

## مقدمه

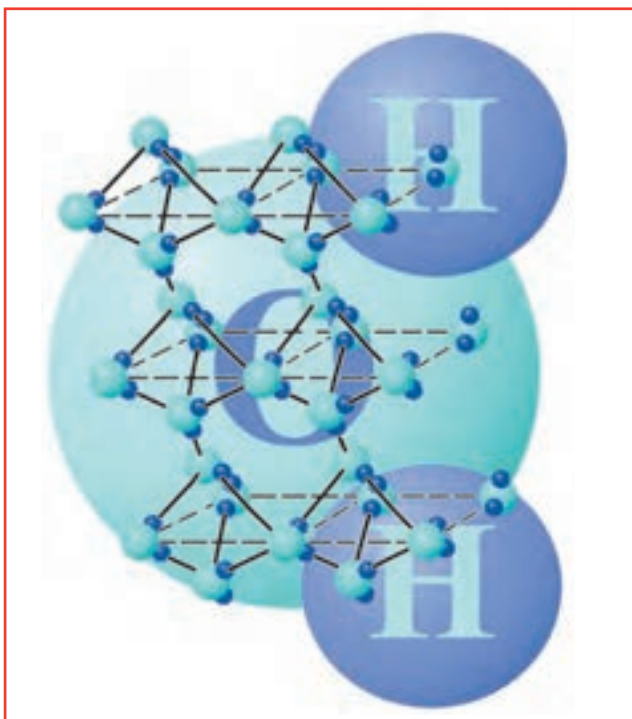
با گذشت زمان، تعداد مفاهیم بنیادی در علم شیمی به‌طور بی‌پایان در حال افزایش است و به ناچار در شرایط حاضر برای هیچ فرد علاقه‌مندی به‌خاطر سپردن این حجم از اطلاعات امکان ندارد. ولی خوشبختانه امروزه با گسترش فناوری‌های اطلاع‌رسانی ضرورتی ندارد تا همه‌ی این مطالب را در ذهن خود داشته باشیم زیرا دسترسی به اطلاعات گوناگون به سرعت امکان‌پذیر است. آنچه هم‌اکنون در امر آموزش اهمیت دارد آن است که نخست هنرجو اصول زیربنایی یک علم را فراگیرد تا با پرداختن به مثال‌هایی از کاربردهای علوم و فنون گوناگون در زندگی روزمره، انگیزه‌های اولیه برای جلب توجه او به فراگیری علوم فراهم شود. به این ترتیب هدف اصلی در آموزش نوین یعنی «آموزش زگهواره تا گور» نیز تحقق می‌یابد که در دنیای امروز به‌خصوص در کشور اسلامی ما از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

کتاب حاضر با توجه به این رویکردها و در چارچوب برنامه‌ی پیشنهادی آموزش فنی و حرفه‌ای تدوین شده است. در این کتاب سعی شده است تا با پرداختن به برخی از صنایع شیمیایی و بیان مثال‌های عملی از خواص، کاربردها و روش‌های تهیه‌ی برخی از ترکیبات معدنی یک نگرش کاربردی در هنرجویان رشته‌ی صنایع شیمیایی ایجاد شود. در واقع هنرآموزان محترم باید توجه داشته باشند که این کتاب وسیله‌ای برای آشنایی هنرجو با صنایع شیمیایی است و این وسیله هنگامی نقش خود را به‌طور کامل ایفاء می‌کند که هنرجو تا حد امکان مطالب مورد نظر را در مجتمع‌های صنایع شیمیایی موجود در منطقه‌ی زندگی خود فرا گیرد.

## هدف کلی

آشنایی با برخی از ترکیب‌های شیمیایی مهم و کاربرد آن‌ها

## شیمی معدنی و نیازهای بشر



ساختار مولکول‌های آب در یخ

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، فراگیر باید بتواند:

- ۱- نقش شیمی معدنی را در زندگی توضیح دهد.
- ۲- ترکیبات معدنی را از سایر ترکیبات تشخیص دهد.
- ۳- عنصر هیدروژن را به عنوان سرگروه جدول تناوبی شرح دهد.
- ۴- روش‌های تهیه صنعتی هیدروژن را بیان کند.
- ۵- نقش آب را به عنوان مهم‌ترین ترکیب معدنی در طبیعت توضیح دهد.
- ۶- نقش ژئولیت‌ها را در خالص‌سازی آب شرح دهد.
- ۷- ترکیب شیمیایی و کاربرد رنگدانه‌ها را شرح دهد.
- ۸- شیمی ترکیبات شیشه، سرامیک و سیمان را توضیح دهد.

امروزه شیمی معدنی نقش مهمی در زندگی بشر دارد به طوری که دستاوردهای آن را به وفور هم در مصنوعات بشر هم در تفسیر یافته‌های علمی مربوط به پدیده‌های طبیعی می‌توان مشاهده کرد. برای درک فرآیندهای شیمیایی در مقیاس صنعتی در بسیاری از موارد استفاده از اطلاعات این شاخه از علم سودمند خواهد بود. به عنوان نمونه، برای فراگیری علم ساخت موادی مانند نیم‌رساناها، سرامیک‌ها، کاتالیزورها و بسیاری دیگر از مواد صنعتی دانستن این علم ضروری است. از سوی دیگر در شکل‌های مختلف حیات در طبیعت نیز نقش این شاخه از علم شیمی کاملاً مشهود است. به طوری که فرآیندهای حیاتی چون فتوسنتز، رفتارهای آتیمی، اعمال دم و بازدم گازهای تنفسی در بسیاری از موجودات زنده و همچنین برخی دیگر از مشاهدات ما در طبیعت به وسیله‌ی این علم تفسیر می‌شوند.

## ۱-۱ شیمی معدنی و ترکیبات آن

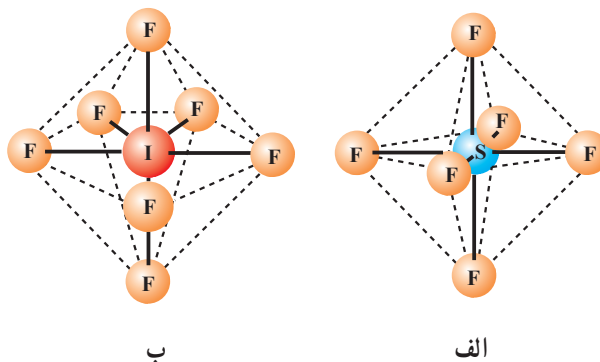
شیمی معدنی تمام عناصر موجود در جهان را شامل می‌شود. در نتیجه این علم از مرزهای شیمی آلی که به خصوصیات و ارتباط عناصری همچون کربن، نیتروژن، گوگرد، اکسیژن و هالوژن‌ها می‌پردازد، شروع می‌شود و تا مرزهای شیمی فیزیک که علم مربوط به مطالعه‌ی خصوصیات فیزیکی و رفتار کمی ماده است ادامه می‌یابد. شیمی معدنی نه تنها با موادی که جزو محدوده شیمی آلی است سروکار دارد بلکه موادی چون گازهای تک‌اتمی، جامدات یونی، مواد حساس به هوا و رطوبت و حلال‌های قطبی و ناقطبی را نیز دربر می‌گیرد.

به طور خلاصه، می‌توان گفت که گستره مواد و ترکیباتی که شیمی معدنی بر آن نظارت دارد به مراتب وسیع‌تر از مواد آلی است. اختلاف دیگر شیمی آلی و شیمی معدنی آن است که اتم کربن، سازنده اسکلت مواد آلی، اصولاً به بیش از چهار اتم دیگر متصل نمی‌شود (مثلاً در مولکول  $\text{CH}_4$ )، در حالی که، اکثر عناصر سازنده ترکیبات معدنی با بیش از این تعداد اتم پیوند می‌دهند (مثلاً  $\text{SF}_6$  یا  $\text{IF}_7$ ) (شکل ۱-۱).

از سویی دیگر، اعداد اکسایش مربوط به عناصر سازنده‌ی ترکیبات معدنی از گستره‌ی وسیع‌تری برخوردار است برای درک تنوع ترکیبات معدنی تصویر سلول واحد برخی از این ترکیبات در شکل

