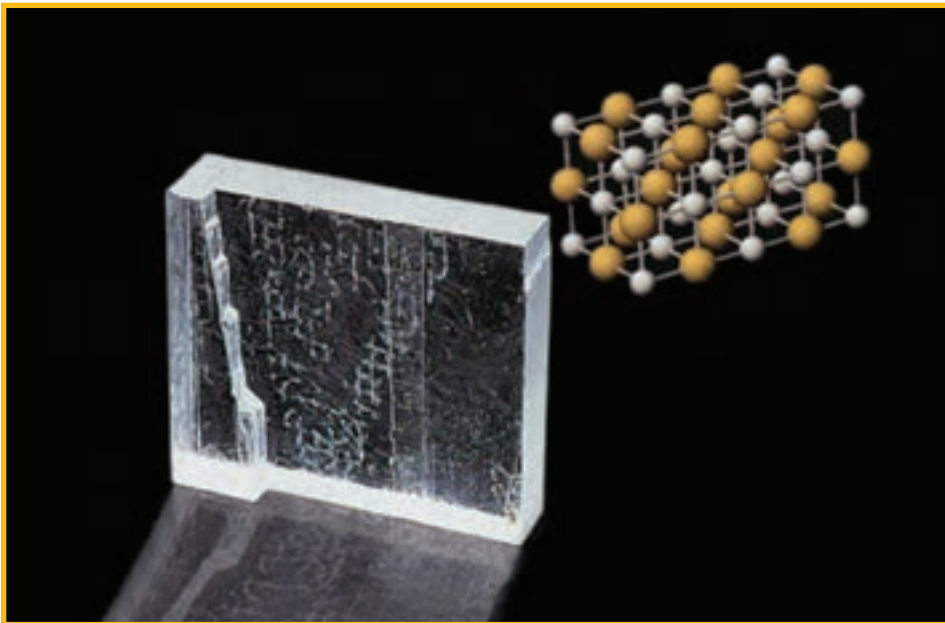


بخش ۳

پیوند یونی و ترکیب‌های یونی



در بخش ۱ با آرایش الکترونی اتم‌ها آشنا شدید و ملاحظه کردید که اتم گازهای نجیب که در انتهای هر یک از دوره‌های جدول تناوبی عناصرها قرار گرفته‌اند در بیرونی‌ترین لایه الکترونی خود هشت الکترون دارند (بجز اتم هلیم که بیرونی‌ترین لایه الکترونی آن ۱s است و با دو الکترون پر می‌شود). این عناصرها تک اتمی هستند و همان‌طور که می‌دانید از نظر شیمیایی بی‌اثرند یا میل ترکیبی کمی دارند. بنابراین، به نظر می‌رسد که وجود این لایه هشتایی، این اتم‌ها را پایدار کرده است.

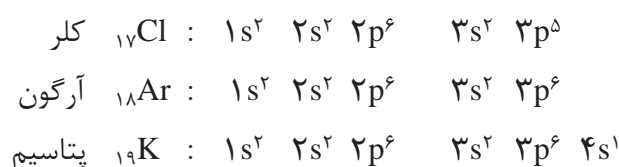
قاعده هشتایی (اوکت) و واکنش‌پذیری اتم‌ها

هشتایی شدن تعداد الکترون‌های موجود در بیرونی‌ترین لایه الکترونی (لایه ظرفیت)



و دستیابی به آرایش الکترونی گازهای نجیب مبنایی برای سنجش پایداری اتم‌ها و در واقع میزان واکنش‌پذیری آنهاست. انجام شدنی‌ترین واکنش‌ها آنهایی هستند که طی آنها اتم‌ها به این آرایش هشتایی پایدار دست می‌یابند. وقتی اتمی به آرایش هشتایی پایدار می‌رسد، از واکنش‌پذیری آن کاسته می‌شود و دیگر تمایلی به تشکیل پیوندهای بیشتر، از خود نشان نمی‌دهد. پس، اتمی که در زیر لایه‌های s و p بیرونی‌ترین لایه الکترونی خود کمتر از هشت الکترون دارد واکنش‌پذیر است، زیرا می‌تواند برای رسیدن به آرایش هشتایی پایدار، با اتم‌های دیگر به مبادله الکترون بپردازد.

اکنون آرایش الکترونی اتم‌های کلر، آرگون و پتاسیم را در نظر بگیرید. تفاوت آرایش الکترونی اتم پتاسیم با اتم آرگون تنها در وجود یک الکترون در اوربیتال 4s است. واکنش‌پذیری پتاسیم تنها به علت وجود این تک الکترون در لایه ظرفیت آن است، زیرا با از دست دادن این الکترون ذره‌ای به دست می‌آید که آرایش الکترونی آن با آرایش الکترونی پایدار اتم آرگون (گاز نجیب پیش از آن) یکسان خواهد بود.



با مقایسه آرایش الکترونی اتم کلر و اتم آرگون درمی‌یابیم که اتم کلر در لایه ظرفیت خود یک الکترون کمتر از اتم آرگون دارد. از این رو اتم کلر می‌تواند با گرفتن یک الکترون به آرایش الکترونی پایدار اتم آرگون (گاز نجیب پس از خود) دست یابد. به این ترتیب اتم کلر برای رسیدن به آرایش الکترونی هشتایی تمایل دارد تا از طریق انجام دادن واکنش‌های شیمیایی این کمبود الکترون خود را جبران کند. بر این مبنا واکنش‌پذیری اتم‌های پتاسیم و کلر قابل توجه است. **قاعده هشتایی** یا **اوکتت** و به عبارت دیگر تمایل اتم‌ها برای رسیدن به آرایش الکترونی گازهای نجیب (آرایش هشتایی) راهی مناسب برای سنجش میزان واکنش‌پذیری اتم‌ها است.

مشاهده‌ها نشان می‌دهد که فلزها عنصرهایی هستند که اتم آنها با از دست دادن الکترون‌های ظرفیت خود به آرایش هشتایی می‌رسند. درحالی که نافلزها عنصرهایی هستند که با گرفتن الکترون به این آرایش پایدار دست می‌یابند.

از آن جا که اتم‌ها ذره‌هایی خنثی هستند با از دست دادن یا گرفتن یک یا چند الکترون به ذره‌های بارداری به نام **یون** تبدیل می‌شوند. **کاتیون** و **آنیون** نام‌هایی است که به ترتیب به این ذره‌ها اطلاق شده است. اتم فلزها با از دست دادن الکترون به کاتیون و اتم نافلزها با گرفتن الکترون به آنیون تبدیل می‌شوند.

