

## فصل اول

### مواد، سرامیک‌ها و کاربرد آن‌ها

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

- ۱- کاربردهای مواد سرامیکی را در زندگی روزمره توضیح دهد.
- ۲- ماده را تعریف کند.
- ۳- با انواع تقسیم‌بندی مواد آشنا شود و تفاوت این تقسیم‌بندی‌ها را بیان کند.
- ۴- طبقه‌بندی مواد براساس اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها را شرح دهد.
- ۵- طبقه‌بندی مواد براساس خواص آن‌ها را شرح دهد.
- ۶- طبقه‌بندی مواد براساس طبیعت آن‌ها را شرح دهد.
- ۷- طبقه‌بندی مواد براساس فرایند تولید را نام ببرد.
- ۸- خواص الکتریکی سرامیک‌ها را بداند.
- ۹- خواص فیزیکی و گرمایی مواد سرامیکی را توضیح دهد.
- ۱۰- خواص مکانیکی سرامیک‌ها را بداند.
- ۱۱- کاربردهای بیوشیمیایی مواد سرامیکی را شرح دهد.

#### مقدمه

اشیای پیرامون ما، از مواد گوناگون تشکیل شده‌اند و بسیاری از تغییراتی که در آن‌ها رخ می‌دهد نتیجه‌ی واکنش شیمیایی آن‌هاست. سوختن بنزین و گازوئیل در موتور اتومبیل‌ها، یک عمل شیمیایی است. حتی دود تولید شده در اثر سوختن این سوخت‌ها در موتور اتومبیل، که متأسفانه سبب آلودگی محیط زیست می‌شود، حاصل اعمال شیمیایی است؛ اگرچه کنترل همین آلودگی‌ها نیز به کمک مواد و واکنش‌های شیمیایی امکان‌پذیر است.

فناوری پیشرفته‌ی امروزی به مواد ویژه‌ای نیاز دارد. از جمله موادی که برای مثال، نقطه‌ی ذوب بسیار بالا، خواص الکتریکی و مغناطیسی ویژه، خواص فوری مناسب و ... داشته باشند. دانشمندان در رشته‌های مختلف، پیوسته در پی یافتن راه‌هایی برای به‌دست آوردن این گونه مواد هستند.

با نگاه به اطراف خود، می‌توان بسیاری از محصولات را، که از مواد سرامیکی ساخته شده‌اند، مشاهده نمود. مانند شیشه‌ی نصب شده در پنجره‌ها، مصالح موجود در ساختمان (آجر، گچ، سیمان و ...)، تزئینات داخلی ساختمان شامل کاشی‌ها و چینی بهداشتی، عدسی‌های به‌کار رفته در لنز دوربین عکاسی، ظروف چینی، بلور و غیر آن‌ها، همه و همه به گروه مواد سرامیکی تعلق دارند. استفاده از تولیدات سرامیکی از زندگی امروزی تفکیک ناپذیر است. در این‌جا تلاش می‌شود مسائل فیزیکی و شیمیایی این محصولات مورد بررسی قرار گیرد.

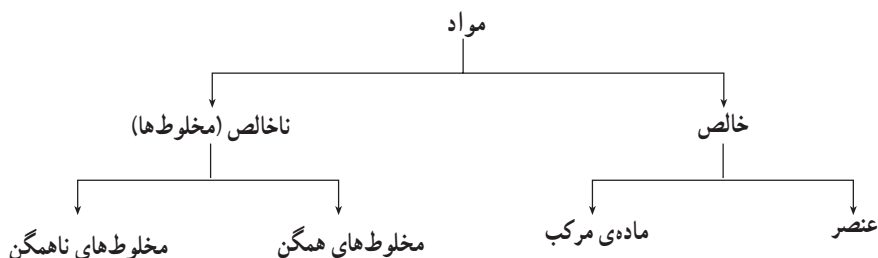
## ۱-۱- تقسیم‌بندی مواد

مواد موجود در طبیعت را به صورت‌های گوناگون تقسیم‌بندی می‌کنند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

۱-۱-۱- ماده چیست؟ هر چیزی که در اطراف خود می‌بینید، مانند کتاب، قلم، کیف و ...؛ اشیای طبیعی مانند آب، خاک، سنگ‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها؛ و نیز گیاهان و جانوران ماده هستند. به‌طور کلی هر چیزی که جرم داشته باشد و فضا اشغال کند «ماده» نامیده می‌شود. مثلاً بدن ما از ماده تشکیل شده است، زیرا ما جرم داریم و فضا اشغال می‌کنیم. گازهای تشکیل‌دهنده‌ی هوا نیز، با وجودی که قابل دیدن نیستند، نمونه‌هایی از ماده‌اند زیرا جرم دارند و فضا اشغال می‌کنند. هم‌چنین شیشه مانیتور رایانه، دارای وزن بوده و فضا اشغال می‌کند. اما نور خورشید ماده نیست بلکه صورتی از انرژی است.

۱-۱-۲- تقسیم‌بندی مواد براساس اجزای تشکیل‌دهنده: گونه‌های تشکیل‌دهنده و مقدار آن‌ها در یک ماده را ترکیب شیمیایی آن ماده گویند.

در نمودار ۱-۱ طبقه‌بندی مواد براساس ترکیب شیمیایی نشان داده شده است. بر این اساس مواد به خالص و مخلوط (ناخالص) تقسیم می‌شوند.



نمودار ۱-۱- طبقه‌بندی مواد براساس ترکیب شیمیایی

**ماده‌ی خالص:** ماده‌ای است که یا به صورت عنصر خالص بوده و یا در آن دو یا چند نوع اتم با یکدیگر ترکیب شده‌اند (ماده‌ی مرکب). عنصر ماده‌ی خالص، تنها از یک نوع اتم ساخته شده است، مانند سیلیسیم، آلومینیم، کربن، آهن و غیر آن‌ها. شکل ۱-۱ عنصر گوگرد و عنصر مس را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- عنصر گوگرد و عنصر مس

یک مولکول آب، یک ماده‌ی مرکب است که در آن دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن با هم ترکیب شده‌اند. یک مولکول کوارتز نیز یک ماده‌ی مرکب است که از یک اتم سیلیسیم و دو اتم اکسیژن تشکیل شده است. سرتاسر ماده در آب خالص و کوارتز خالص همین ترکیب شیمیایی را دارد و ترکیب شیمیایی در نقاط مختلف ماده تغییر نمی‌کند.

**مخلوط‌ها (مواد ناخالص):** بیش تر مواد اطراف ما به صورت ناخالص هستند. ماده‌ی مخلوط را می‌توان به دو یا چند ماده‌ی خالص تبدیل کرد. مخلوط‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: مخلوط‌های همگن (محلول‌ها) و مخلوط‌های ناهمگن. در سرتاسر مخلوط همگن، ترکیب شیمیایی و خواص یک‌سان است.

برای مثال وقتی سدیم کربنات در آب حل می‌شود، مخلوط همگن به وجود می‌آید. هم‌چنین، مس (II) سولفات همان‌طور که در شکل ۱-۲ می‌بینید.

در مخلوط ناهمگن، مانند آب گل‌آلود، ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی مخلوط در همه جای نمونه یک‌سان نیست. یک دوغاب کائولن نیز مخلوط ناهمگن است. در شکل ۱-۳ تصویر یک مخلوط همگن و ناهمگن آمده است.



شکل ۱-۲- محلول‌های مس (II) سولفات با غلظت‌های متفاوت



ب



الف

شکل ۱-۳- الف) مخلوط همگن و ب) مخلوط ناهمگن

اجزای مخلوط‌ها را می‌توان با روش‌های فیزیکی از هم جدا کرد. برای نمونه جداسازی ناخالصی از دوغاب کائولن در اثر را که گذاشتن در حوضچه‌های شست‌وشو یا جداسازی آب در فیلتر پرس صورت می‌گیرد.

**۳-۱-۱- تقسیم‌بندی مواد براساس خواص آن‌ها:** هر ماده خواصی دارد که به کمک آن می‌توانیم آن ماده را از مواد دیگر تشخیص دهیم. مواد براساس خواصشان به دو صورت کلی خواص فیزیکی و خواص شیمیایی تقسیم‌بندی می‌شوند.

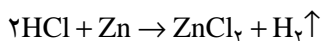
**خواص فیزیکی:** خواص فیزیکی به آن دسته از ویژگی‌های ماده گفته می‌شود که می‌توانند تغییر کنند بدون آن که در جنس یا ماهیت مواد تغییری حاصل شود. مثلاً فلزات خاصیت چکش‌خواری دارند و غیر فلزات فاقد این خاصیت‌اند. فلزات هادی جریان الکتریسیته و حرارت‌اند و غیر فلزات عایق الکتریسیته هستند و هدایت حرارتی ضعیفی دارند.

به تغییر درحالت فیزیکی یک ماده تغییر فیزیکی گفته می‌شود. برای مثال آب (مایع) در اثر سرد شدن به یخ (آب جامد) تبدیل می‌شود یا برعکس، در اثر گرم‌شدن، بخار (گاز) می‌گردد. تبدیل آب به یخ یا بخار، هر دو، تغییری فیزیکی است، اما ترکیب شیمیایی آن‌ها یک‌سان است.

از ویژگی‌های سرامیک‌ها دیرگدازی و بالا بودن دمای ذوب آن‌هاست، که این رفتار تا حد زیادی به قدرت پیوند بین اتم‌ها بستگی دارد.

**خواص شیمیایی:** خاصیت شیمیایی یک ماده به توانایی یا ناتوانی آن ماده برای شرکت در یک واکنش شیمیایی گفته می‌شود. به عبارت دیگر اگر ترکیب شیمیایی یک ماده تغییر کند، این تغییر را تغییر شیمیایی می‌نامند. برای نمونه هنگامی که یک برگ کاغذ (که عمدتاً از چوب و مقداری کاتولین تشکیل شده است) می‌سوزد، ترکیب شیمیایی آن تغییر می‌کند و به مواد دیگری (مثلاً کربن و گاز کربنیک، خاکستر و ...) تبدیل می‌شود. وجود خاصیتی در کاغذ که سبب می‌شود بسوزد، خاصیت شیمیایی آن به شمار می‌آید.

