نسبی، مقدار زیادی از جسم یا جسم‌های حل شده وجود دارد. در حالی که در محلول رقیق مقدار کمی از ماده‌ی حل شده در محلول وجود دارد. برای نمونه، در محلولی که از حل کردن شکر در آب به وجود می‌آید اگر مقدار زیادی شکر در آب حل شود شیره‌ی شکر به دست می‌آید یعنی محلول غلیظ است، و اگر مقدار کمی شکر در آب حل شود، مانند فنجان‌چای شیرین شده، محلول رقیق خواهد بود.

رایج‌ترین محلول‌ها به صورت مایع هستند اما محلول‌های به صورت گاز و جامد نیز وجود

دارند. برای نمونه هوا محلولی گازی و شامل گازهای O_2 ، N_2 ، H_2 ، CO_2 ، H_2O و غیر آن‌هاست. سکه‌ی طلا محلولی جامد است.

اندازه‌ی اتمی طلا و مس (عناصر سازنده‌ی سکه‌ی طلا به گونه‌ای است که در محلول با هم جانشین می‌شوند و در نهایت حتی زیر میکروسکوپ از هم قابل تشخیص نیستند. در جدول ۱-۶ تعدادی از محلول‌ها برای مثال آمده‌اند.

جدول ۱-۶- برخی از محلول‌های رایج

اجزای تشکیل‌دهنده	محلول
$O_2 + N_2$ + مواد دیگر	محلول‌های گازی هوا
$C_2H_6 + CH_4$ + مواد دیگر	گاز طبیعی
$NaCl + H_2O$ + مواد بسیار دیگر	محلول‌های مایع آب دریا
$HC_2H_3O_2 + H_2O$ (استیک اسید)	سرکه
$Ni + Cu$	محلول‌های جامد سکه‌ی رایج (آلیاژ مس - نیکل)

۱-۶- غلظت محلول‌ها

به مقدار ماده‌ی حل شده‌ی موجود در مقدار مشخص از محلول (نه حلال) غلظت گفته می‌شود. غلظت محلول‌ها را به شیوه‌های گوناگون بیان می‌کنند که در ادامه برخی از انواع آن‌ها را شرح می‌دهیم.

۱-۱-۶- درصد جرمی (غلظت جرمی): اگر ۵ گرم $NaCl$ را در ۹۵ گرم H_2O حل کنیم، ۱۰۰ گرم محلول ۵ درصد جرمی $NaCl$ به دست می‌آید.

$$\text{درصد جرمی} = \frac{5}{5+95} \times 100 = \frac{5}{100} \times 100 = 5\%$$

$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{مقدار ماده‌ی حل شده برحسب گرم}}{\text{مقدار محلول (مقدار حلال + مقدار ماده‌ی حل شده) برحسب گرم}} \times 100$
--

۶-۱-۲ درصد حجمی (غلظت حجمی): غلظت برخی از محلول‌ها برحسب درصد حجمی بیان می‌شود (مانند محلول‌های ضد یخ). برای مثال محلول ضد یخ ۲۵٪ حجمی متانول از حل کردن ۲۵ میلی‌لیتر متانول در ۷۵ میلی‌لیتر آب و رساندن حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر به دست می‌آید.

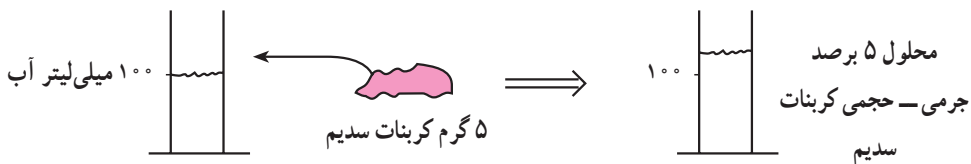
$$\text{درصد حجمی} = \frac{\text{حجم ماده‌ی حل شده}}{\text{حجم محلول (حجم ماده‌ی حل شده + حجم حلال)}} \times 100$$

دقت کنید واحد حجم در صورت و مخرج باید یکی باشد.

$$\text{درصد حجمی مثال فوق} = \frac{25}{75+25} \times 100 = \frac{25}{100} \times 100 = 25\%$$

۶-۱-۳ غلظت جرمی حجمی: از حل کردن ۵ گرم کربنات سدیم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب (حلال)، محلول ۵ برصد جرمی حجمی کربنات سدیم به دست می‌آید. با توجه به این که مقدار محلول در این روش بیش‌تر از ۱۰۰ میلی‌لیتر خواهد شد از عبارت برصد استفاده کرده‌ایم.

$$\text{غلظت جرمی حجمی} = \frac{\text{جرم ماده‌ی برحسب گرم}}{\text{حجم حلال برحسب میلی‌لیتر}} \times 100$$



شکل ۶-۱- تهیه‌ی محلول ۵ برصد جرمی حجمی کربنات کلسیم

۶-۲ مولاریته

غلظت یک محلول برحسب مولاریته با رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$\text{مولاریته (M)} = \frac{\text{تعداد مول‌های ماده‌ی حل‌شونده}}{\text{حجم محلول برحسب لیتر}}$$

مثال ۱: فرض کنید ۵۳g کربنات سدیم بدون آب در یک لیتر آب حل شده است، مولاریته‌ی

محلول را به دست آورید. (جرم مولکولی کربنات سدیم Na_2CO_3 برابر ۱۰۶ است).

$$\text{حل: مولاریته‌ی محلول کربنات سدیم } M = \frac{0.5}{1} = 0.5$$

$$\text{مول } = \frac{53}{106} = 0.5 \text{ مقدار مول کربنات سدیم}$$

واحد مولاریته مول بر لیتر (mol/l) است که آن را با M نشان می‌دهند و مولار می‌خوانند. برای مثال، به محلول بالا، محلول ۰/۵ مولار کربنات سدیم گفته می‌شود.

