بسم الله الرحمن الرحیم

دانش فنی پایه

رشتهٔ سرامیک

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه

۱۳۹۶

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی پایه (رشتهٔ سرامیک) ـ ۲۱۰۵۰۸
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی وتألیف: هادی برزگربفرویی، ندیٰ دیده‌ور، الهام صمدبین، ناصر ضیاییان‌مفید، مهدی اسماعیلی (اعضای شورای مؤلفین)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ ایمان اوجیان (طراح یونیفورم)ـ سیدعلی موسوی (نگاشتارگر [طراح گرافیک] و طراح جلد) ـ جهانگیر سرزارع (صفحه‌آرا)- مریم دهقان‌زاده (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب سایت: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت‌چاپ‌ونشرکتاب‌های‌درسی ایران: تهران-کیلومتر۱۷جادهٔ مخصوص کرج-خیابان ۶۱ (دارو پخش) **تلفن :**۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰
صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم ۱۳۹۶

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 به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۰- ۲۵۷۶ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 2576–0**

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 (قدِّسَ سِرّه الشّریف)

فهرست

فصل اول : کلیات ۹

فصل دوم : مواد و ویژگی های آن ۲۱

فصل سوم : فناوری و سرامیک ۵۳

فصل چهارم : محاسبات در سرامیک ۷۰

فصل پنجم : مقاومت مواد ۸۴

فصل ششم : سرامیک و محیط زیست ۹۹

فهرست منابع ۱۱۴

سخنی با هنرآموزان گرامی

با توجه به آموزه‌های اسلامی، کار و اشتغال از ارزش تربیتی برخوردار است و انسان از طریق کار، نفس‌سرکش را رام کرده و شخصیت وجودی خویش را صیقل داده، هویت خویش را تثبیت کرده و زمینهٔ 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 توسعه‌یافتگی خواهد شد. برای رسیدن به این مهم، برنامه‌ریزی درسی حوزهٔ دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخهٔ 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 فنی‌پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشتهٔ تحصیلی است که هنرجویان در پایهٔ دهم و در آغاز ورود به رشتهٔ تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامهٔ تحصیل در رشتهٔ خود کسب نمایند. درس دانش‌فنی تخصصی که در پایهٔ دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقای دانش تخصصیِ حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامهٔ تحصیل و توسعهٔ حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند.

لازم به یادآوری است که کتاب دانش فنی‌پایه 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 پایهٔ نهم به تحریر درآمده است. محتوای آموزشی کتاب دانش‌فنی‌پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش نظری تأمین می‌کند.

تدریس کتاب در کلاس درس به‌صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

درس دانش‌فنی‌پایه با هدف شناخت مفاهیم، کسب دانشِ‌فنی‌پایه در گروه خدمات و رشتهٔ تحصیلی سرامیک برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.

سخنی با هنرجویان عزیز

درس دانش‌فنی‌پایه با هدف شناخت مفاهیم،کسب‌دانش‌فنی‌پایه درگروه مواد و فراوری و رشته‌تحصیلی‌سرامیک،برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.

در تدوین درس دانش‌فنی‌پایه، موضوعاتی مانند تاریخچهٔ رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشتهٔ تحصیلی، نقش رشتهٔ شما در توسعهٔ 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 وسایل‌کار، مصادیقی از ارتباط مؤثر فنی و مستندسازی، زبان‌فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه‌هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشتهٔ تحصیلی در نظرگرفته 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 وحرفه‌ای و کاردانش

فصل ۱

کلیات

تعریف مختصر از رشته

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

اغلب فرآورده‌های سرامیکی در برابر آب، اسیدها، گازها، نمک‌ها و دماهای بالا مقاومت خوبی دارند. در حال حاضر دانش آموختگان رشته سرامیک با کنترل نوع و نسبت ترکیب مواد اولیه و مراحل ساخت، فراورده‌های گوناگونی مانند کاشی، آجر دیرگداز، 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 عرضه به بازار و ارتباط بین ساختمان و خواص این مواد آموزش داده می‌شود.

مشاغل صنعت سرامیک

امروزه صنایع سرامیک برای توسعه اکثر صنایع اهمیت بسیاری دارند. برای مثال صنایع متالورژی و سایر صنایعی 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 عمده‌کاشی‌سازی، چینی‌سازی، تولیدکننده مواد دیرگداز، تولیدکننده سرامیک‌های الکتریکی، شیشه‌سازی، آجرسازی و سیمان دارد که فارغ‌التحصیلان رشته سرامیک می‌توانند در آنها مشغول به کار شده 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 به محصولات با کیفیت بالاتر مشغول به‌کار 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 را شامل مسئول دستگاه‌های اندازه‌گیری خواص مواد دارند. همچنین با توجه به لزوم به‌کارگیری 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.