فلز روی می‌تواند با هیدروکلریک اسید واکنش دهد و گاز هیدروژن و محلول روی کلرید طبق واکنش زیر تولید کند:



این خاصیت برای فلز روی یک خاصیت شیمیایی به شمار می‌رود. در شکل ۴-۱ توانایی واکنش فلز روی با هیدروکلریک اسید و ناتوانی فلز طلا برای واکنش با هیدروکلریک اسید مشاهده می‌شود که از خواص شیمیایی فلز طلا به شمار می‌رود.



شکل ۴-۱ واکنش فلز روی (میخ شکل) با هیدروکلریک اسید و ایجاد گاز هیدروژن و واکنش نداشتن زنجیر طلا با هیدروکلریک اسید

در بین اکسیدها، که عمدتاً در سرامیک‌ها مطرح هستند، اکسید سیلیسیم ( $\text{SiO}_2$ ) در واکنش با هیدروکلریک اسید ناتوان است، در حالی که توانایی قابل ملاحظه‌ای در واکنش با هیدروفلوریک اسید دارد. در ادامه به برخی از خواص فیزیکی و برخی خواص شیمیایی سرامیک‌ها اشاره می‌شود.

## خواص گرمایی مواد سرامیکی

دمای ذوب شدن: در شکل ۵-۱ تصویر شیشه‌ی مذاب را می‌بینید. هنگامی که مواد مختلف را گرما می‌دهیم برخی به آسانی و برخی به سختی ذوب می‌شوند و برخی نیز پیش از ذوب شدن به طور مستقیم بخار می‌شوند یا تجزیه می‌گردند.



شکل ۵-۱- تصویر شیشه‌ی مذاب

این رفتارهای گوناگون تا حد زیادی به قدرت پیوند بین اتم‌های تشکیل دهنده‌ی مواد بستگی دارد. موادی مانند کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) و آلومینیم اکسید ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) که پیوندهای اتمی و ساختاری قوی دارند در دماهای بالا، ذوب می‌شوند و موادی مانند فلز سدیم، پلیمرها یا بسپارها، بور اکسید ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) و سدیم کلرید (نمک طعام)، ( $\text{NaCl}$ ) که پیوندهای اتمی ضعیفی دارند، در دماهای پایین، ذوب می‌شوند. در جدول ۱-۱ نقطه‌ی ذوب تقریبی برخی از مواد سرامیکی، فلزی و آلی با یکدیگر مقایسه شده است.

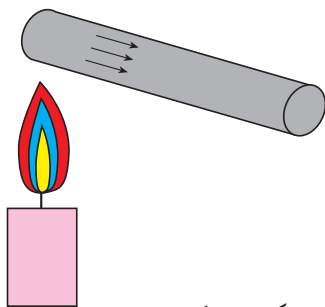
جدول ۱-۱- نقطه‌ی ذوب مواد سرامیکی، فلزی و آلی

ماده	نقطه‌ی تقریبی ذوب ( $^{\circ}\text{C}$ )	ماده	نقطه‌ی تقریبی ذوب ( $^{\circ}\text{C}$ )
پلی استیرن	۶۵-۷۰	NaCl	۸۰۱
پلی متیل متا کریلیت	۶۰-۹۰	$\text{CaF}_2$	۱۴۲۳
فلز سدیم	۹۸	(کوارتز) $\text{SiO}_2$	~ ۱۶۵۰
پلی اتیلن	۱۲۰	$\text{Al}_2\text{O}_3$	۲۰۵۰
تفلون	۲۹۰	$\text{SiC}^*$	۲۳۰۰-۲۵۰۰
$\text{B}_2\text{O}_3$	۴۶۰	$\text{UO}_2$	۲۸۰۰
فلز آلومینیم	۶۶۰	W	۳۳۷۰
		الماس	۳۵۰۰
		HfC	۳۸۹۰

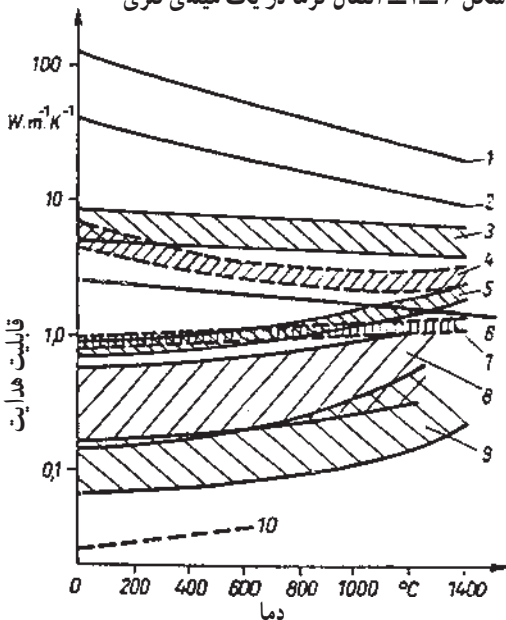
\* در این دما به طور مستقیم بخار یا تجزیه می‌شود.

**الف) ظرفیت گرمایی:** در اصطلاح به مقدار گرمایی که لازم است به یک گرم ماده داده شود تا دمای آن به اندازه‌ی یک درجه‌ی سلسیوس افزایش یابد، «ظرفیت گرمایی» می‌گویند و واحد آن  $\text{cal/g}^\circ\text{C}$  است و با  $C_p$  نمایش داده می‌شود. ظرفیت گرمایی را به صورت ظرفیت گرمایی مولی و گرمای ویژه نیز به کار می‌برند. ظرفیت گرمایی مولی به مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازه‌ی یک درجه‌ی سلسیوس می‌گویند و گرمای ویژه به نسبت ظرفیت گرمایی یک جسم به ظرفیت گرمایی آب در دمای  $15^\circ\text{C}$  گفته می‌شود.

**ب) رسانایی گرمایی:** در شکل ۶-۱ یک میله‌ی فلزی را مشاهده می‌کنید. هنگامی که به یک سر این میله گرما داده می‌شود چه روی می‌دهد؟ گرما در طول میله منتشر می‌شود و در سرتاسر میله پخش می‌شود. برخی از مواد دیگر نیز گرما را منتقل می‌کنند اما سرعت انتقال گرما در همه‌ی مواد یکسان نیست. به سرعت انتقال گرما در یک ماده «رسانایی گرمایی» آن ماده گفته می‌شود. واحد رسانایی گرمایی در سیستم SI، وات بر کلونین متر  $(\text{W/m.K})$  است. در نمودار ۱-۲، رسانایی گرمایی برخی از مواد سرامیکی برحسب دما نشان داده شده است.



شکل ۶-۱ انتقال گرما در یک میله‌ی فلزی



- ۱- گرافیت
- ۲- SiC
- ۳- دیرگدازهای ذوب و ریخته‌گری شده
- ۴- دیرگدازهای منیزیتی
- ۵- دیرگدازهای سیلیکاتی
- ۶- دیرگدازهای منیزیت - کرومیتی
- ۷- دیرگدازهای شاموتی
- ۸- آجرهای دیرگداز سبک و بتن‌های دیرگداز سبک
- ۹- الیاف دیرگداز
- ۱۰- دیرگدازهای حاوی تخلخل‌های بسیار ریز

نمودار ۱-۲ رسانایی گرمایی در دماهای متفاوت  
برای برخی از دیرگدازها

انتقال گرما در یک ماده به سه صورت انجام می‌شود: (۱) از طریق جابه‌جا شدن الکترون‌ها (۲) از طریق ارتعاش اتم‌ها و (۳) از راه تابش. در فلزها انتقال گرما به وسیله‌ی الکترون‌ها انجام می‌شود. الکترون‌ها در فلزها به طور نسبی آزاداند و می‌توانند از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر حرکت کنند. از آن‌جا که در فلزها الکترون‌های آزاد زیادی وجود دارد و هم‌چنین مسیر آزاد حرکت الکترون‌ها نیز وجود دارد، لذا رسانایی گرمایی در فلزهای خالص زیاد است. اما با آلیاژ کردن فلزها مسیرهای آزاد حرکت الکترون‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه، از رسانایی گرمایی آن‌ها نیز کاسته می‌شود. برای نمونه رسانایی گرمایی فولاد نرم  $51 \text{ W/m.K}$  است در حالی که در مس یا نقره‌ی خالص حدود  $400 \text{ W/m.K}$  است.