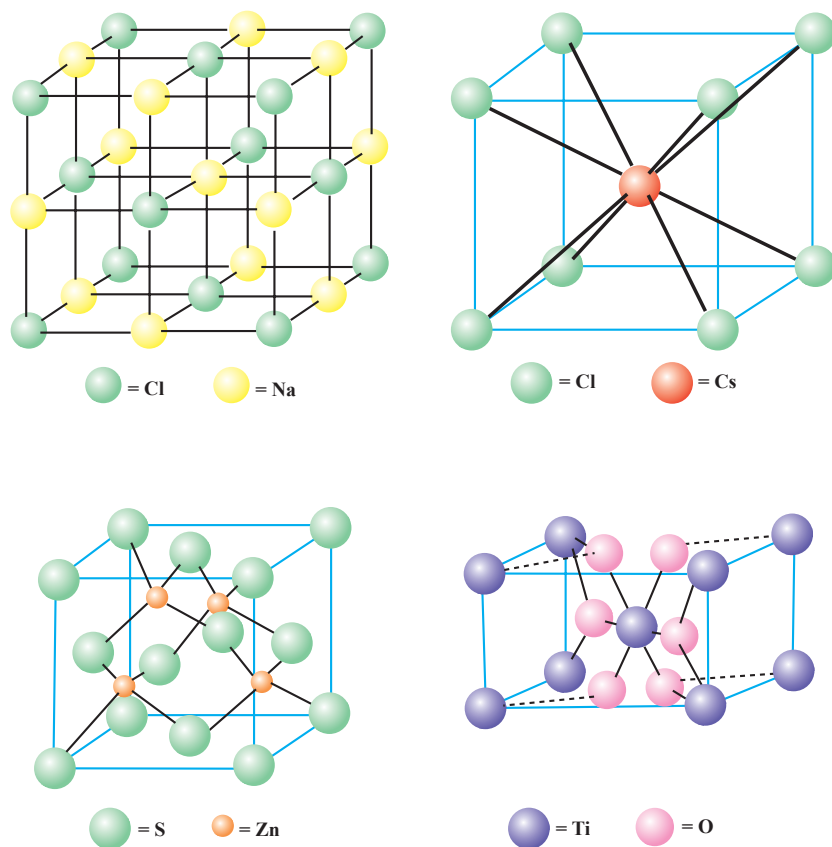


نمایی از یک کاتالیزگر صنعتی از جنس پلاتین - رودیم



شکل ۱-۱ تصویر مولکول: الف -  $\text{SF}_6$  ب -  $\text{IF}_7$

۱-۲ داده شده است. از این نظر، شیمی دان معدنی همواره با مسئله‌ی تعیین ساختار و بررسی خواص شیمیایی و واکنش‌پذیری بسیاری از مواد مواجه است و به همین علت او باید با روش‌های متعدد سنتز، نگهداری و شناسایی ترکیبات معدنی آشنا باشد.



شکل ۱-۲ تصویر سلول واحد برخی از ترکیبات معدنی

از سوی دیگر، شیمی دان معدنی برای اثبات وجود ترکیباتی که سنتز می‌کند و نیز برای مطالعه در رفتار مواد معدنی نیازمند اطلاع از موضوعاتی در شاخه‌ی شیمی فیزیک مانند ترمودینامیک ساختار الکترونی اتم‌ها، فرضیه‌های پیوند در مولکول‌ها و سینتیک شیمیایی است. در هر حال نباید از نظر دور داشت که شیمی معدنی همانند شاخه‌ی شیمی آلی و زیست‌شیمی<sup>۱</sup> اساساً بر مبنای تجربی متکی است. هدف نهایی از فعالیت‌های تجربی در این شاخه از علم، شناسایی محصول یا محصولات یک واکنش، تعیین ساختار، خصوصیات ترمودینامیکی طبیعی و اندازه‌گیری سرعت واکنش‌ها است.

### ۱-۱-۱ اثرات شیمی معدنی در زندگی روزمره و محیط زیست

به‌طور کلی، دانستن موقعیت شیمی معدنی در صنایع شیمیایی به شناخت جایگاه این شاخه از

شیمی کمک می‌کند. به عنوان مثال، از میان ده ماده‌ی شیمیایی مهم در صنایع شیمیایی، هشت مورد آن را مواد معدنی تشکیل می‌دهند و هر روز نیز بر حجم و تعداد مواد معدنی مورد مصرف بشر افزوده می‌شود.

تأثیر مواد شیمیایی معدنی در مسایل زیست‌محیطی نیز بسیار عمیق است. در این ارتباط نقش گسترده‌ی یون‌های فلزی در گیاهان و حیوانات که در شاخه‌ی شیمی زیست‌معدنی<sup>۱</sup> مورد بحث و مطالعه قرار می‌گیرد، یک بخش بسیار مهم و در حال گسترش شیمی معدنی و زیست‌شیمی است. به دلیل پایداری مواد معدنی در طبیعت، اثرات مخرب زیست‌محیطی این مواد و تداخل آن در چرخه‌های حیاتی بسیار جدی است. امروزه بشر با پیشرفت صنایع، بیش از گذشته در جستجوی کشف و ابداع فن‌آوری‌های جدید برای جلوگیری از تخریب زیست‌محیطی مواد معدنی است.

### ۱-۱-۲ شیمی زیست‌معدنی

علم زیست‌شیمی فقط یک زمینه‌ی مرتبط با شیمی آلی نیست. این نکته شایان ذکر است که افزون بر عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن و اکسیژن، نه عنصر دیگر شامل سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، گوگرد، فسفر، کلر، سیلیسیم و آهن در مقادیر نسبتاً زیاد و عناصر دیگر چون وانادیم، کروم، منگنز، کبالت، نیکل، مس، روی، مولیبدن، تنگستن، سلنیم، فلوئور و ید به میزان کم در زنجیره‌ی حیات نقش دارند. در حال حاضر، با پیشرفت فنون اندازه‌گیری به تدریج عناصر دیگری که مقادیر بسیار کم دارند شناسایی و به این مجموعه افزوده خواهد شد. یادآور می‌شود که چهار عنصر کروم، نیکل، تنگستن و سلنیم تنها طی چند سال گذشته به این مجموعه اضافه شده‌اند.

عناصر فلزی وظایف متعددی در زیست‌شیمی برعهده دارند که برخی از آن‌ها عبارتند از:

۱- نقش تنظیم‌کنندگی یون‌های سدیم و پتاسیم و منیزیم و کلسیم در بدن برخی از موجودات زنده: در واقع انتقال کاتیون‌ها، در دو سوی غشاهای سلولی و یا لایه‌های دیگر بدن موجودات زنده، علایم اولیه را جهت شروع و یا اتمام فرآیندهای سوخت و ساز صادر می‌کند.

۲- نقش ساختاری کلسیم در رشد استخوان‌ها و دندان‌ها و تأثیر این کاتیون در حفظ ساختار فضایی پروتئین‌ها: وجود فسفات‌های کلسیم در بافت‌های بدن سبب استحکام آن‌ها می‌شود. از سوی دیگر ماهیت پیکربندی بسیاری از پروتئین‌ها به علت وجود یون‌های فلزی است و در واقع این کاتیون‌ها هستند که شکل فضایی خاصی را به این پروتئین‌ها می‌دهند تا نقش اصلی خود را به انجام رسانند. دو کاتیون کلسیم و روی در این قبیل موارد نقش مهمی را برعهده دارند.

۳- نقش آنزیم‌ها: مولکول‌های بزرگی هستند که به‌طور گسترده در فعالیت‌های حیاتی موجودات زنده شرکت دارند. در ساختار این مولکول‌ها اتم‌های فلزی نیز شرکت دارند. مهم‌ترین مثال از این قبیل مولکول‌ها ویتامین B<sub>۱۲</sub> است که در آن یک کاتیون کبالت با اعداد اکسایش مثبت و متفاوت (در حالت عادی ۳+) وظیفه‌ی اصلی مولکول را در فرآیندهای حیاتی انجام می‌دهد.

۴- تمام جانداران هوایی در بدن خود به مولکول‌های حامل اکسیژن احتیاج دارند که اکسیژن موجود در هوا را از محل جذب آن، به بافت‌های زنده منتقل کنند. این اکسیژن صرف‌انجام فرآیندهای اکسایش درون سلولی و تولید انرژی می‌شود. به‌طور کلی، سه نوع مولکول حامل اکسیژن در طبیعت

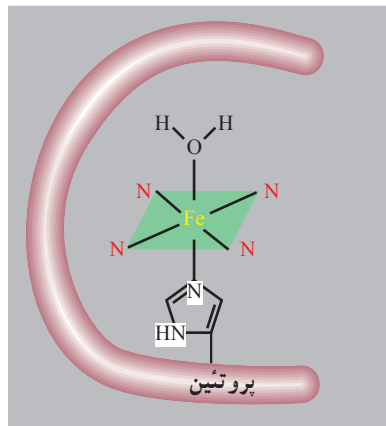
وجود دارد که در تمامی آن‌ها مراکز فلزی مولکول نقش اصلی انتقال اکسیژن را برعهده دارند، این سه نوع عبارتند از:

الف) مولکول‌های «میوگلوبین» و «هموگلوبین»<sup>۱</sup> که با داشتن کاتیون آهن (II) در مرکز خود عمل جابه‌جایی اکسیژن در بافت‌های زنده را انجام می‌دهد.

ب) مولکول هم‌اریترین<sup>۲</sup> که کاتیون آهن دارد و نقش انتقال مولکول اکسیژن را در بافت‌های بی‌مهرگان دریایی<sup>۳</sup> برعهده دارد.

ج) مولکول «هموسیانین»<sup>۴</sup> که دارای کاتیون مس بوده و در بدن بندپایان<sup>۵</sup> و نرم‌تنان<sup>۶</sup> یافت می‌شود.

تمرین: تحقیق کنید آیا فرآیند انتقال اکسیژن توسط گلبول‌های قرمز خون یک فرآیند همراه با انتقال الکترون است؟ آیا تفاوت رنگ خون سرخرگی و سیاهرگی می‌تواند دلیلی بر این پیشنهاد باشد؟



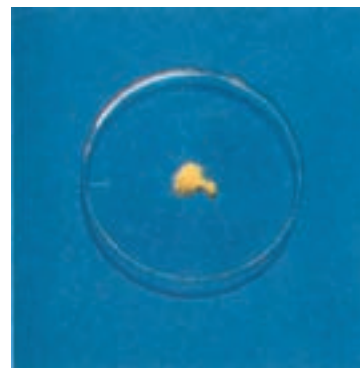
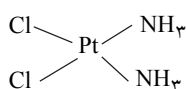
موقعیت کاتیون آهن در مولکول هموگلوبین

## مطالعه‌ی آزاد

### ترکیبات معدنی در خدمت پزشکی

علم زیست شیمی با پدیده‌های پزشکی نیز ارتباط نزدیکی دارد. یک مثال جالب داستان کشف مواد ضدسرطان است. دو دانشمند با نام‌های روزنبرگ<sup>۷</sup> و ون کمپ<sup>۸</sup> در یک آزمایش الکتروشیمیایی، یک باکتری معروف<sup>۹</sup> را در محلولی حاوی آمونیوم کلرید وارد کردند و به‌وسیله‌ی دو الکتروود پلاتینی جریان الکتریکی را از این محلول عبور دادند. آن‌ها متوجه شدند که با این کار تکثیر باکتری‌ها متوقف ولی رشد آنها ادامه می‌یابد. پس از مطالعات قابل توجهی که صورت گرفت مشخص شد که کمپلکس<sup>۱۰</sup> زیر که در اثر انحلال الکترودهای پلاتین در محلول آمونیوم کلرید تشکیل می‌شود عامل اصلی جلوگیری از تکثیر سلول‌هاست.