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 سرامیکی 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 زمینهٔ 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 پوستهٔ سخت حشرات ایجاد می‌کند که ساختمان‌های طبیعی بسیار پیچیده و باشکوهی دارند. به‌طور مثال محققان مطالعات زیادی را بر روی عنکبوت‌ها انجام داده‌اند و دریافتند که چگونه این حشرات می‌توانند مولکول‌های پروتئینی محلول در آب را به نخ‌های ابریشمی نامحلول که محکم‌تر از کِولار[1] (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.

1-Kevlar

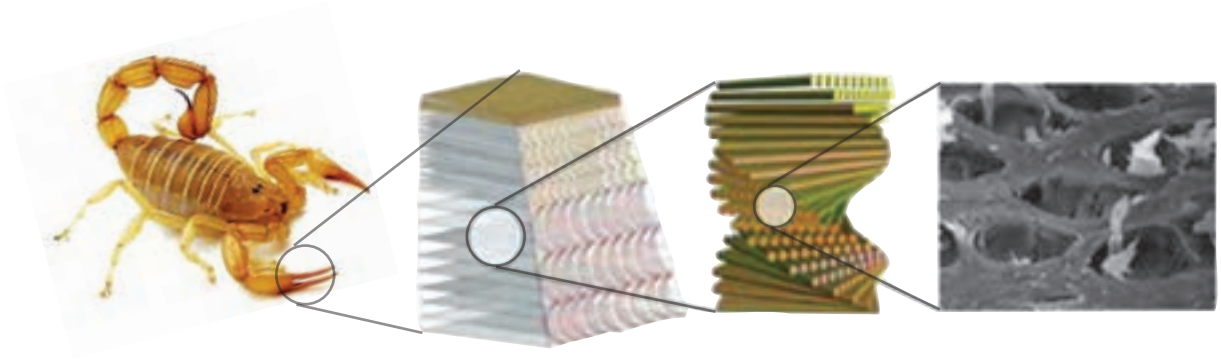
دانشمندان دربارهٔ مواد طبیعی دیگری نیز کارکرده‌اند؛ دندان‌های موش که می‌تواند قوطی‌های فلزی را سوراخ کند و شاخ کرگدن با ویژگی بازسازی و چسب‌های بسیار نیرومند که نرم‌تنان می‌سازند همگی نمونه‌هایی از مواد طبیعی سرامیکی به‌شمار می‌روند.

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 کِولار نام برد که از اسید سولفوریک جوشان با فشار بالا، تهیه می‌شوند. هزینهٔ تأمین انرژی این مرحله بسیار بالا است و موادی که در تهیهٔ آن به‌کار می‌روند بسیار خطرناک بوده و نابود کردن آنها نیز دشوار است. درحالی‌که تار عنکبوت آلودگی محیط‌زیستی نداشته و در هر شرایطی قابل تولید است.

در طبیعت، جانداری مانند صدف می‌تواند مواد ساده‌ای مانند سولفات کلسیم را که به‌طور طبیعی مادهٔ ساختمانی مهمی نیست، تبدیل به صدفِ زیبا و استوار کند. با بررسی صدف در زیر میکروسکوپ الکترونی مشخص شده که صدف دارای لایه‌های بسیار نازک سولفات کلسیم است که در شبکهٔ پروتئینی آلی به ضخامت ده میلیونم 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 واردکردن الیاف در زمینه پروتئینی ساخته شده است.

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



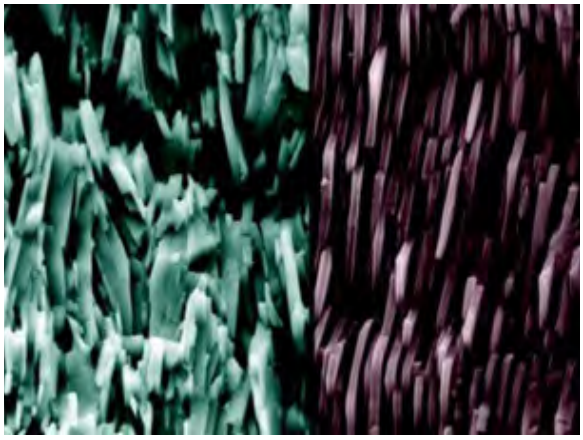
شکل ۱- ساختار کامپوزیتی چنگال عقرب

ساخت فیبرهای نوری با الهام از اسفنج‌های دریایی

فیبرهای نوری می‌توانند با سرعت غیرقابل تصوری 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

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 به‌عنوان پوسته خارجی صدف مروارید و دیگری لایه داخلی پوسته حلزون. کربنات کلسیم که ۹۵درصد این پوسته‌ها را تشکیل می‌دهد بسیار ترد و شکننده 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.