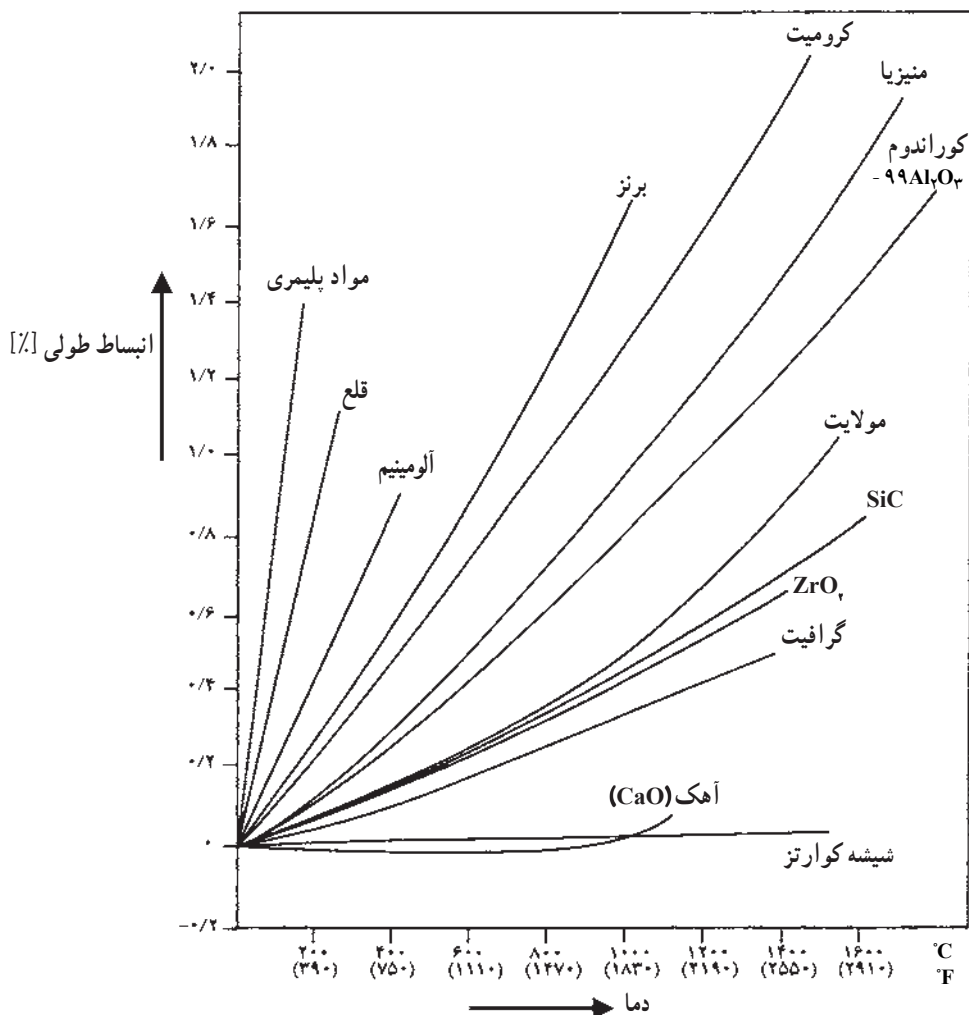
بیش‌تر مواد آلی رسانایی گرمایی کمی دارند. دلیل کم بودن رسانایی گرمایی مواد آلی وجود پیوندهای کووالانسی بین اتم‌ها در مواد آلی، بزرگ بودن مولکول‌های مواد آلی و نداشتن ساختار بلوری در مواد آلی است.

رسانایی گرمایی چوب پنبه، پلی‌استیرن، نایلون، تفلون و بیش‌تر مواد آلی تجاری دیگر در دمای اتاق حدود  $0.08$  تا  $0.32 \text{ W/m.K}$  است و به عنوان نارسا‌های گرمایی خوب کاربرد دارند. البته، رسانایی گرمایی بسیار جامد را با افزودن مواد رسانایی مانند فلزها و یا گرافیت می‌توان افزایش داد. در مواد سرامیکی حالت‌های گوناگونی از رسانایی گرمایی مشاهده می‌شود. برخی سرامیک‌ها رسانای گرمایی بسیار مناسب و برخی دیگر رسانایی گرمایی کم و یا متوسط دارند. در سرامیک‌ها به‌طور کلی رسانایی گرمایی از طریق ارتعاش اتم‌ها و تابش انجام می‌شود.

الماس نمونه‌ی خوبی از مواد سرامیکی است که رسانایی گرمایی بالایی دارد. رسانایی گرمایی الماس در دمای اتاق  $900 \text{ W/m.K}$  است که بیش از دو برابر رسانایی فلز مس است.

**ج) انبساط حرارتی:** هرگاه دمای یک جسم افزایش یا کاهش یابد ابعاد آن نیز تغییر می‌کند. برای نمونه طول ریل‌های راه‌آهن در تابستان بیش‌تر و در زمستان کوتاه‌تر می‌شود.

انبساط حرارتی اصطلاحی همگانی است که برای انبساط یا انقباض مواد به کار می‌رود. هنگامی که دما بالا رود ارتعاش اتم‌ها در ماده نیز افزایش می‌یابد و سبب انبساط حرارتی ماده می‌شود. برعکس در هنگام کاهش دما، کاهش ارتعاشات نیز صورت می‌گیرد و سبب انقباض ماده می‌گردد. انبساط حرارتی معمولاً به درصد بیان می‌شود.



نمودار ۱-۳- انقباض حرارتی مواد سرامیکی، فلزی و پلیمری (بسیاری)

فلزهایی مانند Na و K که پیوندهای اتمی ضعیف و ساختار تنگ چین دارند، انقباض گرمایی خیلی زیادی دارند. هرچه قدرت پیوند افزایش یابد انقباض گرمایی کاهش می یابد. بنابراین، انقباض گرمایی فلزهای Cu، Fe، Ni و به ترتیب با افزایش قدرت پیوند کاهش می یابد. انقباض گرمایی در مواد سرامیکی که پیوندهای یونی زیاد و ساختار تنگ چین دارند، مشابه فلزهاست. موادی مانند KCl، NaCl که پیوندهای یونی ضعیف دارند انقباض گرمایی آن ها زیاد است. بنابراین، اگر قدرت پیوند یونی مواد افزایش یابد انقباض گرمایی آن ها کاهش می یابد.

چگونگی ساختار بلوری مواد سرامیکی اثر زیادی بر میزان انبساط گرمایی آن‌ها دارد. انبساط گرمایی در بلورهای ایزوتروپ در همه‌ی جهت‌ها یکسان است و در بلورهای غیرایزوتروپ، در جهت‌های گوناگون، متفاوت است. انبساط گرمایی در جامدهای غیربلوری مانند شیشه، نه تنها به ترکیب شیمیایی شیشه و ساختار آن‌ها بلکه به عامل‌های دیگری مانند نقطه‌ی ذوب آغازی شیشه، سرعت خنک شدن شیشه و عملیات گرمایی پایانی نیز بستگی دارد. برخی از شیشه‌های بور و سیلیکاتی که اهمیت فراوانی دارند جزء شیشه‌هایی هستند که انبساط گرمایی کمی دارند. انبساط گرمایی در مواد آلی بسیار زیاد است و دلیل آن وجود پیوندهای ضعیف میان مولکول‌ها در مواد آلی است.

انبساط حرارتی در برخی مواد اهمیت بیش‌تری می‌یابد. برای نمونه هنگامی که نیاز است ماده‌ای به سرعت از محیط گرم به محیط سرد یا برعکس، از محیط سرد به محیط گرم، منتقل شود باید انبساط گرمایی کم داشته باشد (مانند شیشه کوارتز). هم‌چنین در مواردی که یک جسم سرامیکی از دو یا چند ماده تشکیل شده باشد و در معرض گرما قرار گیرد باید مقدار انبساط حرارتی مواد نزدیک به یکدیگر باشد، و در غیر این صورت، متناسب با مقدار اختلاف انبساط حرارتی، تغییر شکل، ترک و یا شکست جسم اتفاق می‌افتد. در نمودار ۳-۱ میزان انبساط حرارتی مواد سرامیکی، فلزی و پلیمری قابل مقایسه‌اند.

### خواص الکتریکی سرامیک‌ها:

رفتار مواد گوناگون را در انتقال الکتریسیته می‌توان به سه نوع کلی تقسیم کرد. مواد رسانای الکتریکی، مواد نیم رسانای الکتریکی و مواد نارسانای الکتریکی، رساناهای الکتریکی موادی هستند که جریان الکتریسیته را به خوبی از خود عبور می‌دهند. نیم رساناها جریان الکتریسیته را در شرایطی ویژه و کم‌تر از رساناهای الکتریکی از خود عبور می‌دهند و نارساناهای الکتریکی جریان الکتریسیته را به هیچ‌وجه از خود عبور نمی‌دهند. مواد سرامیکی عمدتاً به این گروه تعلق دارند.

همان‌گونه که اشاره شد، بسیاری از مواد سرامیکی جریان الکتریسیته را از خود عبور نمی‌دهند. زیرا الکترون‌ها و یون‌ها نمی‌توانند در آن‌ها حرکت نمایند. در جدول ۲-۱ برخی از کاربردهای نارساناهای الکتریکی سرامیکی را می‌بینید. برخی از سرامیک‌ها و شیشه‌ها تنها در دماهای پایین، نارسانای الکتریسیته‌اند اما پس از ذوب شدن رسانای الکتریسیته می‌شوند.

## جدول ۱-۲- برخی از کاربردهای نارساناهای الکتریکی سرامیکی

۱- شمع خودروها

۲- مقره‌های خط انتقال نیرو

۳- غلاف‌های ترموکوپل

**شمع خودرو:** یکی از پرکاربردترین نارساناهای الکتریکی شمع خودروهاست. نارساناهای شمع خودرو از ترکیب‌های غنی از  $Al_2O_3$  ساخته می‌شوند.

**خطوط انتقال نیرو:** یکی دیگر از کاربردهای مهم نارساناهای الکتریکی سرامیکی، استفاده از مقره‌ها در خطوط انتقال نیرو است. بیش تر مردم از این که از سرامیک‌ها برای این منظور بهره‌گیری می‌شود آگاهی دارند اما اهمیت آن را نمی‌دانند. مقره‌ها باید خواص ویژه‌ای داشته باشند. از جمله بایستی مقاومت در برابر کشش بالایی داشته باشند تا بتوانند وزن کابل‌های انتقال الکتریسیته را تحمل کنند. هم‌چنین، لازم است در شرایط متفاوت جوی، مانند بارندگی، برف، گرما، باد و ... مقاومت کافی داشته باشند.