از این ترکیب که به سیس پلاتین<sup>۱۱</sup> مشهور است می‌توان با مکانیسم مشابهی در جلوگیری از تکثیر سلول‌های سرطانی استفاده کرد. در واقع ترکیبات مشابه دیگر از پلاتین نیز دارای خاصیت ضد سرطانی<sup>۱۲</sup> هستند.



کمپلکس سیس پلاتین

## ۱-۲ عنصر هیدروژن — کاربردها و روش‌های تهیه‌ی صنعتی

هیدروژن فراوان‌ترین عنصر جهان است که در ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده‌ی پوسته‌ی

- |                           |               |                         |
|---------------------------|---------------|-------------------------|
| ۱- Hemoglobin & Myoglobin | ۲- Hemerythin | ۳- Marine invertebrates |
| ۴- Hemocyanin             | ۵- Arthropods | ۶- Molluses             |
| ۷- Rosenberg              | ۸- Van Camp   | ۹- Escherichia coli     |

۱۰- کمپلکس‌ها یا ترکیبات کوئوردینانسی از واکنش یک یون فلزی با یک یون نافلزی یا لیگاند تشکیل می‌شوند. لیگاندها مولکول‌هایی با بار منفی یا بدون بار و یا حتی با بار مثبت هستند. مهم‌ترین یون‌های فلزی برای تشکیل کمپلکس‌ها کاتیون‌های آهن، کبالت، نیکل، مس، پلاتین و برخی کاتیون‌های دیگر هستند.

- |               |                |
|---------------|----------------|
| ۱۱- Cisplatin | ۱۲- Anticancer |
|---------------|----------------|

زمین نیز پس از دو عنصر اکسیژن و سیلیسیم قرار می‌گیرد. این عنصر در سال ۱۷۶۶ توسط کاوندیش<sup>۱</sup> به عنوان بخشی از ترکیب شیمیایی آب معرفی شد (بخش بعدی همین فصل را ببینید). مولکول هیدروژن بسیار پایدار است و در شرایط عادی میل ترکیبی زیادی ندارد، اما در دماهای زیاد و با کمک کاتالیزگرهای مناسب در واکنش‌های متعددی شرکت می‌کند. هیدروژن تقریباً با تمام عناصر دیگر دارای ترکیبات شیمیایی است که در اغلب موارد از واکنش مستقیم آن با عنصر مورد نظر تشکیل می‌شود. توانایی هیدروژن در تشکیل ترکیبات شیمیایی با عناصر متفاوتی چون فلزات قلیایی، هالوژن‌ها، فلزات واسطه و کربن بر اساس الکترونگاتیوی متوسط اتم هیدروژن توجیه می‌شود. هیدروژن یکی از مهم‌ترین محصولات صنعتی نیز به‌شمار می‌آید. از آن در تولید آمونیاک، اوره، متانول و الکل‌های سنگین‌تر و هیدروکلریک اسید استفاده می‌شود. هیدروژن همچنین عاملی کاهنده در فرآیندهای مختلف گوگردزایی<sup>۲</sup> و هیدروژن‌دار شدن<sup>۳</sup> در صنایع نفت و روغن‌های خوراکی محسوب می‌شود. هیدروژن در آینده نقش مهمی در تأمین انرژی مورد نیاز بشر برعهده خواهد داشت زیرا این عنصر یکی از حاملین پرا انرژی است که می‌تواند توسط یک منبع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید تولید شود. در یک مرحله دیگر هیدروژن تولید شده را می‌توان به صورت سوخت یا یک ماده‌ی شیمیایی در جای دیگر مورد استفاده قرار داد. پس از سوختن هیدروژن، برخلاف سوخت‌های هیدروکربنی، فقط آب تولید می‌شود که فاقد اثرات آلوده‌کننده زیست محیطی است.

### ۱-۲-۱ روش‌های تهیه صنعتی هیدروژن

فرآیندهای تهیه هیدروژن در مقیاس صنعتی عبارتند از

(۱) تبدیل با بخار آب<sup>۴</sup>

(۲) اکسایش جزئی گاز طبیعی<sup>۵</sup>

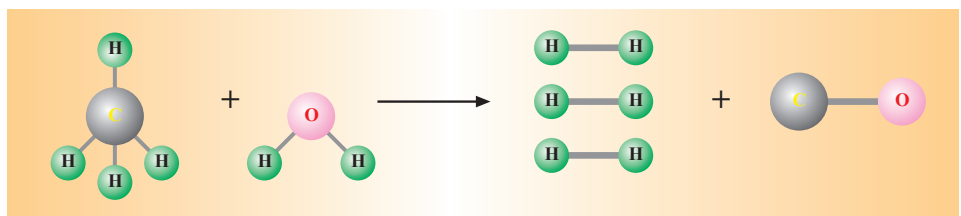
(۳) گازی شدن زغال سنگ<sup>۶</sup>

(۴) برقکافت آب

(۵) روش‌های دیگر

باید توجه داشت که این روش‌ها از نظر اقتصادی با هم یکسان نیستند ولی در سطح جهانی معمولاً روش نخست از گستردگی بیشتری برخوردار است.

**الف - تبدیل با بخار آب:** در فرآیند تبدیل، بخار آب، هیدروکربن‌های سبک (مانند متان) به گاز سنتز<sup>۷</sup> (مخلوط  $\text{CO}$ ،  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2$ ) تبدیل می‌شوند. این کار با عبور مخلوط این هیدروکربن‌ها و



شکل ۱-۳ تهیه هیدروژن با روش تبدیل با بخار آب

۱- Henry Cavendish

۲- Desulfurization

۳- Hydrogenation

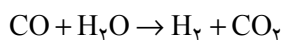
۴- Steam reforming

۵- Partial oxidation

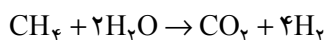
۶- Coal gasification

۷- Synthesis gas

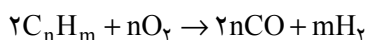
بخار آب از روی بستر یک کاتالیزگر با پایه‌ی نیکل و در دمای زیاد و تحت فشار انجام می‌گیرد :  
 این شرایط دمایی و فشار ممکن است در فرآیندهای مختلف تغییر کند. در اثر انجام این واکنش تقریباً ۹۰ درصد از متان اولیه به مخلوط گاز سنتز تبدیل می‌شود. سپس در مرحله‌ی دوم برای تبدیل CO به CO<sub>۲</sub> مخلوط گاز سنتز را در واکنش‌های کاتالیزی دیگری شرکت می‌دهند تا به‌طور کلی واکنش زیر انجام شود :



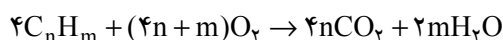
اگر دو واکنش فوق با یکدیگر جمع شوند به واکنش کلی زیر می‌رسیم :



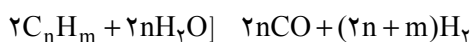
**ب - اکسایش جزئی گاز طبیعی:** در روش اکسایش جزئی گاز طبیعی (سوختن ناقص)، به‌طور ساده ماده‌ی هیدروکربن با اکسیژن، نخست گرم شده و همراه با بخار آب وارد واکنش‌گاه می‌شوند که در آنجا عمل اکسایش (سوختن) ناقص یا جزئی صورت می‌گیرد. واکنش کلی به‌صورت زیر است :



این واکنش در مراحل مختلفی انجام می‌شود. به‌عنوان مثال در مرحله نخست، هیدروکربن با اکسیژن وارد واکنش گرماده می‌شود.



در مرحله‌ی بعد، بقیه‌ی هیدروکربن‌هایی که در این واکنش شرکت نداشته‌اند در یک واکنش گرماگیر با بخار آب اولیه و آبی که از واکنش قبل تشکیل شده است هیدروژن تولید می‌کنند :



در مرحله نهایی CO تولید شده در حضور بخار آب مجدداً هیدروژن تولید می‌کند.

**ج - گازی شدن زغال سنگ:** یکی دیگر از روش‌های تولید گاز هیدروژن فرآیند گازی شدن زغال سنگ است که اگرچه فناوری آن شناخته شده است ولی کاربرد کمتری دارد زیرا از لحاظ اقتصادی قابل مقایسه با روش تبدیل با بخار آب نمی‌باشد. به هر حال، این روش در مناطقی که منابع نفت و گاز در دسترس نباشد ولی زغال سنگ موجود باشد کارآیی خواهد داشت. فناوری‌های متعددی براساس این روش معرفی شده‌اند ولی به‌طور کلی در مرحله نخست پس از آماده‌سازی زغال سنگ، آن را در حضور بخار آب و اکسیژن در دما و فشار زیاد در یک واکنش تعادلی وارد می‌کنند که در آن CO و H<sub>۲</sub> تولید می‌شود و با تثبیت شرایط واکنش مقدار H<sub>۲</sub> تولید شده را افزایش می‌دهند.

