



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## دانش فنی پایه

رشتهٔ سرامیک  
گروه مواد و فراوری  
شاخهٔ فنی و حرفه‌ای  
پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه



وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



- نام کتاب: دانش فنی پایه (رشتهٔ سرامیک) - ۲۱۰۵۰۸
- پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: هادیبرزگر بفرویی، حمید تقی پور ارمکی، ندی دیده‌ور، الهام صمد بین، ناصر ضیاییان (اعضای شورای مؤلفین)
- مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
- شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) - ایمان اوجیان (طراح یونیفورم) - سیدعلی موسوی (طراح گرافیک و طراح جلد) - جهانگیر سرزارع (صفحه‌آرا) - مریم دهقان زاده (رسام)
- نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
- تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
- وب سایت: [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir) و [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)
- ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن: ۵: ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰
- صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
- چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
- سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۳۹۵

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



ما باید زحمت بکشیم تا در همهٔ جناح‌ها خودکفا باشیم. امکان ندارد که استقلال به‌دست بیاید، قبل از اینکه استقلال اقتصادی داشته باشیم. اگر ما بنا باشد که در اقتصاد احتیاج داشته باشیم، در چیزهای دیگر هم وابسته خواهیم شد و همین‌طور اگر در فرهنگ، ما وابستگی داشته باشیم، در اساس مسائل وابستگی پیدا می‌کنیم.

امام خمینی (قدّس سرّه الشّریف)

۹.....	فصل اول : کلیات
۲۱.....	فصل دوم : مواد و ویژگی های آن
۵۳.....	فصل سوم : فناوری و سرامیک
۷۰.....	فصل چهارم : محاسبات در سرامیک
۸۴.....	فصل پنجم : مقاومت مواد
۹۹.....	فصل ششم : سرامیک و محیط زیست
۱۱۴.....	فهرست منابع



با توجه به آموزه‌های اسلامی، کار و اشتغال از ارزش تربیتی برخوردار است و انسان از طریق کار، نفس سرکش را رام کرده و شخصیت وجودی خویش را صیقل داده، هویت خویش را تثبیت کرده و زمینه ارتقای وجودی خویش را مهیا و امکان کسب روزی حلال و پاسخگویی به نیازهای جامعه را فراهم می‌آورد. آموزش فناوری، کار و مهارت‌آموزی، باعث پیشرفت فردی، افزایش بهره‌وری، مشارکت در زندگی اجتماعی و اقتصادی، کاهش فقر، افزایش درآمد و توسعه یافتگی خواهد شد. برای رسیدن به این مهم، برنامه‌ریزی درسی حوزه دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخه فنی و حرفه‌ای شامل دروس آموزش عمومی، دروس شایستگی‌های غیرفنی و شایستگی‌های فنی مورد نیاز بازار کار است. دروس دانش فنی از دروس شایستگی‌های فنی است که برای هر رشته در دو مرحله طراحی شده است. درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشته تحصیلی است که هنرجویان در پایه دهم و در آغاز ورود به رشته تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامه تحصیل در رشته خود کسب نمایند. درس دانش فنی تخصصی که در پایه دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقای دانش تخصصی حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامه تحصیل و توسعه حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند. لازم به یادآوری است که کتاب دانش فنی پایه تئوری تفکیک شده دروس عملی کارگاه‌های ۸ ساعته نیست بلکه در راستای شایستگی‌ها و مشاغل تعریف شده برای هر رشته تدوین شده است. در ضمن، آموزش این کتاب نیاز به پیش‌نیاز خاصی ندارد و براساس آموزش‌های قبلی تا پایه نهم به تحریر درآمده است. محتوای آموزشی کتاب دانش فنی پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش نظری تأمین می‌کند. تدریس کتاب در کلاس درس به صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

### دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم، کسب دانش فنی پایه در گروه خدمات و رشته تحصیلی سرامیک برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.



## سخنی با هنرجویان عزیز

درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم، کسب دانش فنی پایه در گروه مواد و فراوری و رشته تحصیلی سرامیک، برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.

در تدوین درس دانش فنی پایه، موضوعاتی مانند تاریخچه رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشته تحصیلی، نقش رشته شما در توسعه کشور، مثال‌هایی از نوآوری، خلاقیت و الهام از طبیعت، اصول، مفاهیم، قوانین، نظریه، فناوری، علائم، تعاریف کمیت‌ها، واحدها و یکاها، فرمول‌های فنی، تعریف دستگاه‌ها و وسایل کار، مصادیقی از ارتباط مؤثر فنی و مستندسازی، زبان فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه‌هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشته تحصیلی در نظر گرفته شده است. می‌توانید در هنگام ارزشیابی این درس، از کتاب همراه هنرجوی خود استفاده نمایید. توصیه می‌شود در یادگیری این درس به دلیل کاربرد زیاد آن در درس‌های دیگر رشته، کوشش لازم را داشته باشید.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش





# فصل ۱

## کلیات



## تعریف مختصر از رشته

سرامیکی در برابر آب، اسیدها، گازها، نمک‌ها و دماهای بالا مقاومت خوبی دارند و به همین سبب در ساخت قطعات مقاوم نسبت به خوردگی استفاده زیادی می‌شود. در حال حاضر دانش آموختگان رشته سرامیک با کنترل نوع و نسبت ترکیب مواد اولیه و مراحل ساخت، فرآورده‌های گوناگونی مانند کاشی، آجر نسوز، ظروف چینی و سفالی، لعاب‌ها، قطعات الکترونیکی، شیشه و سیمان و قطعات پیشرفته سرامیکی را طراحی و تولید می‌کنند. در رشته سرامیک، کلیه فرایندهای ساخت سرامیک از مواد اولیه و آماده‌سازی آن تا کنترل کیفی محصولات ساخته شده و ارتباط بین ساختمان و خواص این مواد آموزش داده می‌شود.

رشته سرامیک یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین شاخه‌های علم مهندسی مواد می‌باشد. سرامیک به‌طور کلی علم ساختن و به کار بردن اشیای جامدی است که اجزای تشکیل‌دهنده اصلی و عمده آنها مواد غیرآلی و غیرفلزی است. علم سرامیک علاوه بر سفالینه‌ها شامل انواع چینی‌ها، دیرگذازها، فرآورده‌های رسی ساختمانی، مواد ساینده، لعاب‌های چینی، سیمان، شیشه، مواد مغناطیس غیرفلزی، فروالکتریک‌ها و محصولات پیچیده‌تر دیگر نیز می‌شود.

مشخصه اصلی سرامیک‌ها، مقاومت بسیار زیاد آنها در برابر مواد شیمیایی و دماهای بالا است؛ اغلب فرآورده‌های



## مشاغل صنعت سرامیک

به محصولات با کیفیت بالاتر مشغول به کار شوند. همچنین با کسب تجربه بیشتر امکان دستیابی به رده‌های بالاتر مانند مدیریت پروژه، تأسیس کارگاه‌های تولید سرامیک سنتی، متخصص گروه خاصی از مواد، کار در حوزه تحقیقات و مشاوره نیز وجود دارد. افرادی که در مقاطع تحصیلی بالاتر در این رشته ادامه تحصیل می‌دهند، امکان دستیابی به فرصت‌های شغلی شامل مسئول دستگاه‌های اندازه‌گیری خواص مواد از قبیل پراش اشعه ایکس (XRD)، دستگاه آنالیز عنصری (XRF)، دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) دارند. همچنین با توجه به لزوم به کارگیری سرامیک‌ها برای توسعه صنایع نوین در آینده شاهد افزایش تحقیق و توسعه این رشته در زمینه‌های مختلف از قبیل پوشش‌های سرامیکی، سرامیک‌های الکتریکی و نوری، سرامیک‌های دما بالا خواهیم بود که زمینه‌های شغلی بیشتری را برای این رشته فراهم خواهد کرد.

امروزه صنایع سرامیک برای توسعه اکثر صنایع اهمیت بسیاری دارند. برای مثال صنایع متالورژی و سایر صناعی که با درجه حرارت بالا سروکار دارند، مصرف‌کننده مواد دیرگداز هستند یا صنایع الکترونیک احتیاج به قطعات مختلف سرامیکی با خواص الکترونیکی و مغناطیسی مطلوب دارند. همچنین صنایع اتومبیل‌سازی، ساختمانی، تولید انرژی، مخابرات و بالاخره هر خانه و خط تولید هر کارخانه‌ای نیاز به فراورده‌های سرامیکی دارد.

در حال حاضر کشور ما کارخانه‌های عمده کاشی‌سازی، چینی‌سازی، تولیدکننده مواد نسوز، تولیدکننده سرامیک‌های الکتریکی، شیشه‌سازی، آجرسازی و سیمان دارد که فارغ‌التحصیلان رشته سرامیک می‌توانند در آنها مشغول به کار گشته و به افزایش کارایی و راندمان کارخانه و همچنین بهبود کیفیت محصول آن کمک نمایند.

فارغ‌التحصیلان رشته سرامیک می‌توانند در خط تولید، بخش کنترل قطعات (کنترل کیفیت) و آزمایشگاه‌های کارخانه‌ها و مراکز تحقیقاتی به‌منظور دستیابی



## نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در رشته و چگونگی بهره‌برداری از آن

نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات (IT) در تمامی زمینه‌ها از جمله صنعت بر هیچ فردی پوشیده نیست و برنامه‌ریزان در عصر حاضر و آینده نیازمند به‌کارگیری این فناوری هستند. هنرجویان می‌توانند با کسب مداوم اطلاعات در ارتباط با فناوری‌های نوین دانش خود را به‌روز کرده و قطعات سرمایه‌ی متناسب با نیازهای

صنعتی تولید کنند. امروزه در محیط‌های صنعتی، خلاقیت، نوآوری، کار گروهی و امکان استفاده از فناوری‌های جدید از مهم‌ترین ابزاری است که یک فرد صنعتی می‌تواند در محیط کار برای رشد و پیشرفت علمی خود از آن استفاده کند.

### الهام از طبیعت

دانشمندان زیادی در زمینه‌ی الهام از جانداران و طبیعت کار می‌کنند، بیشتر پژوهش‌ها بر کشف ویژگی‌های مواد بدن جانداران متمرکز است که چگونه آفرینش با تعداد کمی از مواد ساختمانی ساده (قندها، پروتئین‌ها، مواد معدنی و آب) به موادی مانند چوب، استخوان و پوسته‌ی سخت حشرات ایجاد می‌کند که ساختمان‌های طبیعی بسیار پیچیده و باشکوهی دارند. به‌طور مثال

محققان مطالعات زیادی را بر روی عنکبوت‌ها انجام داده‌اند و دریافته‌اند که چگونه این حشرات می‌توانند مولکول‌های پروتئینی محلول در آب را به نخ‌های ابریشمی نامحلول که محکم‌تر از کولار<sup>۱</sup> (ماده‌ای که در ساخت جلیقه‌های ضدگلوله از آن بهره‌گیری می‌شود) هستند، تبدیل نمایند.



همچنین به‌دنبال آن هستند تا روشن کنند که چگونه صدف‌ها می‌توانند مواد گچی موجود در آب دریا را متبلور کرده و از آن در ساخت صدف بدن خود کمک بگیرند. این صدف‌ها تقریباً دو برابر نسبت به بهترین نوع سرامیک‌های موجود استواری و استحکام دارند.



دانشمندان دربارهٔ مواد طبیعی دیگری نیز کار کرده‌اند؛ دندان‌های موش که می‌تواند قوطی‌های فلزی را سوراخ کند و شاخ کرگدن با ویژگی بازسازی و چسب‌های بسیار نیرومند که نرم‌تنان می‌سازند همگی نمونه‌هایی از مواد طبیعی سرامیکی به‌شمار می‌روند.



دانشمندان به طبیعت رجوع کرده‌اند و از آن برای ساخت مواد جدید الهام می‌گیرند و به نتایجی رسیده‌اند که مفیدتر از ساخت مواد جدید است. برای نمونه می‌توان از الیاف مصنوعی مانند کولار نام برد که از اسید سولفوریک جوشان با فشار بالا، تهیه می‌شوند. هزینه تأمین انرژی این مرحله بسیار بالا است و موادی که در تهیه آن به کار می‌روند بسیار خطرناک بوده و نابود کردن آنها نیز دشوار است. درحالی‌که تار عنکبوت آلودگی محیط‌زیستی نداشته و در هر شرایطی قابل تولید است. (شکل ۱).



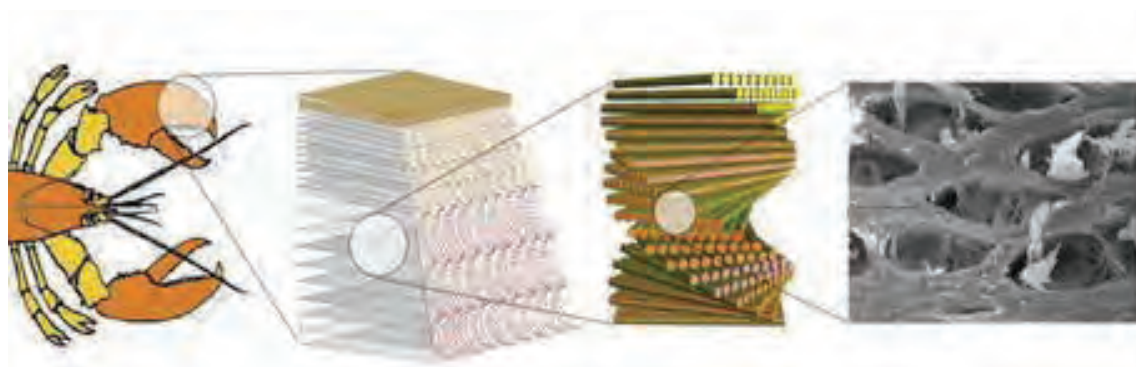
شکل ۱- اجزای تشکیل‌دهنده تار عنکبوت

در طبیعت، جاندار می‌تواند صدف می‌تواند مواد ساده‌ای مانند گچ را که به‌طور طبیعی مادهٔ ساختمانی مهمی نیست، تبدیل به صدف زیبا و استوار کند. با بررسی صدف در زیر میکروسکوپ الکترونی مشخص شده که صدف دارای لایه‌های بسیار نازک کربنات کلسیم (گچ) است که در شبکهٔ پروتئینی آلی به ضخامت ده میلیون متر قرار گرفته است. این آرایش از ایجاد ترک در صدف جلوگیری کرده و شکنندگی آن را نسبت به سرامیک‌های صنعتی بسیار کم‌تر می‌کند. همچنین بررسی‌های زیادی بر روی ساختمان قاب سوسک‌ها انجام شده است که توانسته تغییراتی در ساخت صنایع فضایی ایجاد کند. قاب تنومند سوسک ساختاری شبیه به کامپوزیت‌ها دارد که از وارد کردن الیاف در زمینه پروتئینی ساخته شده است.