مثال ۲: از حل کردن ۲۵ ml اسید کلریدریک $d = 1.14 \frac{\text{g}}{\text{m}}$ در مقدار کافی آب و رساندن

حجم محلول به ۲۵۰ ml یک محلول اسید تهیه شده است. مولاریته‌ی این محلول را محاسبه کنید.

$$d = \frac{m}{V} \quad m = d \cdot V \quad \text{جرم اسید کلریدریک } m = 1.14 \times 25 = 28.5 \text{ g}$$

$$\text{مقدار مول اسید کلریدریک} = \frac{\text{جرم اسید کلریدریک}}{\text{جرم مولکولی آن}} = \frac{28.5}{36.5} = 0.78 \text{ (مول HCl)}$$

$$M = \frac{\text{مقدار مول}}{\text{حجم محلول بر حسب لیتر}} = \frac{0.78}{0.25} = 3.12 \text{ (مولاریته HCl)}$$

$$\text{حجم محلول بر حسب لیتر} = \frac{250}{1000} = 0.25 \text{ لیتر}$$

۳-۶- رقیق کردن محلول‌ها

در آزمایشگاه‌های شیمی و فروشگاه‌های مواد شیمیایی معمولاً محلول‌ها را به صورت غلیظ نگهداری می‌کنند. محلول‌های غلیظ را می‌توان با اضافه کردن آب به آن‌ها، به محلول‌های رقیق تبدیل کرد و این بسیار ساده‌تر از آن است که در آزمایشگاه انواع محلول رقیق را به صورت آماده داشته باشیم.

برای محاسبات مربوط به رقیق کردن یک محلول، می‌توان از فرمول زیر بهره گرفت:

حجم محلول نهایی \times مولاریته‌ی محلول نهایی = حجم محلول اولیه \times مولاریته‌ی محلول اولیه

یا

$$M_i \times V_i = M_f \times V_f$$

مثال: محلولی از کرومات پتاسیم (K_2CrO_4) به غلظت $0.1M$ مورد نیاز است. چه حجمی از محلول کرومات $0.25M$ باید برداشته شود تا 250 ml محلول با غلظت $0.1M$ حاصل شود؟
حل: با کمک رابطه‌ی بالا می‌توان حجم مورد نیاز را محاسبه کرد.

$$V_f = 250\text{ ml} \quad M_f = 0.25M \quad M_i = 0.1M$$

با جای‌گذاری در رابطه خواهیم داشت:

$$M_i \times V_i = M_f \times V_f$$

یا

$$V_i = V_f \times \frac{M_f}{M_i} = 250\text{ ml} \times \frac{0.25M}{0.1M} = 625\text{ ml}$$

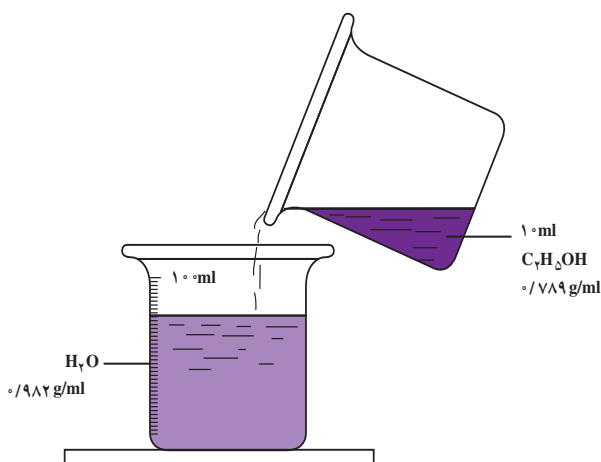
بنابراین، لازم است 625 ml از محلول غلیظ را با آب رقیق کنیم و به حجم 250 ml برسانیم. دقت کنید برای رقیق کردن اسیدها همیشه باید اسید به آب اضافه شود. بهتر است با قرار دادن یک میله شیشه‌ای در آب و ریختن اسید به آرامی روی میله شیشه‌ای، اسید را به آن منتقل کرده و به حجم رساند.

۴-۶- مولالیت

مقدار ماده‌ی حل‌شده برحسب مول در مقدار حلال (نه محلول) برحسب کیلوگرم، مولالیت نامیده می‌شود. برای مثال، محلولی که از حل کردن یک مول اوره در یک کیلوگرم آب حاصل می‌شود محلول یک مولال نامیده می‌شود و آن را به صورت $1\text{ mCO}(\text{NH}_2)_2$ نشان می‌دهند. مولالیت با فرمول زیر تعریف می‌شود.

$$\text{مولالیت (m)} = \frac{\text{تعداد مول‌های ماده‌ی حل‌شونده}}{\text{جرم حلال برحسب کیلوگرم}}$$

مثال: از حل کردن 100 ml اتانول (C_2H_5OH)، $d = 0.789\text{ g/ml}$ در آب و رساندن حجم محلول به 1000 ml و دانسیته‌ی 0.982 g/ml یک محلول اتانول تهیه شده است. روش عملی تهیه‌ی این محلول در شکل ۲-۶ نشان داده شده است. غلظت اتانول را در این محلول برحسب الف - درصد حجمی ب - درصد جرمی ج - مولاریته د - مولالیت حساب کنید.



شکل ۲-۶- تهیهی محلول اتانول - آب

حل: الف - درصد حجمی اتانول

$$\text{درصد حجمی اتانول} = \frac{\text{اتانول } 10 \text{ ml}}{\text{محلول } 100 \text{ ml}} \times 100\% = 10\%$$

ب - درصد جرمی اتانول

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = d \cdot V$$

$$\text{اتانول } 7.89 \text{ g} = 10 \text{ ml اتانول} \times 0.789 \text{ g/ml}$$

$$\text{جرم محلول} = 100 \text{ ml} \times 0.982 \text{ g/ml} = 98.2 \text{ g}$$

$$\text{درصد جرمی اتانول} = \frac{\text{اتانول } 7.89 \text{ g}}{\text{محلول } 98.2 \text{ g}} \times 100\% = 8.03\%$$

ج - مولاریتهی اتانول

ابتدا تعداد مولهای اتانول را از روی جرم اتانول در قسمت ب به دست می آوریم.

$$\text{تعداد مولهای اتانول} = \frac{\text{جرم اتانول}}{\text{جرم مولکولی آن}}$$

$$? \text{mol}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH}) = 7/89 \text{g}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH}) \times \frac{1 \text{mol}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH})}{96 \text{g}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH})}$$

$$= 0/171 \text{mol}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH})$$

تعداد مول‌های اتانول را بر حجم محلول بر حسب لیتر تقسیم می‌کنیم. $100 \text{ml} = 0/1 \text{l}$

$$\text{مولاریته} = \frac{0/171 \text{ mol}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH})}{0/1 \text{ l}} = 1/71 \text{ M}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH})$$

د - مولالیته‌ی اتانول

ابتدا درصد آب را به کیلوگرم تبدیل می‌کنیم.