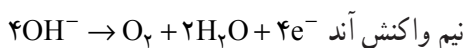
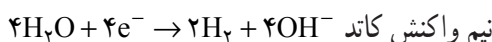
**د - برقکافت آب:** از جمله روش‌های دیگری که به‌طور محدود برای تولید هیدروژن مورد استفاده قرار می‌گیرد برقکافت آب است. در مورد برقکافت آب در فصل ۷ کتاب شیمی تجزیه، توضیح کافی ارائه شده است. این روش یکی از روش‌های قدیمی تولید هیدروژن در صنعت به‌شمار می‌رود. اما به‌علت هزینه‌ی زیاد انرژی الکتریکی مورد مصرف در این روش کاربرد آن فقط محدود به مصارف کم می‌شود. در هر حال، هیدروژن تولید شده در این روش بسیار خالص است. روش‌های مختلفی برای برقکافت آب وجود دارد ولی متداول‌ترین روش برقکافت محلول KOH است. در ظرف برقکافت یک کاتد و یک آنود وجود دارند که توسط یک دیافراگم از یکدیگر جدا شده‌اند. نیم



یک مخزن نگهداری هیدروژن



واکنش‌هایی که در اطراف هر یک از این الکترودها انجام می‌شود عبارتند از :



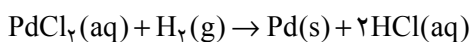
در این روش از KOH برای افزایش قابلیت عبور جریان برق (رسانندگی)<sup>۱</sup> در محلول استفاده می‌شود. نقش دیافراگم نیز در جدا کردن الکترودهای کاتد و آند از یکدیگر و جلوگیری از اختلاط گازهای اکسیژن و هیدروژن است. در صنعت برای برقکافت آب از شدت جریان‌های بسیار زیاد با اختلاف پتانسیل‌های محدود استفاده می‌شود.

هـ— روش‌های دیگر تولید هیدروژن: در برخی موارد نیز هیدروژن به‌عنوان محصول جانبی در صنایع دیگر تولید می‌شود. کراکینگ<sup>۲</sup>، تهیه‌ی آمونیاک، تهیه‌ی کلر و سود از برقکافت محلول نمک طعام و ... از جمله فرآیندهایی هستند که طی آن هیدروژن به‌دست می‌آید.

### ۱-۲-۲ خواص شیمیایی هیدروژن

هیدروژن یک گاز بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌طعم است که در دمای اتاق تقریباً بی‌اثر است گرچه در تاریکی با گاز فلوئور وارد واکنش می‌شود و به‌راحتی محلول‌های آبی پالادیم (II) کلرید را کاهش می‌دهد:

از این روش می‌توان برای تشخیص سریع مقادیر کم هیدروژن استفاده کرد.



اتم هیدروژن دارای آرایش الکترونی منحصراً به‌فرد<sup>۱</sup> 1s است در نتیجه می‌تواند با دریافت یک الکترون به یون هیدرید  $H^-$  تبدیل شود یا با از دست دادن الکترون به‌صورت پروتون ( $H^+$ ) درآید. به این دلیل اتم این عنصر از یک جهت شبیه هالوژن‌ها است که با دریافت الکترون و تشکیل یون هیدرید به آرایش الکترونی گاز نجیب پس از خود می‌رسد و از جهت دیگر، شبیه به فلزات قلیایی است که با از دست دادن الکترون یون یک بار مثبت تشکیل می‌دهد.

هیدروژن با بسیاری از فلزات الکتروپوزیتیو مانند سدیم و کلسیم هیدریدهایی چون NaH و  $CaH_2$  تولید می‌کند. مهم‌ترین ترکیب معدنی هیدروژن آب است که در بخش بعد به آن می‌پردازیم.

### ۱-۳ آب

آب مهم‌ترین ماده معدنی در طبیعت است که بخش عمده مواد تشکیل‌دهنده‌ی بدن موجودات زنده را نیز تشکیل می‌دهد. همچنین آب فراوان‌ترین و در دسترس‌ترین ماده در کره‌ی زمین است (شکل ۱-۳) که به دلیل ارتباط تنگاتنگی که با پدیده حیات دارد در طول تاریخ بشر بیشترین حجم مطالعات را نسبت به مواد شیمیایی دیگر به‌خود اختصاص داده است. آب به‌طور نامنظم و پراکنده و با درجات خلوص مختلف در سطح زمین یافت می‌شود. جدول ۱-۱ توزیع این مایع حیاتی در جهان آمده است (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴ منظره‌ای از کره زمین که تقریباً ۷۵٪ آن با آب پوشیده شده است.

جدول ۱-۱ تخمین ذخیره آب در جهان

محل ذخیره	حجم ذخیره برحسب درصد از کل
آب شور اقیانوس‌ها	۹۷/۳۳
دریاچه‌های آب شور و دریاچه‌های داخل خشکی	۰/۰۰۸
یخ‌های قطبی و یخچال‌های طبیعی	۲/۰۴
آب‌های موجود در خشکی	۰/۶۱
دریاچه‌های آب شیرین	۰/۰۰۹
رطوبت موجود در خاک‌ها	۰/۰۰۵
بخار آب جو	۰/۰۰۱
رودخانه‌ها	۰/۰۰۰۱
	۱۰۰/۰۰

### ۱-۳-۱ ترکیب شیمیایی آب

در دوران باستان، آب به عنوان یک عنصر شناخته می‌شد تا اینکه هنری کاوندیش<sup>۱</sup> نشان داد که آب از سوختن هیدروژن در هوا تولید می‌شود. لاولوازه<sup>۲</sup> نیز اولین کسی بود که نشان داد آب از دو عنصر هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده است. آب با فرمول شیمیایی H<sub>2</sub>O دارای تقریباً ۲ گرم هیدروژن و ۱۶ گرم اکسیژن می‌باشد که این اندازه‌گیری‌ها با دو روش زیر تأیید می‌شود:

(۱) مقدار هیدروژن و اکسیژن آزاد شده در فرآیند برقکافت آب

۱- Henery Cavendish (1781)

۲- Lavoisier

۲) تعیین وزن مولکولی لازم از عناصر هیدروژن و اکسیژن برای تهیه ی آب

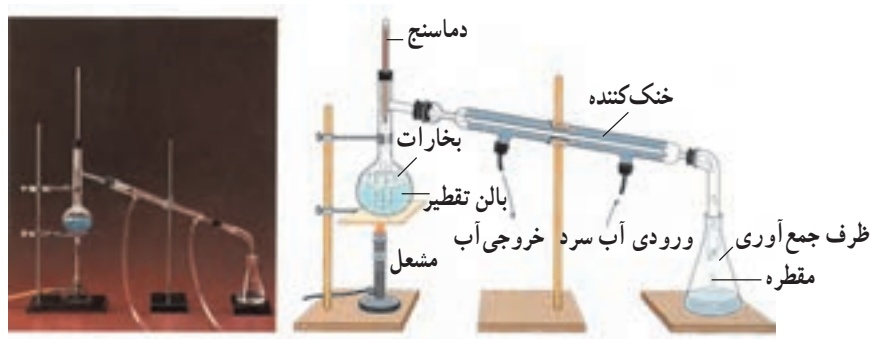
### ۱-۳-۲ خالص سازی آب با روش تقطیر<sup>۱</sup>

آب در حالت عادی ناخالص و معمولاً حاوی نمک ها و گازهای محلول و برخی ترکیبات آلی است. امروزه فرآیندهای مربوط به خالص سازی یا بازیابی آب از پساب های شهری و صنعتی یکی از زمینه های مهم و سودآور شیمی کاربردی است. انتخاب روش مناسب برای تخلیص آب، به منبع مورد مصرف و حجم مورد نیاز از آب بستگی دارد. (در جدول ۱-۲ استاندارد آب آشامیدنی مربوط به سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup> آمده است)

جدول ۱-۲ استاندارد آب آشامیدنی مربوط به سازمان بهداشت جهانی

ناخالصی	حداکثر غلظت مطلوب بر حسب میلی گرم بر لیتر	حداکثر غلظت مجاز بر حسب میلی گرم بر لیتر
مجموع مواد جامد حل شده	۵۰۰	۱۵۰۰
Mg	۳۰	۱۵۰
Ca	۷۵	۲۰۰
کلریدها	۲۰	۶۰
سولفات ها	۲۰۰	۴۰۰

برای استفاده از آب در مقاصد شیمیایی روش تقطیر (شکل ۱-۵) به کار می رود. در صنعت، برای تقطیر آب، نگهداری و انتقال آب مقطر در اغلب موارد از ظروف و لوله های رابط از جنس قلع استفاده می شود و وسایل شیشه ای برای این منظور مناسب نیستند، زیرا به دلیل داشتن مواد قلیایی به آرامی در آب حل و در زمان های طولانی و یا در تماس با مقادیر زیاد آب سبب تولید ناخالصی در آن می شود. از این رو، برای تهیه ی آب خالص شیشه ی سیلیس گداخته<sup>۴</sup> به کار می رود.



شکل ۱-۵ نمای از دستگاه تقطیر آزمایشگاهی

۱- Distillation

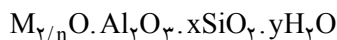
۲- World Health Organization (W.H.O.)

۳- به یاد سپاری این جدول الزامی نیست.