زمانی که قاب پشتک سوسک زیر میکروسکوپ الکترونی بررسی شد، شباهت بسیاری با موادی که در صنایع جدید نظامی به کار گرفته می‌شوند، مشاهده کردید. ساختار مشابهی در بدن عقرب نیز مشاهده شده است (شکل ۲).



چنگال عقرب

لایه‌های موجود در چنگال عقرب

ساختار کامپوزیتی لایه‌ها

شکل ۲- ساختار کامپوزیتی دست عقرب

## ساخت فیبرهای نوری با الهام از اسفنج‌های دریایی

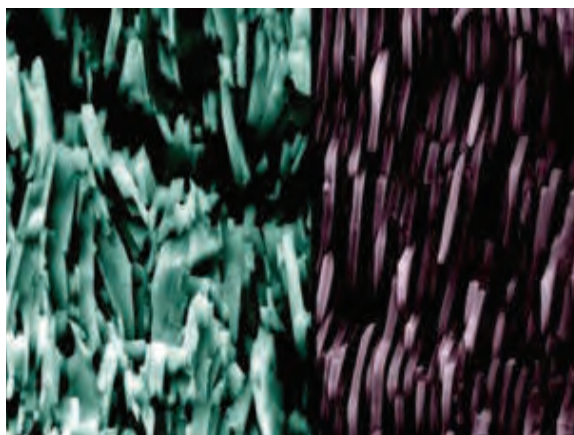
فیبرهای نوری می‌توانند با سرعت غیرقابل تصویری داده‌ها را منتقل کرده و انسان را در زمینه ارتباطات جلو ببرند. اسفنج‌های دریایی الهام خوبی برای ساخت فیبرهای نوری هستند. جنس یک نوع از اسفنج‌های دریایی از نوعی شیشه است که فیبرهای آن بسیار باریک (در حد تار موی انسان) هستند اما اگر در کنار هم جمع شوند، ساختاری بسیار مستحکم می‌سازند.



## مواد سرامیکی مقاوم‌تر با الهام از طبیعت

است، اما در عوض کل پوسته صدف بسیار مقاوم است. این استحکام مربوط به مراحل ساخت آن است. صدف مروارید برای ساخت پوسته خود از پروتئین برای افزایش استحکام کربنات کلسیم استفاده می‌کند. نتیجه حاصله به توده‌ای از آجرهای ساختمانی شباهت دارد که با ملات ساخته شده از پروتئین به یکدیگر متصل شده‌اند که ترک در آن ایجاد نمی‌شود (شکل ۳). برخی از دانشمندان در حال یافتن رمزهای بیشتری از آفرینش هستند و هنوز راه درازی برای گسترش روش‌هایی که به صنایع، توانایی تولید انبوه چنین موادی را بدهد وجود دارد.

سرامیک‌های جدیدی از پوسته صدف مروارید ساخته شده است. پوسته این صدف دریایی بسیار قوی‌تر و با دوام‌تر از سرامیک‌های کنونی است. همچنین تولید مصنوعی سرامیک از پوسته صدف مروارید در مقایسه با سرامیک‌های کنونی از شکنندگی کمتری برخوردار است و در ضمن می‌تواند درجه حرارت بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد را در محیط‌های پرتنش تحمل کند. در طبیعت، این نوع از صدف به دو گونه یافت می‌شود، یکی به عنوان پوسته خارجی صدف مروارید و دیگری لایه داخلی پوسته حلزون. کربنات کلسیم که ۹۵ درصد این پوسته‌ها را تشکیل می‌دهد بسیار ترد و شکننده



شکل ۳- ساختار پوسته صدف زیر میکروسکوپ

## تاریخچه مواد و علم مواد

بشر برای تولید ابزار، سر پناه و سلاح از موادی استفاده می‌کرد که از محیط اطراف تأمین می‌شدند؛ این مواد شامل استخوان حیوانات، چوب و از همه مهم‌تر سنگ بود. ابزارهای سنگی به دلیل استحکام و سختی مناسب بسیار مورد توجه قرار داشتند و بنابراین این دوران را با عنوان دوره سنگ یا دوره پارینه‌سنگی شناخته شده است.

از جمله نخستین اشیای ساخته شده با دست انسان، سفال است. سفالگران در حین پخت اشیای سفالین

مواد در پیشرفت جوامع بشری نقش بسیار مهمی داشته است. به‌طوری که مورخین، هر دوره تاریخی را با نام یکی از موادی که در آن دوره نقش مهمی داشته است، نام‌گذاری کرده‌اند. عصر سنگ و عصر برنز از جمله این نام‌گذاری‌ها است. این موضوع نشان‌دهنده نقش مواد و اهمیت آنها در زندگی بشر و تأثیر آن بر فعالیت و رفتارهای او در قرون گذشته است. از نقطه نظر تاریخی می‌توان گفت که تمدن بشری با عصر سنگ آغاز شده است. در این دوران



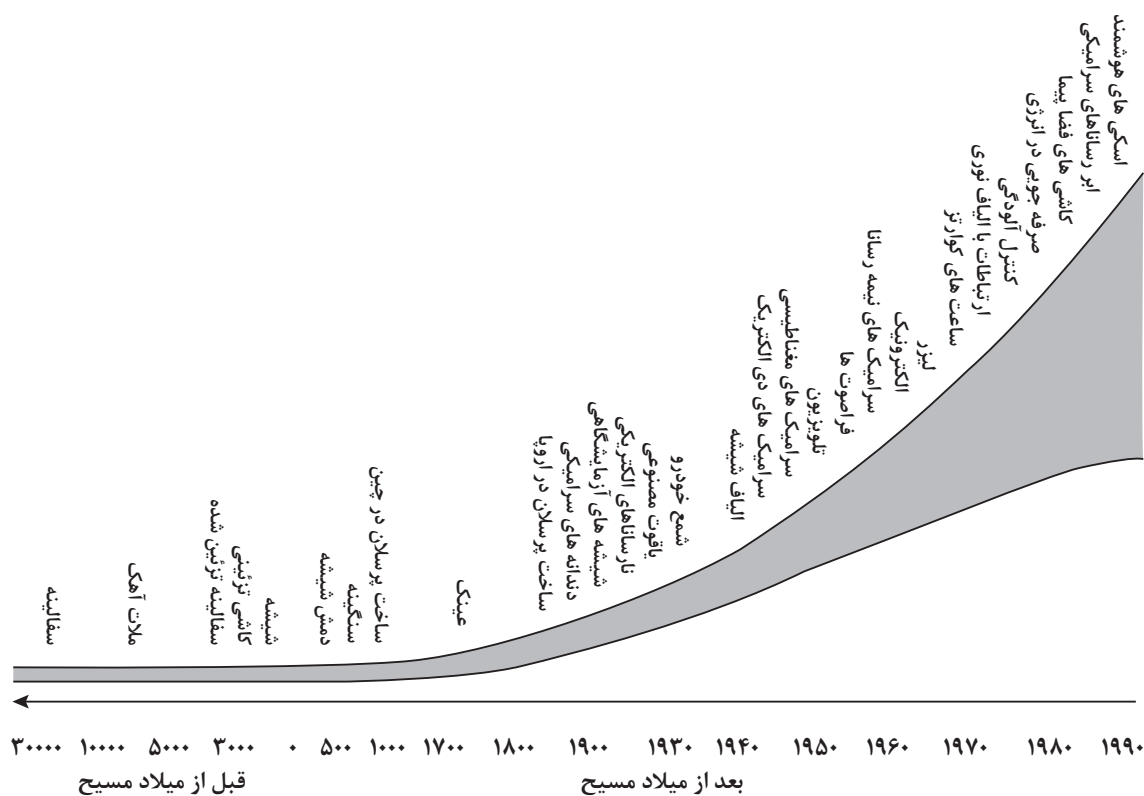
متوجه شدند که بعضی از سنگ‌ها در برابر حرارت ذوب می‌شوند و به شکلی دیگر درمی‌آیند که بعدها نام نوسنگی مس بر آن نهاده شد. پس از آن به کارگیری ابزارهای فلزی جامعه بشری را به سطح جدیدی ارتقا داد با گذشت زمان و توسعه ماشین بخار و موتور الکتریکی مجهز به پیشرفت‌های

روزافزون مواد و افزایش تولید آنها شد. به کارگیری مواد مغناطیسی و الکتریکی انقلاب دیگری را در تمدن ایجاد کرد و سبب ظهور فناوری رادیو و رایانه‌ها شد. به طور خلاصه از دوره باستانی مواد جدید دائماً در حال ایجاد تمدن هستند که منجر به توسعه جامعه بشری شده است.

## تاریخچه سرامیک

پیشرفت‌های حاصل در تمدن همواره در پی پیشرفت یا نوآوری در مواد رخ داده است. تاریخ با سرامیک‌ها در هم آمیخته است. اگرچه از زمان پیدایش اولین سرامیک‌ها و سفال قرن‌های زیادی گذشته است اما هنوز هم جزء حیاتی زندگی ما هستند در شکل ۴ مسیر تکاملی مواد سرامیک نشان داده شده است.

سرامیک‌های نوین      تحول در صنایع سرامیک‌های سنتی      تحول در سرامیک‌های اولیه

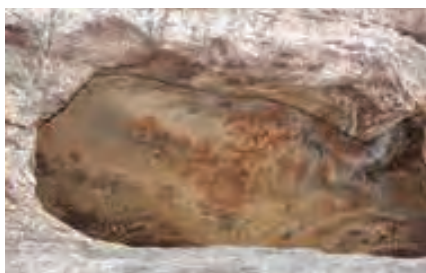


شکل ۴- سیر تحول تاریخی سرامیک‌ها

## سرامیک‌های اولیه

### تولد سفال:

غارنشین در دست دارند، قطعات سنگی و دیگر اجسامی که در کف غارهای قدیمی دفن شده است، هستند. با گذشت قرن‌ها، غارنشینان با استفاده از مخلوط خاک‌های رنگی و آب شروع به کشیدن عکس بر روی دیوار غارها کردند. آنها کشف کردند که برخی از انواع خاک‌ها (که ما امروزه آنها را رس می‌نامیم) در صورت مرطوب شدن نرم شده و قابلیت شکل‌پذیری پیدا می‌کنند و می‌توان با آنها قطعات و مجسمه‌های گوناگون ساخت (مانند گاو میش کوهان‌دار که در غاری در فرانسه کشف شد).



تصور کنید که زندگی در عصر حجر چگونه بوده است؟ در آن زمان فروشگاه، خانه، شهر و حتی خط نوشتاری وجود نداشت. غار پناهگاه انسان بوده و برای شکار از مکانی به مکان دیگر کوچ می‌کرد. آنها هیچ درکی از فلز یا پلاستیک نداشتند. تنها موادی که آنها می‌شناختند مواد طبیعی اطراف آنها یعنی سنگ‌ها، گیاهان و پوست و استخوان حیوانات بود. سنگ‌ها، سرامیک‌هایی هستند که توسط طبیعت ساخته شده‌اند. چون در آن زمان هیچ خطی برای نوشتن وجود نداشت، تنها مدارکی که باستان‌شناسان و انسان‌شناسان برای مطالعه نحوه زندگی انسان اولیه



شکل ۵- نمونه‌هایی از نقاشی بر روی دیوار غار

آنها همچنین دریافتند که رس در اثر خشک شدن سخت و در اثر پخته شدن سفت و محکم می‌شود. نمونه‌هایی از سفال‌های قدیمی در شکل ۶ آمده است.



شکل ۶- نمونه‌هایی از سفال‌های قدیمی

از کوره برای پخت سفال استفاده نمی‌کردند و احتمالاً ظروف گلی تولیدی را کنار همان آتشی که برای پختن گوشت شکار مهیا می‌کردند، می‌پختند. کاشی نیز نوعی سفال است که قدمت آن به قرن‌ها پیش از ظهور اسلام در ایران می‌رسد و برخی از نمونه‌های موجود و نوشته‌های صاحب‌نظران این پیشینه را تأیید می‌کند. امروزه سفال،

به اعتقاد باستان‌شناسان، ایران یکی از زادگاه‌های اصلی سفالگری بوده است. نمونه‌های به دست آمده در حفاری‌های بختیاری مربوط به ده هزار سال قبل نشان‌دهنده قدمت سفالگری در ایران است. اشیای مذکور تماماً بدون استفاده از چرخ سفالگری ساخته شده و بررسی‌ها نشان می‌دهد که در آن زمان، سفال‌سازان

سفال سازی به عنوان صنعت یا حرفه در ۴۷۰۰ سال قبل از میلاد در ایران آغاز شده است. بدون تردید اختراع چرخ سفالگری ساده تحول جدیدی در صنعت سفال سازی به وجود آورد. در اواسط هزاره سوم قبل از میلاد، نمونه های سفالی با چرخ سفالگری تولید می شدند در شوش یافت شده است. هم چنین نمونه هایی از ظروف سفالین نقوش و نقش دار در نقاط مختلف ایران نظیر سیلک (کاشان)، تپه حسنلو (آذربایجان)، تپه حصار (دامغان)، اسماعیل آباد (قزوین) و تخت جمشید (مرودشت) کشف شده است که زیباترین اشیای جهان در زمینه سفال سازی محسوب می شود. از ویژگی های سفال های باستانی ایران، استفاده از طرح ها و نقوش واقعی در آثار است. آنها تلاش می کردند تا نقوش حیوانات و پرندگان نظیر مار و قوچ را بر روی بدنه سفال ایجاد کنند. (شکل ۷)

سرامیک و کاشی یکی از مصالح ضروری ساختمان نیز محسوب می شود که از هزاران سال پیش به صورت ابتدایی و حتی بدون استفاده از کوره پخت تهیه می شده است. ظروف سفالین نقوش و غیرنقوش متعددی که از نقاط مختلف ایران به دست آمده، نشان می دهد که این هنر در ایران بسیار مورد توجه قرار داشته و تعداد زیادی از این آثار در قبرهای مردگان یافت شده است زیرا مردم آن زمان عقیده داشتند که پس از مرگ، احتیاجات مادی آنها در دنیای دیگر ادامه خواهد یافت. صنعت سفال سازی در حدود هزاره پنجم قبل از میلاد از نظر کیفی و فنی ترقی کرد. ظروفی که در «سیلک کاشان» و در «شوش» کشف شده که قرمز رنگ و دارای لکه های دودی و سیاه هستند و جداره داخلی این ظروف ماده ای شبیه لعاب دارد. به طور خلاصه می توان گفت که



شکل ۷- نمونه هایی از سفال های باستانی ایرانی

هنر کاشی کاری در شوش و نواحی غربی و مرکزی ایران تجلی داشته و در تزئینات دیوارهای «کاخ هگمتانه» کاشی های رنگی متعددی به کار رفته است. همچنین طی حفاریات انجام شده در «زیگورات/چغازنبیل» نمونه های متعددی از انواع کاشی و آجرهای لعاب دار به همراه تعدادی سفال های کوچک به دست آمده که نشان دهنده رونق تولید سفالگری در دوره تمدن ایلامی است.