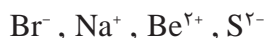
کاتیون ذره‌ای با بار مثبت
و آنیون ذره‌ای با بار منفی
است.



خود را بیازمایید

۱- هر یک از اتم‌های روبیدیم، کلسیم، اکسیژن، ید و نیتروژن از چه راهی به آرایش هشتایی پایدار می‌رسند؟ ذرهٔ باردار حاصل از آنها آنیون یا کاتیون است؟ آرایش الکترونی آنها را رسم کنید.

۲- با نوشتن آرایش الکترونی یون‌های زیر، معین کنید که هر یک از آنها آرایش الکترونی کدام گاز نجیب را دارد؟



یون‌های تک اتمی

بسیاری از عنصرهای گروه‌های اصلی جدول تناوبی با از دست دادن یا به دست آوردن یک یا چند الکترون یون‌هایی با آرایش گاز نجیب تشکیل می‌دهند. برای مثال فلزهای گروه ۱ با از دست دادن یک الکترون، کاتیونی با بار +۱ و فلزهای گروه ۲ با از دست دادن دو الکترون کاتیونی با بار +۲ تولید می‌کنند.

در سمت راست جدول تناوبی، نافلزهای گروه ۱۶ با به دست آوردن دو الکترون آنیونی با بار -۲ و نافلزهای گروه ۱۷ با به دست آوردن یک الکترون آنیونی با بار -۱ تولید می‌کنند.

یون تک اتمی کاتیون یا آنیونی است که تنها از یک اتم تشکیل شده است.

جدول ۱ یون‌های تک اتمی متداول (یون‌هایی که کمتر متداول اند با علامت * مشخص شده‌اند).

بار مثبت	نام یون	نشانهٔ شیمیایی	بار منفی	نام یون	نشانهٔ شیمیایی
۱+	یون هیدروژن*	H^{+}	۱-	یون هیدرید*	H^{-}
	یون لیتیم	Li^{+}		یون فلوئورید	F^{-}
	یون سدیم	Na^{+}		یون کلرید	Cl^{-}
	یون پتاسیم	K^{+}		یون برمید	Br^{-}
	یون سزیم	Cs^{+}		یون یدید	I^{-}
	یون نقره	Ag^{+}			
۲+	یون منیزیم	Mg^{2+}	۲-	یون اکسید	O^{2-}
	یون کلسیم	Ca^{2+}		یون سولفید	S^{2-}
	یون استرانسیم*	Sr^{2+}			
	یون باریوم	Ba^{2+}			
	یون روی	Zn^{2+}			
۳+	یون آلومینیم	Al^{3+}	۳-	یون نیتريد*	N^{3-}

به هر یونی که از یک اتم، آن هم بر اثر گرفتن یا از دست دادن یک یا چند الکترون تشکیل می شود یون تک اتمی می گویند. برای نشان دادن یک یون تک اتمی باید هم نماد شیمیایی عنصری که یون از اتم آن ایجاد شده است و هم نوع و میزان بار آن را بنویسیم. فهرستی از نشانه‌های شیمیایی و بار چندین یون تک اتمی در جدول ۱ آمده است. چنانچه بار یون $+1$ یا -1 نباشد، برای مثال در مورد یون منیزیم، آن را به صورت Mg^{2+} و در مورد یون اکسید آن را به صورت O^{2-} می نویسیم. نوشتن آن به صورت های Mg^{++} یا Mg^{--} درست نیست.

برای نامیدن کاتیون های تک اتمی، پیش از نام عنصر کلمه یون را اضافه می کنیم، مانند یون سدیم (Na^+) و یون منیزیم (Mg^{2+}). برای نامیدن یک آنیون تک اتمی، افزون بر به کار بردن کلمه یون پیش از نام آنیون، به انتهای نام نافلز (یا ریشه نام آن) پسوند «ید» اضافه می کنیم، مانند یون کلرید (Cl^-)، یون سولفید (S^{2-}) و یون نیتريد (N^{3-}).

تعیین بار برخی از یون ها، به ویژه یون فلزهای واسطه، با به کار بردن قاعده هشتمی امکان پذیر نیست، زیرا این یون ها بدون داشتن آرایش الکترونی گاز نجیب به پایداری می رسند. (بحث پیرامون این موضوع خارج از محدوده این کتاب است.) افزون بر این، برخی از این عناصر می توانند یون هایی با بارهای متفاوت داشته باشند. برای مثال، آهن یون های $+2$ و $+3$ ، مس یون های $+1$ و $+2$ و کروم یون های $+2$ و $+3$ تشکیل می دهند. این یون ها را به ترتیب یون آهن (II) و یون آهن (III)، یون مس (I) و یون مس (II) و یون کروم (II) و یون کروم (III) می نامند. به طوری که ملاحظه می کنید بار این یون ها با عدد رومی در داخل پرانتز نشان داده شده است. برای نشان دادن بار یون عنصرهایی که تنها یک نوع کاتیون تشکیل می دهند، مانند یون های سدیم و منیزیم که بار آنها به ترتیب $+1$ و $+2$ است، هرگز عدد رومی به کار نمی بریم. برای مثال نام گذاری یون منیزیم به صورت یون منیزیم (II) درست نیست. بارهای متداول برخی از یون ها در شکل ۱ آمده است. فهرست تعدادی از فلزهایی که بیش از یک یون تک اتمی می دهند در جدول ۲ آمده است.

گروه →

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱	H^+																H^-	
۲	Li^+															N^{3-}	O^{2-}	F^-
۳	Na^+	Mg^{2+}											Al^{3+}			S^{2-}	Cl^-	
۴	K^+	Ca^{2+}	Sc^{3+}	Ti^{2+}	V^{3+}	Cr^{2+} Cr^{3+}	Mn^{2+} Mn^{3+}	Fe^{2+} Fe^{3+}	Co^{2+} Co^{3+}	Ni^{2+} Ni^{3+}	Cu^+ Cu^{2+}	Zn^{2+}					Br^-	
۵	Rb^+	Sr^{2+}									Ag^+	Cd^{2+}					I^-	
۶	Cs^+	Ba^{2+}										Hg^{2+}						

شکل ۱ برخی از یون های تک اتمی متداول

جدول ۲ چند فلز که بیش از یک یون تک اتمی تشکیل می دهند.