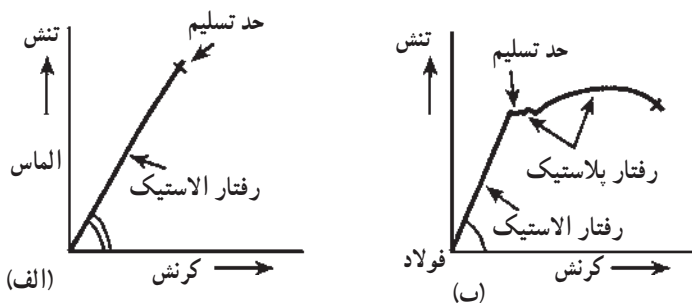
**غلاف‌های ترموکوپل:** از این غلاف‌ها برای جلوگیری از تماس شاخه‌های سیم ترموکوپل با یکدیگر استفاده می‌شود. برای ساخت این غلاف‌ها از نارساناهای الکتریکی سرامیکی، که معمولاً غنی از اکسید آلومینیم‌اند، استفاده می‌شود.

ویژگی این مواد سرامیکی دیرگدازی آن‌ها در دماهای بالا است. زیرا اندازه‌گیری دما، به ویژه توسط ترموکوپل‌های پلاتین رودیم - پلاتین تا دمای تقریبی  $1600^{\circ}C$  امکان‌پذیر است. لذا، این محافظ‌ها باید تحمل این دما را داشته باشند.

**خواص مکانیکی سرامیک‌ها:** هنگامی که به جسمی نیرویی وارد می‌شود آن جسم تغییر شکل پیدا می‌کند. این تغییر شکل به دلیل جابه‌جا شدن اتم‌های ماده است. نیروی وارد شده به جسم را تنش می‌نامند که با واحد نیرو بر سطح بیان می‌شود. تغییر شکل حاصل از تنش در جسم را کرنش می‌نامند و برحسب تغییر طول جسم نسبت به طول اولیه‌ی آن بیان می‌شود.

جسمی را در نظر بگیرید که به آن نیرویی وارد می‌شود. هنگامی که نیروی کمی به جسم وارد می‌شود جسم آغاز به تغییر شکل می‌کند و هنگامی که نیروی وارد شده بر آن حذف شود جسم به حالت آغازی خود باز می‌گردد این تغییر شکل ماده را تغییر شکل کش‌سان (الاستیکی) می‌نامند (نمودار ۱-۴ الف). اگر بر مقدار نیروی وارد شده به جسم افزوده شود تغییر شکل در ماده در حدی خواهد بود که با حذف نیروی خارجی وارده، جسم شکل اولیه‌ی خود را پیدا نمی‌کند. این حالت تغییر شکل

جسم را تغییر شکل پلاستیکی می‌نامند. نقطه‌ای را که در آن ماده از حالت تغییر شکل الاستیکی به تغییر شکل پلاستیکی تبدیل می‌شود حد تسلیم می‌نامند. در نمودار ۱-۴ منحنی‌های تنش و کرنش برای مواد گوناگون آمده است.



نمودار ۱-۴ منحنی‌های تنش، کرنش (الف الماس (ماده‌ی سرامیکی) و (ب فولاد (فلز)

مواد گوناگون الاستیسیته (کش‌سانی) و پلاستیسیته‌ی متفاوتی در مقابل نیروی وارد شده از خود نشان می‌دهند. برای نمونه NaCl که پیوندهای یونی ضعیفی دارد الاستیسیته‌ی کم و الماس که پیوندهای کووالانسی قوی دارد الاستیسیته‌ی (کش‌سانی) زیادی دارد.

نیروهایی که شکل اجسام را تغییر می‌دهند انواع مختلفی دارند و عبارت‌اند از: نیروهای کششی، نیروهای فشاری، نیروهای پیچشی و غیر آن‌ها.

**خواص شیمیایی سرامیک‌ها:** مواد در طبیعت به وسیله‌ی عامل‌های شیمیایی و یا عامل‌هایی مانند آب، باد، دماهای متفاوت و ... مورد حمله قرار می‌گیرند، که در حالت نخست (شیمیایی) سبب خوردگی شیمیایی و در حالت دوم سبب فرسایش فیزیکی ماده می‌شوند. در اثر این حمله‌ها ساختار شیمیایی مواد، ساختار بلوری، خواص فیزیکی و حتی شکل آن‌ها تغییر می‌یابد.

افزون بر موارد اشاره شده، میزان خوردگی در مواد سرامیکی به عامل‌های دیگری مانند چگالی جسم، تخلخل و دانه‌بندی جسم نیز بستگی دارد.

مواد سرامیکی در معرض محیط‌های گوناگون مانند محلول‌های اسیدی و بازی، بخارهای کوره، فلزهای مذاب و گازهایی نظیر  $\text{CO}$ ،  $\text{H}_2$ ،  $\text{Cl}_2$  و  $\text{SO}_2$  قرار می‌گیرند و دچار خوردگی می‌شوند. در جدول ۱-۳ میزان مقاومت برخی از مواد سرامیکی گوناگون در برابر خوردگی آمده است.

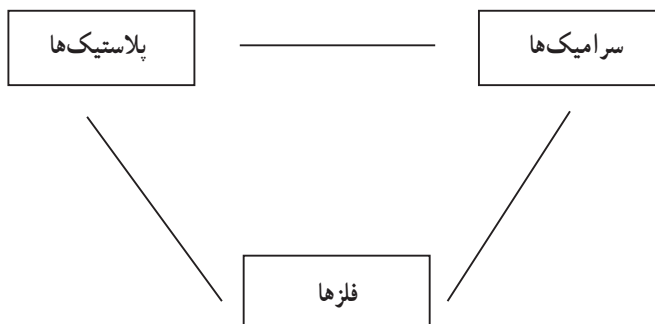
جدول ۳-۱ - میزان مقاومت مواد سرامیکی در برابر خوردگی

فلزهای مذاب	محلول‌ها و گازهای بازی	اسیدها و گازهای اسیدی	سرامیک‌ها
عالی	عالی	عالی	$Al_2O_3$
عالی	عالی	ضعیف	MgO
عالی	عالی	عالی	$ZrO_2$
ضعیف	ضعیف	ضعیف	$Cr_2O_3$
خوب	ضعیف	عالی	$SiO_2$
خوب	خوب	عالی	SiC

۴-۱-۱- تقسیم‌بندی مواد براساس طبیعت آن‌ها: مواد مرکب موجود در طبیعت را به دو دسته‌ی آلی و غیرآلی تقسیم می‌کنند. این مواد می‌توانند در طبیعت به یکی از اشکال جامد، مایع یا گاز وجود داشته باشند. مواد جامد براساس ساختار مولکولی‌شان به دو دسته جامدهای کریستالی (بلوری) و جامدهای آمورف (بی‌شکل) تقسیم‌بندی می‌شوند.

در جامدهای بلوری اجزای تشکیل‌دهنده‌ی جامد به صورت یک شبکه‌ی منظم، در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند مانند الماس، NaCl و غیر آن‌ها. در جامدهای آمورف (بی‌شکل) اجزای تشکیل‌دهنده‌ی جامد با نظم خاصی در کنار هم قرار نگرفته‌اند، مانند شیشه‌ی پنجره.

۵-۱-۱- تقسیم‌بندی مواد براساس فرایند تولید: در فرایند تولید مواد، عمدتاً مواد را به سه دسته‌ی فلزها، سرامیک‌ها و پلاستیک‌ها تقسیم می‌کنند. این تقسیم‌بندی را در نمودار ۵-۱ مشاهده می‌کنید.



نمودار ۵-۱ - تقسیم‌بندی مواد برحسب سرامیک‌ها، پلاستیک‌ها و فلزها

در این تقسیم‌بندی سرامیک‌ها، جامدهایی معدنی و نافلزی هستند که در دماهای بالا تولید می‌شوند.

## ۱-۲- تاریخچه‌ی سرامیک‌ها

خاک رس که ماده‌ی اولیه‌ی کوزه‌گری است. تقریباً در هر کشوری یافت می‌شود و وقتی که بشر اولیه زندگی شکاری خود را به دامداری و کشاورزی تبدیل کرد کوزه‌های سفالینه به‌وجود آمد. تاریخ سفالینه‌سازی ایرانی به هزاره‌ی هفتم پیش از میلاد مسیح می‌رسد. در آن زمان بیش‌تر مردم دوره‌ی نوسنگی زندگی کشاورزی و روستایی اختیار کرده و در ساخت انواع سفالینه‌ها به مهارت رسیده بودند. تعداد کمی از کشورها در این مرحله به اوج شهرت رسیدند که ایران و چین معروف‌ترین این کشورها هستند.

پس از این دوران به اقتضای زمان، سفالگران ساخته‌های خود را به شیوه‌های مختلف ارتقاء بخشیدند و با انواع رنگ‌ها و لعاب‌ها بر زیبایی آن‌ها افزودند و با شناخت بهتر مواد اولیه و روش‌های ساخت و پخت، به کیفیت محصولات خود افزودند.

پیشرفت‌های اخیر در علم فناوری سرامیک‌ها همگام با پیشرفت در علوم‌ی چون شیمی و فیزیک و فیزیکی چون مهندسی عمران، مهندسی مکانیک، زمین‌شناسی، متالورژی، مهندسی شیمی و مهندسی مواد بوده است.

در سال ۱۸۷۴ میلادی، زگر<sup>۱</sup> آلمانی بر روی مواد اولیه‌ی سرامیک مطالعاتی داشت و در نتیجه‌ی آن کاتولن، کوارتز و فلدسپات‌ها را به عنوان مواد اولیه‌ی مهم برای ساخت سرامیک‌ها پیشنهاد کرد. در اثر همین مطالعات زگر بود که در اواخر سده‌ی نوزدهم سرامیک سنتی به سمت سرامیک صنعتی توسعه پیدا کرد و کیفیت مواد سرامیکی با ساخت بدنه‌های بهتر و به کارگیری لعاب‌ها و روش‌های بهتر پخت افزایش یافت.