با توجه به وجود 10ml اتانول در کل محلول 100ml ، مقدار حجم حلال برابر است با:

$$100 - 10 = 90 \text{ml}$$

$$\text{مقدار جرم حلال} = \frac{90}{1000} = 0/09 \text{kg}$$

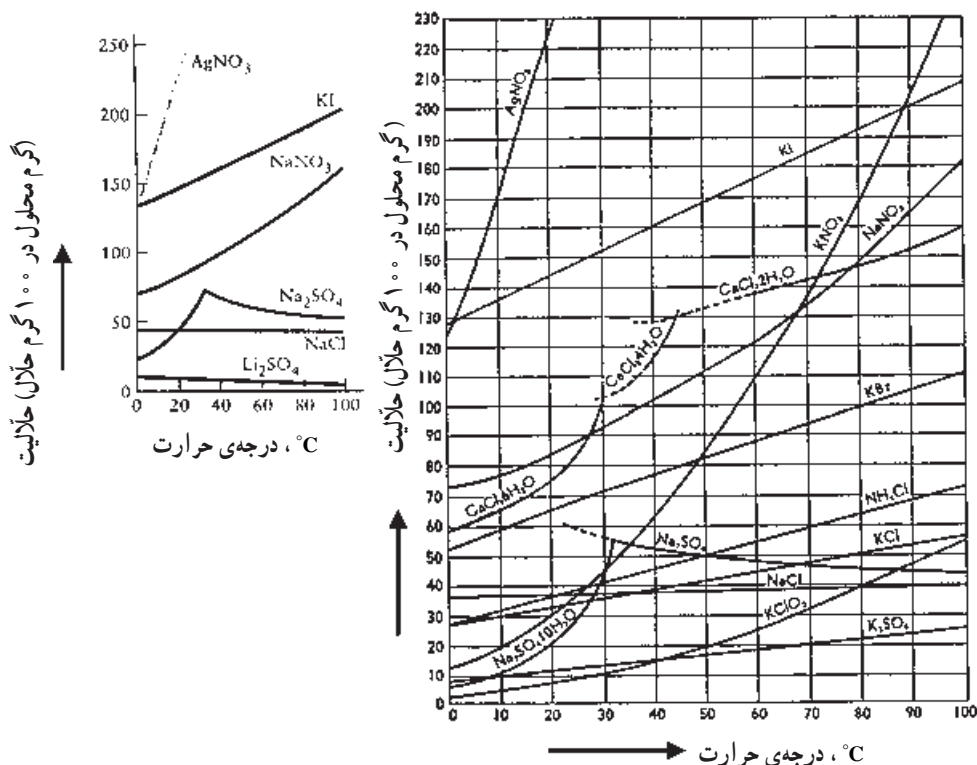
مقدار H_2O بر حسب کیلوگرم

$$\text{مولالیته} = \frac{0/171 \text{ mol}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH})}{0/09 \text{ kg}(\text{H}_2\text{O})} = 1/9 \text{m}(\text{C}_7\text{H}_5\text{OH})$$

۵-۶- تشکیل محلول و تعادل

هنگامی که ماده‌ای جامد در یک مایع حل می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟

در بعضی موارد با اضافه کردن ماده‌ی جامد به حلال ابتدا همه‌ی ماده حل می‌شود اما پس از مدت کوتاهی فرایند برگشت ذرات حل شده (مولکول‌ها، اتم‌ها و یون‌ها) به حالت جامد آغاز می‌شود و مقدار جامد افزایش می‌یابد. هنگامی که حل شدن و بلوری شدن با سرعت یک‌سان انجام شوند، محلول در حالت تعادل دینامیکی است. در این حالت مقدار ماده‌ی حل شده بر حسب زمان ثابت می‌ماند و گفته می‌شود که محلول در حالت سیر یا اشباع است. به غلظت محلول اشباع حلالیت ماده‌ی حل شده در حلال داده شده گویند. میزان حلالیت با دما تغییر می‌کند به طوری که به طور معمول با افزایش دما حلالیت افزایش می‌یابد. نمودار ۱-۶ میزان تغییرات ماده‌ی حل شونده با تغییرات دما را نشان می‌دهد.



نمودار ۱-۶- نمودار منحنی حلالیت چندین نوع نمک در آب به صورت تابعی از دما

اگر در تهیه‌ی یک محلول، از ماده‌ی حل شده مقداری به کار ببریم که کم‌تر از مقدار اشباع شده باشد، همه‌ی ماده حل می‌شود. به محلول حاصل شده، محلول غیراشباع گفته می‌شود. حال فرض کنید که یک محلول اشباع شده را که در دمای خاصی آن‌را تهیه کرده‌ایم، سرد کنیم، در این صورت در اغلب مواد مقداری از ماده حل می‌شود و به صورت بلور از محلول خارج می‌گردد.

۶-۶- بلوری شدن جزئی

موادی که معمولاً در واکنش‌های شیمیایی تولید می‌شوند ناخالص‌اند. یکی از روش‌های خالص‌سازی مواد، بلوری شدن جزئی است. به‌طور معمول جامد ناخالص شامل ماده‌ی مورد نظر است و مواد ناخواسته در آن کم‌تر است. فرض کنید که ماده‌ی مورد نظر و ناخالصی‌ها در یک حلال خاص حل می‌شوند. ابتدا محلولی با غلظت زیاد در دمای بالا تهیه می‌کنند و سپس می‌گذارند تا سرد شود. در هنگامی که دما کاهش می‌یابد غلظت ماده‌ی خواسته‌شده به حد اشباع می‌رسد و به صورت

بلور از محلول جدا می‌گردد و ته‌نشین می‌شود. ناخالصی‌ها در محلول می‌مانند زیرا دما بالاتر از آن است که این ناخالصی‌ها به حالت اشباع و به صورت جامد درآیند. این شیوه‌ی خالص‌سازی جامدها بلوری‌شدن جزئی یا بلوری‌شدن مجدد نامیده می‌شود.