شکل ۸- دو باریکه کاشی از جنس سفال، متعلق به دوره قاجار

## سرامیک‌ها در عصر فلز

دو محفظه، یکی برای سوخت و دیگری برای ظرف‌های سرامیکی بود را ابداع کردند. چون در این کوره‌ها آتش در تماس مستقیم با سرامیک‌ها نبود، رنگ‌های سرامیکی حساس به حرارت بر روی سرامیک قبل از پخت اعمال می‌شدند تا پس از پخت این رنگ‌ها جزیی از بدنه شوند.

ابداع دیگر ساخت لعاب‌های سفالگری بود. لعاب پوششی شیشه‌ای است که نه تنها سطح سفالینه‌های متخلخل را در برابر نفوذ مایعات محافظت می‌کند، بلکه باعث زیبایی سفال‌ها نیز می‌شود. احتمالاً لعاب‌های اولیه در حدود ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح به منظور ایجاد رنگی مشابه رنگ زیبای سنگ لاجوردی ساخته شده بود. پس از ساخت این لعاب، سفالگران شروع به ساخت ترکیبات گوناگون لعابی از سنگ‌های خرد شده با آب و اعمال آن بر روی بدنه کردند.

عصر فلزات تأثیر زیادی بر تمدن داشت، اما سرامیک‌ها اهمیت خود را از دست ندادند، بلکه به دلیل دارا بودن خاصیت دیرگدازی که در عصر حجر کشف شده بود، ارزشمندتر شدند.

استخراج فلزات از سنگ معدن نیاز به دمای بالا داشت و ابزارهای سرامیکی تنها موادی بودند که قابلیت تحمل این دمای بالا را داشتند. حتی پس از آنکه فلزات استخراج می‌شدند، برای ذوب آنها به ظرف‌های سرامیکی نیاز بود. همچنین فلزات درون قالب‌های سرامیکی با اشکال متفاوت ریخته و سرد می‌شدند تا قطعات و ابزارهای زیبا و مفید ایجاد شوند.

یکی از عوامل تأثیرگذار در ابداع سرامیک‌ها در این دوره پیشرفت در طراحی کوره‌های دما بالا برای پخت سفال‌ها بود. همچنین سفالگران نوع جدیدی از کوره را که دارای

## تحول سرامیک‌های سنتی

### اختراع چرخ سفالگری

بگیرد و با چرخاندن حصیر شکل‌دهی انجام می‌دادند. سپس چرخ‌های سفالگری که به کمک پا یا شخص دیگری چرخانده می‌شدند ابداع شد. چرخ سفالگری سرعت تولید را تا حد زیادی افزایش داد و به دسترسی بیشتر مردم به سفالینه‌ها کمک کرد.

سفال‌ها جزء مهمی از وسایل زندگی مردم شدند و اولین سرامیک‌های سنتی محسوب می‌شوند. یکی از اختراعات مهم در تولید سفال چرخ سفالگری بود که در حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح ابداع شد. احتمالاً اولین چرخ سفالگری یک حصیر بوده که سفالگر می‌توانست بر روی آن یک سنگ صاف برای قرارگیری گل رس در نظر



شکل ۹- انواع چرخ‌های سفالگری

## انواع جدید سفال

به دست می آمد، سفید و نیمه شفاف بود و هنگامی که با ناخن یا یک جسم سخت به آن ضربه زده می شد، صدای بسیار زیبایی مانند یک سنج یا اسباب موسیقی ایجاد می کرد. هنگامی که مارکوپولو در سال ۱۲۹۲ از سفر تاریخی خود به شرق بازگشت، این سرامیک جادویی را آلا پرسلا<sup>۱</sup> نام گذاشت، زیرا رنگ آن مانند رنگ صدف بود که در ایتالیا به آن پرسلانا<sup>۲</sup> گفته شد. امروزه ما این سرامیک های ظریف را پرسلان می نامیم. با گذشت قرن ها سفال پرسلان به صنایع تبدیل شدند که از نسلی به نسل دیگر منتقل شده و بخش مهمی از سرامیک های سنتی را تشکیل داده اند از کاشی، آجر و سیمان نیز می توان به عنوان سرامیک های سنتی نام برد. به طور مثال کاشی های تزئینی حدود سه الی چهار هزار سال قبل از میلاد مسیح مصر ساخته می شدند. یکی از مهم ترین اختراعات که از نوع سرامیک می باشد شیشه است. سیر تکاملی تولید سرامیک ها همچنان ادامه دارد که به تولید سرامیک های پیشرفته گفته می شود. بدین ترتیب پرسلان نیز مانند سفال، آجر و کاشی به مجموعه سرامیک های سنتی تولید شده به صورت انبوه درآمد.



سفالگران یاد گرفتند که با پختن سفال ها در دماهای بالاتر می توانند ظرف های سرامیکی مستحکم تر و با تخلخل کمتر بسازند. سفالگران چینی شیفته این پدیده شدند و بیش از سفالگران غرب با کوره های گوناگون و ترکیبات متفاوت کار کردند. آنها موفق به ساخت کوره هایی شدند که دمایی در حدود ۱۲۰۰ درجه سلسیوس را فراهم می کرد؛ این دما تقریباً پنج برابر دمایی است که یک اجاق خوراک پزی ایجاد می کند. ظرف های پخته شده در دماهای بالا تخلخل بسیار کمی داشتند، به نحوی که حتی بدون نیاز به لعاب می توانست آب را در خود نگه دارد؛ یکی از پیشرفت های کلیدی در این زمینه، استفاده از رس سفید به نام کائولن بود که برای پخت به دمای بالا نیاز داشت. ظرف های ساخته شده از کائولن در مقایسه با سفالینه ها و سنگینه های قهوه ای و قرمز، تقریباً سفید رنگ بودند.

در حدود سال ۶۰۰ میلادی سفالگران چینی ترکیب جدید دیگری را به نام پتونتس<sup>۱</sup> کشف کردند. این ماده یک سنگ طبیعی در چین بود که آن را پودر می کردند و به ترکیب سرامیک می افزودند.

سرامیکی که با این ترکیب در دمای ۱۳۰۰ درجه سلسیوس



شکل ۱۰- نمونه هایی از ظروف پرسلان

۱ - Petuntes

۲ - Alla porcella

۳ - Porcellana

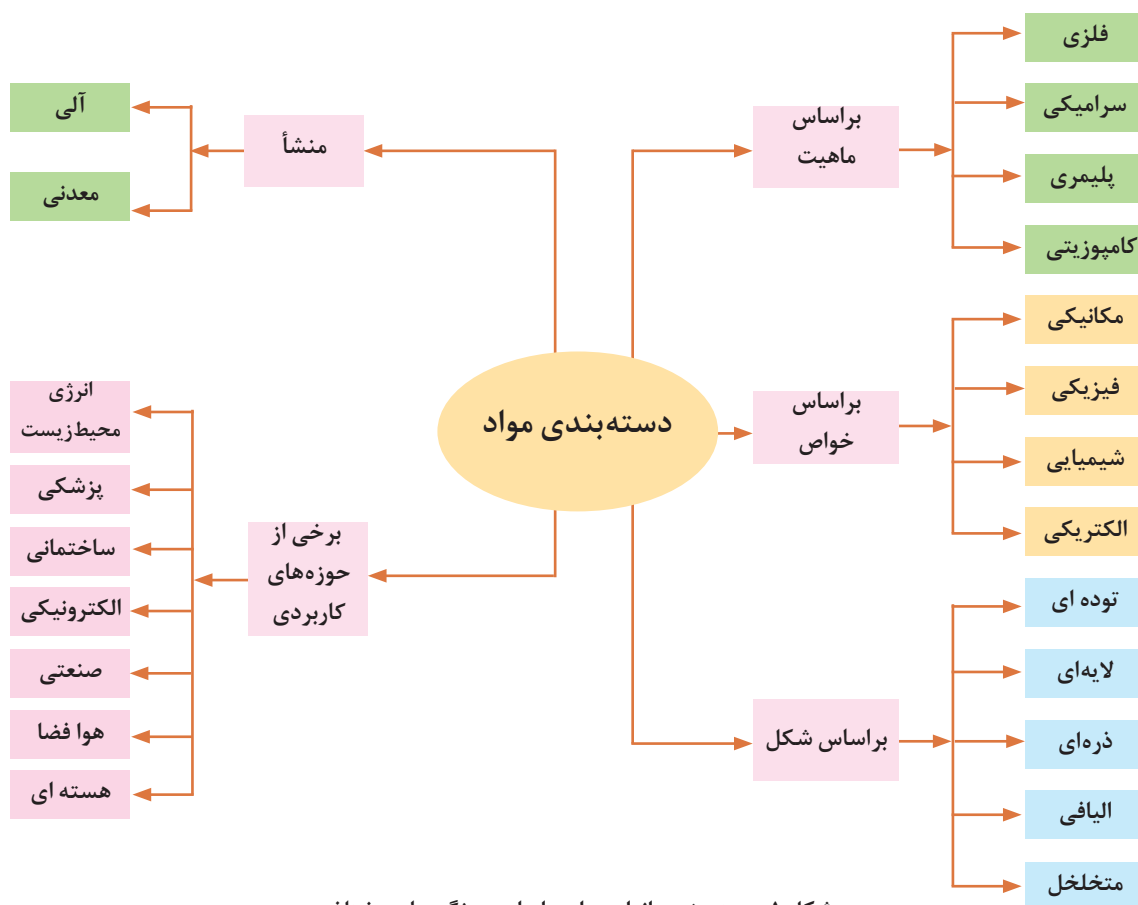
## فصل ۲

### مواد و ویژگی‌های آن



## طبقه‌بندی مواد

روش‌های متعددی برای طبقه‌بندی مواد وجود دارد. در شکل ۱ طبقه‌بندی مواد از جنبه‌های مختلف نشان داده شده است.



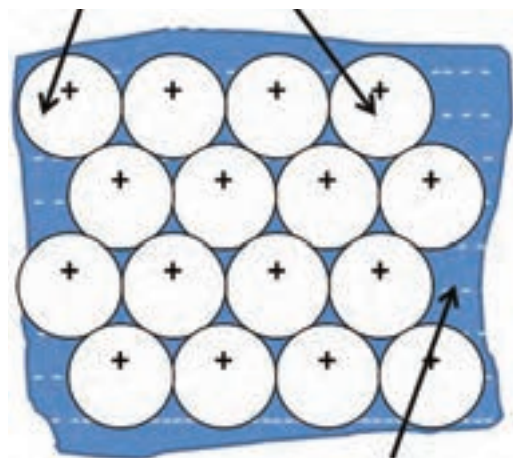
شکل ۱- دسته‌بندی انواع مواد براساس ویژگی‌های مختلف



### طبقه بندی مواد براساس پیوند

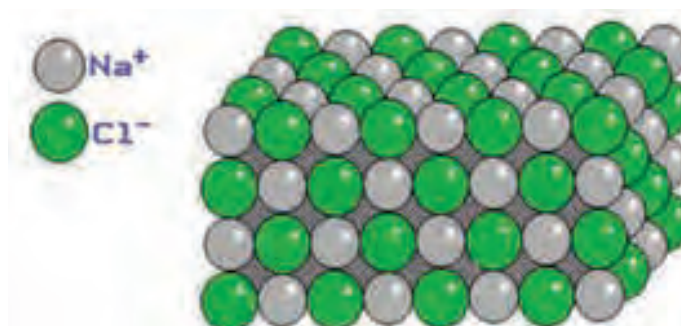
را آزاد می سازد. مجموع این الکترون ها تشکیل یک ابر الکترونی می دهد که به طور آزادانه و سریع بین یون های مثبت حرکت می کنند. نیروی جاذبه بین یون های فلزی و ابر الکترونی باعث ایجاد پیوند فلزی می شود.

خواص یک ماده براساس ترتیب قرار گیری اتم ها و پیوند بین آنها تعیین می شود. انواع پیوندهای اتمی در جامدات شامل فلزی، یونی، کووالانسی و پیوندهای ثانویه (واندروالس و هیدروژنی) است. هنگامی که اتم های فلزات به یکدیگر نزدیک می شوند هر اتم الکترون های لایه ظرفیت خود



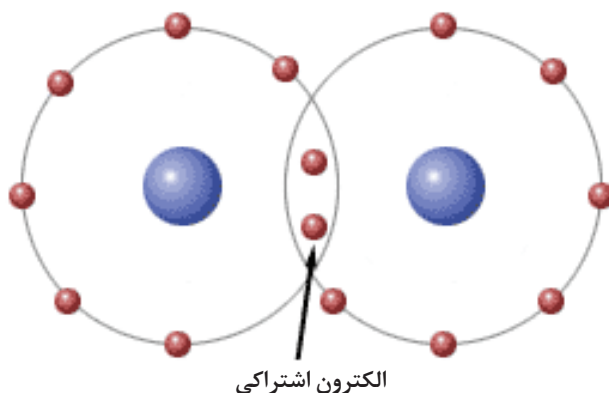
شکل ۲- تشکیل ابر الکترونی در ساختار فلزی

در پیوندهای یونی نیروی جاذبه بین یون های مثبت و منفی عامل اتصال یون ها است. به عنوان مثال نمک طعام از یون های مثبت سدیم و منفی کلر تشکیل شده است که نیروی جاذبه بین این یون ها ایجاد پیوند یونی می کند.