نام قدیمی	نام جدید	فرمول یون	عنصر
یون کروم	یون کروم (II)*	Cr^{2+}	کروم
یون کرومیک	یون کروم (III)	Cr^{3+}	
	یون منگنز (II)	Mn^{2+}	منگنز
	یون منگنز (III)*	Mn^{3+}	
یون فرو	یون آهن (II)	Fe^{2+}	آهن
یون فریک	یون آهن (III)	Fe^{3+}	
	یون کبالت (II)	Co^{2+}	کبالت
	یون کبالت (III)*	Co^{3+}	
یون کوپرو	یون مس (I)	Cu^+	مس
یون کوپریک	یون مس (II)	Cu^{2+}	

یون هایی که با علامت * مشخص شده اند کمتر متداول اند.

از میان عنصرهای اصلی برای نمونه قلع نیز بیش از یک نوع یون تشکیل می دهد. Sn^{2+} (یون استانو) یا یون قلع (II) و Sn^{4+} (یون استانیک) یا یون قلع (IV).

بیشتر بدانید

یون ها در بسیاری از فعالیت های زیستی موجودات زنده نقش مهمی دارند. برای نمونه، بیرون و درون سلول های بدن باید از نظر الکتریکی خنثی باشد. وجود یون های پتاسیم (K^+) و هیدروژن فسفات (HPO_4^{2-}) درون سلول و یون های سدیم (Na^+) و کلرید (Cl^-) بیرون آن موجب می شود که مایع بین سلولی هر دو محیط از نظر الکتریکی خنثی باقی بماند.

یون دیگری که در فعالیت های زیستی نقش مهمی ایفا می کند، یون منیزیم (Mg^{2+}) است. این یون در سبزینه گیاهان یافت می شود. همچنین، یون منیزیم در سلول های عصبی و به هنگام فعالیت های ماهیچه ای مورد استفاده قرار می گیرد. یون آهن (II) (Fe^{2+}) که در ساختار مولکول هموگلوبین وجود دارد، بخش اصلی سامانه (سیستم) انتقال اکسیژن در بدن است. یون کلسیم (Ca^{2+}) از اجزای ماده تشکیل دهنده استخوان ها و دندان هاست و نقش مهمی در انعقاد خون دارد.

ترکیب های یونی

سر سفره غذا اغلب شنیده اید یا خود گفته اید که این غذا شور یا بی نمک است. آیا هیچ گاه از خود پرسیده اید که این نمک خوراکی چیست؟ و از چه عنصرهایی تشکیل شده است؟ نمک خوراکی همان سدیم کلرید است که در طبیعت یافت می شود و آن را با فرمول شیمیایی NaCl نشان می دهند. این فرمول نشان می دهد که سدیم کلرید از دو عنصر سدیم و کلر تشکیل شده است. سدیم فلزی نرم و بسیار واکنش پذیر است و به گروه ۱ جدول تناوبی عنصرها تعلق دارد. از طرف دیگر، کلر یک نافلز است که به صورت مولکول دو اتمی و گازی

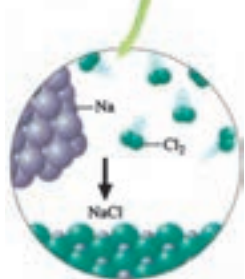
سدیم کلرید بیش از ۶٪ ذره های حل شده در پلاسما خون بدن انسان را تشکیل می دهد.



گاز کلر



سدیم

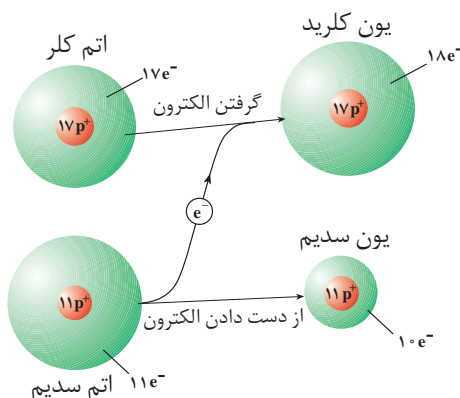


شکل ۲ از واکنش سدیم مذاب و گاز کلر، جامد سفید رنگی برجای می‌ماند. این جامد سفید رنگ همان نمک خوراکی (NaCl) است. واکنش این دو عنصر به شدت گرماده است و با آزاد شدن نور و گرمای زیادی همراه است.

پیوند یونی نیروی جاذبه‌ای است که میان یون‌هایی با بار ناهم‌نام به وجود می‌آید.

شکل وجود دارد. کلر گازی سمّی و خورنده و به نوبه خود بسیار واکنش پذیر است. کلر به گروه ۱۷ جدول تناوبی عنصرها تعلق دارد. وقتی این دو عنصر در کنار هم قرار بگیرند با انجام یک واکنش شدید و گرماده، همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، ترکیب سفید رنگی برجای می‌گذارند که همان نمک خوراکی است.

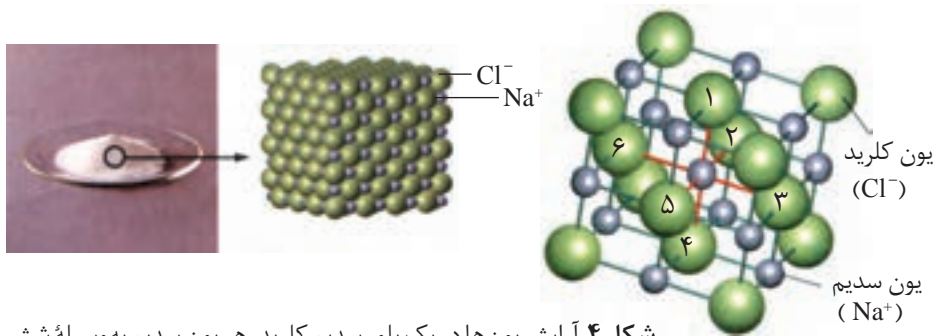
همه نمک‌ها از ذره‌های باردار تشکیل شده‌اند که در نتیجه داد و ستد الکترون به وجود آمده‌اند. سدیم کلرید مثال مناسبی برای شرح چگونگی تشکیل این نوع پیوند است و توجیه خواص این نمک برمبنای ماهیت چنین پیوندی انجام می‌شود، شکل ۳. بی شک تا به حال بلورهای مکعبی شکل سدیم کلرید را از نزدیک دیده‌اید. این بلورها سخت و شکننده‌اند. سدیم کلرید در 801°C ذوب می‌شود و در 1413°C به جوش می‌آید. سدیم کلرید مانند بسیاری از نمک‌های دیگر در آب حل می‌شود و به صورت محلول یا در حالت مذاب جریان برق را از خود عبور می‌دهد.