شکل ۲- ساختار پوسته صدف زیر میکروسکوپ

تاریخچه مواد و علم مواد

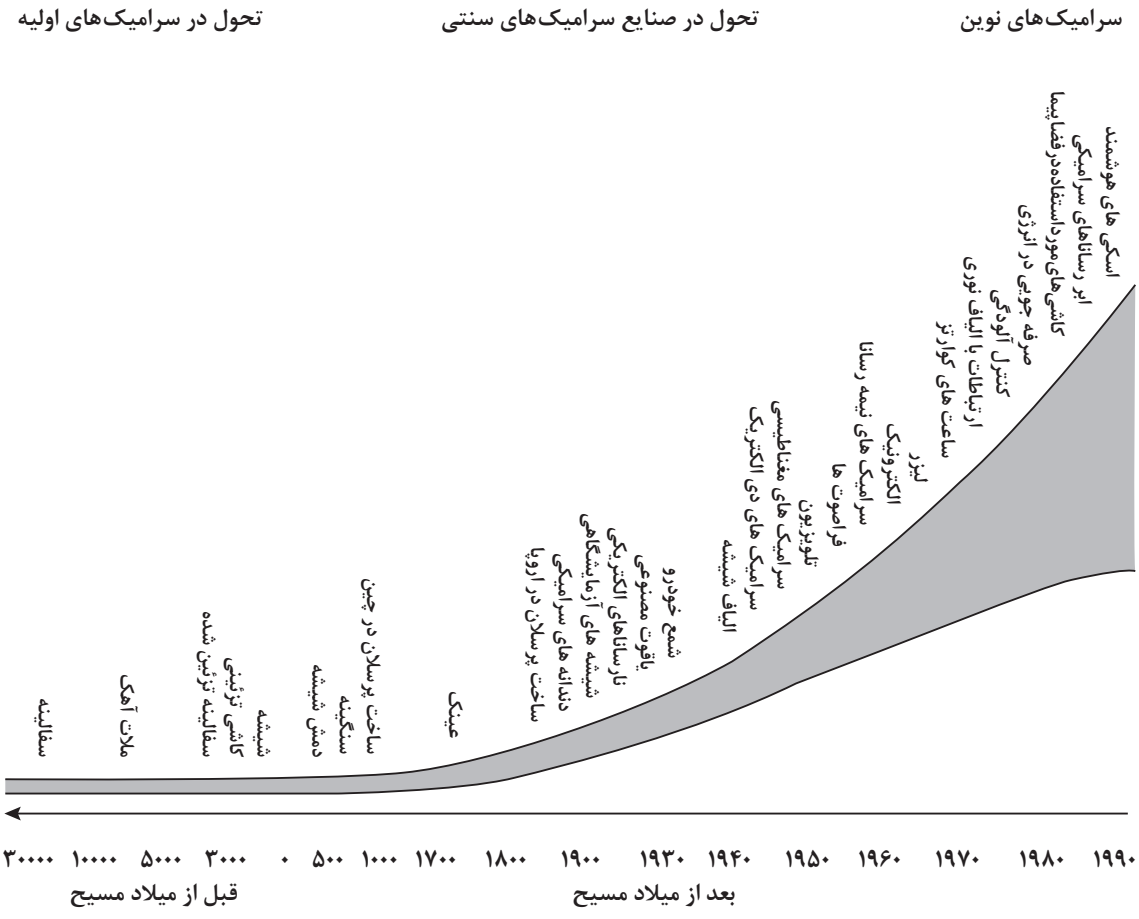
مواد در پیشرفت جوامع بشری نقش بسیار مهمی داشته است. به‌طوری که مورخین، هر دوره تاریخی را با نام یکی از موادی که در آن دوره نقش مهمی داشته است، نام‌گذاری کرده‌اند. عصر سنگ و عصر برنز از جمله این نام‌گذاری‌ها است. این موضوع نشان‌دهنده نقش مواد و اهمیت آنها در زندگی بشر و تأثیر آن بر فعالیت و رفتارهای او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

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 به‌کارگیری ابزارهای فلزی جامعه بشری را به سطح جدیدی ارتقا داد با گذشت زمان، انقلاب صنعتی 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. به‌طور خلاصه از دوره باستانی مواد جدید دائماً درحال 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 ۳ مسیر تکاملی دنیای مواد سرامیک نشان داده شده است.



