

### محلول‌ها

هدف‌های رفتاری: فراگیر پس از پایان این فصل باید بتواند:

- ۱- پدیده‌ی انحلال را بیان کند.
- ۲- اثر دما روی انحلال‌پذیری اجسام یونی را بیان کند.
- ۳- مفهوم غلظت برحسب درصد جرمی و مول در لیتر را توضیح دهد.

#### ۱-۶- تعریف محلول

به طوری که می‌دانید اکثر واکنش‌های شیمیایی در طبیعت در محلول آبی انجام می‌شود زیرا لازمه‌ی انجام واکنش‌های شیمیایی برخورد مؤثر بین ذره‌های واکنش‌دهنده است و شرایط برای حرکت آزادانه‌ی ذره‌ها (یون‌ها یا مولکول‌ها) در محلول و در نتیجه تماس ذره‌ها با یکدیگر بیشتر فراهم است. در یک جسم جامد ذره‌های یونی یا مولکولی نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند و از این رو واکنش بین مواد شیمیایی در حالت جامد، اگر هم صورت بگیرد، بسیار کند خواهد بود. مثلاً چنانچه جوش شیرین (سدیم هیدروژن کربنات  $\text{NaHCO}_3$ ) و جوهر لیمو (سیتریک اسید) را که هر دو جامدند با هم مخلوط کنیم واکنش آشکاری بین آنها انجام نمی‌شود. ولی اگر این مخلوط را در آب بریزیم از واکنش بین آنها گاز کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود. مواد غذایی مورد نیاز بدن پس از گوارش به صورت محلول درمی‌آیند و در آن حالت از دیواره‌ی روده عبور کرده وارد خون می‌شوند و به این وسیله به سراسر بدن راه می‌یابند.

چنانچه چند حبه قند را در مقداری آب هم بزنید بر اثر حل شدن در آب ناپدید می‌شوند و محلول شفاف آب قند به دست می‌آید. این محلول از یک جسم حل شده<sup>۱</sup> (در این مورد قند) و یک حلال (جسمی که قند در آن حل شده است، در این مورد آب) تشکیل شده است. در این محلول، مولکول‌های قند به طور یکنواخت در بین مولکول‌های آب پخش شده‌اند و خواص این محلول از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر متفاوت نخواهد بود. این محلول در واقع مخلوط همگنی از مولکول‌های جسم حل شده و آب است و هیچ مرزی اجزای سازنده‌ی آن را از یکدیگر جدا نمی‌کند در حالی که یک مخلوط ناهمگن مانند شن و نمک، از دو یا چند فاز متمایز تشکیل شده‌اند و بین اجزای

۱ - Solute

سازنده‌ی آن مرز مشخصی وجود دارد. در محلول آب قند با این که مولکول‌های قند از مولکول‌های آب سنگین‌ترند ولی هیچ‌گاه ته‌نشین نمی‌شوند. زیرا نیروهای جاذبه‌ی جدیدی که بین مولکول‌های آب و مولکول‌های قند به وجود آمده است، مانع از جدایی آن‌هاست.