شکل ۳ نمایش انتقال الکترون در هنگام تشکیل سدیم کلرید در هنگام انتقال الکترون چرا شعاع یون‌ها در مقایسه با شعاع اتم‌ها تغییر کرده است؟

خواص مشاهده شده برای سدیم کلرید را می‌توان به نوع و خواص ذره‌های سازنده آن نسبت داد. برای درک بهتر این خواص نگاهی نزدیک‌تر به ساختار ترکیب‌های یونی می‌اندازیم. بین یون‌های سدیم و یون‌های کلرید موجود در بلور سدیم کلرید نیروی جاذبه‌ای بسیار قوی وجود دارد که آنها را محکم کنار هم نگاه می‌دارد. به این نیروی جاذبه‌ای که میان یون‌هایی با بار ناهم‌نام برقرار است **پیوند یونی** می‌گویند. در تمام نمک‌ها این نوع پیوند وجود دارد. ساختار نمک‌ها نشان می‌دهد که این نیروی جاذبه تنها محدود به یک کاتیون و یک آنیون نیست بلکه در تمام جهت‌ها و میان همه یون‌های ناهم‌نام مجاور و در فواصل مختلف وجود دارد. در نتیجه تعداد بسیار زیادی از یون‌های سدیم و کلرید به سمت یکدیگر کشیده می‌شوند و یک آرایش منظم از یون‌ها را به وجود می‌آورند. بخشی از ساختار بلور سدیم کلرید در شکل ۴ نشان داده شده است.





شکل ۴ آرایش یون ها در یک بلور سدیم کلرید. هر یون سدیم به وسیله شش یون کلرید و هر یون کلرید نیز به وسیله شش یون سدیم احاطه شده است. آیا می توانید این یون ها را روی شکل مشخص کنید؟

شکل ۴ نشان می دهد که در اطراف هر یون سدیم شش یون کلرید و در اطراف هر یون کلرید نیز شش یون سدیم وجود دارد. طبیعی است که وقتی این یون ها به هم نزدیک می شوند یون های با بار ناهم نام در مجاورت یکدیگر قرار می گیرند و یون های با بار هم نام تا حد امکان از هم فاصله می گیرند. (چرا؟) در نتیجه، نیروی جاذبه بین یون های با بار ناهم نام خیلی بیشتر از نیروی دافعه بین یون های با بار هم نام است. افزون بر این، به علت گستردگی اثر این نیروها در همه جهت ها، محاسبه ها نشان می دهد که نیروی جاذبه ای حاصل در مجموع حدود $1/76$ برابر نیروی جاذبه موجود میان یک جفت یون Na^+Cl^- تنها است.

در NaCl و دیگر ترکیب هایی که پیوند آنها از نوع یونی است، مجموع بار مثبت کاتیون ها برابر با مجموع بار منفی آنیون هاست، به طوری که آن ترکیب در مجموع از لحاظ بار الکتریکی خنثی است. هر ترکیب شیمیایی که یون های با بار ناهم نام ذره های سازنده آن هستند یک ترکیب یونی یا نمک نامیده می شود.

خواص ترکیب های یونی

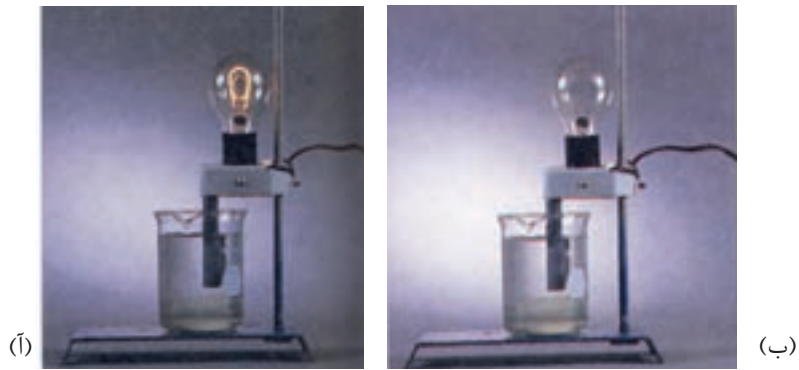
اکنون که با سدیم کلرید آشنا شدید و نوع پیوند آن را شناختید، قادر خواهید بود به کمک این دانسته ها خواص ترکیب های یونی دیگر را پیش بینی کنید. برای هدایت جریان برق یک جسم باید ذره های باردار داشته باشد و این ذره ها بتوانند آزادانه حرکت کنند. گفتمنی است که ذره های تشکیل دهنده یک ترکیب یونی جامد (جامد یونی) در جاهای به نسبت ثابتی قرار دارند و در آن جا جز حرکت ارتعاشی حرکت دیگری ندارند. از این رو جامدهای یونی رسانای الکتریکی نیستند، زیرا یون ها در یک جامد یونی نمی توانند آزادانه حرکت کنند.

ترکیب های یونی در حالتی که یون ها بتوانند آزادانه حرکت کنند رسانای خوبی برای جریان برق هستند. وقتی یک ترکیب یونی ذوب می شود یون های تشکیل دهنده آن

به تعداد نزدیک ترین یون های ناهم نام موجود پیرامون هر یون عدد کوئوردیناسیون آن یون می گویند. عدد کوئوردیناسیون یون سدیم در سدیم کلرید چقدر است؟

ترکیب یونی ترکیبی خنثی است که از گردهمایی میلیاردها میلیارد کاتیون و آنیون به وجود آمده است، به طوری که مقدار کل بارهای مثبت و منفی در آن با هم برابر است.

می‌توانند جریان برق را از خود عبور دهند. به همین ترتیب، وقتی چند بلور نمک خوراکی در آب حل می‌شود یون‌های سازنده آن در لابه‌لای مولکول‌های آب پراکنده می‌شوند و چون می‌توانند آزادانه حرکت کنند به آسانی می‌توانند جریان برق را از درون محلول عبور دهند، شکل ۵.



شکل ۵ بررسی رسانایی الکتریکی محلول ترکیب‌های یونی در آب. در کدام محلول مقداری نمک خوراکی حل شده است؟

یون‌ها در بلور ترکیب‌های یونی آرایش‌های منظمی دارند

شبکه بلور به آرایش سه‌بُعدی و منظم اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌ها در یک بلور گفته می‌شود.