مثال: از حل‌شدن ۹۵g NH_4Cl در ۲۰۰g آب، در دمای 60°C ، محلولی تهیه شده است.

اگر محلول تا دمای 20°C سرد شود چه جرمی از NH_4Cl به صورت بلور درمی‌آید؟

حل: از منحنی نمودار ۶-۱ معلوم می‌شود که میزان حلالیت NH_4Cl در دمای 20°C ،

۳۷ گرم در ۱۰۰ گرم آب است. بنابراین، مقدار NH_4Cl در محلول اشباع، در دمای 20°C ،

عبارت است از:

$$200\text{g H}_2\text{O} \times \frac{37\text{g}(\text{NH}_4\text{Cl})}{100\text{g}(\text{H}_2\text{O})} = 74\text{g}(\text{NH}_4\text{Cl})$$

پس جرم NH_4Cl ، که به صورت بلور در خواهد آمد، عبارت است از:

$$95 - 74 = 21\text{g}(\text{NH}_4\text{Cl})$$

پرسش و تمرین

- ۱- اصطلاحات محلول و محلول دو تایی را تعریف کنید.
- ۲- برخی از محلول‌های رایج را نام ببرید و اجزای تشکیل دهنده‌ی آن‌ها را بنویسید.
- ۳- غلظت محلول را تعریف کنید.
- ۴- درصد جرمی، درصد حجمی و درصد جرم حجمی هر کدام با چه رابطه‌ای به دست می‌آیند؟
- ۵- مولاریته را برحسب رابطه‌ی مربوطه تعریف کنید.
- ۶- مولالیت چیست؟ با ذکر یک مثال آن را تشریح کنید و فرمول آن را بنویسید.
- ۷- محلولی از اتانول (C_2H_5OH) از حل کردن ۱۲ ml اتانول با چگالی (دانسیته) 0.788 g/ml در آب و رساندن حجم محلول به 100 ml و چگالی 0.984 g/ml تهیه شده است مطلوب است تعیین:
 - الف - روش عملی تهیه‌ی این محلول
 - ب - غلظت اتانول در این محلول برحسب:
- درصد حجمی، درصد جرمی، درصد جرمی - حجمی، مولاریته و مولالیت
- ۸- میزان حلالیت نمک‌های Na_2SO_4 و KBr را به ترتیب در دماهای $40^\circ C$ و $80^\circ C$ از روی نمودار ۱-۶ به دست آورید.
- ۹- با توجه به منحنی حلالیت نمک‌های $KClO_3$ ، K_2SO_4 و KNO_3 میزان حلالیت این نمک‌ها را هنگامی که دما از $40^\circ C$ به $20^\circ C$ می‌رسد، با هم مقایسه کنید.
- ۱۰- 15 ml از محلول 0.45 M کبالت سولفات ($CoSO_4 \cdot 6H_2O$) را رقیق کرده و به حجم 100 ml می‌رسانیم، غلظت محلول حاصل را معین کنید.
- ۱۱- حجم یک محلول $NaCl$ به غلظت 0.15 M ، در اثر تبخیر از 275 ml به 237 ml کاهش می‌یابد. غلظت جدید محلول را معین کنید.
- ۱۲- 15 ml استیک اسید، $HC_2H_3O_2$ ($d = 1.048 \text{ g/ml}$)، را در مقدار کافی آب حل کرده و حجم محلول را به 50 ml رسانده‌ایم. مولاریته‌ی استیک اسید را در این محلول تعیین کنید.

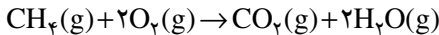
تعادل‌های شیمیایی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل، هنرجو باید بتواند:

- ۱- واکنش‌های برگشت‌پذیر را تعریف کند.
- ۲- انواع تعادل را بیان کند و برای هر کدام مثال بزند.
- ۳- عوامل مؤثر بر تعادل را توضیح دهد.

مقدمه

اغلب واکنش‌های شیمیایی برگشت‌پذیری که تا کنون با آن‌ها آشنا شده‌ایم، به‌طور کامل پیشرفت می‌نمایند. برای مثال، سوختن مقداری بنزین و گاز طبیعی در هوای کافی به‌طور کامل صورت می‌گیرد. متان موجود در سوخت گازی که از دهانه‌ی اجاق خارج می‌شود، مطابق معادله‌ی زیر می‌سوزد و چیزی از آن باقی نمی‌ماند.

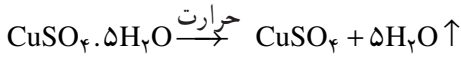


حتی واکنش‌های کندی که به‌طور خود به خودی انجام‌پذیرند، ظاهراً به‌طور کامل پیشرفت می‌کنند. مثلاً یک قطعه آهن در هوای مرطوب و در زمان‌های طولانی زنگ می‌زند و کاملاً خورده می‌شود، به‌طوری که چیزی از آن باقی نمی‌ماند. هم‌چنین گرفتن سیمان و محکم شدن آن در ساختمان برای تمام توده‌ی سیمان اتفاق می‌افتد.