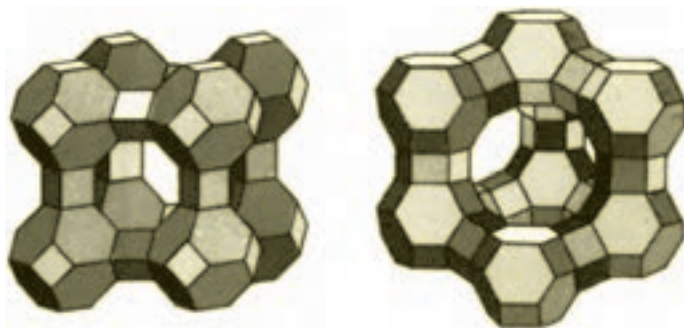
۴- Fused silica glass

### ۱-۳-۳ زدودن ناخالصی‌های یونی از آب

این نوع ناخالصی‌ها را می‌توان به نحوی مؤثر و ارزان در فرآیندی جالب، توسط مولکول‌های بزرگ (که در ابعاد ذرات قابل مشاهده هستند) انجام داد. برخی از بلورهای مواد معدنی با ساختارهای بسیار پیچیده که به نام زئولیت‌ها شناخته می‌شوند، می‌توانند در فرآیندهای تصفیه‌ی آب به کار روند. شبکه بلوری زئولیت‌ها از گونه‌های چهاروجهی  $\text{SiO}_4$  و  $\text{AlO}_4$  تشکیل شده‌اند که در نتیجه‌ی قرارگرفتن در کنار یکدیگر، بیش از  $15^\circ$  نوع زئولیت را با نسبت‌های متفاوت سیلیسیم به آلومینیم و با فرمول بسته‌ی زیر تشکیل می‌دهند:

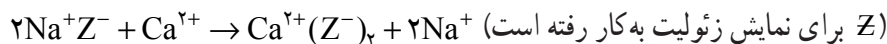


در این فرمول M یک کاتیون از گروه قلیایی یا قلیایی خاکی است که ظرفیت آن n می‌باشد. مهم‌ترین زئولیت‌های صنعتی را با نام زئولیت‌های نوع A، X و Y می‌شناسیم که نسبت سیلیسیم به آلومینیم در آن‌ها به ترتیب ۱، ۱/۵ و ۳ است (شکل ۱-۶).



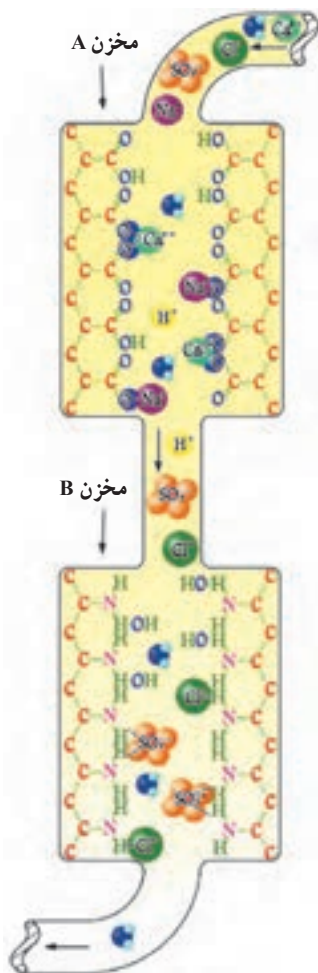
شکل ۱-۶ زئولیت‌های نوع A (سمت چپ) X و Y (سمت راست)

زئولیت‌ها را در صنعت از ترکیب سدیم سیلیکات (مخلوط  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{SiO}_2$  با نسبت‌های مختلف) و سدیم آلومینات ( $\text{NaAlO}_2$ ) تهیه می‌کنند، سپس مخلوط را پس از مدتی صاف کرده و پس از خشک کردن در دمای  $400^\circ$  درجه‌ی سلیسیوس مجدداً فعال می‌کنند. از زئولیت‌ها برای رفع سختی (زدودن کاتیون‌هایی چون کلسیم، منیزیم و آهن) آب‌های سخت استفاده می‌شود. به این ترتیب که در آب سخت مقادیر کمی از کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و آهن وجود دارند که به سبب تشکیل نمک‌های نامحلول با صابون‌های معمولی از حل شدن آن‌ها در آب جلوگیری و مانع عمل شستشو با این صابون‌ها می‌شود. اما زئولیت‌ها می‌توانند این یون‌ها را از راه تبادل، حذف و به جای آن‌ها یون‌های سدیم را به داخل آب بفرستند.



از آنجایی که زئولیت‌ها در آب نامحلول‌اند، پس از مدتی که برای تصفیه مورد استفاده قرار گرفتند، یون‌های سدیم خود را از دست می‌دهند. از این رو، برای تجدید فعالیتشان باید آن‌ها را در محلول سیرشده‌ی نمک طعام قرار داد تا مجدداً یون‌های سدیم جایگزین یون‌های جذب شده‌ی کلسیم، منیزیم و آهن شود. در این صورت واکنش زیر اتفاق می‌افتد.

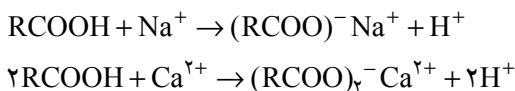




شکل ۱-۷ یون زدایی از آب توسط مولکول‌ها یا گروه‌های اسیدی و بازی

برای عاری سازی آب از یون‌های مثبت و منفی می‌توان از مولکول‌های بزرگ دیگری نیز استفاده کرد. یک نمونه از این مولکول‌ها در شکل ۱-۷ نشان داده شده است.

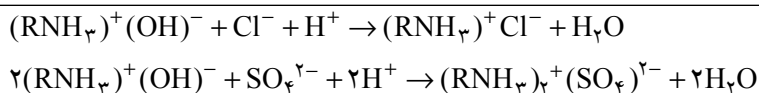
در مخزن A دانه‌هایی حاوی مولکول‌های بزرگ وجود دارند که در فضای خالی بین یکدیگر شبکه‌های متخلخلی را تشکیل می‌دهند. چون در ساختار این مولکول‌ها گروه‌های اسیدی کربوکسیلی وجود دارد، این گروه‌ها می‌توانند در درون خود با یون‌های سدیم<sup>۱</sup> در واکنش‌های جابه‌جایی کاتیونی شرکت کنند.



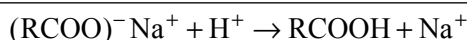
یعنی یون‌های سدیم و کلسیم به این طریق از محلول‌های آبی جدا می‌شوند و به جای محلول نمکی اولیه‌ی (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) یک محلول اسیدی (H<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) تولید می‌شود.

در مرحله‌ی دوم، این محلول اسیدی وارد مخزن B می‌شود که دارای دانه‌هایی از جنس مولکول‌های آلی بزرگ با گروه‌های بازی است. این مولکول‌ها به‌طور کلی جزء نمک‌های آمونیوم هیدروکسید استخلاف شده هستند.

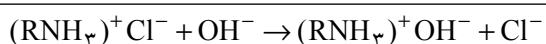
گروه‌های R استخلاف‌های بزرگ آلی را تشکیل می‌دهند و از انحلال مولکول حاصل در آب جلوگیری می‌کنند. گروه‌های هیدروکسید این مولکول‌ها با یون H<sup>+</sup> موجود در محلول (دریافت شده از مخزن A) وارد واکنش شده و مولکول حاصل یون‌های Cl<sup>-</sup> و SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> را از این محلول جدا کند:



به این طریق محلولی که از مخزن B خارج می‌شود فاقد هرگونه کاتیون و آنیون مزاحم است و می‌توان در آزمایشگاه یا در صنعت از آن به‌عنوان «آب یون زدایی شده»<sup>۲</sup> استفاده کرد. مولکول‌های موجود در مخزن A را می‌توان مجدداً با شستشو به‌وسیله‌ی محلول رقیق سولفوریک اسید به‌شکل اولیه‌ی آن تبدیل کرد.



همچنین مولکول‌های موجود در مخزن B را می‌توان با شستشو با محلول رقیق سدیم هیدروکسید بازیابی کرد:



### ۱-۳-۴ خواص فیزیکی آب

آب مایعی شفاف و بی‌رنگ است و در صورتی که عمق آن زیاد باشد به رنگ سبز-آبی دیده می‌شود. برخی از ثابت‌های فیزیکی مهم برحسب خواص فیزیکی آب تعریف می‌شوند. از آن جمله، دمای انجماد آب در فشار یک اتمسفر، معادل صفر درجه سلسیوس و نقطه جوش آن در همین فشار

۱- فرمول‌های نوشته شده در داخل کادرها برای به‌یادسپاری نیستند.

۱۰۰ درجه سلسیوس است. واحد جرم در سیستم متریک<sup>۱</sup> طوری انتخاب شده است تا حجم آب در دمای ۴ درجه سلسیوس که چگالی آب بیشترین مقدار خود را دارد تقریباً معادل یک گرم باشد.