شکل ۳- سیر تحول تاریخی سرامیک ها

سرامیک‌های اولیه

تولد سفال:

تصور کنید که زندگی در عصر حجر چگونه بوده است؟ در آن زمان فروشگاه، خانـه، شهر و حتی خط نوشتاری وجود نداشت. غـار پناهگـاه انسان بـوده و برای شکار از مکانی به مکان دیگر کوچ می‌کرد. آنها هیچ درکی از فلز یا پلاستیک نداشتند. تنها مـوادی 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 مطـالعه نحوه زنـدگی انسان اولیـه 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) درصورت مرطوب شدن نرم شده و قابلیت شکل‌پذیری پیدا می‌کنند و می‌توان با آنها قطعات و مجسمه‌های گوناگون ساخت (مانند گاومیش کوهان‌دار که در غاری در فرانسه کشف شد).

شکل ۴- نمونه‌هایی از نقاشی بر روی دیوار غار

نمونه‌هایی از سفال‌های قدیمی‌در شکل ۵ آمده است.

شکل ۵- نمونه‌هایی از سفال‌های قدیمی

به اعتقـاد باستان‌شناسان، ایـران یکی از زادگاه‌هـای اصلی سفالگری بوده است. نمونه‌های بـه دست آمـده در حفاری‌های بختیاری مربـوط به ده هزار سال قبـل نشان‌دهندۀ قـدمت سفالگری در ایـران است. اشیـای مذکور تماماً بدون استفاده از چرخ سفالگری ساخته شده و بررسی‌ها نشان می‌دهد که در آن زمان، سفال‌سازان 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 نوشته های صاحب‌نظران این پیشینه را تأیید می‌کند. امروزه

سفال، سرامیک و کاشی یکی از مصالح ضروری ساختمان نیز محسوب می‌شود که از هزاران سال پیش به‌صورت ابتدایی و حتی بدون استفاده از کورهٔ پخت تهیه می‌شده است.

ظروف سفالین منقوش و غیرمنقوش متعددی که از نقاط مختلف ایران به دست آمده، نشان می‌دهد 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 سفال‌سازی 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 لکه‌های دودی و سیاه هستند و جداره داخلی این ظروف ماده‌ای شبیه لعاب دارد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که سفال‌سازی به‌عنوان صنعت یا حرفه در ۴۷۰۰ سال قبل از میلاد در ایران آغاز شده است.

بدون تردید اختراع چرخ سفالگری ساده تحول جدیدی در صنعت سفال‌سازی به‌وجود آورد. در اواسط هزاره سوم قبل از میلاد ،نمونه‌های سفالی با چرخ سفالگری تولید می‌شدند در شوش یافت شده است. هم‌چنین نمونه‌هایی از ظروف سفالین نقش‌دار در نقاط مختلف ایران نظیر سیلک(کاشان)،تپه‌حسنلو(آذربایجان)،تپه‌حصار(دامغان)، اسماعیل‌آباد (قزوین) و تخت جمشید (مرودشت) کشف شده است که زیباترین اشیای جهان در زمینه سفال‌سازی محسوب می‌شود. از ویژگی‌های سفال‌های باستانی ایران، استفاده از طرح‌ها و نقوش واقعی در آثار است. آنها تلاش می‌کردند تا نقوش حیوانات و پرندگان نظیر مار و قوچ را برروی بدنه سفال ایجاد کنند. (شکل۷)

شکل ۶- نمونه‌هایی از سفال‌های باستانی ایرانی

هنر کاشی‌کاری در شوش و نـواحی غربی و مرکزی ایران تجلی داشته و در تزئینـات دیوارهای «کاخ هگمتانه» کاشی‌های رنگی متعـددی به‌کار رفته است. همچنین طی حفاری‌های انجام شده در «زیگورات/چغازنبیل» نمونه‌های متعددی از انـواع کاشی و آجرهای لعاب‌دار به‌همراه تعدادی سفال‌هـای کوچک به دست آمده که نشان‌دهنده رونق تولید سفالگری در دوره تمدن ایلامی است.

شکل ۷- دو باریکه کاشی از جنس سفال، متعلق به دوره قاجار

سرامیک‌ها در عصر فلز

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 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 برروی 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 به‌منظور 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 برروی بدنه کردند.

تحول سرامیک‌های سنتی

اختراع چرخ سفالگری

سفال‌ها جزء مهمی‌از 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 درنظر 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.