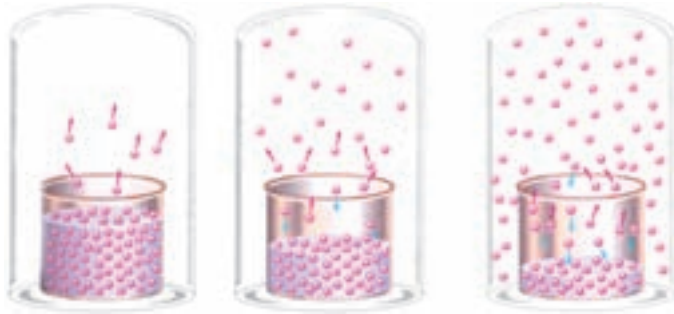
حال باید با واکنش‌های فراوان دیگری آشنا شویم که رفتار متفاوتی دارند. آن‌ها تا آخر پیشرفت نمی‌کنند بلکه بعد از پیشرفت مقدماتی به مرحله‌ای می‌رسند که به‌ظاهر در آن متوقف می‌شوند. این‌گونه واکنش‌ها، واکنش‌های برگشت‌پذیر نام دارند. آشنایی با واکنش‌های برگشت‌پذیر مبنای درک واکنش‌های تعادلی است. واکنش‌های تعادلی چه نوع واکنش‌هایی هستند و چه ویژگی‌هایی دارند؟ و مهم‌ترین کاربرد آن‌ها در زندگی و در صنعت چیست؟

یک مثال از واکنش‌های تعادلی، نمک‌های آب پوشیده (متبلور) هستند. مس سولفات آب

پوشیده (CuSO₄·5H₂O) در ساختار بلور خود تعداد معینی مولکول آب دارد، که به رنگ آبی فیروزه‌ای است. بر اثر حرارت، نمک به رنگ سفید درمی‌آید، که در این حالت مولکول‌های آب را از دست می‌دهد. می‌توان با افزودن چند قطره آب، دوباره نمک آبی رنگ درست کرد. این واکنش یک نمونه از واکنش‌های برگشت‌پذیر است.



اغلب واکنش‌های شیمیایی، که در آزمایشگاه و صنعت انجام می‌گیرند، پیشرفت کامل ندارند. به جای پیشرفت ۱۰٪ و رسیدن به محصولات خالص، به مخلوطی با نسبت ثابت از مواد می‌رسیم که در آن حالت تعادل بین مواد اولیه و محصولات واکنش برقرار شده است. می‌توان نسبت مواد را در این مخلوط تغییر داد و مثلاً به نفع پیشرفت واکنش و رسیدن سریع به محصول بیش‌تر اقدام نمود. برای انجام این کار باید مفهوم دقیق تعادل و عوامل مؤثر بر آن را شناخت. شکل‌های زیر، پدیده‌هایی را، ضمن بخار شدن یک مایع در ظرفی سر بسته، نشان می‌دهند. با دقت به این شکل‌ها نگاه کنید و سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



شکل ۱-۷- بخار شدن یک مایع در ظرف سر بسته

- الف - در کدام شکل، تنها تبخیر انجام می‌شود؟
 ب - در کدام شکل، سرعت میعان، آهسته‌تر از سرعت تبخیر است؟
 ج - در کدام شکل، سرعت تبخیر با سرعت میعان برابر شده است؟
 د - آیا برای برابر شدن سرعت تبخیر و میعان، وجود درپوش شیشه‌ای الزامی است؟ چرا؟
 ه - در کدام شکل، فشار بخار آب مقدار ثابتی شده است؟
 و - آیا ثابت ماندن فشار بخار به معنای توقف تبخیر و میعان است؟

۷-۱- انواع تعادل‌ها

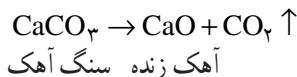
الف - تعادل فیزیکی

ب - تعادل شیمیایی

۷-۱-۱- تعادل فیزیکی: با بررسی شکل‌های صفحه‌ی قبل در مثال فوق بی‌بردییم که تبخیر یک مایع در محفظه‌ی بسته، پس از مدتی به وضعیت ویژه‌ای می‌رسد. وضعیتی که در آن سرعت تبخیر با سرعت میعان برابر می‌شود. در این حالت می‌گوییم که میان بخار و مایع آن تعادل برقرار شده است. تعادل میان یک مایع با بخار آن نمونه‌ای از تعادل فیزیکی است.

استدلال مربوط به آزمایش ترمیم بلور شکسته: یک دانه‌ی بلور درشت (مثلاً قند) را از گوشه آن می‌شکنیم و در محلول سیر شده‌ی آن برای چند روز در جای آرام و ثابت می‌گذاریم. خواهیم دید که بلور در محل شکستگی ترمیم می‌شود. نکته‌ی شگفت‌آور آن است که وزن بلور قبل از ترمیم و بعد از آن ثابت می‌ماند. مثلاً اگر وزن بلور شکسته ۲۰ گرم باشد، بعد از ترمیم نیز ۲۰ گرم خواهد بود. چگونه می‌توان این پدیده جالب را توجیه نمود؟ مسلماً نمی‌توان گفت که مولکول‌های موجود در حالت جامد، ضمن نقل مکان، به سوی محل شکستگی مهاجرت می‌کنند. چون مولکول‌ها در حالت جامد حرکت انتقالی ندارند. بنابراین، یک راه باقی می‌ماند. برخی مولکول‌های قند که در سطح بلور هستند به سبب برخورد با مولکول‌های آب حل می‌شوند. چون محلول سیر شده است و گنجایش اضافی ندارد، مولکول‌های دیگری که در نزدیکی محل شکستگی هستند روی سطح ناهموار بلور می‌نشینند و به تدریج آن را ترمیم می‌کنند. این نوع ترمیم بلور الزاماً، پویا بودن تعادل، هم‌چنین برقراری موازنه میان دو فرایند حل شدن و تبلور در مقیاس مولکولی را تأیید می‌کند.

۷-۱-۲- تعادل شیمیایی: همان‌طور که می‌دانید، آهک یکی از مصالح مهم ساختمانی است که در کوره‌های آهک‌پزی تهیه می‌شود. برای این منظور سنگ آهک را در کوره‌های سرباز حرارت می‌دهند.

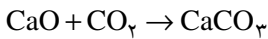


هرگاه امکان خروج گاز را از کوره تأمین کنند، این واکنش در بالاتر از ۸۰۰ درجه به طور تقریباً کامل و یک طرفه پیشرفت می‌کند و قسمت اعظم کلسیم کربنات آن به کلسیم اکسید تبدیل می‌گردد.