### ۱-۳-۵ فرآیند انحلال نمک‌ها در آب

نمک‌های یونی به راحتی در آب حل می‌شوند، درحالی‌که، در حلال‌های آلی مانند بنزن و الکل‌ها نامحلول‌اند. انحلال پذیری در آب به علت ثابت دی‌الکتریک<sup>۲</sup> بزرگ آب است. برای درک مفهوم ثابت دی‌الکتریک فرض کنید در یک نمک جامد کاتیون‌های با بار مثبت  $q^+$  آنیون‌های با بار منفی  $q^-$  در فاصله‌ی  $d$  از یکدیگر قرار دارند. در این صورت، نیروی الکتروستاتیک  $F$  حاکم بین دو ذره از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$F = \frac{q^+ q^-}{4 \cdot Ad^2}$$

در این فرمول . عدد ثابت (تقریبی)  $3/14$  و  $A$  ثابت دی‌الکتریک محیط عادی است که این دو ذره در آن قرار دارد. مقدار  $A$  برای خلأ برابر یک است در صورتی که این ثابت برای آب تقریباً  $81/7$  برابر خلأ می‌باشد. یعنی نیروی برقرار شده بین دو ذره با بار مخالف در حلال آب تقریباً  $1/80$  نیروی آن در خلأ است. به عبارت ساده‌تر یک نمک به این دلیل در آب حل می‌شود که نیروی بین ذره‌های تشکیل دهنده آن کاهش می‌یابد و دو ذره مثبت و منفی می‌توانند به راحتی از یکدیگر جدا شوند.

تمرین: فرآیند انحلال یا تفکیک یون‌های یک نمک در آب را با فرآیند ذوب شدن نمک در دمای زیاد مقایسه کنید.

## ۱-۴ رنگدانه‌های معدنی

واژه رنگدانه در قرن حاضر در ادبیات شیمی مطرح شده است و براساس استانداردهای پذیرفته شده در مورد موادی به کار می‌رود که از ذرات بسیار ریز رنگی تشکیل شده‌اند که در ترکیب رنگ مورد نظر نامحلول هستند. این ذرات از جنس ترکیبات معدنی مانند اکسیدها، سولفیدها، سیلیکات‌ها و سولفات‌ها یا کربنات‌های فلزات واسطه هستند. موادی مانند کربن سیاه<sup>۳</sup> را نیز می‌توان جزء رنگدانه‌ها محسوب کرد.

رنگدانه‌های طبیعی معدنی از زمان‌های پیش از تاریخ شناخته شده بودند. به طوری که از شصت هزار سال پیش گل اخرا نزد انسان به عنوان ماده رنگی محسوب می‌شد. در دیوار غارهایی در جنوب فرانسه، شمال اسپانیا و شمال آفریقا نقاشی‌هایی از انسان‌های نخستین برجای مانده‌اند که نشان می‌دهند که آن‌ها از گل اخرا، زغال، قهوه‌ای منگنز و گل رس برای رسم این نقاشی‌ها استفاده کرده‌اند. همچنین شواهد باستان‌شناسان ثابت می‌کند که در عصر مصریان و بابلیان لعاب‌کاری و نقاشی و شیشه‌گری به پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای رسیده بودند. صنعت ساخت رنگدانه‌ها در قرن

هجدهم و یا محصولاتی مانند آبی برلین<sup>۱</sup> (سال ۱۷۰۴) آبی کبالت<sup>۲</sup> (سال ۱۷۷۷) سبز شیلی<sup>۳</sup> و زرد کروم<sup>۴</sup> (سال ۱۷۷۸) آغاز شد و روز به روز گسترش یافت. تولید جهانی رنگدانه‌ها در سال ۱۹۹۵ به طور تقریبی بالغ بر پنج میلیون تن می‌شود که ۹۷ درصد آن را رنگدانه‌های ساده و مخلوط معدنی تشکیل می‌دهد که به ترتیب به ترکیبات زیر مربوط می‌شود:

- (۱) تیتانیم اکسید (TiO<sub>۲</sub>) ۶۶٪ (۲) اکسیدهای آهن (طبیعی و سنتزی) ۱۴٪  
 (۳) رنگدانه‌ی سیاه کربن ۱۰٪ (۴) لیتوپون<sup>۵</sup> (شامل ZnS) ۴٪  
 (۵) کرومات‌ها ۳٪

#### ۱-۴-۱ کاربرد رنگدانه‌ها

مهم‌ترین کاربرد رنگدانه‌ها عبارت است از استفاده از آن‌ها در رنگ‌ها، لاک‌ها، پلاستیک‌ها، جوهرهای چاپ بر روی کاغذها و پارچه‌ها، تزئینات چوبی، لاستیک‌سازی، تهیه‌ی مواد آرایشی و لعاب‌کاری، صنایع سرامیک و مصارف ساختمانی مانند تهیه‌ی آجرها و پوشش کف ساختمان. هنگامی که رنگدانه‌ای را برای مصرف خاصی در نظر می‌گیریم باید نکات متعددی را مورد توجه قرار دهیم. نخستین نکته آن است که خواص رنگی آن مانند نوع درخشندگی و قدرت پوشش‌دهندگی رنگدانه نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی و جنبه‌های اقتصادی آن دارد. نکات دیگری که در این ارتباط باید در نظر گرفته شوند عبارتند از:

الف - خواص فیزیکی رنگدانه باید با نوع کاربرد آن متناسب باشد. خواصی مانند ترکیب شیمیایی، میزان رطوبت، اندازه ذرات، چگالی، درجه سختی و میزان مواد محلول رنگدانه در آب و اسید.

ب - خواص مربوط به پایداری رنگدانه با پایداری در مقابل نور، آب و هوا، حرارت، مواد شیمیایی، ویزگی ضدخوردگی نیز باید با کاربرد آن هماهنگی داشته باشد.

ج - رفتار فیزیکی و شیمیایی رنگدانه و رنگپایه<sup>۶</sup> جزء موارد مهم می‌باشند، این‌گونه رفتارها معمولاً مواردی چون برهم‌کنش این دو، قابلیت پخش رنگپایه، خواصی ویژه رنگدانه در رنگپایه و غیره شامل می‌شود.

پرسش: به نظر شما اگر بخواهیم داخل یک مخزن نگهداری اسید را رنگ بزنیم، آیا می‌توانیم از رنگ‌هایی استفاده کنیم که حاوی رنگدانه‌های آهن اکسید هستند؟ چرا؟

#### ۱-۴-۲ ترکیب شیمیایی رنگدانه‌ها

تمام رنگدانه‌های معمولی به‌جز چند مورد استثناء جزء اکسیدها، سولفیدها، مخلوط اکسیدها و هیدروکسیدها، سولفات‌ها و یا کربنات‌ها هستند. همچنین ممکن است ذرات رنگدانه‌ها از یک یا چند جزء تشکیل شده باشند. مثلاً اکسید قرمز آهن فقط از یکی از شکل‌های بلوری Fe<sub>۲</sub>O<sub>۳</sub> تشکیل شده‌اند. درحالی که رنگدانه سبز کروم مخلوطی از رنگدانه‌های کروم و آهن است. در جدول ۱-۳ نوعی طبقه‌بندی رنگدانه‌های سفید و سیاه ملاحظه می‌شود.

۱- Berlin Blue

۲- Cobalt Blue

۳- Scheele's green

۴- Chrome Yellow

۵- Lithopone

۶- Binder

جدول ۱-۳ طبقه‌بندی رنگدانه‌های سفید و سیاه

رنگدانه سیاه	رنگدانه سفید	طبقه شیمیایی
سیاه آهن اکسید ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	تیتانیم اکسید ( $\text{TiO}_2$ )	اکسیدها
سیاه منگنز آهن [ $(\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{O}_3$ ]	روی اکسید ( $\text{ZnO}$ )	
سیاه اسپینل [ $\text{Cu}(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ ]		
	روی سولفید ( $\text{ZnS}$ )	سولفیدها و
	لیتوپون ( $\text{ZnS} / \text{BaSO}_4$ )	سولفات‌ها
سیاه کربن		کربن

## ۱-۵ شیمی ترکیبات شیشه

امروزه وجود شیشه در محیط اطراف ما چنان عادی است که به ندرت وجود آن را احساس می‌کنیم ولی مصریان قدیم شیشه را جسم با ارزشی تصور می‌کردند و این موضوع را می‌توان از وجود مهره‌های شیشه‌ای که در آرامگاه فرعون کشف شده‌اند دریافت. حتی در دوران‌هایی به مراتب قدیمی‌تر نیز غارنشینان اولیه ابزارهای زندگی خود مانند تبر، کارد، نیزه و بسیاری از ابزارهای دیگر را از قطعات شیشه‌های آتشفشانی می‌ساختند.

اما شیشه چیست؟ باید در پاسخ به این سؤال گفت که شیشه‌هایی که بشر در سراسر تاریخ به کار برده از جنس سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) بوده است اما از آنجایی که می‌توان تعداد نامحدودی از شیشه‌های معدنی را بدون استفاده از سیلیس تهیه کرد پس وجود سیلیس برای ساخت شیشه ضروری نیست. با اینکه شیشه را می‌توان با روش‌های گوناگونی تولید کرد ولی امروزه در اغلب موارد از روش ذوب مواد اولیه در دماهای زیاد استفاده می‌شود. این روش همواره با انتخاب مواد اولیه و محاسبه نسبت مخلوط آن‌ها برای تهیه مذاب همگن در ظرف واکنش همراه است. صرف نظر از مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه شیشه این مواد را می‌توان براساس نقش آن‌ها در فرآیند تشکیل شیشه به پنج دسته تقسیم کرد:

- ۱) تشکیل دهنده‌های شیشه<sup>۱</sup>
- ۲) مواد گداز آور<sup>۲</sup>
- ۳) اصلاح‌گرهای خواص<sup>۳</sup> (شیشه)
- ۴) مواد رنگی<sup>۴</sup>
- ۵) عوامل کیفیت ساز<sup>۵</sup> (در خواص شیشه)



روش ساخت یک ظرف شیشه‌ای

۱- Spinel black

۲- Glass Formers

۳- Flux

۴- Property modifier

۵- Colorant

۶- Fining agents



ممکن است در این تقسیم‌بندی یک ماده به‌خصوص هنگامی که برای مقاصد مختلف به کار می‌رود جزء هر یک از تقسیم‌بندی‌های فوق قرار گیرد. برای نمونه، آلومین در شیشه‌های آلومیناتی<sup>۱</sup> نقش تشکیل‌دهنده‌ی شیشه را برعهده دارد. اما در شیشه‌های سیلیکاتی دارای نقش یک اصلاحگر خواص است. آرسنیک اکسید نیز می‌تواند در شیشه هم تشکیل‌دهنده و هم عامل کیفیت‌ساز شیشه باشد.