آرایش یون‌ها در ترکیب‌های یونی به صورت یک الگوی تکراری است و هر یون در جای خود با چند یون که بار ناهم‌نامی دارند، پیوند برقرار می‌کند. آرایش یون‌ها در بلور یک نمک بسته به اندازه‌های نسبی کاتیون و آنیون از الگوی خاصی پیروی می‌کند و این الگو در سراسر بلور تکرار می‌شود. به ساختاری که بر اثر چیده شدن ذره‌های سازنده یک جسم (در این جا یون‌های مثبت و منفی) در سه بُعد به وجود می‌آید، شبکه بلور آن جسم می‌گویند، شکل ۴.

تشکیل شبکه بلور با آزاد شدن انرژی همراه است

انرژی شبکه مقدار انرژی آزاد شده به هنگام تشکیل یک مول جامد یونی از یون‌های گازی سازنده آن است. در مورد سدیم کلرید انرژی شبکه آن $787/5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ است.



انرژی شبکه می‌تواند معیار خوبی برای اندازه‌گیری قدرت پیوند در ترکیب‌های یونی باشد. انرژی شبکه هالیدهای فلزهای قلیایی در جدول ۳ داده شده است.

در جدول ۴ نیز انرژی این شبکه‌های بلوری با انرژی شبکه بلوری ترکیب‌هایی با یون‌های $2+$ و $3+$ نشان داده شده است.



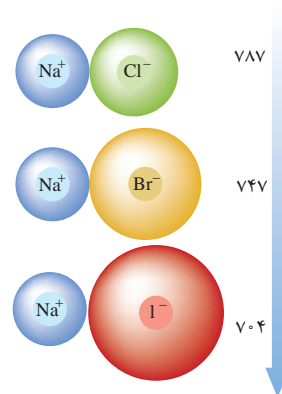
جدول ۴ مقایسه انرژی شبکه چند ترکیب با یون های مختلف ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)

آنیون کاتیون	F^-	O^{2-}
Na^+	۹۲۳	۲۴۸۱
Mg^{2+}	۲۹۵۷	۳۷۹۱
Al^{3+}	۵۴۹۲	۱۵۹۱۶

جدول ۳ انرژی شبکه هالیدهای فلزهای قلیایی ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)

یون هالید یون فلز قلیایی	F^-	Cl^-	Br^-	I^-
Li^+	۱۰۳۶	۸۵۳	۸۰۷	۷۵۷
Na^+	۹۲۳	۷۸۷	۷۴۷	۷۰۴
K^+	۸۲۱	۷۱۵	۶۸۲	۶۴۹
Rb^+	۷۸۵	۶۸۹	۶۶۰	۶۳۰
Cs^+	۷۴۰	۶۵۹	۶۳۱	۶۰۴

انرژی شبکه



فکر کنید

با دقت به داده های دو جدول ۳ و ۴ نگاه کنید.

آ) به نظر شما کدام نتیجه گیری های زیر در مورد انرژی شبکه بلور ترکیب های یونی

درست است؟ چرا؟

۱- هرچه اندازه کاتیون کوچک تر باشد، انرژی شبکه بیشتر است.

۲- هرچه بار آنیون بیشتر باشد، انرژی شبکه کمتر است.

۳- هرچه شعاع آنیون بزرگ تر باشد، انرژی شبکه بیشتر است.

۴- انرژی شبکه با بار کاتیون رابطه مستقیم و با شعاع آن رابطه وارونه دارد.

ب) پیش بینی کنید که کدام ترکیب یونی زیر انرژی شبکه بیشتری داراست؟ چرا؟

MgO یا CaO

تمام ترکیب های یونی به علت وجود نیروهای جاذبه قوی بین یون های آنها در برخی خواص مشترکند. برای مثال نقطه ذوب و نقطه جوش بیشتر ترکیب های یونی بالا است، جدول ۵. از آن جا که یون ها در ترکیب های یونی پیوندهای محکمی تشکیل می دهند، بنابراین برای شکستن این پیوندها و جدا کردن یون ها از یکدیگر به انرژی قابل ملاحظه ای نیاز است.

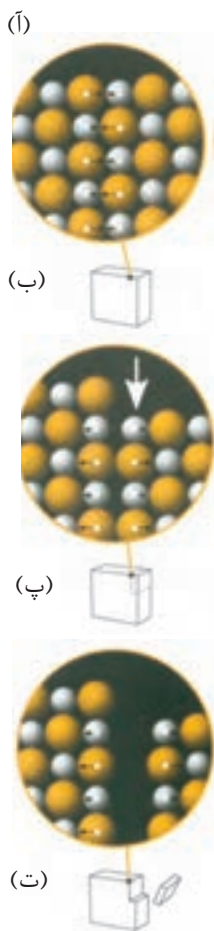
جدول ۵ مقایسه نقطه ذوب و جوش برخی از ترکیب های یونی

ترکیب یونی	نقطه ذوب / $^{\circ}\text{C}$	نقطه جوش / $^{\circ}\text{C}$
NaCl	۸۰۱	۱۴۱۳
RbCl	۷۱۵	۱۳۹۰
KF	۸۵۸	۱۵۰۵
KBr	۷۳۴	۱۴۳۵



آیا می‌توان میان انرژی شبکه و نقطه ذوب یک ترکیب یونی رابطه‌ای در نظر گرفت؟
شرح دهید.

راهنمایی: برای این منظور داده‌های دو جدول ۳ و ۵ را با هم مقایسه کنید.



نمک خوراکی مانند بیشتر ترکیب‌های یونی به نسبت سخت و شکننده است. به علت وجود پیوند قوی بین یون‌ها این دو خاصیت در ترکیب‌های یونی مشترک است. همان‌طور که در بالا اشاره شد یون‌ها در شبکه بلور یک نمک در سه بعد به‌طور منظم قرار گرفته‌اند. این شبکه را می‌توان شامل لایه‌های بی‌شماری در نظر گرفت که روی یکدیگر در وضعیت ثابتی قرار گرفته‌اند. ترکیب یونی سخت است، زیرا برای شکستن همه پیوندهای میان یون‌ها، به انرژی بسیار زیادی نیاز است. در هر حال، چنانچه بر اثر ضربه چکش یکی از لایه‌ها اندکی جابه‌جا شود آن‌گاه بارهای هم‌نام کنار هم قرار می‌گیرند و اثر دافعه متقابل میان آنها به درهم ریختن شبکه بلور می‌انجامد. به این ترتیب شکننده بودن بلور ترکیب‌های یونی قابل توجیه است، شکل ۶.