۱- شکست، تعادل سیستم را به هم نمی‌زند و قسمت شکسته فعال است و آمادگی به تعادل رسیدن و ترمیم شدن را دارد، سبب تمایل بلورها به ترمیم شدن، ناشی از نظمی است که در ساختار بلور وجود دارد. اتم‌ها تمایل به حفظ این نظم دارند و در محلی که به علت شکستگی بی‌نظمی رخ داده است، تمایل دارند نظم اولیه را دوباره ایجاد کنند.

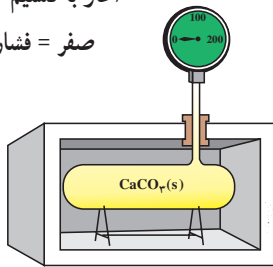
حال اگر کلسیم کربنات را در ظرف سر بسته، مطابق شکل، قرار دهیم، آن گاه هوا را تخلیه کنیم و حرارت دهیم، واکنش تجزیه مطابق معادله‌ی صفحه‌ی قبل آغاز می‌شود و فشار گاز، که ابتدا صفر بود، به تدریج بالا می‌رود. شکل ب نشان می‌دهد که حداکثر فشار به 190 میلی‌متر جیوه می‌رسد و از آن پس دیگر تغییری مشاهده نمی‌شود.

هرگاه در آزمایش دیگری، واکنش را در جهت عکس معادله‌ی فوق اجرا کنیم، یعنی با CaO و CO_2 آغاز کنیم، باز به همان نتیجه‌ی قبل می‌رسیم. به این صورت که در سیستم، هوا را تخلیه کنیم و کلسیم اکسید را با مقدار زیادی گاز کربنیک با فشار بالا مانند 400 mmHg مجاور کنیم، به تدریج و به مرور زمان فشار گاز کاهش می‌یابد و به 190 میلی‌متر جیوه خواهد رسید، که این خود نشانه‌ی مصرف مقداری گاز کربنیک و ترکیب آن با آهک است. به عبارت دیگر، نشانه‌ی پیشرفت واکنش زیر است:



در واقع واکنش را از هر طرف که شروع کنیم به نتیجه‌ی یکسان و فشار ثابت 190 میلی‌متر جیوه می‌رسیم. یعنی به حالتی که دیگر اثری از تغییر در آن نمی‌بینیم. به همین دلیل می‌گوییم که سیستم در حال تعادل است.

آغاز با کلسیم کربنات است
صفر = فشار آغازین

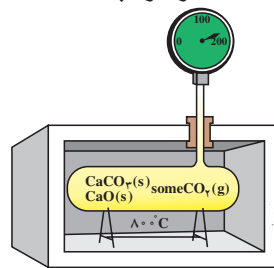


(الف)



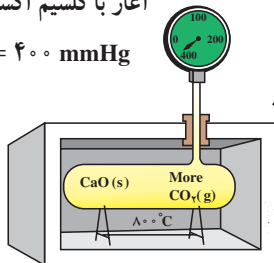
تعادل پایانی برقرار شده است

کلسیم کربنات + کلسیم اکسید و کربن دی‌اکسید
 190 mmHg = فشار گاز ثابت شده است.



(ب)

آغاز با کلسیم اکسید و کربن دی‌اکسید
 400 mmHg = فشار آغازین گاز



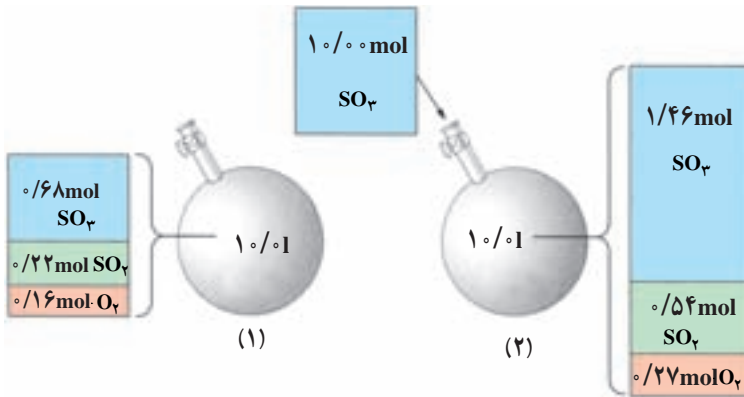
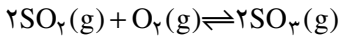
(ج)

شکل ۲-۷- سیستم تعادلی CO_2 و CaO - CaCO_3

۷-۲- عوامل مؤثر بر تعادل

همان طور که می‌دانیم، با برقراری تعادل، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم برابر و غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل ثابت می‌شود. این تساوی سرعت و ثابت شدن غلظت تا زمانی که عاملی مزاحم تعادل نشود پا برجا می‌ماند. عواملی چون تغییر غلظت، تغییر فشار و تغییر دما و اثر کاتالیزور می‌توانند موجب برهم زدن تعادل شوند.

۷-۲-۱- اثر غلظت: در ظرفی به حجم ثابت $1/0$ و در دمای 727°C تعادل زیر برقرار است. به نظر شما بر اثر افزایش $\text{SO}_3(\text{g})$ به این تعادل چه روی می‌دهد؟ با دقت به شکل زیر نگاه کنید.



شکل ۷-۳- سیستم تعادلی SO_2 و SO_3 - O_2

پس از بررسی دقیق شکل یاد شده، به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.
الف - جدول زیر را کامل کنید.

$[\text{SO}_2]$	$[\text{O}_2]$	$[\text{SO}_3]$	
			غلظت‌های تعادلی در حالت (۱)
			غلظت‌های تعادلی در حالت (۲)

ب - غلظت کدام گونه افزایش یافته است؟

ج - افزایش غلظت کدام یک از گونه‌ها از آن چه انتظار می‌رود، کم‌تر است؟ از این موضوع،

چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

د - بر اثر افزوده شدن $\text{SO}_3(\text{g})$ ، تعادل به چه سمتی جابه‌جا شده است؟

ه - سرعت واکنش‌های رفت و برگشت، ضمن افزودن $\text{SO}_3(\text{g})$ چه تغییری خواهد کرد؟ پس از برقراری تعادل جدید، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت چگونه خواهد شد؟
و - بر اثر افزوده شدن $\text{SO}_3(\text{g})$ ، خارج قسمت واکنش (Q) چه تغییری خواهد کرد؟ با توجه به این تغییر، جهت جابه‌جایی تعادل را مشخص کنید.

