محلول‌ها

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

۱ــ پدیده‌ی انحلال را بیان کند.

۲ــ اثر دما روی انحلال‌پذیری اجسام یونی را بیان کند.

۳ــ مفهوم غلظت برحسب درصد جرمی و مول در لیتر را توضیح دهد.

۱ــ۶ــ تعریف محلول

به‌طوری 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 این‌رو واکنش بین مواد شیمیایی درحالت جامد، اگر هم صورت بگیرد، بسیار کند خواهد بود. مثلاً چنانچه جوش‌شیرین (سدیم هیدروژن کربنات $NaHCO_3$) و جوهرلیمو (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 کربن‌دیوکسید 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 براثر حل شدن در آب ناپدید می‌شوند و محلول شفاف آب قند به دست می‌آید. این محلول از یک **جسم حل شده**[۱] (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 به‌طور 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 ــ 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 به‌وجود آمده است، مانع از جدایی آن‌هاست.

به‌عنوان یک ترکیب یونی انحلال پتاسیم دی‌کرومات ($K_2Cr_2O_7$) را که نارنجی‌رنگ است درنظر می‌گیریم. چنانچه ۱ گرم از این نمک را در ۱۰۰ 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 این‌جا 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 ۱۰ گرم در همان مقدار آب حل کنیم باز هم یک محلول یکنواخت خواهیم داشت اما این‌بار 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 بازهم مقدار بیش‌تری از این نمک را حل کرد در آن صورت محلول مزبور **سیرنشده** نامیده می‌شود و در حالتی که محلول نمک پتاسیم‌دی‌کرومات و پتاسیم‌دی‌کرومات جامد باهم در حالت تعادل باشند چنین محلولی **سیرشده** نامیده می‌شود. **انحلال‌پذیری**[1] یک نمک معیّن در یک دمای معیّن نماینده‌ی مقداری از آن نمک است که در مقدار مشخصی از حلال برای به‌وجود آمدن یک محلول سیرشده حل می‌شود. انحلال‌پذیری اجسام مختلف با یکدیگر متفاوت است مثلاً انحلال‌پذیری سدیم کلرید در ۱۰۰mL آب در $100^{\circ}C$ برابر ۳۹/۱۲ گرم است حال آن که انحلال‌پذیری نقره کلرید در همین مقدار آب و در همان دما برابر ۰/۰۰۲۱ گرم است.

از آن‌جا 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 ۱۰۰ گرم حلال می‌تواند در یک محدوده‌ی، معیّن تغییر کند. از این‌رو 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 به‌کار می‌رود در واقع آلیاژی از طلا و مس است یا سکه‌ی نیکلی محلولی از نیکل در فلز مس است. هوا یک محلول گازی

۱ــ Solubility

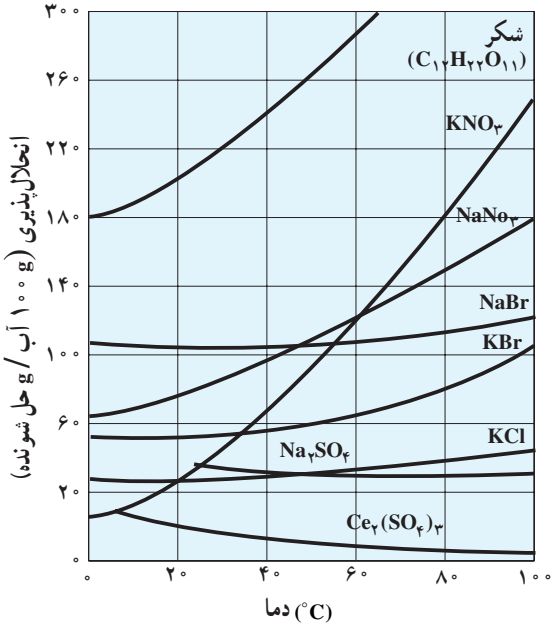
(مخلوط همگنی) از نیتروژن، اکسیژن و گازهای دیگر است یا نوشابه‌ی گازدار محلولی از کربن دیوکسید در آب است.

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.