ترکیب‌های یونی دوتایی

همان‌طور که می‌دانید نمک خوراکی از دو عنصر سدیم و کلر تشکیل شده است. به ترکیب‌های یونی متشکل از دو عنصر ترکیب‌های یونی دوتایی می‌گویند. برای نمایش ترکیب‌های یونی دوتایی از فرمول شیمیایی استفاده می‌شود. در این فرمول‌ها در سمت چپ ابتدا نماد شیمیایی کاتیون و سپس نماد شیمیایی آنیون نوشته می‌شود. برای نام‌گذاری آنها نخست نام کاتیون را می‌نویسیم و سپس نام آنیون را به آن می‌افزاییم. برای مثال ترکیب یونی حاصل از دو عنصر سزیم و کلر به فرمول CsCl که یون‌های Cs^+ و Cl^- دارد و ترکیب یونی حاصل از دو عنصر کلسیم و اکسیژن به فرمول CaO که یون‌های Ca^{2+} و O^{2-} دارد به ترتیب سزیم کلرید و کلسیم اکسید نامیده می‌شوند.

توجه داشته باشید که یک ترکیب یونی از نظر بار الکتریکی خنثی است. بنابراین، در چنین ترکیبی جمع بارهای کاتیون‌ها و آنیون‌ها برابر صفر است. پس در سدیم کلرید یون‌های Na^+ و Cl^- به نسبت ۱ به ۱ وجود دارند و در کلسیم اکسید نیز که در برابر هر یون Ca^{2+} یک یون O^{2-} وجود دارد نسبت بار یون‌ها ۱ به ۱ است. اما، در کلسیم کلرید که از یون‌های Ca^{2+} و Cl^- ساخته شده است، برای موازنه بودن بارها در این نمک لازم است که در برابر

شکل ۶ آ. جامدهای بلوری بر اثر وارد شدن ضربه به آنها در راستای معینی می‌شکنند و قطعه‌هایی با سطوح صاف ایجاد می‌کنند. ب. نیروهای جاذبه‌ای یون‌های سازنده را در کنار هم نگه می‌دارد.

پ. هنگام وارد شدن ضربه ت. پس از وارد شدن ضربه



هر یون کلسیم دو یون کلرید وجود داشته باشد. بنابراین، نسبت کاتیون به آنیون در کلسیم کلرید ۱ به ۲ خواهد بود و فرمول این نمک به صورت CaCl_2 نوشته می شود. توجه داشته باشید که در فرمول شیمیایی یک ترکیب یونی دوتایی، زیروندها کوچک ترین نسبت ممکن را برای کاتیون و آنیون نشان می دهند. از این رو نباید فرمول شیمیایی کلسیم کلرید را به صورت Ca_2Cl_4 بنویسیم. تجزیه شیمیایی کلسیم کلرید در آزمایشگاه نیز ساده ترین نسبت کاتیون به آنیون یعنی نسبت ۱ به ۲ را برای آن نشان می دهد، از این رو به فرمول شیمیایی کلسیم کلرید، CaCl_2 ، فرمول تجربی نیز گفته می شود.

فرمول نویسی یک ترکیب یونی دوتایی را می توان در سه مرحله خلاصه کرد. برای نمونه به نوشتن فرمول شیمیایی برای آلومینیم اکسید توجه کنید:

(۱) در این اکسید نماد کاتیون Al^{3+} و نماد آنیون O^{2-} است.

(۲) مطابق قاعده فرمول نویسی ترکیب های یونی دوتایی، نخست نماد کاتیون و سپس نماد آنیون را می نویسیم: $\text{Al}^{3+}\text{O}^{2-}$

(۳) کوچک ترین مضرب مشترک بارهای این دو یون برابر $6(3 \times 2)$ است، پس برای داشتن ۶ بار مثبت باید دو یون Al^{3+} و برای ۶ بار منفی باید سه یون O^{2-} داشته باشیم. از این رو نسبت Al^{3+} به O^{2-} برابر ۲ به ۳ و فرمول شیمیایی این ترکیب به صورت Al_2O_3 است.

اطلاعات جمع آوری کنید

با کمک معلم خود یک ترکیب یونی دوتایی آشنا را انتخاب کنید و در یک فعالیت گروهی در مورد خواص، روش تهیه و کاربردهای آن مقاله ای تهیه کرده، در کلاس ارائه دهید.

یون های چند اتمی

ترکیب های یونی دیگری مانند سدیم سولفات، پتاسیم کربنات و آمونیوم نیترات وجود دارند که یک یا هر دو یون سازنده آنها از دو یا چند اتم یکسان یا متفاوت تشکیل شده است. به این یون ها چند اتمی می گویند.

در ساختار یون های چند اتمی اتم ها با یکدیگر پیوند کووالانسی دارند و در واکنش ها به صورت یک واحد مستقل عمل می کنند. این یون ها می توانند آنیون یا کاتیون باشند. نام و بار الکتریکی برخی از یون های چند اتمی متداول را در جدول ۶ مشاهده می کنید.

جدول ۶ نام، فرمول شیمیایی و بار الکتریکی برخی یون‌های چند اتمی

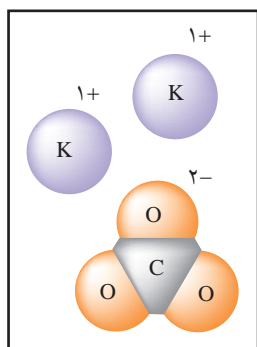
نام یون	فرمول یون	بار الکتریکی	نام یون	فرمول یون	بار الکتریکی
نیترات	NO_3^-	۱-	کربنات	CO_3^{2-}	۲-
نیتريت	NO_2^-		دی کرومات	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	
هیدروژن کربنات	HCO_3^-		سولفات	SO_4^{2-}	
هیدروژن سولفات	HSO_4^-		سولفیت	SO_3^{2-}	
هیدروکسید	OH^-		فسفات	PO_4^{3-}	۳-
		آمونیم	NH_4^+	۱+	

ترکیب‌های ساخته شده از یون‌های چند اتمی مانند ترکیب‌های دوتایی ساده، دارای کاتیون و آنیون هستند. در این قبیل ترکیب‌های یونی کاتیون، آنیون یا هر دو ممکن است تک اتمی یا چند اتمی باشند. برای نوشتن فرمول و نام گذاری این ترکیب‌های یونی نخست باید تعیین کنیم که کدام بخش آن کاتیون است.

فرمول K_2CO_3 نشان می‌دهد که این ترکیب یونی از عنصر پتاسیم تشکیل شده است. این عنصر فلزی به گروه ۱ تعلق دارد و همواره کاتیونی با بار $1+$ تشکیل می‌دهد. از آن جا که هر ترکیب یونی از نظر بار الکتریکی خنثی است، بخش دیگر این ترکیب باید بار $2-$ داشته باشد تا دوبرابر مثبت مربوط به دو کاتیون K^+ خنثی شود. بنابراین واحد CO_3 یک آنیون چند اتمی است و بار $2-$ دارد.