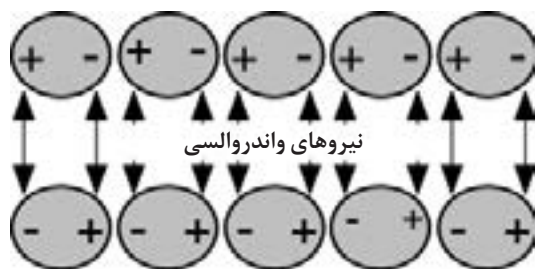
شکل ۳- ساختار نمک طعام

پیوند کووالانسی از به اشتراک گذاشتن الکترون‌های لایه آخر دو اتم ایجاد می‌شود. این پیوند همیشه بین دو غیرفلز ایجاد می‌شود. به عنوان مثال در SiC هر یک از عناصر Si و C چهار الکترون در لایه ظرفیت خود دارند که با اشتراک این الکترون‌ها، لایه ظرفیت کامل می‌شود و ساختار پایداری SiC ایجاد می‌شود.



شکل ۴- تشکیل پیوند کووالانسی

اتم‌ها در مولکول‌ها توسط پیوندهای کووالانسی کنار هم نگه داشته شده‌اند. مولکول‌ها در حال مایع و جامد توسط نیروی درون مولکولی به سوی یکدیگر جذب شده که باعث به وجود آمدن پیوند بین مولکول‌ها می‌شوند. پیوندهای برقرار شده بین مولکول‌ها را پیوند ثانویه می‌گویند. پیوندهای ثانویه ارتباطی به الکترون‌های ظرفیت ندارند و در نتیجه پیوندهای ضعیفی هستند. این پیوند بین گازهای نجیب یا مولکول‌ها مانند متان ایجاد می‌شود.



شکل ۵- پیوند واندروالسی

پیوندهای اتمی مختلف را از لحاظ قدرت مقایسه کنید.



سؤال

## دسته بندی مواد بر اساس ساختار

ساختار به معنی آرایش اتم‌های یک ماده در موقعیت‌های مشخص می‌باشد. ساختار در مقیاس میکروسکوپی به عنوان ریز ساختار بیان می‌شود. این آرایش‌ها در مقیاس‌های مختلف از کوچک‌ترین واحد در حد آنگستروم ( $\text{\AA}$ ) تا مقیاس‌های بزرگ‌تر در حد میلی‌متر (mm) قابل مشاهده هستند. مواد به دو صورت کریستالی و آمورف وجود دارند.

**ساختار کریستالی:** اگر آرایش اتم‌ها در مواد به صورت منظم از نوع بلند برد باشد، به این ساختار، کریستالی گفته می‌شود، مانند ساختار بسیاری از جامدات.

**آمورف:** اگر اتم‌ها در ساختار هیچ گونه نظم‌ی نداشته باشند و یا دارای نظم از نوع برد کوتاه باشند، ساختار آمورف نامیده می‌شود، مانند شیشه‌ها.

برخی از مواد با ساختار کریستالی ممکن است به صورت چند کریستالی (پلی کریستال) یا تک کریستالی باشند.

### تفاوت بین مواد پلی کریستال و تک کریستال در چیست؟

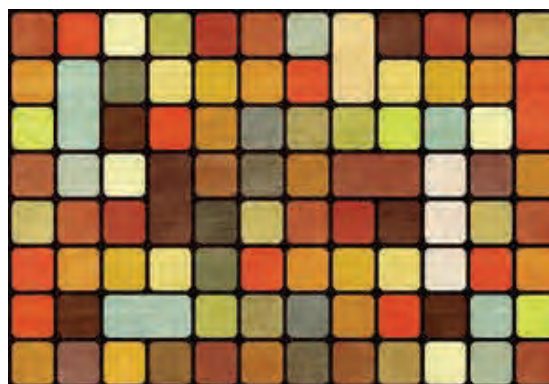


سؤال

به شکل‌های زیر نگاه کنید، چه تفاوتی بین آنها وجود دارد؟



ب



الف

**مرز دانه:** در شکل الف خطوطی که مربع و مستطیل‌ها را از هم جدا کرده است مرز دانه می‌گویند.

**ریز ساختار:** به مجموعه دانه و مرز دانه ریز ساختار گفته می‌شود که با چشم غیر مسلح قابل رؤیت نیست. با استفاده از میکروسکوپ می‌توان ریز ساختار مواد را مشاهده کرد.

شکل الف شامل مربع و مستطیل‌های متعددی دارای مرز با یکدیگر می‌باشد و شکل ب فقط شامل یک مستطیل است. به نظر شما کدام یک از شکل‌های بالا نشان‌دهنده یک ماده پلی کریستال و کدام یک مربوط به ماده تک کریستال است؟

**کریستال و دانه:** به هریک از مربع‌ها و مستطیل‌های شکل الف دانه یا کریستال می‌گویند.

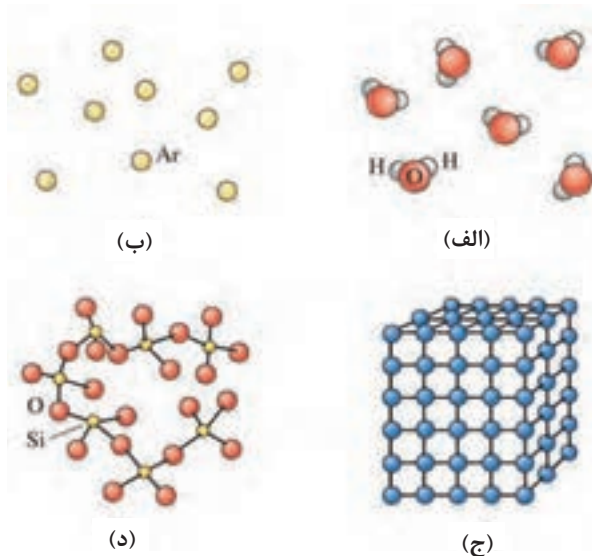
## آرایش اتمی و یونی مواد

ترکیب شیمیایی یکسان می‌باشند و برخی دیگر از مواد با داشتن عناصر تشکیل دهنده متفاوت، دارای خواص و رفتار مشابهی هستند. پس چه راه حلی به جز ترکیب شیمیایی، موجب تفاوت در رفتار و خواص مواد می‌شود؟ برای جواب این سؤال لازم است کمی بیشتر با ساختار مواد آشنا شویم. ساختار ماده چگونگی ارتباط بین اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌های تشکیل دهنده آن ماده را مشخص می‌کند. با پیوندهای شیمیایی که نحوه اتصال میان اتم‌ها و یون‌ها را مشخص می‌کنند، در درس‌های گذشته آشنا شده‌اید. در اینجا برای روشن شدن تأثیر ساختار روی خواص مواد مثال معروفی را ارائه می‌کنیم. همان‌طور که می‌دانید گرافیت و الماس هر دو از اتم‌های کربن تشکیل شده‌اند. اما چرا خواص گرافیت و الماس خیلی با یکدیگر متفاوت است؟ الماس به‌عنوان سخت‌ترین ماده طبیعی معرفی می‌گردد و گرافیت به دلیل نرمی بسیار، به‌عنوان ماده روانکار به کار گرفته می‌شود. تفاوت خواص گرافیت و الماس مربوط به نحوه اتصال و آرایش فضایی اتم‌های کربن در ساختار آنها می‌باشد.

تا به حال از خود پرسیده‌اید که چرا مواد مختلف با هم متفاوت‌اند؟ چرا برخی از آنها استحکام بالاتری در مقایسه با سایرین دارند؟ چرا برخی از مواد رسانا و برخی نارسانا می‌باشند؟ چرا نور می‌تواند از بعضی از مواد عبور کند و از بعضی دیگر نه؟ سؤال‌هایی از این دست ذهن را متوجه تفاوت‌های مواد از نظر خواص می‌کند و ما را در رابطه با علت این تفاوت‌ها، به تفکر بیشتر وادار می‌کند. با اطلاعاتی که ما از ساختمان عناصر و تفاوت‌های موجود در آنها داریم شاید گمان کنیم که تفاوت‌های موجود در مواد مختلف حاصل تفاوت‌های عناصر تشکیل دهنده آنها است. با این تفکر، خواص مواد تنها حاصل تنوع عناصر تشکیل دهنده آنها خواهد بود و تمامی ویژگی‌های رفتاری مواد باید با شناخت عناصر تشکیل دهنده آنها روشن شده و همه اسرار مربوط به خصوصیات مواد آشکار گردد. به راستی با دانستن ترکیب شیمیایی، چه خواصی از مواد معلوم می‌شود؟ با کمی دقت و توجه به ترکیبات شیمیایی مواد پیرامون خود درمی‌یابیم که بسیاری از آنها با وجود اینکه در رفتار و خواص با یکدیگر تفاوت دارند ولی دارای عناصر تشکیل دهنده و

### بی‌نظمی - نظم کوتاه‌برد - نظم بلندبرد

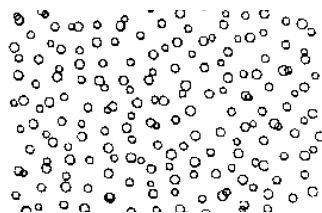
در حالت‌های مختلف مواد چهار نوع آرایش را می‌توان یافت؛



شکل ۶- انواع نظم اتمی

## بی نظم

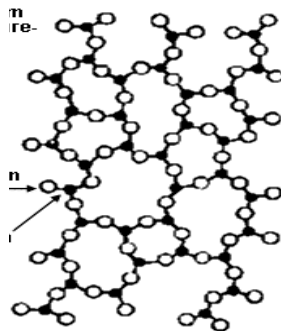
در ساختار گازهای تک‌اتمی اتم‌ها هیچ‌گونه نظم ندارند.



شکل ۷- آرایش اتمی گازها

## نظم کوتاه برد

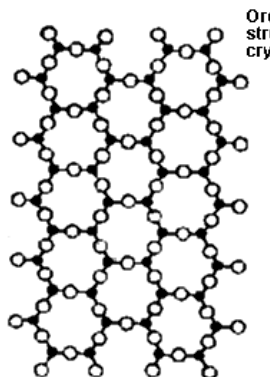
در یک ماده با نظم کوتاه آرایش اتمی به‌گونه‌ای است که نظم اتمی در نزدیک‌ترین اتم‌های همسایه وجود دارد و در فاصله‌های بیشتر نظم مشاهده نمی‌شود. هر یک ماده با نظم کوتاه آرایش اتمی به‌گونه‌ای است که به دلیل پیوند کووالانسی بین اتم‌های هیدروژن و اکسیژن است. هر اتم اکسیژن به دو اتم هیدروژن متصل می‌شود. در بین مواد مختلف، شیشه و بسیاری از پلیمرها دارای نظم کوتاه برد هستند.



شکل ۸- ساختار با نظم کوتاه برد

## نظم بلند برد

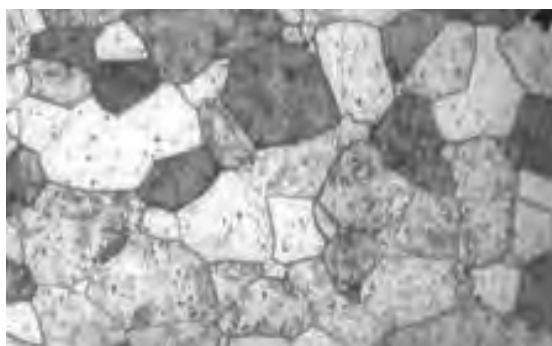
اکثر فلزات و آلیاژهای فلزی، نیمه‌هادی‌ها، سرامیک‌ها و برخی از پلیمرها که ساختار کریستالی دارند، دارای نظم بلند برد در ساختارشان هستند. گستردگی این نظم در بین اتم‌ها یا یون‌ها بزرگ‌تر از ۱۰۰ نانومتر در سه بعد می‌باشد.



شکل ۹- ساختار با نظم بلند برد

مثال تراشه‌های کامپیوتر از سیلیکون تک کریستال ساخته می‌شود. مواد پلی کریستال از تعداد زیادی کریستال‌های کوچک در سه بعد تشکیل شده است. شکل زیر ساختار فولاد زنگ نزن پلی کریستال را نشان می‌دهد.

اتم‌ها یا یون‌ها در سه بعد به‌طور منظم تکرار می‌شوند. این مواد با نظم بلند برد را مواد کریستالی می‌نامند. اگر ماده‌ای فقط از یک کریستال بزرگ ساخته شده باشد، ساختار تک کریستال نام دارد. مواد تک کریستال در بسیاری از کاربردهای الکترونیکی و نوری مناسب می‌باشند، به‌طور



(ب) ساختار فولاد زنگ نزن زیر میکروسکوپ

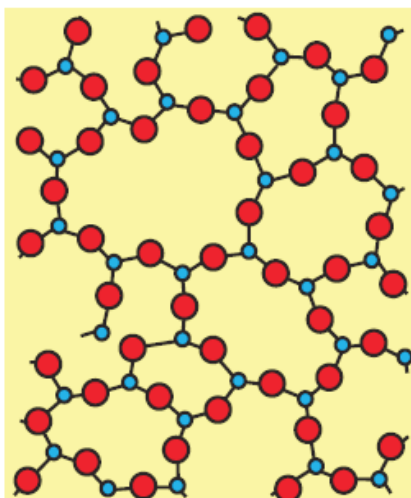


(الف) فولاد زنگ نزن

شکل ۱۰

## مواد آمورف

هر ماده‌ای که نظم کوتاه برد یا بی‌نظمی در بین اتم‌های خود داشته باشد، ماده آمورف نامیده می‌شود. بنابراین مواد آمورف غیر کریستالی هستند. به‌طور کلی اکثر مواد تمایل دارند یک آرایش منظم و تکراری تشکیل دهند، زیرا در این حالت آرایش پایداری دارند.



ساختار آمورف

مواد را می‌توان براساس نظم ساختاری نیز دسته بندی کرد. جدول ۱ این نوع دسته بندی از مواد را نشان می‌دهد.

جدول ۱

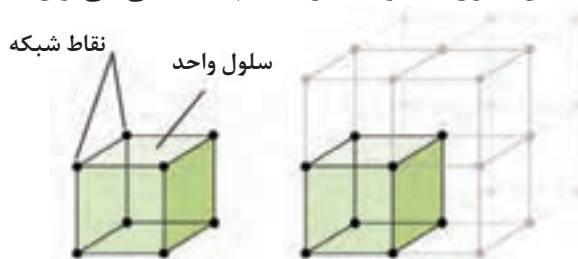
نوع مواد	نوع نظم	مثال	شکل نظم ساختاری
گازهای تک اتمی	بی نظم	گاز آرگون	
آمورف	نظم کوتاه برد	شیشه آمورف، پلاستیک	
کریستال مایع	نظم کوتاه برد	پلیمر LCD	
کریستال جامد	نظم بلند برد	فلز، آلیاژ فلزی، سرامیک	

## ساختار کریستالی

یک کریستال از مجموع اتم‌هایی تشکیل شده است که با نظم معینی در تمام حجم کریستال توزیع شده‌اند. اگر به‌طور فرضی مرکز این اتم‌ها به هم وصل شوند سیستمی به وجود می‌آید که شامل تعداد زیادی متوازی‌السطوح است، این سیستم را شبکه کریستالی می‌نامند.