شکل ۸- انواع چرخ‌های سفالگری

انواع جدید سفال

سفالگران یاد گرفتند که با پختن سفال‌ها در دماهای بالاتر می‌توانند ظرف‌های سرامیکی مستحکم‌تر و با تخلخل کمتر بسازند. سفالگران چینی شیفته این پدیده شدند و بیش از سفالگران غرب با کوره‌های گوناگون و ترکیبات متفاوت کار کردند. آنها موفق به ساخت کوره‌هایی شدند که دمایی در حدود ۱۲۰۰درجه سلسیوس را فراهم می‌کرد؛ این دما تقریباً پنج برابر دمایی است که یک اجاق خوراک‌پزی ایجاد می‌کند. ظرف‌های پخته شده در دماهای بالا تخلخل بسیار کمی‌داشتند، به نحوی که حتی بدون نیاز به لعاب می‌توانست آب را در خود نگه دارد؛ یکی از پیشرفت‌های کلیدی در این زمینه، استفاده از رس سفید به نام کائولن بود که برای پخت به دمای بالا نیاز داشت. ظرف‌های ساخته شده از کائولن در مقایسه با سفالینه‌ها و سنگینه‌های قهوه‌ای و قرمز، تقریباً سفید رنگ بودند.

در حدود سال ۶۰۰ میلادی سفالگران چینی ترکیب جدید دیگری را به نام پتونتس[1] کشف کردند. این ماده یک سنگ طبیعی در چین بود که آن را پودر می‌کردند و به ترکیب سرامیک می‌افزودند.

سرامیکی که با این ترکیب در دمای ۱۳۰۰ درجه سلسیوس به‌دست می‌آمد، سفید و نیمه‌شفاف بود و هنگامی که با ناخن یا یک جسم سخت به آن ضربه زده می‌شد، صدای بسیار زیبایی مانند یک سنج یا اسباب موسیقی ایجاد می‌کرد. هنگامی که مارکوپولو در سال ۱۲۹۲ از سفر تاریخی خود به شرق بازگشت، این سرامیک جادویی را آلا پرسلا[2] نام گذاشت، زیرا رنگ آن مانند رنگ صدف بود که در ایتالیا به آن پرسلانا[3] گفته شد. امروزه ما این سرامیک‌های ظریف را پرسلان می‌نامیم. با گذشت قرن‌ها سفال و پرسلان به صنایع تبدیل شدند که از نسلی به نسل دیگر منتقل شده و بخش مهمی از سرامیک‌های متداول را تشکیل داده‌اند از کاشی، آجر و سیمان نیز می‌توان به عنوان سرامیک‌های متداول نام برد. به‌طور مثال کاشی‌های تزئینی حدود سه الی چهار هزار سال قبل از میلاد مسیح مصر ساخته می‌شدند. یکی از مهم‌ترین اختراعات که از نوع سرامیک می‌باشد شیشه است. سیر تکاملی تولید سرامیک‌ها همچنان ادامه دارد که به‌تولید سرامیک‌های پیشرفته گفته می‌شود.

بدین ترتیب پرسلان نیز مانند سفال، آجر و کاشی به مجموعه سرامیک‌های متداول تولید شده به صورت انبوه درآمد.