برای توسعه‌ی صنعت برق، مواد عایق الکتریکی سرامیکی (مقرّه)، صنعت اتومبیل‌سازی (شمع اتومبیل، شیشه و آینه‌ی خودرو و حسگرهای اکسیژن زیرکونیا)، صنعت شیمی (ساخت برج تولید سولفوریک اسید) و صنعت متالورژی (دیرگذازاها)، مهندسی عمران (سیمان، کاشی و چینی بهداشتی) از سرامیک‌ها استفاده شده است.

از حدود سال ۱۸۰۰ میلادی به بعد، حرکت رو به پیشرفت صنعت سرامیک به یک حرکت

مبتنی بر علم تبدیل شده است که تا کنون نیز ادامه دارد. به عنوان یک رشته‌ی علمی، نخستین بار در سال ۱۸۹۴ در دانشگاه ایالت اوهایو، امریکا، رشته‌ی سرامیک تأسیس شد و سپس به سایر نقاط جهان گسترش یافت، به طوری که امروزه مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌های متعددی در سرتاسر جهان رشته‌ی سرامیک را آموزش می‌دهند. در کشور ایران، رشته‌ی مهندسی سرامیک، پس از انقلاب فرهنگی در سال ۱۳۶۱ هجری شمسی (مطابق ۱۹۸۲ میلادی)، در دانشگاه علم و صنعت ایران تأسیس شد و اولین جامعه‌ی سرامیکی در سال ۱۸۹۱ در ژاپن به نام انجمن سرامیک ژاپن (Ceramic Society of Japan)، تأسیس شد و در حال حاضر قریب به ۲۰ انجمن سرامیک در کشورهای مختلف جهان فعال‌اند. در ایران، در سال ۱۳۷۲ انجمن سرامیک ایران (Iranian Ceramic Society) تأسیس شد.

### ۳-۱- کاربردهای امروزی سرامیک‌ها

از کاربردهای امروزی سرامیک‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

استفاده از سرامیک‌ها (سفال) برای تشخیص تاریخ و تمدن‌های گذشته، براساس محاسبه‌ی نیمه عمر اتم کربن موجود در سفال‌ها (باستان شناسی) ؛

استفاده از سرامیک‌ها (چینی) در ساخت دندان‌های مصنوعی (دندانپزشکی) و استفاده از بیوسرامیک‌ها به عنوان جای‌گزین استخوان (پزشکی) ؛

استفاده از سرامیک‌ها به صورت فیبرهای نوری جهت برقراری ارتباط (مخابرات).

سرامیک‌های سنتی امروزه با استفاده از تکنولوژی به سمت سنتی صنعتی پیشرفت کرده‌اند، مانند صنایع چینی‌سازی، کاشی، شیشه و غیر آن‌ها. مجموعه‌ی محصولات سنتی صنعتی را تحت عنوان سرامیک‌های ظریف نام برده‌اند.

به طور کلی برای سرامیک‌های ظریف، در مقایسه با سرامیک‌های سنتی، می‌توان سه ویژگی زیر را تعریف کرد :

- ۱- ترکیب و خواص آن‌ها کنترل شده است، که مستلزم به کارگیری مواد اولیه با خلوص بالاست.

۲- در فرایند تولید آن‌ها، شامل آماده‌سازی، شکل‌دهی و پخت، دقت می‌شود.

۳- کیفیت فراورده‌های نهایی با انجام آزمایش‌های دقیق کنترل می‌شود.

#### ۴-۱- کاربردهای بیوشیمیایی مواد سرامیکی

سرامیک‌ها به‌طور فزاینده‌ای در پزشکی به‌کار می‌روند. به این قبیل سرامیک‌ها بیوسرامیک گفته می‌شود. از بیوسرامیک‌ها به‌عنوان جای‌گزین استخوان در بدن نیز استفاده می‌کنند. هم‌چنین، به کمک شیشه‌های فعال زیستی امکان اتصال مستقیم استخوان به شیشه و اتصال بافت‌های زنده به شیشه فراهم شده است. افزون بر آن، فلزهای با پوشش سرامیکی نیز به مثابه‌ی قطعه‌هایی برای کمک به رشد استخوان به‌کار می‌روند.

امروزه، افراد مسن کمی را می‌توان دید که دندان‌های مصنوعی نداشته باشند. خوب است بدانید که حدود ۸۰ درصد این دندان‌ها از چینی ساخته می‌شود. یکی از دستگاه‌هایی که در پزشکی برای تشخیص تومورها به‌کار می‌رود دستگاهی است که با پرتوهای X کار می‌کند. در این دستگاه از شناساگرهای سرامیکی بهره گرفته می‌شود. دستگاه تصویرسازی فراصوتی یکی دیگر از دستگاه‌های تشخیص پزشکی است. از این دستگاه‌ها با کمک سرامیک‌های پیزوالکتریک برای تولید سیگنال استفاده می‌شود.

۴-۱-۱ آلومینا: آلومینا به‌دلیل این‌که مقاومت بسیار زیادی در برابر خوردگی دارد و نیز نسبت به مایعات موجود در بدن خنثاست و بر آن‌ها اثر نمی‌گذارد، جزء بیوسرامیک‌ها به‌شمار می‌آید. هم‌اینک از آلومینا برای اتصال استخوان و نیز ساخت دندان‌های مصنوعی استفاده می‌شود.

۴-۱-۲ آپاتیت: ماده‌ی عمده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی استخوان‌ها و دندان‌ها از ترکیبات کلسیم فسفات است و در ترمیم استخوان‌ها از ترکیبات مشابه کلسیم فسفات استفاده می‌شود تا زمان ترمیم استخوان‌ها کوتاه‌تر شود.

۴-۱-۳ بیوشیشه: عمدتاً از اکسیدهای  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{P}_2\text{O}_5$  تشکیل شده‌اند. این شیشه‌ها سازگاری زیادی با استخوان‌ها دارند. به همین دلیل، از آن‌ها برای ترمیم استخوان‌ها استفاده می‌شود.

## پرسش و تمرین

۱- با مشاهده محیط اطراف خود چند نوع محصول سرامیکی را که می‌شناسید، نام ببرید.

۲- ماده را تعریف کنید.

۳- نحوه‌ی تقسیم‌بندی مواد را براساس اجزای تشکیل‌دهنده کاملاً توضیح دهید.

۴- نام دیگر مخلوط همگن چیست؟ یک مخلوط همگن مثال بزنید.

۵- خاصیت فیزیکی و شیمیایی مواد را با دو مثال توضیح دهید.

۶- ظرفیت گرمایی را تعریف کنید.

۷- چند کاربرد نارساناهای الکتریکی سرامیکی را نام ببرید.

۸- در بررسی خواص مکانیکی سرامیک‌ها، تنش و حد تسلیم را با رسم نمودار توضیح دهید.

۹- چند عامل خوردگی مواد سرامیکی را نام ببرید.

۱۰- چند کاربرد بیوشیمیایی مواد سرامیکی را نام ببرید.

۱۱- بیوشیشه عمدتاً از کدام اکسیدها تهیه می‌شود؟

۱۲- تقسیم‌بندی مواد براساس فرایند تولید را نام ببرید.

۱۳- چند کاربرد سرامیک‌های سنتی صنعتی را نام ببرید.

۱۴- ویژگی‌های سرامیک‌های ظرفیت را در مقایسه با سرامیک‌های سنتی

بنویسید.

### ساختار اتم

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

- ۱- ساختار درونی اتم را بشناسد.
- ۲- مدل اتمی بوهر را توضیح دهد.
- ۳- درباره‌ی مدل ابر الکترونی توضیح دهد.
- ۴- ترازهای فرعی انرژی را بیان کند.
- ۵- مفهوم اوربیتال را توضیح دهد.
- ۶- شکل اوربیتال‌های اتمی را بیان کند.
- ۷- عدد اتمی، عدد جرمی و ایزوتوپ‌ها را توضیح دهد.

#### مقدمه

تاکنون هیچ کس اتم را به‌طور مستقیم ندیده است، ولی دانشمندان، غیرمستقیم، به کمک شواهد تجربی فراوان، به وجود اتم پی برده‌اند. برای مثال، هنگامی که شما مقداری شکر در جای درون فنجان خود حل می‌کنید، پس از انحلال کامل شکر، ذره‌های آن در جای به‌طور یکنواخت پخش می‌شوند و شما نمی‌توانید این ذره‌ها را با چشم یا حتی با قوی‌ترین میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی ببینید. البته شما از روی مزه‌ی شیرین جای می‌فهمید که در این فنجان شکر وجود دارد. هرچند مشاهده‌ی مستقیم آن برای شما ناممکن است. دانشمندان نیز با تکیه بر شواهد فراوان وجود اتم‌ها را پذیرفته‌اند، بی‌آن که در واقع آن‌ها را دیده باشند. مشاهدات دانشمندان آنان را به سوی نظریه‌پردازی‌های مختلف راهنمایی کرده است.

براساس نظریه‌ی اتمی دالتون<sup>۱</sup>، اتم تنها واحد سازنده‌ی یک عنصر است که می‌تواند در واکنش شیمیایی شرکت کند. دالتون شناختی از ساختار اتم نداشت و تنها تصور او این بود که اتم کره‌ای توپر، بی‌اندازه کوچک و تقسیم‌ناپذیر است. بررسی‌های سال‌های ۱۸۵۰ که تا سده‌ی بیستم

---

۱- جان دالتون، شیمی‌دان انگلیسی (قرن ۱۸)

نیز ادامه داشت، آشکارا نشان داد که اتم دارای ساختار درونی است، به این معنا که اتم‌ها از ذره‌های کوچک‌تری تشکیل شده‌اند که ذره‌های زیراتمی نامیده می‌شوند. بنابراین، اتم‌ها قابل تقسیم‌اند و چنان‌چه شکافته شوند، هویت شیمیایی خود را از دست می‌دهند.