کوچکترین متوازی‌السطوحی که با انتقال پیوسته آن در سه جهت بتوان تمام جهت شبکه را پر کرد سلول واحد نامیده می‌شود.

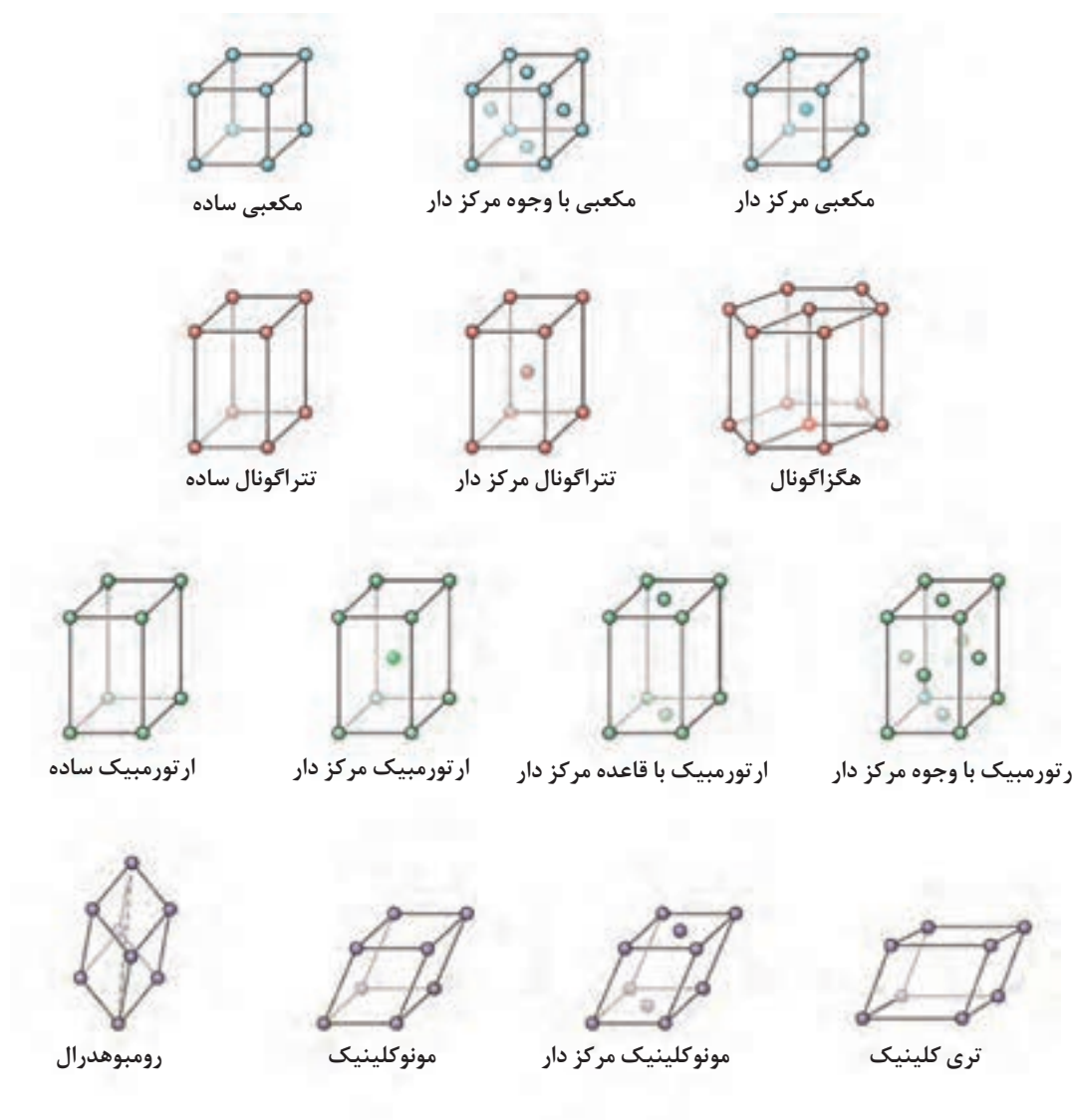
به عبارت دیگر از کنار هم گذاشتن سلول‌های واحد در سه جهت فضایی می‌توان حجم کریستال را ساخت.



شکل ۱۱- سلول واحد و شبکه کریستالی



برای بررسی ساختار یک شبکه کریستالی کافی است کوچک‌ترین قسمت شبکه یعنی سلول واحد در نظر گرفته شود. براساس زاویه‌ها و اندازه اضلاع سلول واحد، انواع شبکه فضایی تشخیص داده شده است که به شبکه‌های براوه معروف است، در شکل ۱۲ تصویر این شبکه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۲- شبکه های براوه

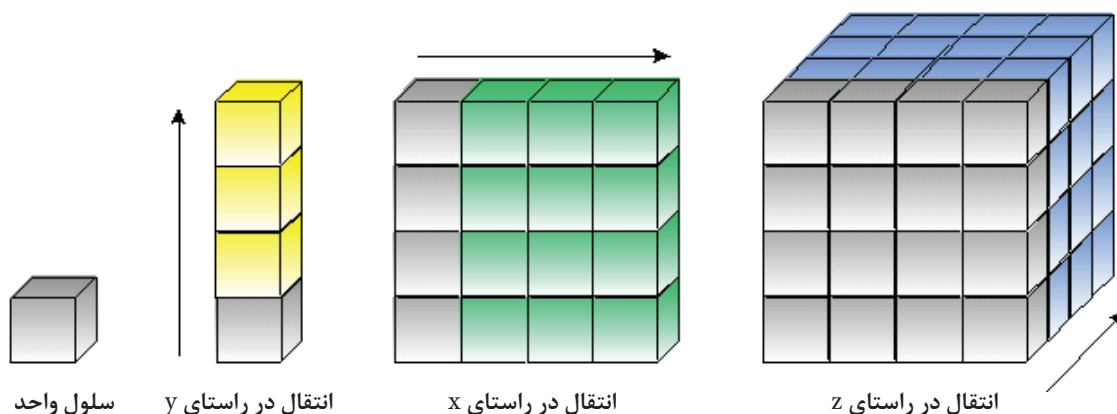
می‌باشد که در آن از کنار هم قرار دادن مکعب‌های کوچک در سه بعد یک مکعب بسیار بزرگ ایجاد شده است، اگر بخواهیم از روبیک برای تشریح یک کریستال استفاده کنیم، به هر یک از این مکعب‌های کوچک سلول واحد می‌گویند و به کل مکعب کریستال می‌گویند.

همان‌طور که قبلاً بیان شد، شبکه از لحاظ گستردگی بی‌نهایت می‌باشد، بنابراین برای بررسی هر شبکه کریستالی یک سلول واحد را در نظر می‌گیریم. سلول واحد یک زیر مجموعه‌ای از یک شبکه کریستالی است که مشخصه‌ای کلی از یک کریستال را داراست. به عبارت دیگر یک کریستال ممکن است از میلیون‌ها سلول واحد تشکیل شده باشد. به شکل ۱۳ نگاه کنید، یک روبیک



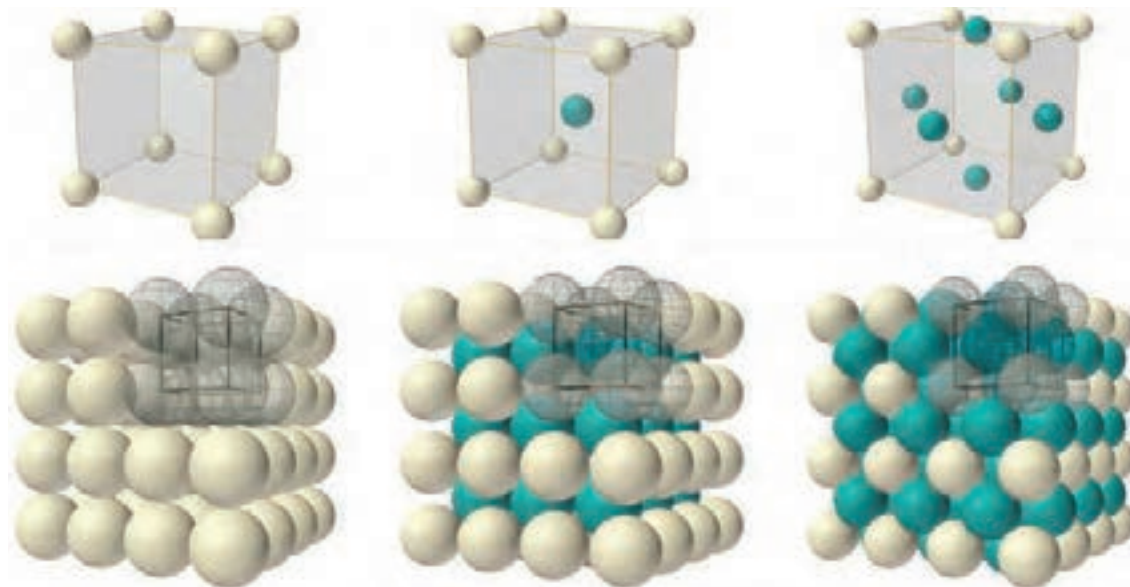
شکل ۱۳- روبیک

در شکل ۱۴ تکرار چیدمان سلول واحد در جهت محورهای  $x$ ،  $y$  و  $z$  نشان داده شده است.



شکل ۱۴- نحوه تشکیل شدن یک کریستال توسط یک سلول واحد

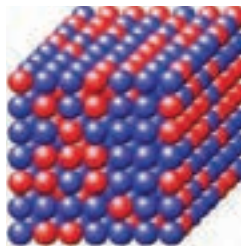
به شکل‌های زیر نگاه کنید و بگویید نقاط شبکه (نقاط مربوط به اتم یا یون) در کدام قسمت از سلول‌های واحد قرار می‌گیرند؟



شبکه‌های چهارده گانه برآویس در هفت سیستم کریستالی دسته‌بندی می‌شوند. این سیستم‌های کریستالی شامل مکعبی، تتراگونال، اورترومبیک، هگزاگونال، مونوکلینیک، تری کلینیک و رومبوهدرال می‌باشند که در شکل ۱۲ به‌طور کامل نشان داده شده‌اند.

## تقسیم بندی مواد ماهیت ۱- فلزات

آهن، آلومینیوم، مس، نیکل، فولاد و برنج از جمله فلزات و آلیاژهای متداول در صنعت هستند. فلزات دارای خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی بسیار خوبی هستند و دارای پیوند فلزی هستند. فلزات در صنعت به ندرت به‌صورت خالص استفاده می‌شوند و برای بهبود خواص آنها، معمولاً عناصر فلزی را با یکدیگر و یا با عناصر غیرفلزی آلیاژسازی می‌شوند. آلیاژ ماده‌ای است که خواص فلزی دارد و از دو یا چند عنصر شیمیایی تشکیل شده که حداقل یکی از آنها فلز است. فولاد و برنج از جمله آلیاژهای مورد استفاده در صنعت هستند.



شکل ۱۵- نحوه قرارگیری اتم‌ها در آلیاژ

بررسی کنید آلیاژهای فولاد و برنج از چه عناصری تشکیل می‌شوند؟



سؤال

## ۲-سرامیک‌ها

از فراوان‌ترین عناصر موجود در پوسته زمین عناصر سیلیسیم (Si) اکسیژن (O) و آلومینیم (Al) می‌باشند. حاصل کنار هم قرار گرفتن این عناصر و همچنین حضور تعداد دیگری از عناصر، مجموعه‌ای وسیع از مواد اولیه فراهم می‌کند که غیرفلز و غیرآلی هستند و از آنها در ساخت محصولات سرامیکی استفاده می‌شود. اما مواد سرامیکی جدید از ترکیب کردن عناصر فلزی با تعدادی از عناصر غیرفلزی تشکیل می‌شوند. موادی نظیر اکسیدها، نیتrideها و کاربیدها را می‌توان نام برد.

بررسی کنید در ساختار سرامیک‌ها چه نوع پیوندهایی بیشتر به کار رفته‌اند؟ چرا؟



سؤال

مهم‌ترین ویژگی سرامیک‌ها شامل موارد زیر می‌شود:

- ترد و شکننده
- سختی بالا
- عایق الکتریسیته و حرارت
- مقاومت بالا در محیط‌های خورنده
- نقطه ذوب بالا

سرامیک‌ها می‌توانند شفاف یا مات باشند و بعضی از آنها دارای خواص مغناطیسی هستند. در شکل ۱۶ نمونه‌هایی از سرامیک‌های شفاف نشان داده شده است.



شکل ۱۶- نمونه‌هایی از سرامیک‌های شفاف (YAG)



سؤال

بررسی کنید در هر یک از کاربردهای زیر چه ویژگی از سرامیک‌ها مورد توجه قرار داشته است؟

کاربرد	ویژگی مورد نظر سرامیک در این کاربرد
ساینده از جنس سیلیسیم کاربید	
آلومینا در لامپ‌های هالیدی	
آستر سیلیسیم نیتريد در توربین‌های حرارتی	
آجرهای نسوز	

### ۳- پلیمرها

الکتریسیته، پایداری شیمیایی و شکل پذیری بالا است. بیشتر این مواد چگالی کم و نسبت استحکام به وزن مناسب دارند که بسیار بهتر از فلزات و حتی سرامیک‌ها است. پلیمرها به راحتی به اشکال پیچیده تر درمی آیند، زیرا در دمای بالا خاصیت جاری شدن این مواد به شدت افزایش می یابد و امکان قالب گیری آنها به شکل های مختلف فراهم می شود. اما مقاومت حرارتی آنها کم است و همین امر استفاده از آنها را محدود کرده است.

پلیمرها از زنجیره های بلند کربنی (مونومر) در کنار یکدیگر به وجود می آیند و پیوند بین اتمی در پلیمرها از نوع پیوندهای ثانویه است. این مواد شامل دو گروه اصلی پلاستیک ها و لاستیک ها هستند. تعداد زیادی از پلیمرها دارای پایه آلی هستند مانند لاستیک که از صمغ نوعی درخت خاص تهیه می شود. از جمله پلیمرهای بسیار رایج پلی اتیلن (PE)، نایلون و پلی وینیل کلراید (PVC) هستند.