شکل ۹- نمونه‌هایی از ظروف پرسلان

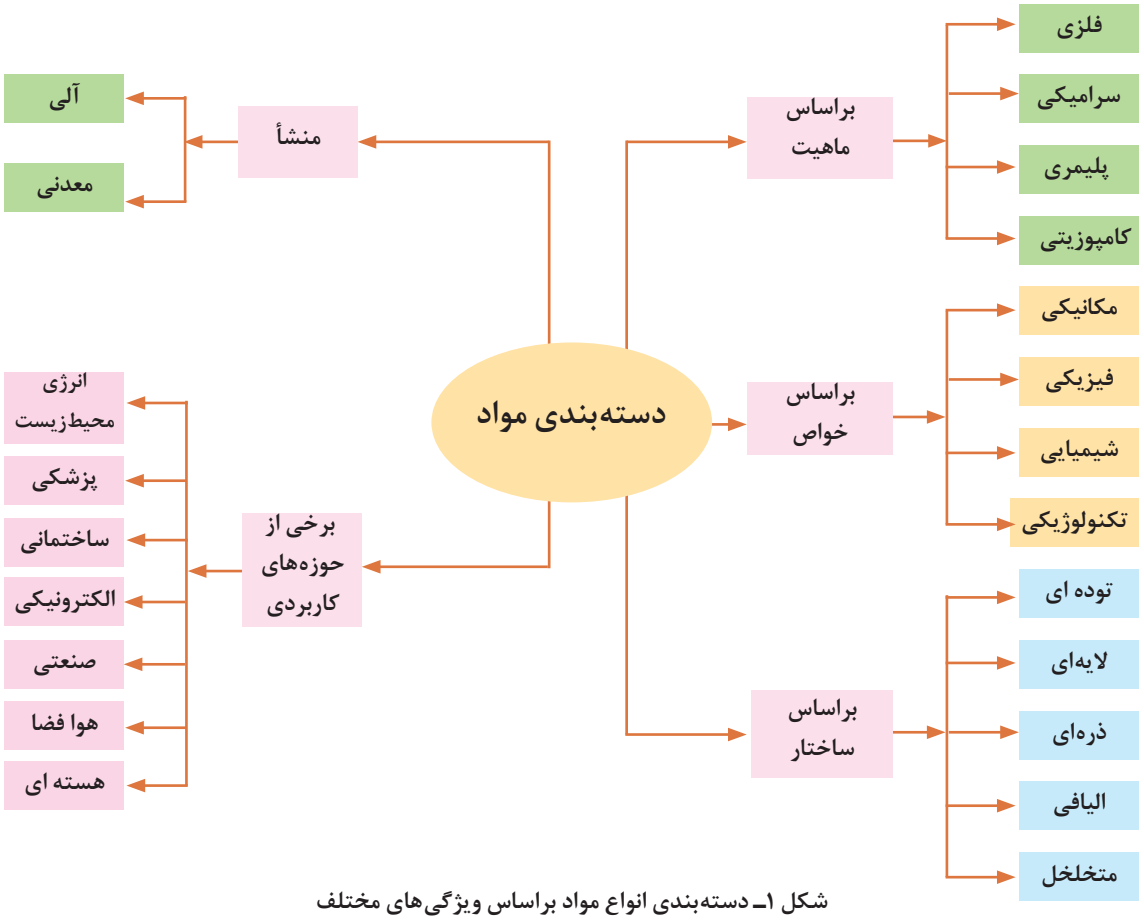
۱ ـ Petuntes
۲ ـ Alla porcella
۳ ـ Porcellana

فصل ۲

مواد و ویژگی‌های آن

طبقه‌بندی مواد

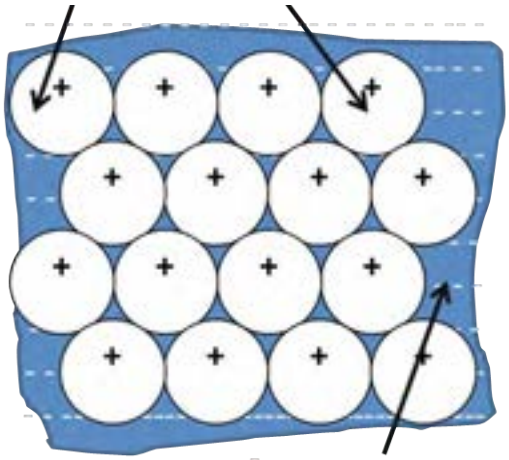
روش‌های متعددی برای طبقه بندی مواد وجود دارد. در شکل ۱ طبقه‌بندی مواد از جنبه‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱ــ دسته‌بندی انواع مواد براساس ویژگی‌های مختلف

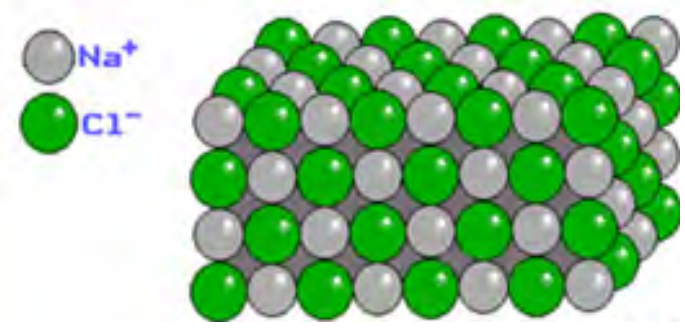
طبقه‌بندی مواد براساس پیوند

خواص یک ماده براساس ترتیب قرارگیری اتم‌ها و پیوند بین آنها تعیین می‌شود. انواع پیوندهای اتمی در جامدات شامل فلزی، یونی، کووالانسی و پیوندهای ثانویه (واندروالس و هیدروژنی) است. هنگامی که اتم‌های فلزات به یکدیگر نزدیک می‌شوند هر اتم الکترون‌های لایه ظرفیت خود راآزاد می‌سازد. مجموع این الکترون‌ها تشکیل یک ابر الکترونی می‌دهد که به‌طور آزادانه و سریع بین یون‌های مثبت حرکت می‌کنند. نیروی جاذبه بین یون‌های فلزی و ابر الکترونی باعث ایجاد پیوند فلزی می‌شود.