## ۱-۲- ساختار درونی اتم

در قرن نوزدهم همفری دیوی و مایکل فارادی از راه برق‌کافت برخی از ترکیب‌ها، به ماهیت الکتریکی ماده پی برده بودند. بعدها جرج جانستون استونی براساس کار فارادی به ارتباط واحدهای باردار الکتریکی (دارای بار منفی) با اتم پی برد و این واحدهای الکتریکی را الکترون نامید.

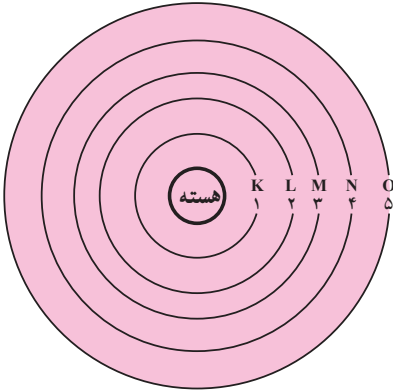
در آغاز قرن بیستم فیزیک‌دان<sup>۱</sup> موفق شد تا بار الکترون را تعیین کند. مقدار این بار  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  است. به این ترتیب جرم الکترون  $9.1 \times 10^{-31} \text{ g}$  محاسبه شد. در واقع جرم الکترون حدود  $1840$  مرتبه کوچک‌تر از جرم کوچک‌ترین اتم، یعنی هیدروژن است. سبک بودن الکترون‌ها نشان می‌دهد که اتم‌ها باید ذره یا ذرات سنگین‌تر دیگری داشته باشند تا جرم آن‌ها قابل توجیه باشد. از آن‌جا که اتم‌ها از نظر الکتریکی خنثا هستند، پس برای خنثا کردن بار منفی الکترون‌ها باید ماده‌ای با بار مثبت در اتم موجود باشد.

بار مثبت درون هسته را به ذره‌هایی به نام پروتون نسبت می‌دهند. بار پروتون با بار الکترون برابر است و جرمی حدود  $1.6725 \times 10^{-24} \text{ g}$  دارد. جرم پروتون حدود  $1840$  مرتبه بیش‌تر از جرم الکترون است.

در مدل اتمی هنوز یک مسئله‌ی حل نشده باقی مانده بود. در زمان رادرفورد معلوم شده بود که اتم هیدروژن تنها یک پروتون و اتم هلیم نیز دو پروتون دارد. بنابراین، نسبت جرم یک اتم هلیم به جرم یک اتم هیدروژن باید ۲ به ۱ باشد (الکترون نادیده گرفته شده، زیرا الکترون خیلی سبک‌تر از پروتون است) اما در واقعیت این نسبت ۴ به ۱ است. رادرفورد و دانشمندان دیگر پذیرفته بودند که ذره‌ی زیراتمی دیگری باید در هسته‌ی اتم موجود باشد. وجود این ذره توسط یک فیزیک‌دان انگلیسی به نام چادویک در سال ۱۹۳۲ اثبات گردید. او این ذره‌ی زیراتمی را نوترون نامیده است. نوترون از نظر الکتریکی خنثا و جرم آن  $(1.67495 \times 10^{-24} \text{ g})$  اندکی بیش‌تر از جرم پروتون است. به این ترتیب، مشکل نسبت جرم‌های اتمی که در بالا اشاره شد، با در نظر گرفتن دو پروتون و دو نوترون در هسته‌ی اتم هلیم حل می‌شود.

۱- جان دالتون انگلیسی (قرن ۱۸)

## ۲-۲ مدل اتمی بوهر



شکل ۲-۱- نمایش مدارهای مجاز الکترونی در مدل بوهر

بوهر فیزیک‌دان معروف دانمارکی، در اوایل قرن بیستم به منظور توجیه خواص اتم، مدل ساده‌ای برای ساختار آن ارائه داد. براساس این مدل، در اطراف هسته‌ی اتم، چندین مسیر دایره‌ای مشخص (که هسته مرکز آن‌هاست) با فاصله‌های معین به نام «مدارهای الکترونی» می‌توان در نظر گرفت. الکترون‌ها مجازند که تنها روی این مدارها به دور هسته بچرخند. از این رو این مدارها، «مدارهای مجاز» نامیده می‌شدند. این مدارها را به ترتیب فاصله‌ی آن‌ها از هسته‌ی اتم با

شماره‌های ... و ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ یا با حرف‌های ... O, N, M, L, K. مطابق شکل ۲-۱ نشان می‌دهند. بعدها این مدارهای مجاز، «لایه‌های الکترونی» یا «سطوح انرژی» نامیده شدند.

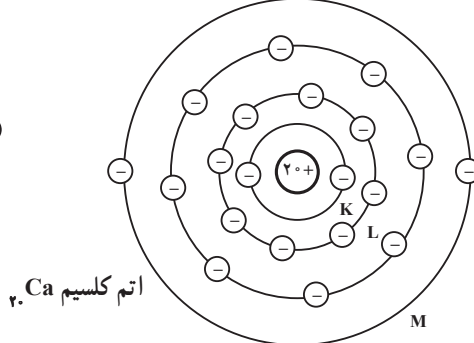
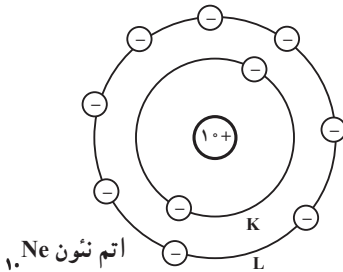
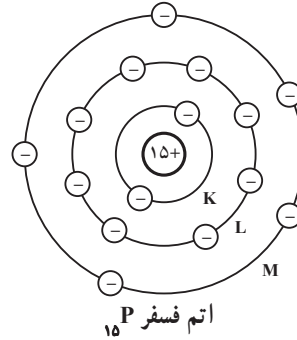
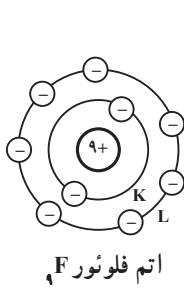
در هر یک از این مدارهای مجاز، تعداد معینی الکترون می‌توانند به دور هسته‌ی اتم بچرخند. مثلاً مدار اول (لایه‌ی K،  $n = 1$ ) گنجایش ۲ الکترون، مدار دوم (لایه‌ی L،  $n = 2$ ) گنجایش ۸ الکترون، مدار سوم (لایه‌ی M،  $n = 3$ ) حداکثر گنجایش ۱۸ الکترون را دارد.

بنابراین، در اتم هیدروژن یک الکترون و در اتم هلیوم ۲ الکترون در لایه‌ی K قرار می‌گیرد و این لایه پر می‌شود. در اتم لیتیم، سومین الکترون در لایه‌ی L وارد می‌شود و در نئون دهمین الکترون این لایه را پر می‌کند. در اتم سدیم، یازدهمین الکترون در لایه‌ی M وارد می‌شود و در اتم آرگن (عنصر هجدهم)، این لایه با ۸ الکترون اشغال می‌شود. در اتم پتاسیم، نوزدهمین الکترون در مدار چهارم (لایه‌ی N،  $n = 4$ ) وارد می‌شود و در عنصر کلسیم (بیستمین عنصر)، این لایه دارای ۲ الکترون می‌شود. در شکل ۲-۲، آرایش الکترونی اتم‌های فلئور، فسفر و کلسیم براساس مدل اتمی بوهر، نشان داده شده است.

آخرین لایه‌ی الکترونی هر اتم به لایه‌ی ظرفیت موسوم است. همان‌طور که پیش از این آموخته‌اید، لایه‌ی ظرفیت اتم، اهمیت زیادی دارد. زیرا از روی آن می‌توان به ماهیت عنصر (فلز یا نافلز بودن)، ظرفیت و خواص دیگر آن پی برد. در صورتی که لایه‌ی ظرفیت در آرایش الکترونی به‌طور کامل پر باشد (مانند نئون)، عنصر مورد نظر گاز نجیب نامیده می‌شود.

تمرین ۱-۱ عدد اتمی عنصر A برابر ۱۱ و عدد اتمی عنصر B برابر ۱۷ است :

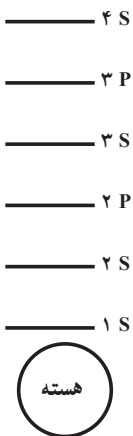
- الف - آرایش الکترونی اتم این دو عنصر را براساس مدل بوهر رسم کنید.
- ب - معلوم کنید که کدام فلز و کدام نافلز است؟
- ج - ظرفیت هر یک را معین کنید.



شکل ۲-۲- آرایش الکترونی اتم‌های فلور، فسفر و کلسیم

### ۳-۲- اشاره‌ای به ترازهای فرعی انرژی

با بررسی‌های دقیق‌تری که توسط دانشمندان صورت گرفت، معلوم شد که به جز اولین لایه‌ی الکترونی (لایه‌ی K)، لایه‌های الکترونی (یا سطوح انرژی) دیگر در اتم‌ها، هر یک شامل چند تراز فرعی انرژی‌اند. لایه‌ی اول (لایه‌ی K)، شامل یک تراز انرژی است. این تراز انرژی را که نزدیک‌ترین تراز انرژی به هسته‌ی اتم است، تراز  $1s$  نامیده‌اند. لایه‌ی دوم (لایه‌ی L)، دارای دو تراز فرعی انرژی است که ترازهای  $2s$  و  $2p$  نامیده شده‌اند. لایه‌ی سوم (لایه‌ی M)، دارای سه تراز فرعی انرژی به نام ترازهای  $3s$ ،  $3p$  و  $3d$  است. لایه‌ی چهارم (لایه‌ی N) نیز شامل ترازهای فرعی  $4s$ ،  $4p$ ،  $4d$  و ... است. در شکل ۳-۲ ترتیب قرارگیری ترازهای



شکل ۳-۲- ترتیب قرارگیری ترازهای فرعی انرژی

فرعی انرژی را می‌بینید.

ترتیب پرشدن این ترازها از الکترون (از پایین به بالا) تا عنصر بیستم چنین است: این ترتیب را معمولاً به صورت  $1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s$  نشان می‌دهند.