۲ــ۶ــ اثر دما روی انحلال‌پذیری جامدها

بستگی انحلال‌پذیری به دما برای تعدادی از اجسام معدنی در شکل ۱ــ۶ 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 می یابد. مثلاً انحلال‌پذیری پتاسیم کلرید گرماگیر است و با افزایش دما افزایش می‌یابد.

$$KCl(s) + ۱۷/۲ kJmol^{-۱} \rightarrow K^+(aq) + Cl^-(aq)$$



شکل ۱ــ۶ــ رابطه‌ی بین انحلال‌پذیری و دما برای چند ترکیب یونی

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

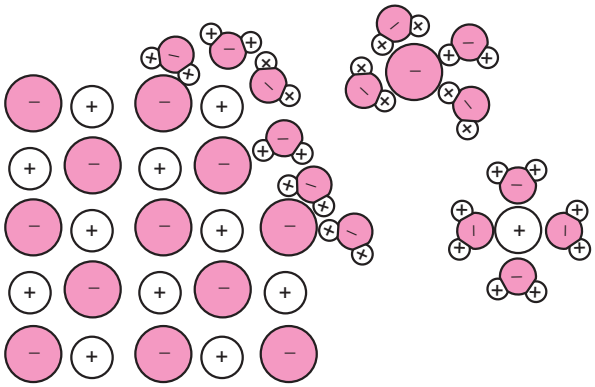
$$LiI(s) \rightarrow Li^+(aq) + I^-(aq) + ۶۳/۴ kJmol^{-۱}$$

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

۳ــ۶ــ انحلال ترکیبات یونی

یک جامد یونی مانند سدیم کلرید مجموعه‌ی منظمی از یون‌های مثبت (در این مورد Na^+) و منفی (در این مورد 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 ۲ــ۶) لازم است که یون‌های سازنده‌ی نمک از هم جدا و در آب پراکنده شوند به این نتیجه می‌رسیم که انرژی حاصل از آبپوشی 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 ــ دوقطبی بیش‌تر از نیروی جاذبه‌ی یونی در بلور باشد این یون‌ها به تدریج از سطح بلور کنده شده و در آب پخش می شوند. نقره کلرید برخلاف سدیم کلرید در آب حل نمی‌شود زیرا در این مورد انرژی آبپوشی یون‌ها برای غلبه بر انرژی شبکه‌ی بلور نقره کلریدکافی نیست.



شکل ۲ــ۶ ــ حل شدن یک جامد یونی در آب

۴ــ۶ــ غلظت محلول‌ها

غلظت یک جسم حل شده را در یک حلال می‌توان به‌صورت جرم آن جسم در جرم معیّنی از حلال (مثلاً ۱ گرم NaCl در ۱۰۰گرم آب) بیان کرد. یا این‌که می‌توان غلظت آن را به‌صورت **درصدجرمی** بیان کرد. مثلاً محلول ۱۰٪ جرمی NaCl شامل ۱۰ گرم NaCl در ۱۰۰ گرم محلول (۱۰ گرم NaCl + ۹۰ گرم آب) است.

$$\text{٪ جسم حل شده} = \frac{\text{جرم جسم حل شده}}{\text{جرم محلول}} \times ۱۰۰$$

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

لازم است که چگالی آن محلول (یعنی جرم یک میلی‌لیتر از آن محلول) را بدانیم. مثلاً در آزمایشگاه از هیدروکلریک اسید غلیظ استفاده می‌کنیم. مشخصات محلول این اسید روی شیشه قید شده است. چگالی، ۱/۱۹g/ml ؛ ۳۷/۲٪ جرمی. چنانچه بخواهیم جرم این اسید را در یک لیتر از محلول غلیظ محاسبه کنیم، به‌صورت زیر عمل می‌کنیم.

$$\text{گرم محلول } ۱۱۹۰ = ۱۰۰۰\cancel{mL} \times \frac{\text{گرم محلول } ۱/۱۹}{۱\cancel{mL}}$$

با توجه به درصد جرمی این اسید (۳۷/۲ g اسید در ۱۰۰ g محلول) خواهیم داشت :

$$\text{گرم } HCl\ ۴۴۳/ = \text{گرم } \cancel{\text{محلول}}\ ۱۱۹۰ \times \frac{\text{گرم } ۳۷/۲HCl}{\text{گرم } \cancel{\text{محلول}}\ ۱۰۰}$$

یک راه دیگر برای بیان غلظت استفاده از مفهوم **مولاریته** است. مولاریته‌ی یک محلول به‌صورت تعداد مول‌های یک جسم حل شده در یک لیتر محلول تعریف می‌شود.