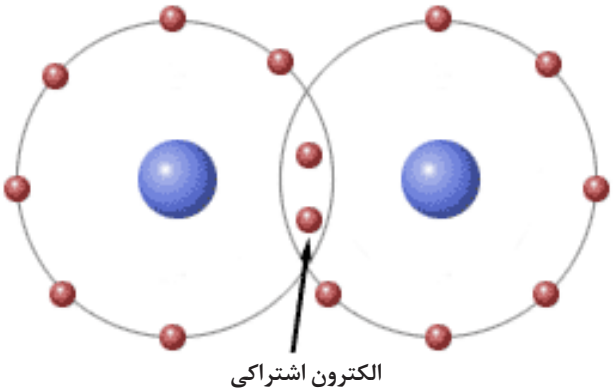
شکل ۲ـ تشکیل ابر الکترونی در ساختار فلزی

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



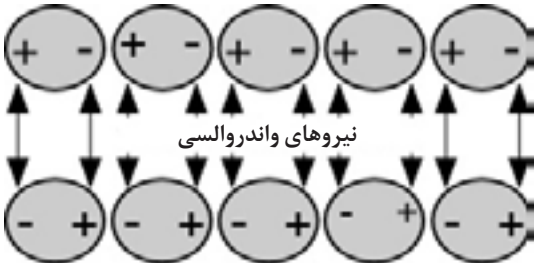
شکل ۳- ساختار نمک طعام

پیوند کووالانســـی از به اشتراک گذاشـــتن الکترون‌های لایه آخر دو اتم ایجاد می‌شود. این پیوند همیشه بین دو غیرفلز ایجاد می‌شـــود. 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.



شکل۴- تشکیل پیوند کووالانسی

اتم‌ها در مولکول‌ها توسط واندروالس کنار هم نگه داشته شده‌اند. مولکول‌ها درحال مایع و جامد توسط نیروی درون مولکولی به سوی یکدیگر جذب شده که باعث به‌وجود آمدن پیوند بین مولکول‌ها می‌شوند. پیوندهای برقرار شده بین مولکول ها را پیوند ثانویه می‌گویند. پیوندهای ثانویه ارتباطی به الکترون‌های ظرفیت ندارند و در نتیجه پیوندهای ضعیفی هستند. این پیوند بین لایه‌های گرافیت وجود دارد.



شکل۵- پیوند واندروالس

پیوندهای اتمی‌مختلف 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 به‌عنوان ریز ساختار بیان می‌شود. این آرایش‌ها در مقیاس‌های مختلف از کوچک‌ترین واحد در حد آنگستروم (Å) 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 به‌صورت منظم از نوع بلند برد باشد، به این ساختار، کریستالی گفته می‌شود، مانند ساختار بسیاری از جامدات.

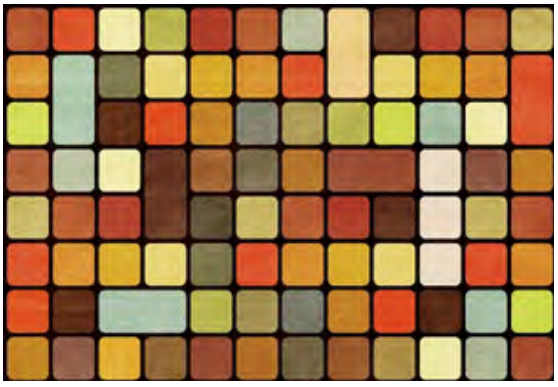
آمورف: اگر اتم‌ها در ساختار هیچ‌گونه نظمی نداشته باشند و یا دارای نظم ازنوع برد کوتاه باشند، ساختار آمورف نامیده می‌شود، مانند شیشه‌ها.

برخی از مواد با ساختار کریستالی ممکن است به‌صورت 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؟



الف

ب

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 کدام‌یک مربوط به ماده تک کریستال است؟

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

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

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

آرایش اتمی و یونی مواد

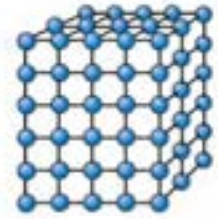
تا به‌حال از خود پرسیده‌اید که چرا مواد مختلف با هم متفاوت‌اند؟ چرا برخی از آنها استحکام بالاتری در مقایسه با سایرین دارند؟ چرا برخی از مواد رسانا و برخی نارسانا می‌باشند؟ چرا نور می تواند از بعضی از مواد عبور کند و از بعضی دیگر نه؟ سؤال‌هایی از این دست ذهن را متوجه تفاوت‌های مواد از نظر خواص می کند و ما را در رابطه با علت این تفاوت‌ها، به تفکر بیشتر وادار می کند. 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 تشکیل‌دهنده 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 کمی‌دقت 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 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 به‌جز ترکیب شیمیایی، موجب تفاوت در رفتار و خواص مواد می‌شود؟ برای جواب این سؤال لازم است کمی‌بیشتر با ساختار مواد آشنا شویم.