مواد تشکیل‌دهنده مهم‌ترین بخش شیشه را شامل می‌شوند. در هر شیشه معمولاً یک یا دو جزء این نقش را برعهده دارند. اگر ماده تشکیل‌دهنده شیشه سیلیس باشد آن را «شیشه‌ی سیلیکاتی» می‌نامیم و اگر به این شیشه مقادیر قابل توجهی بوریک اکسید ( $B_2O_3$ ) اضافه شود شیشه‌ی حاصل از جنس «بوروسیلیکات»<sup>۲</sup> خواهد بود که مصارف گسترده‌ای در ظروف آزمایشگاهی و مدرج دارند. تمرین: تحقیق کنید چرا بر روی ظروف مدرج آزمایشگاهی یک درجه حرارت به‌عنوان دمای کار نوشته می‌شود.

تشکیل‌دهنده‌های اولیه در شیشه‌های اکسیدی عبارتند از سیلیس ( $SiO_2$ )، بوریک اکسید ( $B_2O_3$ ) و فسفریک اکسید ( $P_2O_5$ ) که به سهولت می‌توانند شیشه‌های ساده را تشکیل دهند. برخی از این ترکیبات که جزء اکسیدهای عنصری هستند عبارتند از  $Bi_2O_3$ ,  $GeO_2$ ,  $V_2O_5$ ,  $Ga_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TeO_2$ ,  $Sb_2O_3$ ,  $As_2O_3$  گرچه تعداد ترکیبات ممکن برای ساخت شیشه تقریباً نامحدود است ولی امروزه بیشتر سیلیس تشکیل‌دهنده اصلی محسوب می‌شود و این جسم می‌تواند به‌تنهایی با تعداد زیادی از اکسیدهای دیگر، شیشه‌های گوناگونی را تشکیل دهد.

گرچه استفاده از سیلیس خالص شیشه مرغوبی را برای مصارف عمومی مانند شیشه پنجره‌ها، بطری‌ها و غیره به‌دست می‌دهد، ولی به‌علت دمای ذوب آن (بیش از  $2000^\circ$  درجه سلسیوس) هزینه تولید این نوع شیشه بسیار گران خواهد بود. به همین دلیل، برای کاهش دمای ذوب آن از مواد گران‌گدازآور استفاده می‌شود تا دمای ذوب شیشه را به کمتر از  $1600^\circ$  درجه سلسیوس کاهش دهد. مهم‌ترین مواد گدازآور دیگری که با این هدف در ساخت شیشه‌های مخصوص به‌کار می‌رود عبارتند از  $Na_2O$  و  $PbO$  و اکسیدهای گران‌قیمت دیگری چون  $Rb_2O$ ،  $Cs_2O$ ،  $Li_2O$ .

درحالی که استفاده از مواد گدازآور هزینه‌ی ساخت شیشه را کاهش می‌دهد اما سبب کاهش پایداری آن در برابر حلال‌های شیمیایی نیز می‌شود. به‌طوری که ممکن است نتوان برخی از این شیشه‌ها را به‌عنوان ظروف نگهدارنده مایعات یا شیشه پنجره به‌کار برد. برای رفع این معایب به مخلوط مواد اولیه شیشه مواد اصلاحگر می‌افزاییم که شامل اکسیدهای فلزات قلیایی خاکی و فلزات واسطه و مهم‌تر از همه آلومینیم اکسید (آلومین) می‌شود. با اینکه این اکسیدها از اثر مواد قلیایی در کاهش دمای ذوب مخلوط شیشه تا حدودی جلوگیری می‌کنند اما بسیاری از خواص محصول نهایی شیشه را بهبود می‌بخشند. در واقع، همان‌طوری که در ابتدای این مبحث گفته شد، یکی از مراحل اصلی در ساخت شیشه کنترل خواص محصول نهایی آن از طریق نظارت دقیق بر نسبت مواد گوناگون در مذاب است.



لیتارژ یا  $PbO$

<sup>۱</sup>— Aluminate glass

<sup>۲</sup>— Borosilicate glass

مواد رنگی برای رنگی شدن محصول نهایی شیشه به کار می‌روند. این مواد بیشتر موارد جزء اکسیدهای فلزات واسطه هستند. تا مدت‌ها قبل، از اورانیم اکسید به عنوان ماده‌ی رنگی در شیشه استفاده می‌شد ولی به دلیل اثرات نامطلوب پرتوزایی<sup>۱</sup> مصرف آن به تدریج کاهش یافت. فلزات طلا و نقره نیز با تشکیل کلئید در شیشه به آن رنگ می‌دهند. در هر حال مواد رنگی با نسبت‌هایی به مراتب کمتر از اجزای دیگر شیشه به آن اضافه می‌شوند.

از سوی دیگر، معمولاً مقادیر کمی از اکسیدهای فلزی همراه با سیلیس وارد شیشه‌ی مذاب می‌شوند و در آن رنگ‌های ناخواسته‌ای را ایجاد می‌کنند. در این صورت برای خنثی شدن این رنگ‌های ناخواسته که سبب تیره شدن محصول نهایی شیشه می‌شوند، از مواد «رنگزدا»<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. عمل رنگزدایی به دو روش صورت می‌گیرد:

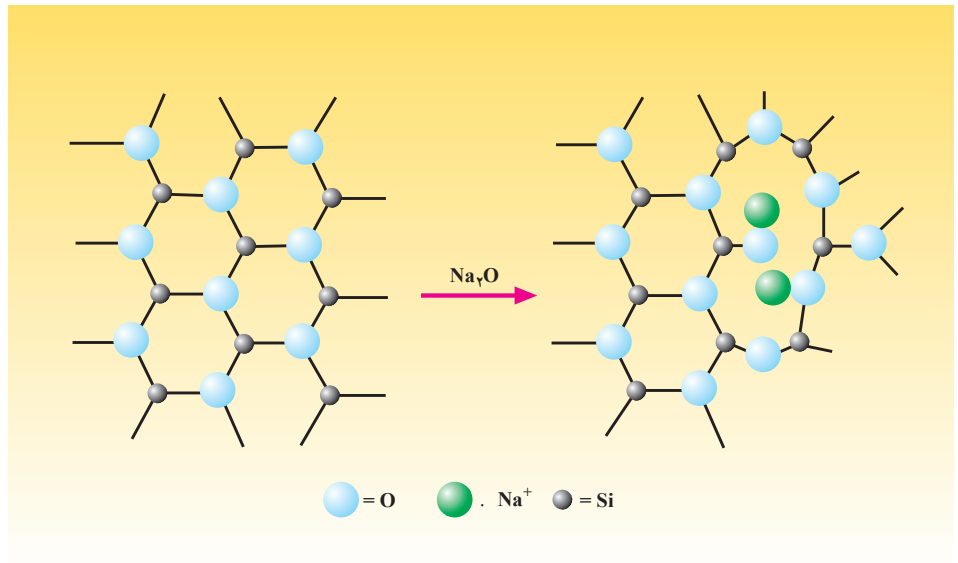
از روش نخست هنگامی استفاده می‌شود که در شیشه مذاب مقادیر کمی ( $>0.1\%$ )  $Fe_2O_3$  موجود باشد. در این صورت با یک فرآیند شیمیایی، در دمای زیاد و با استفاده از یک ماده‌ی تولیدکننده اکسیژن مانند  $KNO_3$ ،  $CeO_2$ ،  $MnO_2$ ، آهن (II) موجود در مخلوط را اکسید و رنگ شیشه را از بین می‌برد.

تمرین: معادله‌ی واکنش اکسایش کاتیون آهن را در حضور  $CeO_2$  و  $MnO_2$  بنویسید. در صورتی که غلظت اکسیدهای آهن زیاد باشد، رنگ زرد مایل به سبز را در شیشه ایجاد می‌کند. برای رفع این رنگ از روش دوم که یک روش فیزیکی است استفاده می‌شود. در این روش با افزودن مواد رنگی چون  $CoO$  و  $Nb_2O_5$  رنگ مکمل شیشه‌ی فوق را در مخلوط ایجاد می‌کنند و با این کار از شیشه رنگزدایی می‌شود. اکسیدهای فلزی دیگر مانند اکسیدهای آهن که در شیشه رنگ‌های ناخواسته ایجاد می‌کنند عبارتند از: اکسیدهای نیکل، وانادیم، مس، منگنز و کروم.

### ۱-۵-۱ نقش شیمیایی اصلاحگرهای قلیایی بر فرآیند ذوب سیلیس

چنانکه در بخش پیشین گفته شد، سیلیسیم اکسید می‌تواند شیشه‌ی محکمی را تشکیل دهد که در برابر سرما و گرما از مقاومت خوبی برخوردار اما به دلیل دمای ذوب زیاد هزینه ساخت چنین شیشه‌ای زیاد است. از این رو، برای کاهش دمای ذوب شیشه به آن اکسیدهای قلیایی مانند  $Na_2O$  یا قلیایی خاکی مانند  $CaO$  می‌افزایند. این مواد اصلاحگر سبب انتقال یون‌های  $O^{2-}$  به اتم‌های  $Si^{4+}$  می‌شوند که با این عمل پیوندهای  $Si-O-Si$  تضعیف شده و به پیوندهای یونی  $Si-O^-$  تبدیل می‌شوند. سپس به طوری که در شکل ۱-۸ ملاحظه می‌شود، یون‌های  $Na^+$  با این پیوندها تشکیل پیوندهای جدیدی با ماهیت یونی می‌دهند.