به‌عنوان یک ترکیب یونی انحلال پتاسیم دی‌کرومات ( $K_2Cr_2O_7$ ) را که نارنجی‌رنگ است در نظر می‌گیریم. چنانچه ۱ گرم از این نمک را در  $100^\circ$  سانتی‌متر مکعب آب حل کنیم یک محلول نارنجی رنگ متشکل از یون‌های بی‌رنگ پتاسیم و یون‌های نارنجی رنگ دی‌کرومات خواهیم داشت. این محلول مخلوط همگنی از مولکول‌های آب، یون‌های پتاسیم و دی‌کرومات است. در این جا هم ذره‌های جسم حل شده (در این مورد یون‌ها) مانند ذره‌های (مولکول‌های) قند در مثال بالا به‌طور یکنواخت در سراسر محلول پخش شده‌اند و هیچ‌گاه ته‌نشین نخواهند شد. حال چنانچه از نمک پتاسیم دی‌کرومات به مقدار  $10^\circ$  گرم در همان مقدار آب حل کنیم باز هم یک محلول یکنواخت خواهیم داشت اما این بار شدت رنگ محلول بیش‌تر از محلول قبلی است زیرا که غلظت جسم حل شده در آن بیش‌تر است. محلول اول را یک محلول رقیق می‌نامیم زیرا در آن نسبت جسم حل شده به حلال کوچک است و محلول دوم را یک محلول غلیظ می‌نامیم زیرا که در آن این نسبت بزرگ‌تر است. توجه داشته باشید که واژه‌های رقیق و غلیظ واژه‌های کیفی هستند و به مقادیر نسبی جسم حل شده در یک محلول اشاره دارند. مقدار جسم حل شده در یک محلول رقیق بسیار کم‌تر از یک محلول غلیظ است. چنانچه بتوان در یک محلول نمک پتاسیم دی‌کرومات باز هم مقدار بیش‌تری از این نمک را حل کرد در آن صورت محلول مزبور سیر نشده نامیده می‌شود و در حالتی که محلول نمک پتاسیم دی‌کرومات و پتاسیم دی‌کرومات جامد با هم در حالت تعادل باشند چنین محلولی سیر شده نامیده می‌شود. انحلال‌پذیری<sup>۱</sup> یک نمک معین در یک دمای معین نماینده‌ی مقداری از آن نمک است که در مقدار مشخصی از حلال برای به‌وجود آمدن یک محلول سیر شده حل می‌شود. انحلال‌پذیری اجسام مختلف با یکدیگر متفاوت است مثلاً انحلال‌پذیری سدیم کلرید در  $100\text{ mL}$  آب در  $10^\circ\text{C}$  برابر  $39/12$  گرم است حال آن که انحلال‌پذیری نقره کلرید در همین مقدار آب و در همان دما برابر  $0/0021$  گرم است.

از آن جا که می‌توان از یک جسم حل شده محلول‌های با غلظت‌های متفاوت تهیه کرد این نکته روشن است که در یک محلول مقدار جسم حل شده در  $100^\circ$  گرم حلال می‌تواند در یک محدوده‌ی، معین تغییر کند. از این رو بین محلول و یک ترکیب شیمیایی تفاوت اساسی وجود دارد زیرا در یک ترکیب شیمیایی ترکیب درصد اجزای سازنده‌ی آن همواره ثابت است.

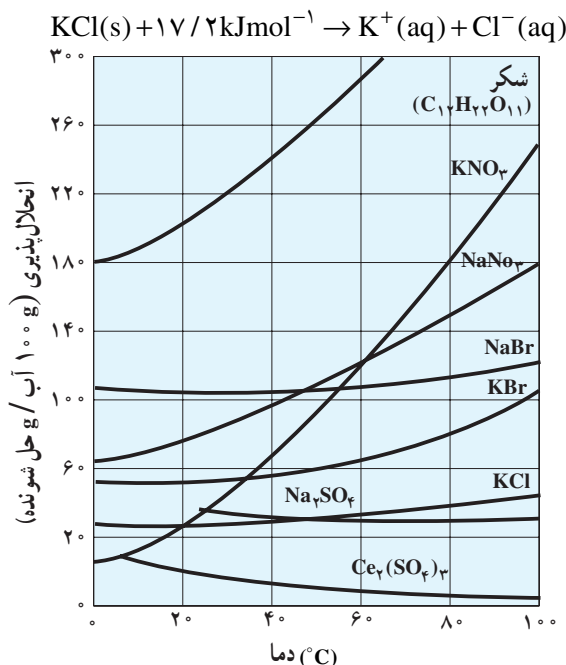
در مثال‌های بالا از آب به‌عنوان حلال یاد کردیم زیرا همان‌طور که اشاره شد در شیمی اغلب با محلول‌های آبی سروکار داریم. اما به این نکته توجه داشته باشید که تقریباً هر گاز، مایع یا جامدی می‌تواند نقش حلال را برای دیگر گازها، مایع‌ها یا جامدها داشته باشد. بسیاری از آلیاژها محلول جامدی از یک فلز در فلز دیگر است. فلز طلا که برای ساخت اشیای زینتی به کار می‌رود در واقع آلیاژی از طلا و مس است یا سکه‌ی نیکلی محلولی از نیکل در فلز مس است. هوا یک محلول گازی