همان‌طور که ملاحظه می‌کنیم، تعادل در برابر تغییر غلظت از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد. بر طبق اصل لوشاتلیه^۱ چنان‌چه عاملی موجب برهم زدن حالت تعادلی یک سامانه (سیستم) شود، سامانه در جهتی جابه‌جا می‌شود که با عامل مزاحم مقابله کند و تا آن‌جا که امکان دارد اثر آن را بر طرف کند. به این ترتیب در سامانه یک تعادل جدید برقرار می‌شود.

بر طبق این اصل، «اضافی باید مصرف شود و کمبود باید جبران گردد».

مثال: تعادل $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ در ظرفی با حجم ثابت و در دمای 727°C برقرار شده است. اثر هر یک از تغییرهای زیر را بر تعادل مشخص کنید.

الف - افزودن مقداری گاز اکسیژن

ب - خارج کردن مقداری گاز گوگرد دی‌اکسید

حل:

الف - به‌طور کلی، افزودن یک ماده، تعادل را در جهت مصرف آن جابه‌جا می‌کند. در این حالت، واکنش با پیش رفتن به سمت راست، می‌تواند مقداری از $\text{O}_2(\text{g})$ را مصرف کند. بنابراین، واکنش به سمت راست پیش می‌رود تا زمانی که مجدداً به تعادل برسد.

ب - به‌طور کلی، خارج کردن یک ماده، تعادل را در جهت تولید آن جابه‌جا می‌کند. در این حالت، واکنش با پیش رفتن به سمت چپ، می‌تواند مقداری از کمبود $\text{O}_2(\text{g})$ را جبران کند. بنابراین، واکنش به سمت چپ پیش می‌رود تا دوباره تعادل برقرار شود.

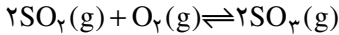
۲-۲-۷- اثر تغییر فشار: یکی از روش‌هایی که می‌توان به کمک آن فشار یک سامانه‌ی دارای حداقل یک عامل گازی در حال تعادل را در دمای ثابت تغییر داد، تغییر حجم سامانه است. برای نمونه، با تغییر حجم یک سیلندر می‌توان فشار آن را تغییر داد. آشکار است که با کاهش حجم،

۱- هنری لویی لوشاتلیه (۱۹۳۶-۱۸۵۰م) شیمی فیزیک‌دان و مهندس فرانسوی. وی در سال ۱۸۸۴ یکی از مهم‌ترین مفاهیم در مبحث تعادل‌های شیمیایی را مطرح کرد. وی علاقه‌ی زیادی به برقراری ارتباط بین علم و صنعت داشت.

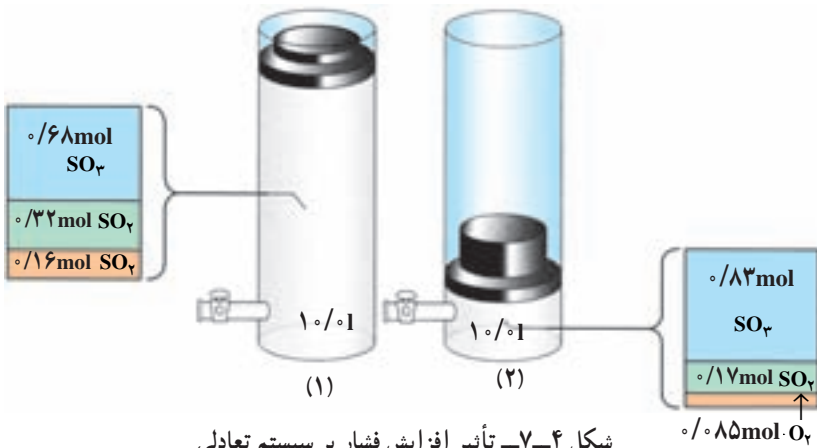
فشار زیاد و با افزایش حجم، فشار کم می‌شود.

بار دیگر، تشکیل $SO_3(g)$ از واکنش $O_2(g)$ و $SO_2(g)$ را در دمای $727^\circ C$ در نظر

بگیرید :



مطابق شکل زیر، بر اثر افزایش فشار، حجم نهایی به یک دهم حجم اولیه کاهش می‌یابد و تعادل تازه‌ای برقرار می‌شود. پس از بررسی دقیق شکل، به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



الف - پس از برقراری تعادل جدید، تعداد مول کدام یک از گونه‌های تعادلی زیاد و کدام یک

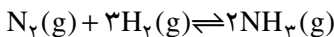
کم شده است؟

ب - بر اثر افزایش فشار، تعادل به چه سمتی جابه‌جا شده است؟

مثال: در دمای ثابت مخلوط تعادلی $N_2(g)$ ، $H_2(g)$ و $NH_3(g)$ از یک ظرف $1/0^\circ$

لیتری به یک ظرف $2/0^\circ$ لیتری منتقل می‌شود. بر اثر این انتقال، واکنش تعادلی زیر به چه سمتی

جابه‌جا می‌شود؟ توضیح دهید.



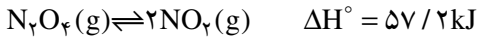
حل: وقتی مخلوط گازها به ظرف بزرگ‌تری منتقل شود، فشار کاهش می‌یابد. در نتیجه،

واکنش به سمت تعداد مول گاز بیش‌تر جابه‌جا می‌شود. در واقع مقداری از NH_3 به N_2 و H_2

تجزیه می‌شود. به بیان دیگر، واکنش به سمت چپ پیش خواهد رفت.

عامل تغییر فشار در تمام واکنش‌های تعادلی که اقلایک فاز گازی دارد مؤثر است.

۷-۲-۳ اثر تغییر دما: دیدیم که چگونه تعادل، مطابق اصل لوشاتلیه، به تغییرهای غلظت و فشار پاسخ می‌دهد. اکنون می‌خواهیم به بررسی اثر تغییر دما بر تعادل بپردازیم. برای این منظور، تعادل زیر را در نظر بگیرید.