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

مثلاً اگر ۴۰ گرم (یک مول) از سدیم هیدروکسید در دولیتر محلول داشته باشیم مولاریته‌ی این محلول باز به شرح زیر محاسبه می‌شود :

$$\text{مولاریته} = \frac{۴۰g/۴۰g\ mol^{-۱}}{۲L} = ۰/۵\,mol/L$$

یا با توجه به مشخصات داده شده روی شیشه‌ی سولفوریک اسید غلیظ : چگالی ۱/۸۴g/mL ؛ درصد جرمی اسید ۹۸/۳٪ می‌خواهیم مولاریته‌ی این اسید را حساب کنیم.

$$\text{محلول } ۱۰۰۰mL \times \frac{\text{محلول } ۱/۸۴g}{۱mL\ \text{محلول}} = ۱/۸۴ \times ۱۰^{۳}g \text{ محلول}$$

$$۱/۸۴ \times ۱۰^{۳}g \text{ محلول} \times \frac{۹۸/۳g\ H_۲SO_۴}{۱۰۰g\ \text{محلول}} = ۱/۸۱ \times ۱۰^{۳}g\ H_۲SO_۴$$

$$۱/۸۱ \times ۱۰^{۳}g\ H_۲SO_۴ \div ۹۸g\ mol^{-۱} = ۱۸/۵\,mol/L$$

تمرین

۱ـ۶ــ تفاوت محلول با یک ترکیب شیمیایی چیست؟

۲ـ۶ــ تفاوت محلول با یک مخلوط ناهمگن چیست؟

۳ـ۶ــ نشان دهید که چگونه مشخصات یک محلول برای محلول کربن‌دیوکسید در هوا، محلول اتانول (C_2H_5OH) در آب و محلول پتاسیم کلرید در آب صادق است.

۴ـ۶ــ مفاهیم جسم حل شده، حلال، رقیق و غلیظ را تعریف کنید.

۵ـ۶ــ اثر دما بر انحلال‌پذیری ترکیبات یونی چگونه است؟

۶ـ۶ــ حدود ۱ گرم کلسیم به‌صورت Ca^{2+} در یک لیتر شیر وجود دارد. مولاریته‌ی یون کلسیم در شیر چیست؟

۷ـ۶ــ تعداد مول‌های جسم حل شده را در هریک از موارد زیر حساب کنید :

الف) ۲ لیتر محلول ۱۸/۵ M سولفوریک اسید

ب) ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۳ M گلوکز ($C_6H_{12}O_6$)

۸ـ۶ــ مولاریته‌ی هریک از محلول‌های زیر را حساب کنید :

الف) ۴/۲۵ گرم (NH_3) در ۰/۵ L محلول

ب) ۰/۰۲۹ گرم ید (I_2) در ۰/۱ L محلول

۹ـ۶ــ پنج میلی‌لیتر از هیدروکلریک اسید ۶ مولار را تا چه حجمی رقیق کنیم تا غلظت محلول حاصل ۰/۱M باشد؟

۱۰ـ۶ــ ۲۶۴ گرم آمونیوم سولفات، $(NH_4)_2SO_4$، با جرم مولی ۱۳۲g را در یک لیتر آب حل می‌کنیم مولاریته تقریبی این محلول چیست؟ چگالی آمونیوم سولفات متبلور برابر $1/76\ g\ mL^{-1}$ است (فرض کنید حجم‌ها جمع‌پذیر باشند).

۱۱ـ۶ــ چنانچه ۱۷۵mL از یک محلول ۲ مولار را تا حجم یک لیتر رقیق کنیم، مولاریته محلول به‌دست آمده چیست؟