(مخلوط همگنی) از نیتروژن، اکسیژن و گازهای دیگر است یا نوشابه‌ی گازدار محلولی از کربن دی‌اکسید در آب است.

گرچه اغلب تمیز جسم حل شده و حلال از یکدیگر آسان است و آن جسمی را که به میزان بیش‌تری وجود دارد حلال می‌نامیم ولی تمیز آن‌ها از یکدیگر مشکل است. مثلاً چنانچه مقدار مساوی از آب و الکل داشته باشیم معلوم نیست کدام یک را باید به‌عنوان حلال اختیار کرد.

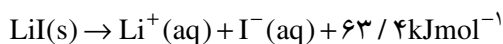
## ۲-۶- اثر دما روی انحلال‌پذیری جامدها

بستگی انحلال‌پذیری به دما برای تعدادی از اجسام معدنی در شکل ۱-۶ نشان داده شده است. به‌طور کلی انحلال‌پذیری یک جسم با افزایش دما زیاد می‌شود، اگرچه موارد استثنا نیز وجود دارد. چنانچه انحلال جسم حل شده گرماده باشد، گرم کردن محلول موجب می‌شود که مقداری از جسم حل شده از محلول جدا شود و در واقع انحلال‌پذیری جسم حل شده کاهش می‌یابد. برعکس چنانچه انحلال جسم حل شده در آب گرماگیر باشد، گرم کردن محلول موجب می‌شود که مقدار بیش‌تری از آن جسم در آب حل شود و به این ترتیب انحلال‌پذیری افزایش می‌یابد. مثلاً انحلال‌پذیری پتاسیم کلرید گرماگیر است و با افزایش دما افزایش می‌یابد.



شکل ۱-۶- رابطه‌ی بین انحلال‌پذیری و دما برای چند ترکیب یونی

برعکس، انحلال‌پذیری لیتیم یدید گرماده است و انتظار می‌رود که انحلال‌پذیری آن با افزایش دما کاهش یابد.

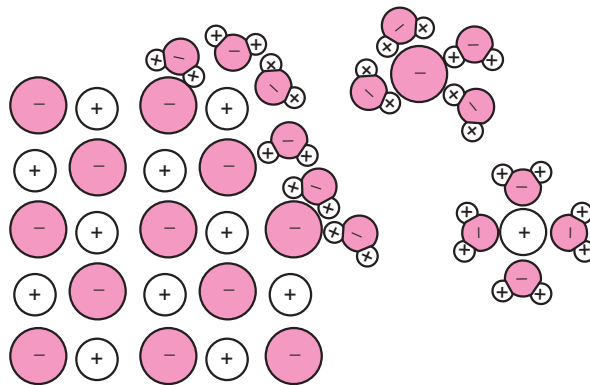


در مواردی مانند سدیم برمید و سدیم کلرید که گرمای انحلال آن‌ها در آب ناچیز است (برای NaBr برابر ۱۳/۱- کیلوژول بر مول و برای سدیم کلرید برابر ۸۶/۳ کیلوژول بر مول است)، افزایش یا کاهش دما تأثیر چندانی بر انحلال‌پذیری آن‌ها ندارد.