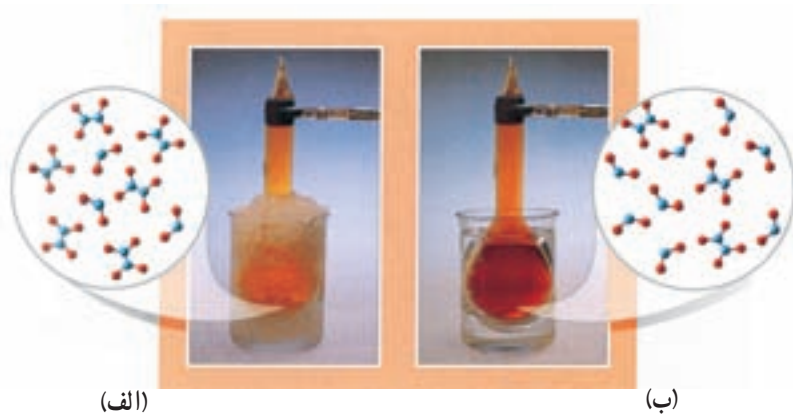
گاز نیتروژن دی‌اکسید، قهوه‌ای رنگ و گاز دی‌نیتروژن تتروکسید بی‌رنگ است. ΔH° واکنش نشان می‌دهد که تشکیل گاز نیتروژن دی‌اکسید از گاز دی‌نیتروژن تتروکسید گرماگیر است. همان‌طور که در شکل ۷-۵ مشاهده می‌کنید، رنگ محفظه‌ی واکنش در مخلوط آب گرم (شکل ۷-۵-ب) از رنگ محفظه‌ی واکنش در مخلوط آب و یخ (شکل ۷-۵-الف) پررنگ‌تر است. با دقت به این دو شکل نگاه کنید. در کدام حالت، تعداد مولکول‌های $\text{NO}_2(\text{g})$ بیش‌تر است؟ در کدام حالت، تعداد مولکول‌های $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ بیش‌تر است؟ آیا با توجه به این شکل می‌توانید جهت جابه‌جایی تعادل هنگام سرد کردن یا گرم کردن مخلوط واکنش را مشخص کنید؟

با به‌کارگیری اصل لوشاتلیه، می‌توان اثر تغییر دما را بر تعادل‌ها توضیح داد. یک روش ساده برای این کار، آن است که گرما را هم‌چون یک واکنشگر شیمیایی در نظر بگیریم. در واکنش‌های گرماگیر، گرما را هم‌چون واکنش‌دهنده و در واکنش‌های گرماده، گرما را هم‌چون فراورده در نظر می‌گیریم.

واکنش گرماگیر فراورده‌ها \rightleftharpoons گرما + واکنش‌دهنده‌ها

واکنش گرماده گرما + فراورده‌ها \rightleftharpoons واکنش‌دهنده‌ها

به‌طورکلی، هرگاه دما افزایش یابد، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که گرما را جذب کند. آیا



(الف)

(ب)

شکل ۷-۵- تعادل میان گازهای NO_2 و N_2O_4

می توان نتیجه گرفت که با کاهش دما، تعادل در جهتی جابه جا می شود که گرما تولید کند؟ در این صورت، سرد کردن یک واکنش گرماگیر، تعادل را به چه سمتی جابه جا می کند؟

پرسش و تمرین

۱- اثر هر یک از تغییرهای زیر را بر تعادل $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

مشخص کنید. این واکنش در ظرفی به حجم ثابت روی می دهد.

الف - افزودن $N_2(g)$

ب - خارج کردن $NH_3(g)$

ج - خارج کردن $H_2(g)$

۲- واکنش های برگشت پذیر، چگونه واکنش هایی هستند؟

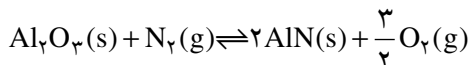
۳- انواع تعادل را نام ببرید و آن را مقایسه کنید.

۴- عوامل مؤثر بر تعادل را نام ببرید.

۵- اصل لوشاتلیه را بیان کنید.

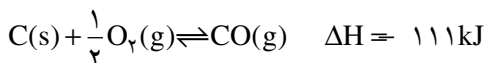
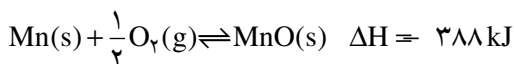
۶- تغییر فشار بر کدام واکنش های تعادلی اثر می گذارد؟

۷- افزایش حجم محفظه ی واکنش، چه تأثیری بر تعادل زیر دارد؟



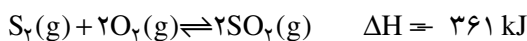
۸- افزایش دما، بر کدام یک از واکنش های اکسیداسیون زیر تأثیر بیشتری

می گذارد؟ چرا؟ این تأثیر چگونه است؟



۹- در واکنش تعادلی زیر به چند طریق می توان کاری کرد که واکنش به سمت

تولید SO_2 پیش رود؟



۱۰- اثر هر یک از متغیرهای زیر را بر تعادل $Si(s) + O_2(g) \rightleftharpoons SiO_2(s)$ ، در

ظرفی در بسته بیان کنید.

الف - افزایش دما

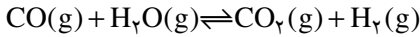
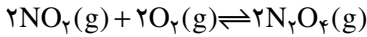
ب - افزایش فشار گاز اکسیژن

ج - کاهش غلظت Si

د - دو برابر شدن حجم محفظه‌ی واکنش

۱۱- در کدام یک از واکنش‌های تعادلی زیر، کاهش حجم موجب افزایش غلظت

فراورده‌ها می‌شود؟ چرا؟



۱۲- انتقال اکسیژن به وسیله‌ی خون به واکنش برگشت پذیر ترکیب شدن اکسیژن

با هموگلوبین (Hb) بستگی دارد. در ساختار مولکولی هموگلوبین، چهار اتم Fe

وجود دارد که به‌طور میانگین با سه مولکول O_2 پیوند برقرار می‌کند.

با صعود بر ارتفاعات، این تعادل به چه سمتی جابه‌جا می‌شود؟ چرا؟