ترازهای فرعی  $s$  هر یک با ۲ الکترون و ترازهای فرعی  $p$  هر یک با ۶ الکترون پر می‌شوند. آرایش الکترونی بیست عنصر اول با در نظر گرفتن ترازهای فرعی انرژی در جدول ۱-۲ نشان داده شده است. تمرین: با توجه به آرایش الکترونی عناصر در جدول ۱-۲ گازهای نجیب را شناسایی کنید.

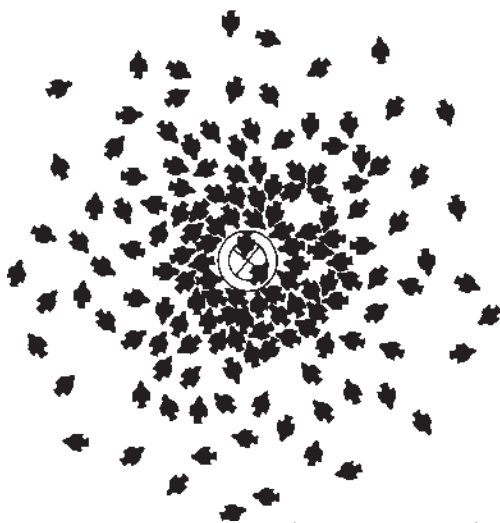
جدول ۱-۲ - آرایش الکترونی ۲۰ عنصر اول

عدد اتمی	عنصر	آرایش الکترونی
۱	H	$1s^1$
۲	He	$1s^2$
۳	Li	$1s^2, 2s^1$
۴	Be	$1s^2, 2s^2$
۵	B	$1s^2, 2s^2, 2p^1$
۶	C	$1s^2, 2s^2, 2p^2$
۷	N	$1s^2, 2s^2, 2p^3$
۸	O	$1s^2, 2s^2, 2p^4$
۹	F	$1s^2, 2s^2, 2p^5$
۱۰	Ne	$1s^2, 2s^2, 2p^6$
۱۱	Na	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$
۱۲	Mg	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2$
۱۳	Al	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^1$
۱۴	Si	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$
۱۵	P	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^3$
۱۶	S	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^4$
۱۷	Cl	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^5$
۱۸	Ar	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6$
۱۹	K	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^1$
۲۰	Ca	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2$

در نوشتن آرایش الکترونی عنصرها، گاهی برای اختصار، از نوشتن آرایش الکترونی گاز نجیب ماقبل صرف نظر می‌شود و تنها، نشانه‌ی شیمیایی آن در علامت [ ] قرار داده می‌شود. مثلاً آرایش الکترونی اتم فسفر را به صورت  $3p^3 3s^2 [Ne] 1s^2$  نشان می‌دهند.

## ۴-۲- نظریه‌ی کوانتومی ساختار اتم یا مدل ابر الکترونی

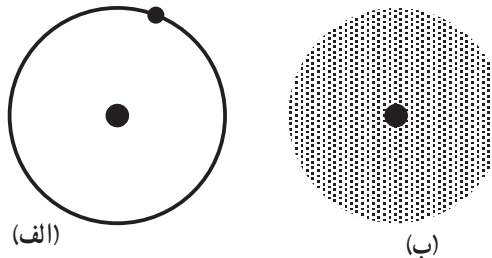
تازه‌ترین مدل اتم، که بر پایه‌ی خواص موجی الکترون‌ها استوار است، به وسیله‌ی نظریه‌ی کوانتومی ارائه می‌شود. در مدل کوانتومی مانند مدل بوهر برای الکترون‌ها سطوح انرژی کوانتیده پیش‌بینی می‌شود. اما، در مدل کوانتومی برخلاف مدل بوهر برای حرکت الکترون به دور هسته مسیر دقیقی توصیف نمی‌شود. در این مدل با احتمال حضور الکترون در فضای معینی در اطراف هسته سروکار داریم. چنین فضایی را اوربیتال می‌نامند و هر اوربیتال تنها می‌تواند به وسیله‌ی دو الکترون اشغال شود. برای به دست آوردن تصور ساده‌ای از اوربیتال و احتمال حضور الکترون در آن، موقعیت یک پرنده را در قفس، که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است، در نظر می‌گیریم. فرض کنید که از همه‌ی حرکت‌ها و جابه‌جا شدن‌های این پرنده در قفس هر ده دقیقه یک بار عکس‌برداری می‌شود. پس از گذشت یک روز موقعیت‌های مختلف این پرنده را نسبت به ظرف غذا از روی عکس‌های متعددی که از آن گرفته شده است، روی یک صفحه‌ی کاغذ منتقل می‌کنیم. مطابق شکل، ده محلی که بیش‌تر وقت پرنده در آن‌جا می‌گذرد پر از دحام‌تر است و رنگ تیره‌تری دارد. بدیهی است که احتمال حضور پرنده در اطراف ظرف غذا بیش‌تر است و با فاصله گرفتن از آن، این احتمال نیز کم‌تر می‌شود.



شکل ۴-۲- موقعیت یک پرنده در قفس در زمان‌های مختلف

چنین تصویری احتمال حضور پرنده را در هر نقطه به دست می دهد، اما هرگز چگونگی جابه جا شدن و مسیر حرکت آن را مشخص نمی کند. در مورد اتم نیز می توان احتمال نسبی حضور الکترون را در اطراف هسته ی اتم به دست آورد، اما هرگز نمی توان چگونگی جابه جا شدن الکترون را از نقطه ای به نقطه ی دیگر مشخص یا موقعیت آن را در هر لحظه از زمان معین کرد.

معمولاً احتمال حضور الکترون را در جاهای گوناگون در اطراف هسته به وسیله ی نقطه های نشان می دهند. تراکم این نقطه ها در اطراف هسته به صورت ابری درمی آید که برای نمایش مدل ابر الکترونی اتم به کار می رود. هر جا که تراکم ابر الکترونی بیش تر باشد، احتمال حضور الکترون در آن جا نیز بیش تر است. در شکل ۵-۲ ساختار الکترونی اتم هیدروژن مطابق مدل بوهر و مدل ابر الکترونی نشان داده شده است. مدل ابر الکترونی یا مدل اوربیتال اتم هیدروژن در شکل ۵-۲ ب یک تصویر دو بعدی



شکل ۵-۲- نمایش اتم هیدروژن (الف) بر اساس مدل بوهر (ب) بر اساس مدل ابر الکترونی

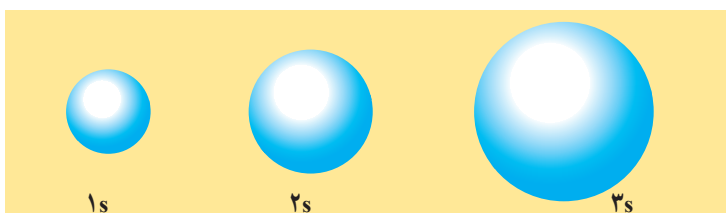
است. در یک تصویر سه بعدی می توان فضایی به شکل کره را به دور هسته مجسم کرد که احتمال یافتن الکترون در آن فضا بیش از ۹۰٪ باشد. فضایی را که به وسیله ی این کره مشخص می شود، اوربیتال می نامیم.

اوربیتال به ناحیه ای پیرامون هسته ی اتم گفته می شود که در آن احتمال یافتن الکترون ها زیاد است. در مدل کوانتومی، اتم به صورت یک خوشه ی مرکزی از نوترون ها و پروتون ها توصیف می شود که توسط الکترون هایی که در اوربیتال ها در حرکت اند احاطه شده اند.

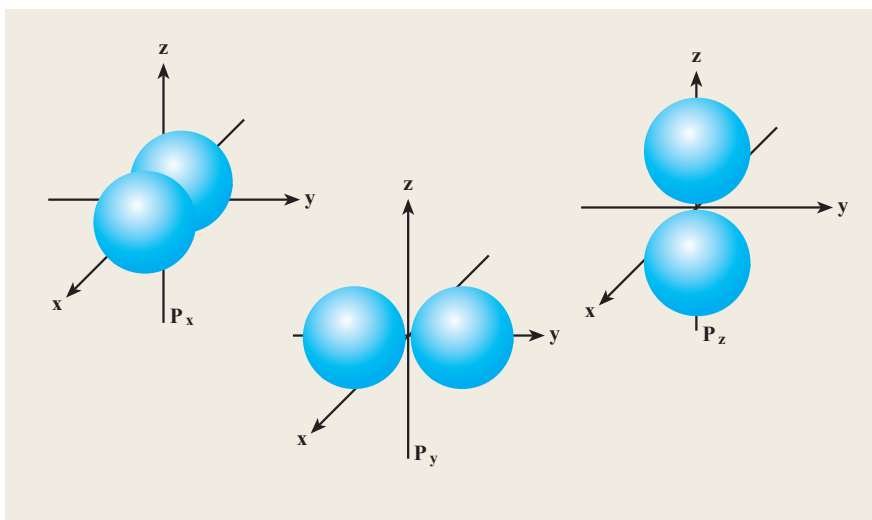
## ۵-۲- شکل اوربیتال های اتمی

در قسمت قبل با مفهوم اوربیتال آشنا شدید. این اوربیتال ها چه شکلی هستند؟ تاکنون امکان تعیین شکل تجربی اوربیتال ها فراهم نشده است. از این رو شکل این اوربیتال ها را بر اساس رابطه های ریاضی نشان می دهند و بر این اساس شکل اوربیتال s کروی است. به این

مفهوم که احتمال یافتن الکترون در همه‌ی جهت‌های اطراف هسته یک‌سان است سطح مرزی اوربیتال s را می‌توان کروی در نظر گرفت که هسته‌ی اتم، در مرکز آن قرار دارد. از مدار دوم به بعد، سه اوربیتال p وجود دارد. هر سه اوربیتال p، شکل یک‌سان دارند. هریک از اوربیتال‌های p را به شکل دو کره که بر روی یک خط راست قرار دارند و در دو طرف هسته قرار گرفته‌اند می‌توان تصور کرد (دمبلی شکل). تفاوت سه اوربیتال در جهت‌یابی آن‌ها در پیرامون هسته است. برای تشخیص این سه اوربیتال یک‌سان از یکدیگر زیرنویس‌های  $x$ ،  $y$  و  $z$  را به کار می‌بریم و منظور محوری است که اوربیتال p بر روی آن قرار دارد. در اوربیتال  $p_x$  بیش‌ترین احتمال حضور الکترون در طول محور  $x$ ، اوربیتال  $p_y$  بیش‌ترین احتمال حضور الکترون بر روی محور  $y$  و اوربیتال  $p_z$  بیش‌ترین احتمال حضور الکترون بر روی محور  $z$  را دارند. در شکل ۶-۲ شکل اوربیتال‌های s و p نشان داده شده است. در هر زیر لایه‌ی p سه اوربیتال وجود دارد. اوربیتال‌های d و f شکل‌های پیچیده‌تری دارند.