### ۳-۶- انحلال ترکیبات یونی

یک جامد یونی مانند سدیم کلرید مجموعه‌ی منظمی از یون‌های مثبت (در این مورد  $\text{Na}^+$ ) و منفی (در این مورد  $\text{Cl}^-$ ) است که شبکه‌ی بلور سدیم کلرید را تشکیل می‌دهند. بالا بودن دمای ذوب سدیم کلرید نشان می‌دهد که نیروی جاذبه بین یون‌های سدیم و کلرید در بلور این جسم زیاد است و بنابراین برای از هم پاشیدن شبکه‌ی بلور سدیم کلرید به انرژی زیادی نیاز است. از آن جا که در فرآیند انحلال این نمک (شکل ۲-۶) لازم است که یون‌های سازنده‌ی نمک از هم جدا و در آب پراکنده شوند به این نتیجه می‌رسیم که انرژی حاصل از آپوشی یون‌های سدیم و یون‌های کلرید باید بیش‌تر از انرژی شبکه‌ی بلور سدیم کلرید، باشد.

هنگامی که یک جامد یونی در آب قرار می‌گیرد مولکول‌های قطبی آب از سر قطب منفی خود (اکسیژن) به یون‌های مثبت و از سر قطب مثبت خود (هیدروژن) به یون‌های منفی این جامد یونی نزدیک می‌شوند. در صورتی که نیروی جاذبه‌ی جدید یون - دوقطبی بیش‌تر از نیروی جاذبه‌ی یونی در بلور باشد این یون‌ها به تدریج از سطح بلور کنده شده و در آب پخش می‌شوند. نقره کلرید برخلاف سدیم کلرید در آب حل نمی‌شود زیرا در این مورد انرژی آپوشی یون‌ها برای غلبه بر انرژی شبکه‌ی بلور نقره کلرید کافی نیست.



شکل ۲-۶- حل شدن یک جامد یونی در آب

### ۴-۶- غلظت محلول‌ها

غلظت یک جسم حل شده را در یک حلال می‌توان به صورت جرم آن جسم در جرم معینی از حلال (مثلاً ۱ گرم  $\text{NaCl}$  در ۱۰۰ گرم آب) بیان کرد. یا این که می‌توان غلظت آن را به صورت درصد جرمی بیان کرد. مثلاً محلول ۱۰٪ جرمی  $\text{NaCl}$  شامل ۱۰ گرم  $\text{NaCl}$  در ۱۰۰ گرم محلول (۱۰ گرم  $\text{NaCl}$  + ۹۰ گرم آب) است.

$$\% \text{ جرم حل شده} = \frac{\text{جرم جسم حل شده}}{\text{جرم محلول}} \times 100$$

وقتی در محاسبات از مفهوم درصد جرمی استفاده می‌کنیم گرم‌های جسم حل شده در ۱۰۰ گرم محلول را در نظر می‌گیریم. بنابراین برای محاسبه‌ی جرم جسم حل شده در حجم معینی از محلول

لازم است که چگالی آن محلول (یعنی جرم یک میلی لیتر از آن محلول) را بدانیم. مثلاً در آزمایشگاه از هیدروکلریک اسید غلیظ استفاده می کنیم. مشخصات محلول این اسید روی شیشه قید شده است. چگالی،  $1/19 \text{ g/ml}$ ؛  $37/2\%$  جرمی. چنانچه بخواهیم جرم این اسید را در یک لیتر از محلول غلیظ محاسبه کنیم، به صورت زیر عمل می کنیم.

$$\frac{\text{گرم محلول } 1/19}{1 \text{ mL}} \times 1000 \text{ mL} = 1190 \text{ گرم محلول}$$

با توجه به درصد جرمی این اسید ( $37/2 \text{ g}$  اسید در  $100 \text{ g}$  محلول) خواهیم داشت:

$$1190 \text{ گرم محلول} \times \frac{\text{گرم } 37/2 \text{ HCl}}{100 \text{ گرم محلول}} = 443 \text{ HCl / گرم}$$