توجه داشته باشید که بار $2-$ در این آنیون نه به اتم خاصی بلکه به کل مجموعه تعلق دارد.

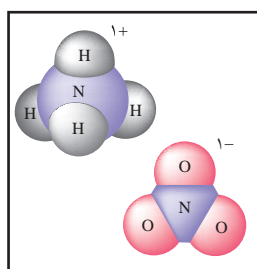


در آمونیوم نیترات هم کاتیون (یون آمونیوم) و هم آنیون (یون نیترات) هر دو به صورت چند اتمی هستند. یون آمونیوم به صورت NH_4^+ نوشته می‌شود و بار $1+$ دارد. در حالی که یون نیترات به صورت NO_3^- است و بار $1-$ دارد.

در آمونیوم نیترات در برابر یک کاتیون با بار $1+$ یک آنیون با بار $1-$ وجود دارد. بنابراین، فرمول شیمیایی این نمک به صورت NH_4NO_3 است و نسبت کاتیون به آنیون، مانند NaCl ، 1 به 1 است.

همان طور که در نام گذاری این نمک ملاحظه کردید نخست نام کاتیون می‌آید و سپس نام آنیون نوشته می‌شود.

فرمول نویسی یک ترکیب یونی چندتایی را می‌توان در دو مرحله خلاصه کرد. به نوشتن فرمول شیمیایی آمونیوم کربنات توجه کنید.



۱- نماد شیمیایی یون‌های آمونیوم (NH_4^+) و کربنات (CO_3^{2-}) را می‌نویسیم و کاتیون

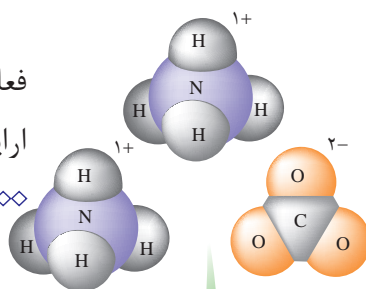
را در سمت چپ آنیون قرار می‌دهیم: $\text{NH}_4^+\text{CO}_3^{2-}$

۲- یک ترکیب یونی از نظر بار الکتریکی خنثی است، پس در برابر دو بار منفی باید

دو بار مثبت داشته باشیم، بنابراین فرمول این نمک به صورت $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ است.

اطلاعات جمع آوری کنید

با کمک معلم خود یک ترکیب یونی دارای یون‌های چنداتمی انتخاب کنید و در یک فعالیت گروهی در مورد خواص، روش تهیه و کاربردهای آن مقاله‌ای تهیه کرده، در کلاس ارائه دهید.



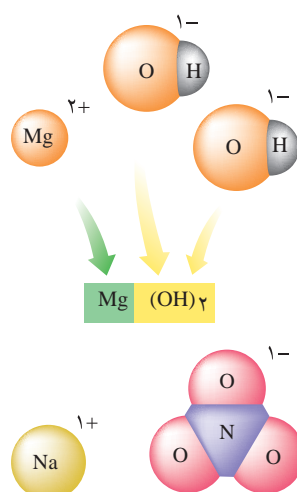
خود را بیازمایید

۱- ترکیب‌های یونی زیر را نام گذاری کنید:

پ) Fe_2O_3	ب) MnO	آ) Li_2O
ج) $\text{Fe}(\text{OH})_2$	ث) $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$	ت) CaCl_2
	ح) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	چ) Na_3PO_4

۲- فرمول شیمیایی ترکیب‌های یونی زیر را بنویسید:

پ) کبالت (II) اکسید	ب) سزیم یدید	آ) آهن (III) برمید
ج) روی فسفات	ث) مس (II) سولفات	ت) منیزیم برمید
	خ) سدیم سولفات	چ) منیزیم سولفیت



برخی نمک‌ها آب تبلور دارند

یون‌های موجود در برخی از نمک‌ها می‌توانند با مولکول‌های آب پیوند تشکیل دهند و این مولکول‌ها را درون شبکه بلور خود به دام بیندازند. این ترکیب‌ها را **نمک‌های آبپوشیده** می‌گویند.

مس (II) سولفات پنج آبه، $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، مثالی از یک نمک آبپوشیده است. همان طوری که می‌بینید تعداد مولکول‌های آب تبلور را پس از نوشتن فرمول شیمیایی، مشخص می‌کنند. مس (II) سولفات بی‌آب به صورت گرد سفید رنگی است که بر اثر

شکل ۷ نمایش یون‌های چند ترکیب یونی



اضافه شدن آب به صورت بلورهای آبپوشیده $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ درمی آید، شکل ۸. رنگ آبی نمک آبپوشیده، آن را از نمک بی آب متمایز می سازد.



(ب) بی آب

(آ) آبپوشیده

شکل ۸. مس (II) سولفات

آزمایش کنید

تعیین تعداد مولکول های آب تبلور و فرمول یک نمک آبپوشیده

هدف

تعیین فرمول تجربی یک نمک آبپوشیده هنگامی که فرمول ترکیب بی آب مشخص است.

وسایل مورد نیاز: ترازو، بوتله چینی، گیره، پایه، دسیکاتور، حلقه آهنی، مثلث نسوز، قاشقک، چراغ گاز

مواد مورد نیاز: باریم کلرید آب دار

روش کار

توجه: در هنگام آزمایش، بوتله چینی و درپوش آن را فقط با گیره بوتله چینی در دست بگیرید. چرا؟

۱- بوتله چینی را با درپوش روی مثلث نسوز قرار دهید. درپوش را طوری قرار دهید که برای خروج بخارها روزه ای باقی بماند. بوتله چینی را آن قدر گرم کنید تا بر اثر گرما سرخ شود.

با استفاده از گیره، بوتله چینی و درپوش را به مدت ۵ دقیقه در دسیکاتور قرار دهید تا سرد شوند. هرگز بوتله چینی داغ را روی ترازو قرار ندهید. وقتی که بوتله چینی و درپوش سرد شدند، جرم آنها را (با دقت ۰/۰۱ گرم) تعیین کرده، یادداشت کنید.

۲- با استفاده از قاشقک، حدود ۵ گرم باریم کلرید آب دار به بوتله چینی اضافه کنید و عمل توزین را دوباره انجام دهید.

۳- بوتله چینی و باریم کلرید آب دار را روی مثلث نسوز قرار دهید و دوباره درپوش را



طوری قرار دهید تا روزنه کوچکی برای خروج بخارها وجود داشته باشد.