خواص پلیمرها چگالی کم، مقاوم در برابر خوردگی، عایق

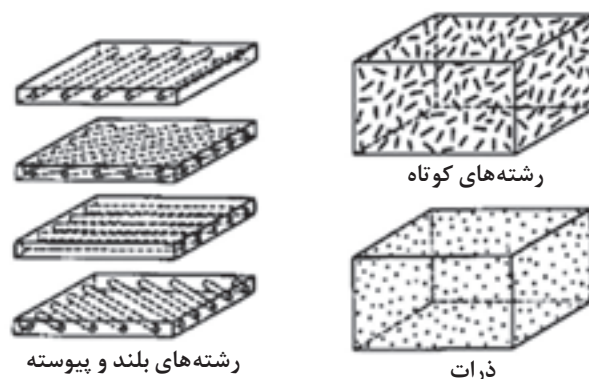


شکل ۱۷- مواد پلیمری مختلف

## ۴- کامپوزیت‌ها

را بهبود می‌بخشند. معمولاً کامپوزیت‌ها از دو جزء شامل جزء زمینه و جزء تقویت‌کننده تشکیل شده است. کامپوزیت‌ها برحسب نوع زمینه به سه دسته زمینه فلزی، سرامیکی و پلیمری تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل ۱۸ کامپوزیت‌های مختلف براساس نحوه قرارگیری شکل جزء تقویت‌کننده در زمینه نشان داده شده است.

در کاربردهای مهندسی امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص مورد نظر را فراهم کند، وجود ندارد. به‌عنوان مثال در صنایع هوافضا به موادی نیاز است که علاوه بر استحکام بالا، ویژگی‌های دیگری نظیر سبکی، مقاومت به خوردگی و سایش بالا داشته باشد. کامپوزیت‌ها ترکیبی از دو یا چند ماده با خواص متفاوت هستند که هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده خواص خود را حفظ می‌کنند و همچنین در کنار هم خواص قطعه



شکل ۱۸ - کامپوزیت‌های مختلف براساس شکل جزء تقویت‌کننده

لیستی از کامپوزیت‌های مختلف تهیه کنید و کاربرد هر یک از آنها را مشخص کنید.



سؤال

## خواص مواد

ساختار مواد ارتباط بین اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن ماده را مشخص می‌کند. نحوه اتصال میان اتم‌ها و یون‌ها به وسیله پیوندهای شیمیایی مشخص می‌شود. اگر نحوه اتصال (نوع پیوند) اتم‌ها متفاوت باشد، حتماً خاصیت ماده نیز متفاوت خواهد بود.

خواص مواد شامل چهار دسته خواص شیمیایی، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی و خواص تکنولوژیکی می‌شود:

آیا تا به حال از خود پرسیده‌اید که چرا مواد مختلف خواص متفاوتی دارند؟ چرا برخی از مواد استحکام بیشتری دارند؟ چرا برخی از مواد قابلیت دارند که به شکل‌های مختلف ساخته شوند؟ چرا برخی از مواد، رسانا و برخی دیگر نارسنا هستند؟ تفاوت خواص مواد، تنها به عناصر تشکیل‌دهنده ارتباط ندارد. برخی از مواد با وجود دارا بودن عناصر تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی متفاوت با یکدیگر، خواص و رفتار مشابهی دارند.

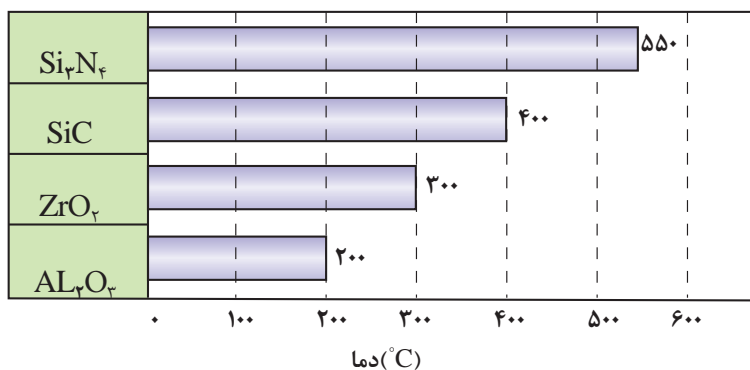


## خواص شیمیایی مواد

به فردی دارند. سرامیک‌هایی که دارای پیوند یونی هستند، در مقابل واکنش‌هایی که منجر به اکسید شدن یا زنگ‌زدگی در مقابل گازهای خورنده در دمای بسیار بالا می‌شوند مقاوم هستند. همچنین اتصالات کووالانسی در سرامیک‌ها باعث می‌شود که پایداری حرارتی مناسب در دماهای بسیار بالا داشته باشند و دچار تغییرات ابعادی بسیار کمی شوند. بنابراین سرامیک‌ها در مقابل تمامی اسیدها با غلظت ۱۰۰ درصد (به جز اسید فلئوئوریدریک) پایداری دارند. همچنین در کوره‌های دما بالا تا ۳۰۰۰ درجه سلسیوس نظیر کوره‌های ذوب فلزات کاربرد دارند.

همان‌طور که می‌دانید مواد از اتم‌ها تشکیل می‌شوند. برای اینکه تخمینی از تعداد اتم‌های موجود در یک جسم به‌دست آورید سر یک سوزن را در نظر بگیرید؛ تقریباً در سر سوزن در حدود  $۳۵ \times 10^9$  اتم وجود دارد. برای تشکیل یک ماده لازم است که اتم‌ها در کنار یکدیگر قرار گیرند که این امر توسط پیوندهای اتمی انجام می‌پذیرد. همان‌طور که گفته شد نوع عناصر و نوع پیوند موجود در اجزای تشکیل‌دهنده مواد باعث ایجاد خواص شیمیایی مواد می‌شود.

سرامیک‌ها دارای پیوندهای یونی و کووالانسی هستند و با توجه به ویژگی این پیوندها خواص شیمیایی منحصر

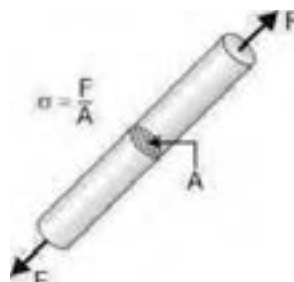


شکل ۱۹- نمودار مقایسه پایداری حرارتی چند نوع سرامیک

## خواص مکانیکی

قطعات معمولاً طوری طراحی می‌شوند که بتوانند نیروهای مختلفی را تحمل کنند. اعمال نیرو و میزان آن تا جایی ادامه می‌یابد که قطعه یا جز مورد نظر دچار تغییر شکل دائم و یا شکست نشود. رابطه میان نیرو و تغییر شکل با بررسی خواص مکانیکی مواد سنجیده می‌شود.

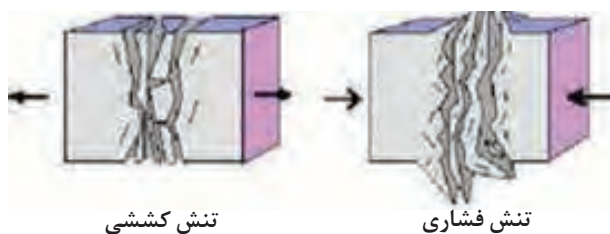
یکی از مهم‌ترین مفاهیمی که در شناخت خواص مکانیکی مواد اهمیت دارد، تنش نامیده می‌شود. تنش از تقسیم مقدار نیرو بر واحد سطح به دست می‌آید. واحد تنش نیوتن بر متر مربع است که با پاسکال (Pa) نشان داده می‌شود.



شکل ۲۰- مفهوم تنش

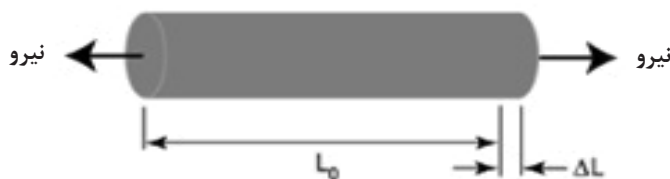


تنشی که باعث کشیده شدن جسم می‌شود تنش کششی و تنشی که موجب کوتاه‌تر شدن طول جسم می‌شود را تنش فشاری می‌نامند. در شکل ۲۱ تنش‌های کششی و فشاری نشان داده شده است.



شکل ۲۱

تمام مواد جامد موجود در طبیعت در اثر اعمال نیرو دچار تغییر طول‌های کوچک یا بزرگ می‌شوند. البته این تغییر شکل در بسیاری از آنها غیرقابل مشاهده است. میزان تغییر ابعاد قطعه در اثر وارد آمدن تنش کرنش نامیده می‌شود. در حقیقت، کرنش اندازه تغییر شکل حاصل از اثر نیرو را به ما نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- مفهوم کرنش

میزان کرنش فلزات، پلیمرها و سرامیک‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.



سؤال

در این قسمت برخی از مهم‌ترین خواص مکانیکی نظیر استحکام، سختی و چقرمگی بیان خواهد شد:

## استحکام

فشاری بدون ایجاد شکستگی در قطعه اطلاق می‌شود. سرامیک‌ها به دلیل نوع پیوندهای خود، اغلب دارای مقاومت فشاری سرد بالایی هستند و به راحتی در مقابل نیروهای فشاری دچار تغییر ابعاد نمی‌شود. مقاومت کششی سرامیک‌ها در دماهای پایین مناسب نمی‌باشد اما مقاومت کششی مناسبی در دماهای بالا دارند.

استحکام عبارت است از میزان مقاومت یک جسم در برابر تغییر شکل، بدون آنکه دچار شکست شود. استحکام فشاری و کششی از مهم‌ترین مفاهیمی هستند که مورد بررسی قرار می‌گیرند. استحکام کششی به میزان مقاومت یا توانایی جسم در تحمل نیروهای کششی بدون آنکه شکسته شود، گفته می‌شود. استحکام فشاری نیز به‌طور معکوس به میزان توانایی یک جسم در تحمل نیروهای

## جدول ۲- استحکام مواد گوناگون

ماده	استحکام کششی (مگا پاسکال) (MPa)	استحکام فشاری (مگا پاسکال)
چوب	۵-۲	۲۰-۱۰
پلیمر	۱۰۰-۶۰	۱۵-۱۰
آلومینیوم و آلیاژهای آن	۶۰۰-۱۰۰	۱۰۰-۳۰
شیشه	۱۵۰-۴۰	۱۰۰۰
پرسلان	۲۰۰-۱۰۰	۸۰۰-۴۰۰
کاربید سیلیسیم	۳۱۰	۲۵۰۰-۱۷۲۵

چرا سرامیک‌ها در دماهای بالا مقاومت کششی مناسبی دارند در حالی که در دماهای پایین مقاومت کششی اغلب آنها کمتر از فلزات است؟



سؤال

## سختی

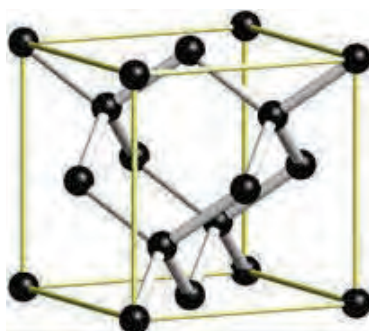
طوری که هر چقدر سختی بیشتر شود، استحکام نیز افزایش خواهد یافت. از طرفی می‌توان انتظار داشت که ماده سخت به راحتی در مواد دیگری که دارای سختی کمتر از آن هستند، ایجاد خراش کند.

میزان مقاومت یک ماده در برابر خراش برداشتن توسط اجسام خارجی را سختی می‌نامند و هر چقدر سختی یک ماده بیشتر باشد، مقاومت به خراش آن بیشتر خواهد بود. سختی رابطه مستقیمی با استحکام دارد، به



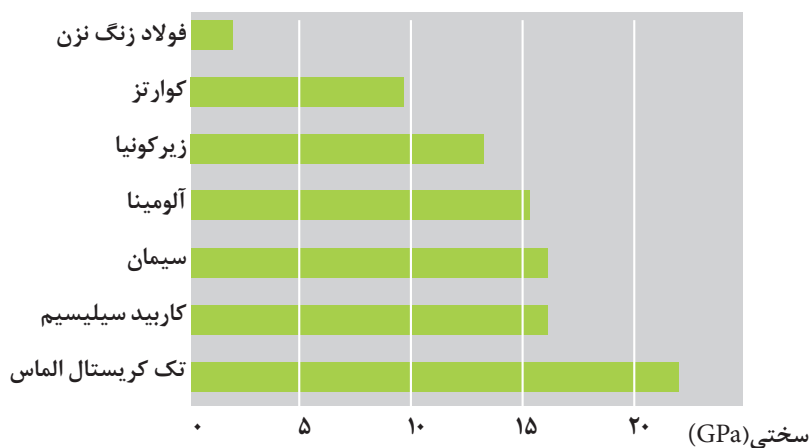
شکل ۲۲- روش‌های دستی و دستگاهی تعیین سختی

در میان مواد طبیعی، الماس به دلیل داشتن پیوندهای کووالانسی قوی میان اتم‌های سازنده آن که همان کربن است، سخت‌ترین ماده است.



شکل ۲۴- تصویر الماس و ساختار کریستالی آن

سرامیک‌ها در مقایسه با فلزات به خاطر نوع پیوند کووالانسی، دارای سختی بسیار بالایی نسبت به فلزات هستند. در شکل ۲۵ سختی سرامیک‌های مختلف را می‌توان مقایسه کرد.



شکل ۲۵- مقایسه سختی سرامیک‌های مختلف

در مورد روش‌های سختی سنجی تحقیق کنید و تفاوت روش‌ها را بیان کنید.



سؤال

## چقرمگی

ماده چقرمه به ماده‌ای گفته می‌شود که در برابر ایجاد ترک و گسترش ترک مقاومت کند. مواد ترد مثل شیشه از چقرمگی بسیار پایینی برخوردار هستند. هر گاه در اثر ضربه ترک کوچکی در آن ایجاد شود این ترک به سرعت در تمام سطح قطعه گسترش می‌یابد. ماده‌ای که بتواند انرژی ناشی از ضربه را بدون شکسته شدن تحمل کند، آن ماده چقرمه‌تر خواهد بود. استفاده از پلاستیک در سپر اتومبیل نیز به دلیل چقرمگی بالای آنها نسبت به فلزات است.