الف) اوربیتال‌های  $1s$ ،  $2s$  و  $3s$



ب) در هر زیر لایه‌ی p سه اوربیتال وجود دارد.

## ۲-۶ - عدد اتمی، عدد جرمی و ایزوتوپ‌ها

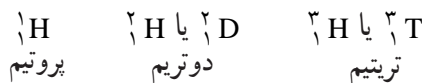
اتم‌ها با توجه به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌هایی که دارند، شناسایی می‌شوند. عدد اتمی ( $Z$ ) تعداد پروتون‌ها در هسته‌ی هر اتم یک عنصر را مشخص می‌کند. در یک اتم خنثا تعداد پروتون‌ها برابر تعداد الکترون‌هاست. از این رو، عدد اتمی تعداد الکترون‌های موجود در اتم را نیز مشخص می‌کند. ماهیت شیمیایی یک اتم تنها توسط عدد اتمی آن تعیین می‌شود. برای مثال، وقتی می‌گوییم عدد اتمی اکسیژن ۸ است، به این معناست که هر اتم اکسیژن خنثا هشت پروتون و هشت الکترون دارد. به عبارت دیگر، در جهان هر اتمی که هشت پروتون داشته باشد، اکسیژن است.

**عدد جرمی ( $A$ )** مجموع تعداد نوترون‌ها و پروتون‌های موجود در هسته‌ی اتم یک عنصر است. به جز اتم هیدروژن، که تنها یک پروتون دارد، هسته همه‌ی اتم‌ها هم پروتون و هم نوترون دارند.

جرم همه‌ی اتم‌های یک عنصر معین یکسان نیست. بیش‌تر عنصرها دو یا چند ایزوتوپ دارند. ایزوتوپ‌های یک عنصر عدد اتمی یکسان، اما عدد جرمی متفاوت دارند. برای مثال، از هیدروژن سه ایزوتوپ شناخته شده است. یک ایزوتوپ آن که پروتیم نامیده شده است، تنها یک پروتون دارد. دو ایزوتوپ دیگر دو تریم (یک پروتون و یک نوترون) و تری تیم (یک پروتون و دو نوترون) نام دارند. اگر عدد اتمی و عدد جرمی یک اتم عنصر  $X$  را به صورت زیر نشان دهیم:

$$\begin{array}{c} A \leftarrow \text{عدد جرمی} \\ X \\ Z \leftarrow \text{عدد اتمی} \end{array}$$

در این صورت، ایزوتوپ‌های هیدروژن به صورت زیر نشان داده می‌شوند:



به جز هیدروژن، که ایزوتوپ‌های آن نام‌های متفاوتی دارند، ایزوتوپ‌های عنصرهای دیگر با عدد جرمی آن‌ها مشخص می‌شوند. برای نمونه، نئون  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ ، نئون  ${}^{21}_{10}\text{Ne}$  و نئون  ${}^{22}_{10}\text{Ne}$  سه ایزوتوپ مهم نئون هستند.

خواص شیمیایی یک عنصر به طور عمده به وسیله‌ی پروتون‌ها و الکترون‌های موجود در اتم آن عنصر تعیین می‌شود. بنابراین، ایزوتوپ‌های یک عنصر خواص شیمیایی یکسانی دارند.

## ۷-۲- جرم اتمی

جرم یک اتم به تعداد الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌های آن بستگی دارد. در دست داشتن جرم اتم برای انجام کارهای آزمایشگاهی بسیار مهم است. اتم‌ها ذره‌های بی‌نهایت ریزی هستند و بی‌شک نمی‌توان یک اتم را با ترازو توزین کرد، اما آن چه که امکان‌پذیر به نظر می‌رسد اندازه‌گیری تجربی جرم یک اتم نسبت به اتم دیگر است. پس گام اول این است که به جرم اتم یک عنصر معین، مقداری را اختصاص بدهیم و آن را به عنوان جرم استاندارد به کار ببریم.

براساس یک توافق بین‌المللی، جرم اتمی، جرم اتم در مقیاس واحد اتمی جرم (amu) [atomic mass unit] است. یک amu، دقیقاً به عنوان یک دوازدهم جرم یک اتم کربن - ۱۲ تعریف شده است. کربن - ۱۲ ایزوتوبی از کربن است که شش پروتون و شش نوترون دارد. پس با قرار دادن  $12 \text{ amu}$  به عنوان جرم اتم کربن - ۱۲، استاندارد لازم برای تعیین جرم اتمی عنصرهای دیگر فراهم می‌شود. برای مثال، آزمایش‌های متعدد نشان داده است که اتم هیدروژن به طور متوسط  $1/4008$  درصد سبک‌تر از اتم کربن است. پس اگر جرم یک اتم کربن - ۱۲ دقیقاً  $12 \text{ amu}$  باشد، جرم اتمی هیدروژن  $1/008 \text{ amu}$   $\times 12/00 = 0/084$  است.

## ۷-۲-۱ جرم اتمی متوسط: اگر جرم اتمی کربن را در جدول تناوبی عنصرها

جست‌وجو کنیم، به جای  $12/00 \text{ amu}$  عدد  $12/01 \text{ amu}$  مشاهده می‌شود. دلیل این تفاوت این است که بیش‌تر عنصرهایی که به طور طبیعی یافت می‌شوند (از جمله کربن) بیش از یک ایزوتوپ دارند.

پژوهش تجربی جاری در فیزیک اتمی و شیمی نشان داده‌اند که در مدل کوانتومی اتم، که امروزه مورد پذیرش دانشمندان است، کاستی‌هایی وجود دارد. با این همه، مدل امروزی اتم مانند مدل‌های پیش از آن، درک ما را از ساختار اتم‌ها و توانایی ما را در پیش‌بینی چگونگی رفتار آن‌ها افزایش داده است.

در نتیجه، وقتی جرم اتمی یک عنصر را اندازه می‌گیریم، جرم اتمی مخلوط ایزوتوپ‌های طبیعی آن عنصر به دست می‌آید. برای مثال، فراوانی طبیعی کربن - ۱۲ و کربن - ۱۳ به ترتیب  $98/90$  درصد و  $1/10$  درصد است. جرم اتمی کربن - ۱۳ برابر با  $13/00335$  تعیین شده است، پس جرم

اتمی متوسط کربن به صورت زیر محاسبه می شود :

جرم اتمی متوسط کربن طبیعی

$$(0/9890)(12/00000 \text{ amu}) + (0/0110)(13/00335 \text{ amu})$$

$$12/01 \text{ amu}$$

با توجه به این که سیلیسیم سه ایزوتوپ با جرم های اتمی  $27/98 \text{ amu}$  ،  $28/98 \text{ amu}$  و

$29/97 \text{ amu}$  به ترتیب با فراوانی  $4/70$  ،  $92/21$  و  $3/09$  درصد دارد. جرم اتمی متوسط این

عنصر به روش زیر محاسبه می شود :

جرم اتمی متوسط سیلیسیم

$$(0/9221)(27/98) + (0/0470)(28/98) + (0/0309)(29/97)$$

$$28/09 \text{ amu}$$

## پرسش و تمرین

- ۱- طبق نظریه‌ی دالتون، اتم چه شکلی دارد؟
- ۲- دانشمندان پس از شناخت الکترون، با چه استدلال‌هایی به وجود ذره‌ای دیگر (پروتون) در اتم‌ها پی بردند؟
- ۳- با چه استدلال‌هایی دانشمندان وجود ذره‌ای به نام نوترون را در اتم‌ها توجیه نمودند؟
- ۴- مدارهای الکترونی طبق مدل اتمی بوهر چه شکلی دارند و نام دیگر آن‌ها چه بوده است؟ بعدها چه نام‌هایی روی این مدارها گذاشته‌اند؟
- ۵- آخرین لایه‌ی الکترونی هر اتم چه نام دارد و چرا دارای اهمیت زیادی است؟
- ۶- دومین لایه‌ی الکترونی اتم‌ها را با کدام حرف انگلیسی نمایش می‌دهند و این لایه چند تراز فرعی انرژی دارد؟ نام ببرید.
- ۷- منظور از اوربیتال چیست؟
- ۸- شکل‌های اوربیتال‌های s و p چگونه است؟ با رسم شکل توضیح دهید.
- ۹- عدد اتمی و عدد جرمی را شرح دهید. علامت اختصاری هر کدام چیست؟
- ۱۰- ایزوتوپ چیست؟ ایزوتوپ‌های هیدروژن را معرفی کنید.
- ۱۱- عنصری با سه ایزوتوپ با جرم‌های  $27/75$ ،  $26/89$ ،  $25/97$  amu به ترتیب با فراوانی  $90/1$ ،  $85/5$  و  $4/05$  درصد وجود دارد. جرم اتمی متوسط این عنصر را محاسبه کنید.