بوته چینی را ابتدا به آرامی و سپس به مدت ۵ دقیقه به شدت (تا حد سرخ شدن) گرم کنید. پس از این کار اجازه دهید بوته چینی و درپوش و محتویات آن در دسیکاتور سرد شده به دمای محیط برسند. سپس جرم آنها را تعیین کنید.

۴- دوباره بوته چینی درپوش دار و باریم کلرید را به مدت ۵ دقیقه تا دمای سرخ شدن گرما دهید. آنها را در دسیکاتور بگذارید تا سرد شوند و سپس جرم آنها را تعیین کنید. اگر دو جرم اندازه گیری شده بیشتر از ۰/۱ گرم تفاوت نداشته باشند، می توان فرض کرد که تمام آب ترکیب یاد شده خارج شده است. در غیر این صورت عملیات انجام شده را آن قدر تکرار کنید تا جرم تغییری نشان ندهد. در این صورت همه آب تبخیر شده است. این مقدار ثابت را یادداشت کنید. ترکیب بی آب مانده را دور نریزید، زیرا می توان از آن در تهیه محلول ها استفاده کرد.

۵- در پایان آزمایش، وسایلی را که مورد استفاده قرار داده اید، تمیز کنید. از بسته بودن شیر گاز اطمینان حاصل کنید و پیش از ترک آزمایشگاه دست هایتان را بشویید.

محاسبه ها

۱- جرم باریم کلرید بی آب را محاسبه کنید (ته مانده ای که بعد از خارج شدن آب باقی می ماند).

۲- تعداد مول های باریم کلرید بی آب را محاسبه کنید.

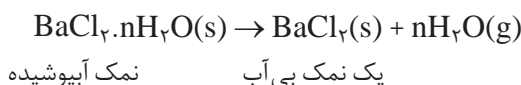
$$\left(\frac{\text{جرم باریم کلرید بی آب}}{\text{جرم مولی باریم کلرید}} = \text{تعداد مول های باریم کلرید} \right)$$

۳- جرم آب خارج شده از نمک آبپوشیده را محاسبه کنید.

۴- تعداد مول های آب خارج شده از نمک آبپوشیده را محاسبه کنید.

$$\left(\frac{\text{جرم آب خارج شده}}{\text{جرم مولی آب}} = \text{تعداد مول های آب} \right)$$

۵- اگر واکنش انجام شده برای این آزمایش به صورت زیر باشد:



نسبت تعداد مول های آب خارج شده به مول های باریم کلرید بی آب (n) را محاسبه کرده، آن را به نزدیک ترین عدد صحیح گرد کنید. فرمول تجربی این نمک آبپوشیده را به دست آورید.



پرسش

هنگامی که سه گروه دوتایی از دانش‌آموزان جسم جامدی را گرم کردند نتایج زیر به دست آمد. با توجه به این که در هر مورد دانش‌آموزان، به وجود آمدن قطره‌های مایع را هنگام گرم کردن این جسم جامد مشاهده کرده‌اند، به پرسش‌های مطرح شده، پاسخ دهید:

شماره گروه	جرم پیش از گرم کردن g	جرم پس از گرم کردن g
۱	۱/۴۸	۱/۲۶
۲	۱/۶۴	۱/۴۰
۳	۲/۰۸	۱/۷۸

آ) آیا این جسم جامد می‌تواند یک نمک آبپوشیده باشد؟ دلیل خود را توضیح دهید.

ب) اگر جرم یک مول از این جسم جامد پس از گرم کردن 208 g باشد و فرمول آن X باشد، فرمول نمک آبپوشیده آن را تعیین کنید.

بیشتر بدانید

نمک‌های آبپوشیده قرن هاست که شناخته شده‌اند. برای نمونه، $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ترکیبی است که یک کیمیاگر اهل مجارستان به نام جان گلوبر برای نخستین بار در قرن هفدهم از آب چشمه‌های این کشور به دست آورد. در همان زمان، $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ را از چشمه‌های آب معدنی اِپسوم واقع در کشور انگلستان به دست آوردند. روزگاری از نمک گلوبر و نمک اِپسوم به عنوان مُلین استفاده می‌شد. در جدول زیر، برخی از نمک‌های آبپوشیده معرفی شده‌اند.

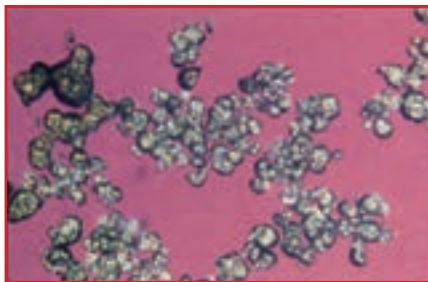
تعدادی از نمک‌های آبپوشیده

نام متداول	نام شیمیایی	ترکیب
نمک گلوبر	سدیم سولفات ده‌آبه	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
سنگ گچ	کلسیم سولفات دوآبه	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
نمک اِپسوم	منیزیم سولفات هفت‌آبه	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
زاج سبز	آهن (II) سولفات هفت‌آبه	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
کات کبود	مس (II) سولفات پنج‌آبه	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
زاج سرخ	کبالت (II) سولفات شش‌آبه	$\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

برخی از نمک‌های آبپوشیده به ویژه $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ و $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ هنگامی که در برابر هوای خشک قرار می‌گیرند، تمامی یا بخشی از آب تبلور خود را از دست می‌دهند. این فرایند که شکفتگی



نام دارد، موجب می‌شود که بلور شیشه‌مانند نمک آبیوشیفته خُرد شده، به گرد بی‌شکلی تبدیل شود. اغلب، آبدایی از این نمک‌ها با تغییر رنگ همراه است. اغلب، شکل بلور یک نمک آبیوشیفته با نمک بی‌آب آن کاملاً تفاوت دارد. برای نمونه، بلور سدیم اورات یک آبه ($\text{NaC}_5\text{H}_3\text{N}_4\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) تیز و سوزنی شکل است و در مفاصل انسان (به‌ویژه شست پا) رسوب می‌کند و موجب بروز درد شدیدی در این بخش از بدن می‌شود. به این بیماری نقرس می‌گویند. از سوی دیگر، بلور سدیم اورات بی‌آب تقریباً کروی شکل است.



(ب) بلور یک آبه، سوزنی شکل؛ تشکیل این بلورها در بدن موجب بروز بیماری نقرس می‌شود.

(آ) بلور بی‌آب، کروی شکل

بلورهای سدیم اورات