شکل ۲۶- گسترش ترک و مقاومت ماده در برابر آن (چقرمگی)

چند مادهٔ سرامیکی با چقرمگی بالا نام ببرید.



سؤال

## خواص فیزیکی

خواص فیزیکی مواد، به ساختمان اتمی آنها بستگی دارد. نوع پیوند میان اتم‌ها و چگونگی قرار گیری آنها در کنار یکدیگر از مواردی است که بر این خاصیت تأثیر مستقیمی دارد. مهم‌ترین این خواص عبارت‌اند از:

- ۱- نقطهٔ ذوب
- ۲- ضریب انبساط حرارتی
- ۳- جرم مخصوص
- ۴- قابلیت هدایت جریان الکتریکی و حرارتی

## نقطه ذوب:

نقطهٔ ذوب، درجه حرارتی است که مادهٔ جامد در آن درجه حرارت به حالت مایع تبدیل می‌شود. برای مثال این درجه حرارت برای یخ، صفر درجه سلسیوس است. مواد و عناصر خالص دمای ذوب ثابتی دارند. هرچه استحکام و قدرت پیوند اتمی در ماده بیشتر باشد، نقطه ذوب افزایش می‌یابد. در جدول ۳ نقطه ذوب مواد مختلف بیان شده است.

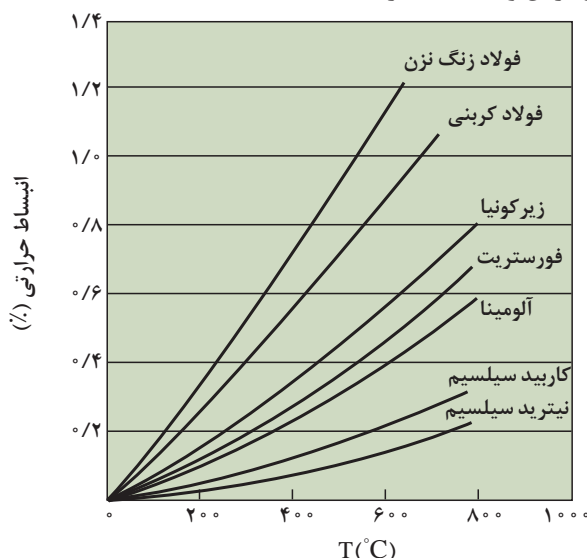
جدول ۳ - نقطه ذوب مواد مختلف

نقطه ذوب (°C)	ماده
۲۰۵۰	آلومینا ( $Al_2O_3$ )
۲۸۰۰	سیلیکون کاربید (SiC)
۲۶۶۰	زیرکونیا ( $ZrO_2$ )
۱۳۷۰	فولاد
۶۶۰	آلومینیوم (Al)

## انبساط حرارتی

با افزایش حرارت افزایش ابعاد می‌یابند. هر ماده‌ای ضریب انبساط حرارتی مخصوص به خود دارد که در بسیاری از کاربردها، این ضریب از اهمیت خاصی برخوردار است.

بیشتر مواد جامد (به جز تعداد محدودی از آنها) با افزایش درجه حرارت افزایش طول پیدا می‌کنند و با کاهش درجه حرارت (سرد شدن) طول آنها کاهش می‌یابد. جامدات نه تنها از لحاظ طول، بلکه از عرض و ضخامت نیز



شکل ۲۷- اثر افزایش دما بر ضریب انبساط حرارتی

بررسی کنید نوع پیوند اتمی چه تأثیری بر ضریب انبساط حرارتی دارد؟



سؤال

## جرم مخصوص

جرم واحد حجم هر ماده را جرم مخصوص می‌گویند که برای هر ماده مقدار معین و ثابتی است که به نوع و ساختمان ماده بستگی دارد. هر چه ماده ای متراکم‌تر باشد، جرم مخصوص بیشتری خواهد داشت. در جدول ۴ جرم مخصوص مواد مختلف بیان شده است.

جدول ۴- جرم مخصوص مواد مختلف

جرم مخصوص ( $\text{g/cm}^3$ )	ماده
۳/۹۶	آلومینا ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
۳/۲۱	سیلیکون کاربید ( $\text{SiC}$ )
۵/۶۸	زیرکونیا ( $\text{ZrO}_2$ )
۸	فولاد
۲/۷	آلومینیوم ( $\text{Al}$ )

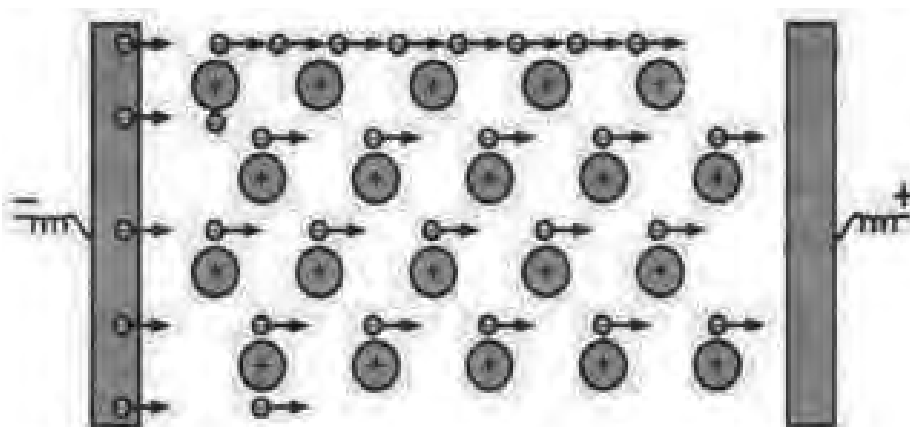


عوامل مؤثر بر ضرایب انبساط حرارتی را بررسی کنید.

## قابلیت هدایت جریان الکتریکی و حرارتی

اثر مقاومت اتم‌ها در برابر حرکت الکترون‌ها و جریان الکتریکی به صورت گرما در ماده نشان داده می‌شود، (یعنی هر چقدر مقاومت در برابر عبور جریان بیشتر باشد، ماده گرم‌تر خواهد شد). درست به همین دلیل است که گرم‌کن‌های برقی با استفاده از چند مفتول فلزی گرمای زیادی تولید می‌کنند.

میزان سهولت در عبور حرارت یا جریان الکتریکی از خصوصیات مهم مواد است. چنانچه ماده‌ای قابلیت عبور جریان الکتریکی از درون خود را نداشته باشد به آن ماده **نارسانا** و در صورتی که ماده‌ای دارای این قابلیت باشد، آن را رسانا می‌گویند. در حقیقت هرچقدر ماده‌ای رساناتر باشد، اتم‌های آن ماده در برابر عبور جریان الکتریکی مقاومت کمتری ایجاد می‌کنند.



شکل ۲۸- هدایت الکتریکی

قابلیت هدایت حرارتی عبارت است از توانایی یک جسم در انتقال حرارت از نقطه‌ای به نقطه دیگر. هرچقدر این قابلیت بیشتر باشد ماده با اتلاف انرژی کمتری حرارت را از خود عبور می‌دهد و به جای دیگری می‌برد. برای مثال تاکنون توجه کرده‌اید که یک قاشق فلزی در داخل ظرف فلزی غذایی که روی اجاق گاز قرار دارد، بسیار گرم‌تر از قاشق چوبی است. در جدول ۵ هدایت و مقاومت الکتریکی مواد مختلف بیان شده است.

هدایت الکتریکی و هدایت حرارتی، رابطه‌ای تنگاتنگ با یکدیگر دارند. در بیشتر موارد هر چقدر ضریب هدایت الکتریکی بیشتر باشد، ضریب هدایت حرارتی بیشتر است و ماده حرارت را، راحت‌تر عبور می‌دهد. علت این ارتباط آن است که الکترون‌ها عامل اصلی انتقال گرما و الکتریسیته در ماده هستند. در جدول ۵ هدایت حرارتی و مقاومت الکتریکی مواد مختلف بیان شده است.

جدول ۵ - هدایت الکتریکی و مقاومت الکتریکی مواد مختلف

مواد	مقاومت الکتریکی ( $\Omega$ )	هدایت الکتریکی ( $\Omega \times m$ )
نقره	$1/59 \times 10^{-2}$	$6/30 \times 10^2$
مس	$1/68 \times 10^{-2}$	$5/96 \times 10^2$
طلا	$2/44 \times 10^{-2}$	$4/10 \times 10^2$
آلومینیوم	$2/82 \times 10^{-2}$	$3/5 \times 10^2$
کلسیم	$3/36 \times 10^{-2}$	$2/98 \times 10^2$
تنگستن	$5/60 \times 10^{-2}$	$1/79 \times 10^2$
روی	$5/90 \times 10^{-2}$	$1/69 \times 10^2$
نیکل	$6/99 \times 10^{-2}$	$1/43 \times 10^2$
لیتیم	$9/28 \times 10^{-2}$	$1/08 \times 10^2$
آهن	$1/0 \times 10^{-2}$	$1/00 \times 10^2$
پلاتین	$1/06 \times 10^{-2}$	$9/43 \times 10^2$
قلع	$1/09 \times 10^{-2}$	$9/17 \times 10^2$
فولاد زنگ‌نزن	$6/09 \times 10^{-2}$	$1/45 \times 10^2$
جیوه	$9/8 \times 10^{-2}$	$1/02 \times 10^2$
آب دریا	$2 \times 10^{-1}$	$8/4$
آب آشامیدنی	$2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-2}$
سیلیکون	$6/400 \times 10^3$	$1/56 \times 10^{-3}$



به نظر شما فلزات هدایت حرارتی بیشتری دارند یا سرامیک‌ها؟ چرا؟



سؤال

## خواص تکنولوژیکی مواد

در مورد خواص تکنولوژیکی به بررسی خواصی که در هنگام تولید قطعه موردتوجه است پرداخته می‌شود، مهم‌ترین این خواص شامل مواد زیر است:

### قابلیت چکش خواری

توانمندی تغییر شکل مواد به کمک نیروی فشاری و ضربه، قابلیت چکش خواری می‌نامند. به عنوان مثال فولاد، مس و برنج را می‌توان تحت تأثیر نیروی فشاری تغییر شکل داد و عملیاتی مانند نورد، خم کاری و آهنگری را روی آنها انجام داد. سرامیک‌ها برخلاف فلزات دارای قابلیت چکش خواری نمی‌باشند.



چرا سرامیک‌ها قابلیت چکش خواری ندارند؟



سؤال

### قابلیت ریخته گری

این مفهوم رابطه تنگاتنگی با شکل پذیری دارد. برخی از مواد را می توان به خوبی توسط فرایند ریخته گری تولید کرد. این مواد به دلیل خاصیت سیالیت در حالت مذاب، مقاطع نازک را در قالب های ریخته گری به خوبی پر می کنند. از این جمله می توان به چدن و آلومینیوم اشاره کرد، که دارای قابلیت ریخته گری مناسبی هستند.



ریخته گری مذاب در تولید چه نوع از محصولات سرامیکی کاربرد دارد؟



سؤال

### قابلیت جوشکاری

موادی دارای قابلیت جوشکاری می باشند، که بتوان آنها را به کمک حرارت یا حرارت همراه با فشار، به صورت مذاب به یکدیگر متصل کرد. فولادها و بعضی از فلزات غیرآهنی قابلیت جوشکاری دارند.



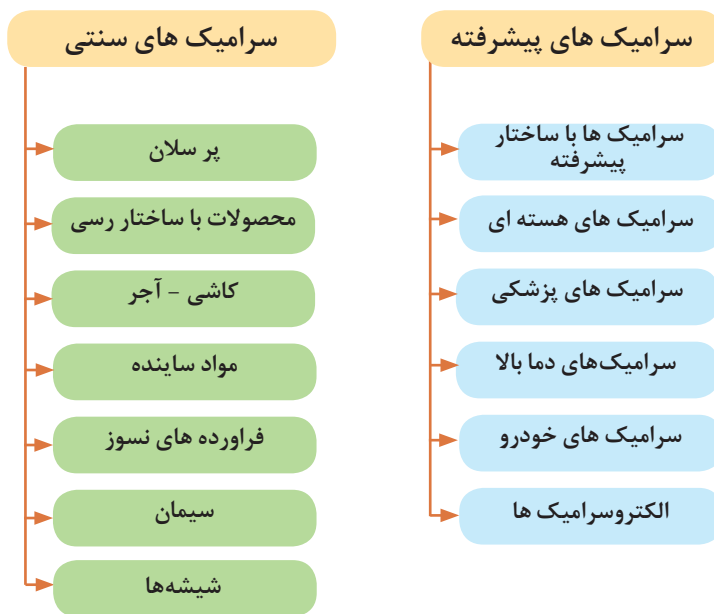
### قابلیت براده برداری

موادی دارای قابلیت براده برداری هستند که بتوان آنها را با سرعت زیاد و نیروی کم ماشین کاری (براده برداری) کرد و سطح آنها پس از براده برداری همچنان صاف و پرداخت شده باشد.

## انواع مواد سرامیکی

بسیار خالص مانند آلومینا و زیرکونیا، سوخت‌های هسته‌ای، کاربردها و نیتريدها و شیشه سرامیک‌ها در دسته سرامیک‌های مهندسی قرار می‌گیرند. در شکل ۲۸ کاربردهای مختلف سرامیک‌های سنتی و پیشرفته نشان داده شده است.

عموماً مواد سرامیکی در کاربردهای صنعتی به دو گروه تقسیم می‌شوند: سنتی و پیشرفته. مواد سرامیکی سنتی عمدتاً سرامیک‌های سیلیکاتی هستند که شامل آجرها، کاشی‌ها، چینی‌ها و شیشه‌ها می‌شوند. سرامیک‌های پیشرفته دارای خواص حرارتی، مکانیکی و شیمیایی ویژه‌ای هستند. سرامیک‌های اکسیدی



شکل ۲۹- دسته بندی سرامیک‌ها

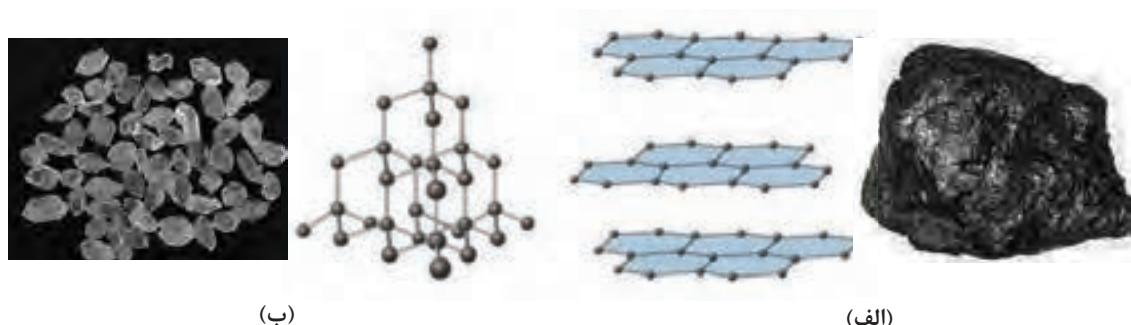
کاربردهای سرامیکی بیان شده در نمودار بالا از ترکیب شدن مواد سرامیکی که در زیر بیان شده ایجاد می‌شود.