با این کار شبکه سیلیس که از پیوندهای فراوان  $Si-O-Si$  تشکیل شده است در هم می‌ریزد و به این طریق شیشه سریع‌تر ذوب می‌شود.



شکل ۱-۸ نحوه فروپاشی شبکه سیلیس توسط  $\text{Na}_2\text{O}$

## ۶-۱ شیمی ترکیبات سرامیک

برطبق تعریف، سرامیک‌ها مواد شکل‌پذیری هستند که طی یک فرآیند حرارتی از نافلزات جامد معدنی تشکیل می‌شوند. این مواد در مقایسه با فلزات، پلاستیک‌ها سخت‌تر هستند و مقاومت آن‌ها در برابر اکسایش و آتش به مراتب بیشتر است. به‌طور کلی، آجرها، سفالینه‌ها، چینی‌جات و وسایل سرامیکی جزو سرامیک‌ها محسوب می‌شوند. تمام این مواد از خاک ساخته می‌شوند که یک آلومینیم سیلیکات ناخالص است و یا ممکن است از کائولن<sup>۱</sup> ساخته شده باشد که شکل خالص‌تر خاک است. عبارت مواد شکل‌پذیر<sup>۲</sup> مهمترین مشخصه‌ی تعریف فوق است زیرا بدون ویژگی شکل‌پذیری حتی خاکسترهای آتشفشانی و گدازه‌ها را می‌توان جزو سرامیک‌ها دانست. از سوی دیگر، اگر بتوان یک ماده معدنی را با خواص منحصر به فرد، به شکل مناسبی درآورد، در این صورت در بسیاری موارد ضرورت کاربردی خود را از دست می‌دهد. برخی از مواد فاصله بین مواد شکل‌پذیر و بی‌شکل را پر می‌کنند، مانند شیشه، پورسلین<sup>۳</sup> و سیمان‌ها.

## ۷-۱ سیمان

سیمان یک ملاط‌آبی<sup>۴</sup> است که از مواد معدنی و نافلزی تشکیل می‌شود و پس از مخلوط شدن با آب خمیری شده و در اثر آبدار شدن<sup>۵</sup> به تدریج سخت می‌شود مهم‌ترین جزء سیمان‌های سیلیکاتی خاکه جوش<sup>۶</sup> است که از کلسیم و سیلیکات‌های حاوی کلسیم تشکیل می‌شود که  $\frac{۲}{۳}$  خاکه جوش را دربر می‌گیرد. اگر تمام سیمان و یا بخش عمده‌ای از آن را خاکه جوش تشکیل دهد به آن سیمان پرتلند<sup>۷</sup> می‌گوییم.

۱- Kaolin

۲- Materials

۳- Porcelain

۴- Hydraulic binder

۵- Hydration

۶- Clinker

۷- Portland Cement

جدول ۱-۴ برخی از سرامیک‌ها و کاربردهای آن‌ها

اطلاعات این جدول برای مطالعه آزاد است و به‌خاطر سپردن آن الزامی نمی‌باشد.

نوع سرامیک	ترکیب شیمیایی	کاربرد (ها)
الف - سرامیک‌های الکتریکی و مغناطیسی برای عایق کاری الکتریکی	$Al_2O_3$ با خلوص و چگالی زیاد، حرارت دیده و متبلور	مدارهای مجتمع الکتریکی نوارهای ضبط مغناطیسی لامپ تصویر
گاما - $Fe_2O_3$ به صورت پودری از ذرات سوزنی شکل		تلویزیون‌ها، مغناطیس‌های ابررسانا کامپیوترهای پر سرعت
مغناطیس‌های نرم		
مغناطیس‌های سخت	$SrO + 6Fe_2O_3$ با چگالی زیاد	
ابررساناها	$Ba_7LaCu_3O_{7-x}$ و حرارت دیده	
ب - سرامیک‌های با درجه سختی زیاد	$Si_3N_4$ و $SiC$ با چگالی زیاد و پره توربین‌ها	
برای مصارف با استحکام مکانیکی زیاد	حرارت دیده	
ج - سرامیک‌های نوری فلوئورتاب‌ها	$Y_2O_3 \cdot Eu$ (پودر) فیبرهای نوری	
مصارف نوری	فیبرهای $SiO_2$ با درجه خلوص زیاد	لامپ‌های فلوئورتاب
د - سرامیک‌های حرارتی عایق کاری‌های حرارتی	فیبرهای $K_2O \cdot nTiO_2$	عایق‌های حرارتی پایدار برای کوره‌های کم مصرف
ه - سرامیک‌های شیمیایی و زیست شیمی	$Al_2O_3 \cdot Ca_5(F, Cl)P_3O_{11}$ متخلخل و حرارت دیده	دندان‌ها و استخوان‌های مصنوعی
استخوان‌های مصنوعی	$K_2O \cdot Al_2O_3$ با خلوص زیاد و حرارت دیده	مصارف کاتالیزی در دماهای زیاد
فعالیت‌های کاتالیزی		

بخش اصلی خاک جوش از تری کلسیم سیلیکات، دی کلسیم سیلیکات، تری کلسیم آلومینات و کلسیم آلومینوفرات ساخته شده است. این مواد در اثر مخلوط شدن کلسیم اکسید، سیلیسیم دی‌اکسید، آلومینیم اکسید و آهن (III) اکسید در مقادیر مشخص تهیه می‌شوند. هنگامی که این مخلوط را در دماهای زیاد حرارت دهیم ترکیبات خاکه جوش تهیه می‌شود، در جدول ۱-۵ مقدار ترکیبات فوق در خاکه جوش مشخص شده است.

جدول ۱-۵ ترکیب خاکه جوش

توجه: به یاد سپردن درصدها الزامی نیست

اجزا	درصد وزنی		
	حداقل	متوسط	حداکثر
تری کلسیم سیلیکات	۴۵	۶۲	۷۵
دی کلسیم سیلیکات	۵	۱۵	۳۵
کلسیم آلومینوفرات	۴	۸	۱۵
تری کلسیم آلومینات	۴	۱۱	۱۵
کلسیم اکسید	۰/۱	۱	۴
منیزیم اکسید	۰/۵	۱/۵	۴/۵

- ۱- در شیمی معدنی با چه موادی سر و کار داریم؟ اختلاف آن با شاخه‌ی شیمی آلی چیست؟
- ۲- چرا نقش فلزات در چرخه‌های حیاتی دیرتر از نقش کربن در این چرخه‌ها مشخص شده است؟
- ۳- چرا فرآیندهای اکسایش و کاهش بیشتر در فلزات (به‌خصوص فلزات واسطه) مشاهده می‌شود؟
- ۴- چند روش صنعتی برای تهیه‌ی هیدروژن معرفی کنید. با مراجعه به فصل هفتم کتاب شیمی تجزیه تحقیق کنید که گاز هیدروژن در کدام فرآیند صنعتی (در این فصل) به عنوان محصول فرعی تهیه می‌شود.
- ۵- آب سخت چیست؟ چگونه می‌توان سختی آب را از بین برد؟
- ۶- چند روش برای رفع آلودگی‌های یونی در آب را شرح دهید.
- ۷- چرا با اینکه در فرآیند ذوب و انحلال نمک‌ها (در آب) از نظر تفکیک یون‌ها مشابه یکدیگرند ولی از نظر انرژی گرمایی مورد نیاز برای انجام این دو فرآیند، فرآیند ذوب به انرژی بیشتری نیاز دارد؟
- ۸- چه نکاتی را باید هنگام مصرف یک رنگدانه در نظر گرفت؟
- ۹- سیلیس در آب نامحلول است ولی در محلول سود حل می‌شود. آیا این موضوع ارتباطی با نقش نمک‌های قلیایی به‌عنوان مواد گدازآور در شیشه‌ی مذاب دارد؟



- ۱- چرا هیدروفلوئوریدریک اسید را نمی توان در شیشه نگهداری کرد؟ معادله ی واکنش را بنویسید.
- ۲- کرومات ها یکی از رنگدانه های مهم معدنی هستند. مقاله ای راجع به خواص شیمیایی و کاربردهای گوناگون این رنگدانه ها بنویسید.
- ۳- در مورد وظایف یکی از عناصر فلزی در زیست شیمی اطلاعاتی جمع آوری کنید.

## آزمایش کنید

۱- یک بالن مدرج  $50^{\circ}$  میلی لیتری بردارید و آن را دقیقاً تا خط نشانه از آب پر کنید. سپس بالن را در یک حمام آب گرم تا حدود  $50^{\circ}$  درجه ی سلسیوس گرم کنید. حجم آب موجود در بالن نسبت به خط نشانه چه تغییری می کند؟ علت آن را توضیح دهید.

۲- در شیشه عینک های فتوکرومیک مقادیر ناچیزی هالیدهای نقره وجود دارد. یکی از این عینک ها را در نورهایی با شکست های مختلف نگاه کنید. آیا می توان تغییر در شفافیت شیشه ی این عینک ها را براساس معادلات زیر توضیح داد؟