یک راه دیگر برای بیان غلظت استفاده از مفهوم مولاریته است. مولاریته ی یک محلول به صورت تعداد مول های یک جسم حل شده در یک لیتر محلول تعریف می شود.

$$\text{مولاریته} = \frac{\text{تعداد مول های جسم حل شده}}{\text{تعداد لیترهای محلول}}$$

مثلاً اگر  $40 \text{ گرم}$  (یک مول) از سدیم هیدروکسید در دو لیتر محلول داشته باشیم مولاریته ی این محلول باز به شرح زیر محاسبه می شود:

$$\text{مولاریته} = \frac{40 \text{ g} / 40 \text{ g mol}^{-1}}{2 \text{ L}} = 0.5 \text{ mol/L}$$

یا با توجه به مشخصات داده شده روی شیشه ی سولفوریک اسید غلیظ: چگالی  $1/84 \text{ g/mL}$ ؛ درصد جرمی اسید  $98/3\%$  می خواهیم مولاریته ی این اسید را حساب کنیم.

$$1000 \text{ mL} \times \frac{1/84 \text{ g محلول}}{1 \text{ mL محلول}} = 1/84 \times 10^3 \text{ g محلول}$$

$$1/84 \times 10^3 \text{ g محلول} \times \frac{98/3 \text{ g H}_2\text{SO}_4}{100 \text{ g محلول}} = 1/81 \times 10^3 \text{ g H}_2\text{SO}_4$$

$$1/81 \times 10^3 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \div 98 \text{ g mol}^{-1} = 18/5 \text{ mol/L}$$

- ۶-۱- تفاوت محلول با یک ترکیب شیمیایی چیست؟
- ۶-۲- تفاوت محلول با یک مخلوط ناهمگن چیست؟
- ۶-۳- نشان دهید که چگونه مشخصات یک محلول برای محلول کربن دیوکسید در هوا، محلول اتانول ( $C_2H_5OH$ ) در آب و محلول پتاسیم کلرید در آب صادق است.
- ۶-۴- مفاهیم جسم حل شده، حلال، رقیق و غلیظ را تعریف کنید.
- ۶-۵- اثر دما بر انحلال پذیری ترکیبات یونی چگونه است؟
- ۶-۶- حدود ۱ گرم کلسیم به صورت  $Ca^{2+}$  در یک لیتر شیر وجود دارد. مولاریته یون کلسیم در شیر چیست؟
- ۶-۷- تعداد مول‌های جسم حل شده را در هریک از موارد زیر حساب کنید:
- الف) ۲ لیتر محلول  $M \ 18/5$  سولفوریک اسید
- ب) ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول  $M \ 3/0$  گلوکز ( $C_6H_{12}O_6$ )
- ۶-۸- مولاریته ی هریک از محلول‌های زیر را حساب کنید:
- الف) ۴/۲۵ گرم ( $NH_3$ ) در  $L \ 5/0$  محلول
- ب) ۰/۲۹ گرم ید ( $I_2$ ) در  $L \ 1/0$  محلول
- ۶-۹- پنج میلی‌لیتر از هیدروکلریک اسید ۶ مولار را تا چه حجمی رقیق کنیم تا غلظت محلول حاصل  $M \ 1/0$  باشد؟
- ۶-۱۰- ۲۶۴ گرم آمونیوم سولفات،  $(NH_4)_2SO_4$ ، با جرم مولی  $132g$  را در یک لیتر آب حل می‌کنیم مولاریته تقریبی این محلول چیست؟ چگالی آمونیوم سولفات متبلور برابر  $1/76g \ mL^{-1}$  است (فرض کنید حجم‌ها جمع پذیر باشند).
- ۶-۱۱- چنانچه  $175mL$  از یک محلول ۲ مولار را تا حجم یک لیتر رقیق کنیم، مولاریته محلول به دست آمده چیست؟