## ۱- مواد سرامیکی تک عنصری

دارد. کربن براساس ساختار کریستالی اهمیت صنعتی فراوانی دارند. کربن به صورت گرافیت به دلیل داشتن ساختار لایه‌ای و تنش برشی بحرانی بسیار پایین، به عنوان ماده روانکار برای کاهش اصطکاک لغزشی بین سطح تماس قطعات در درجه حرارت‌های بالا به کار می‌رود. همچنین به دلیل نقطه ذوب بالا در ساخت راکتورهای اتمی (در ترمزکننده‌ها و غلاف سوخت) و در ساخت ذوب نیز کاربرد دارد. کربن به صورت الماس برای ابزار برش کاربرد فراوان دارد.

مواد سرامیکی تک عنصری شامل اتم‌های چهار ظرفیتی نظیر Si، C و Ge هستند. عنصر بُر (B) نیز از مواد سرامیکی تک عنصری محسوب می‌شود. این عنصر در دمای بیش از  $2000^{\circ}\text{C}$  ذوب می‌شود و گاهی به صورت الیاف در کامپوزیت‌ها، به منظور بهبود خواص مواد دیگر به کار می‌رود که در صنعت هوا- فضا کاربرد زیادی دارد. Si و Ge به عنوان مواد اصلی نیمه هادی‌ها به کار می‌روند.

کربن به دلیل دارا بودن خصوصیتی نظیر استحکام زیاد، وزن کم و مقاومت در برابر خوردگی و حرارت کاربرد زیادی



شکل ۳۰- الف) ساختار گرافیت ب) ساختار الماس

در جدول ۶ خواص مختلف الماس و گرافیت بیان شده است.

جدول ۶- مقایسه خواص مختلف الماس و گرافیت

خواص	الماس	گرافیت
نقطه ذوب ( $^{\circ}\text{C}$ )	۴۱۰۰	۳۷۵۰
چگالی ( $\text{g} / \text{cm}^3$ )	۲/۲۶	۱/۴-۲
پایداری در مقابل واکنش‌های شیمیایی	دارد	دارد
هدایت الکتریکی	ندارد	در بین لایه‌ها هدایت الکتریکی دارد

چرا گرافیت تنها در بین لایه‌ها، هدایت الکتریکی دارد؟



سؤال

## ۲- مواد سرامیکی غیراکسیدی

مواد سرامیکی غیراکسیدی یکی از گروه‌های مهم مواد سرامیکی است. این مواد از بیش از یک نوع اتم تشکیل شده‌اند. ترکیبات این گروه از مواد سرامیکی را بیشتر عناصر  $\text{C}$ ،  $\text{Si}$  و  $\text{Ge}$  و همچنین  $\text{H}$ ،  $\text{N}$ ،  $\text{B}$  تشکیل می‌دهند، به عنوان مثال ترکیبات نیتريدی و کاربیدی که به عنوان مواد مقاوم در حرارت‌های بالا در ماشین‌های حرارتی کاربرد دارند. این گروه از مواد سرامیکی پایداری خوبی در برابر حرارت دارند مانند ترکیب  $\text{Si}_3\text{N}_4$  که می‌تواند درجه حرارتی تا  $1400^{\circ}\text{C}$  را تحمل کند. این ترکیب از واکنش پودر سیلیسیم تحت جریان گاز نیتروژن و در دما فشار زیاد ایجاد می‌شود، برای مثال پره توربین با این روش تولید شده است.

مواد سرامیکی غیراکسیدی یکی از گروه‌های مهم مواد سرامیکی است. این مواد از بیش از یک نوع اتم تشکیل شده‌اند. ترکیبات این گروه از مواد سرامیکی را بیشتر عناصر  $\text{C}$ ،  $\text{Si}$  و  $\text{Ge}$  و همچنین  $\text{H}$ ،  $\text{N}$ ،  $\text{B}$  تشکیل می‌دهند، به عنوان مثال ترکیبات نیتريدی و کاربیدی که به عنوان مواد مقاوم در حرارت‌های بالا در ماشین‌های حرارتی کاربرد دارند. این گروه از مواد



شکل ۳۱- پره توربین  $\text{Si}_3\text{N}_4$

در ساخت موتورهای با پیستون چرخشی به عنوان سرسوپاپ به کار می رود. اما سطح خارجی سرامیک های غیراکسیدی در درجه حرارت های بسیار بالا در معرض خطر اکسید شدن قرار می گیرد در صورتی که این خطر در سرامیک های اکسیدی دیده نمی شود.

کاربرد دیگر سرامیک غیر اکسیدی مربوط به سختی بالای آنها است. قطعاتی که در معرض اصطکاک و نیروی سایشی قرار دارند، با لایه ای از این مواد پوشش داده می شود و یا به طور کامل از این دسته از سرامیک ساخته می شود. به طور مثال،  $\text{Si}_3\text{N}_4$  نیتريد سيلسیم



شکل ۳۲- سرسوپاپ  $\text{Si}_3\text{N}_4$

علاوه بر نقطه ذوب بالا از فازهای پایداری نیز تشکیل شده باشند تا تمایل به واکنش های شیمیایی نداشته باشند. برای این منظور اکسیدهای فلزی چند ظرفیتی مناسب هستند. همچنین باید تغییرات حجم زیادی در هنگام گرم و سرد کردن نداشته باشند؛ به عبارتی دیگر ضریب انبساط حرارتی آنها جزئی بوده و همچنین تبدیل فاز در حالت جامد در آنها ایجاد نشود.

### ۳- مواد سرامیکی اکسیدی

گروه دیگر از مواد سرامیکی مواد اکسیدی است.

از میان سرامیک های اکسیدی می توان آلومینا ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )، زیرکونیا ( $\text{ZrO}_2$ )، توریا ( $\text{ThO}_2$ )، برلیا ( $\text{BeO}$ ) و منیزیا ( $\text{MgO}$ ) را نام برد. اکسیدهای به کار برده برای تولید این مواد، باید تا حد امکان از اکسیدهای خالص باشد. سرامیک های اکسیدی که کاربرد دیرگداز دارند، باید



شکل ۳۳- آجرهای دیرگداز سیلیسی

از جمله مواد سرامیکی اکسیدی پرسیلان‌ها هستند. مواد خام پرسیلان‌ها شامل مواد معدنی از قبیل کائولینیت، فلدسپات و کوارتز می‌شود.

در جدول ۷ خواص برخی از سرامیک‌های اکسیدی و غیراکسیدی مقایسه شده است.

جدول ۷- برخی از خواص سرامیک‌های پیشرفته

مواد	سختی (kg/mm <sup>2</sup> )	چقرمگی (MPa.m <sup>1/2</sup> )	مدول الاستیسیته (GPa)	استحکام (MPa)	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	دمای ذوب (C°)
SiO <sub>2</sub>	۶۵۰	۰/۵	۷/۲	۴۸	۲/۲	۵۰۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۳۰۰	۴/۵	۳۶-۴۰	۲۵۰-۳۰۰	۳/۹۶	۲۰۵۰
ZrO <sub>2</sub>	۱۲۰۰	۶/۹	۱۷-۲۵	۱۱۳-۱۳۰	۵/۶	۲۷۰۰
SiC	۲۵۰۰	۳/۴	۴۰-۴۴	۳۱۰	۳/۲	۳۰۰۰
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	۱۳۰۰	۵	۳۰-۷۰	۴۱۰	۳/۲۴	۱۹۰۰

## ۴- سرامیک‌های پیشرفته

بزرگ دیجیتالی برای ذخیره‌سازی داده‌ها کاربرد دارند. این مواد به دلیل دارا بودن ویژگی مقاومت به خوردگی در دماهای بالا به عنوان کاتالیزورهای واکنش‌های شیمیایی به عنوان سنسور برای ردیابی گازهای خطرناک به کار می‌روند. همچنین به دلیل سازگاری با بدن انسان به عنوان تجهیزات و اجزایی از بدن انسان کاربرد دارند. سرامیک‌های پیشرفته همچنین در سیستم‌های قطع و وصل الکترونیکی در وسایلی نظیر سیستم‌های فلورسنتی با فرکانس بالا و فیلترهای مخابراتی اهمیت خاصی دارند.

سرامیک‌های پیشرفته شامل کاربیدها، برابدها، نیتريد‌ها و اکسیدها هستند. این سرامیک‌ها اغلب به دلیل مقاومت سایشی و مقاومت به خوردگی بالایی که در دمای بالا دارند، در ساخت قطعات موتورهای جت و توربین‌ها به کار می‌روند.

گروهی از سرامیک‌های پیشرفته به دلیل داشتن خواص فیزیکی منحصر به فرد در ساخت قطعات الکترونیکی و الکترونیکی، عایق‌های الکتریکی با ولتاژ بالا و پایین، خازن‌ها، میدل‌های سیگنال‌های الکتریکی و به عنوان سرامیک‌های مغناطیسی در کامپیوترهای



شکل ۳۴- سرامیک‌های پیشرفته

از جمله سرامیک‌های پیشرفته می‌توان موارد زیر را نام برد:

#### کاربید سیلیسیم (SiC):

این ماده به دلیل مقاومت به خوردگی مناسب در دماهای بالا، مقاومت سایشی خزشی و حرارتی بالا اهمیت صنعتی ویژه‌ای یافته است، اما SiC ترد بوده و چقرمگی شکست پایینی دارد. استحکام کاربید سیلیسیم می‌تواند تا حدود ۴۶۰ MPa و چقرمگی شکست آن تا حدود  $5 \text{ MPa.m}^{1/2}$  برسد. اغلب به عنوان لایه پوششی برای فلزات و کامپوزیت‌های کربن - کربن به کار می‌رود. همچنین به صورت ذرات و الیاف تقویت کننده در کامپوزیت‌های زمینه فلزی و سرامیکی و به دلیل مقاومت خزشی و حرارتی بالا برای دهانه راکتورها و لوله‌های مبدل‌های حرارتی به کار می‌رود.



شکل ۳۵- سرسیلندر از جنس SiC



### کاربید بور ( $B_4C$ ) :

این ماده سرامیکی دارای سختی بالایی بوده و از لحاظ وزن بسیار سبک است. علاوه بر کاربرد به عنوان پوشش هسته‌ای در راکتورهای اتمی با مقاومت سایشی بالایی که دارد، برای ضدگلوله کردن زره پوش‌ها به کار می‌رود اما استحکام این ماده در دماهای بالا زیاد نیست.



شکل ۳۶- زره کاربید بور

### نیتريد سيلسييم ( $Si_3N_4$ ) :

خواص این ماده سرامیکی شبیه کاربید سیلیسیم است اما مقاومت به خوردگی آن در دماهای بالا مقداری کمتری است.  $Si_3N_4$  در ابزار برش، یاتاقان، بلبرینگ، رولبرینگ و موتور به کار می‌رود.



شکل ۳۷- بلبرینگ از جنس  $Si_3N_4$

### نیتريد آلومينيوم ( $AlN$ ) :

عایق الکتریکی خوبی بوده و هدایت حرارتی بالایی دارد.

### زیرکونیا ( $ZrO_2$ ) :

زیرکونیا از لحاظ ریزساختار، بالاترین مقاومت به ضربه را در بین سرامیک‌ها دارد و به همین دلیل در مواردی چون چوب گلف، قیچی سرامیکی، قالب‌های اکستروژن گرم، واشر در شیرها، پروانه پمپ‌های انتقال مواد شیمیایی، سرپیستون و آستریستون‌ها کاربرد دارد. به کارگیری زیرکونیا به عنوان اجزای موتورهای حرارتی باعث شده تا از کاهش دمای موتور جلوگیری شده و بازده موتور افزایش یابد و از طرفی میزان سایش کاهش

یافته و عمر موتور افزایش می‌یابد. در همین راستا به‌عنوان سر سوپاپ، میل لنگ، و بادامک‌ها که مقاومت به سایش در آنها اهمیت دارد، استفاده می‌شود.



شکل ۳۸- گلوله‌های آسیاب زیرکونیایی

#### برای تیتانیوم $TiB_2$ :

این ماده به‌عنوان هادی الکتریسیته و حرارت به کار می‌رود. علاوه بر آن چقرمگی خوبی دارد و در ساخت زره‌های نظامی کاربرد دارد.

#### آلومینا $Al_2O_3$ :

یکی از سرامیک‌های سخت است بنابراین تغییر شکل آن بسیار مشکل است. آلومینا با مقاومت بالایی که در دماهای بالا دارد به‌عنوان ظرف ذوب فلز، ماده عایق در شمع‌های اتومبیل، ماده ترمیم دندان در دندانپزشکی، ماده پرکننده استخوان و ترمیم استخوان‌ها در اورتوپدی و همچنین برای کاربردهای الکتریکی با کیفیت بالا در جایی که اتلاف دی الکتریک پایین و مقاومت بالا مورد نیاز است به کار می‌رود.



شکل ۳۹- کاربردهای مختلف آلومینا

#### اکسید اورانیوم $UO_2$ :

به‌عنوان سوخت راکتورهای هسته‌ای به کار می‌رود.

### شکل دادن سرامیک‌ها:

روش‌های متداول برای شکل دادن سرامیک‌ها عبارت‌اند از: ریخته‌گری دوغابی، روش‌های شکل دادن گل پلاستیک، پرس، ریخته‌گری تحت فشار، شکل دادن نوری، قالب‌گیری تزریقی. بعد از شکل‌دهی قطعه سرامیکی تولید شده، هنوز محکم نیست و شامل آب و مواد افزوده شده است. سپس با فرایند خشک کردن و پخت تخلخل‌ها کاهش یافته و چگالی و استحکام قطعه سرامیکی افزایش یافته و خواص مکانیکی، الکتریکی، نوری، شیمیایی پزشکی و سایر خواص در آنها پدید می‌آید.