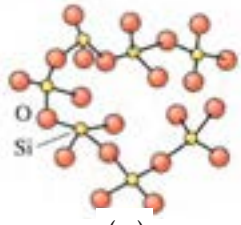
ساختار ماده چگونگی ارتباط بین اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن ماده را مشخص می کند. با پیوندهای شیمیایی که نحوه اتصال میان اتم‌ها و یون‌ها را مشخص می‌کنند، در درس‌های گذشته آشنا شده‌اید. در اینجا برای روشن شدن تأثیر ساختار روی خواص مواد مثال معروفی را ارائه می‌کنیم. همان‌طور که می‌دانید گرافیت 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.

نظم ـ بی‌نظمی

در حالت‌های مختلف مواد دو نـــوع آرایش را می‌توان یافت؛



(الف)

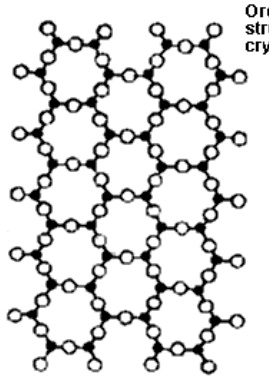


(ب)

شکل ۶- انواع نظم اتمی

مواد با ساختار منظم

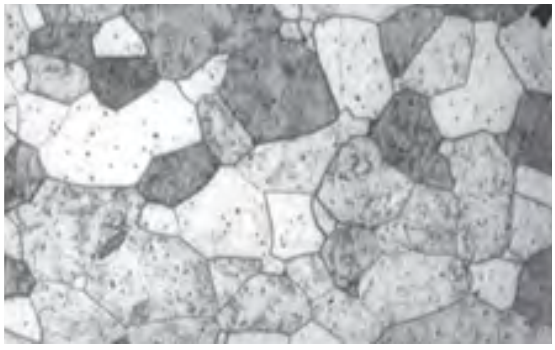
اکثر فلزات و آلیاژهای فلزی، نیمه‌هادی‌ها، سرامیک‌ها و برخی از پلیمرها که ساختار کریستالی دارند ، دارای نظم در ساختارشان هستند. گستردگی این نظم در بین اتم‌ها یا یون‌ها بزرگ‌تر از ۱۰۰ نانومتر در سه بعد می‌باشد.



شکل ۷- ساختار با نظم بلند برد

اتم‌ها یا یون‌ها در سه بعد به‌طور منظم تکرار می‌شوند. این مواد با ساختار منظم را مواد کریستالی می‌نامند.اگر ماده‌ای فقط از یک کریستال بزرگ ساخته شده باشد، تک‌کریستال نام دارد. مواد تک کریستال در بسیاری از کاربردهای الکترونیکی و نوری مناسب می‌باشند. به‌طور مثال تراشه‌های کامپیوتر از سیلیکون تک‌کریستال ساخته می‌شود. مواد پلی‌کریستال از تعداد زیادی کریستال‌های کوچک در سه بعد تشکیل شده است. شکل زیر ساختار فولاد زنگ نزن پلی‌کریستال را نشان می‌دهد.

(الف)فولاد زنگ نزن

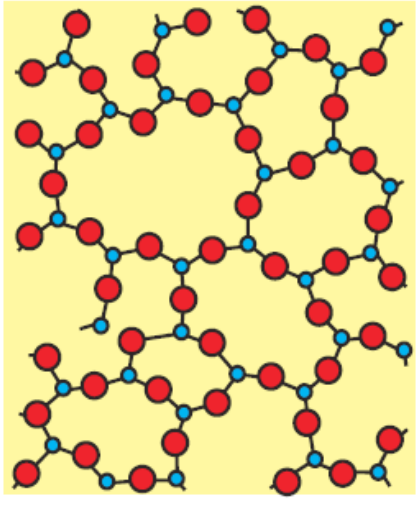


(ب) ساختار فولاد زنگ نزن زیر میکروسکوپ

شکل ۸

مواد آمورف

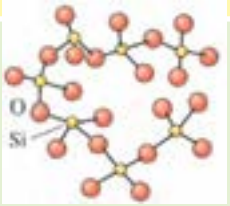
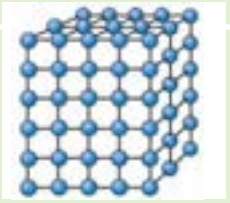
هر ماده‌ای که بی‌نظمی در بین اتم‌های خود داشته باشد، ماده آمورف نامیده می‌شود. بنابراین مواد آمورف غیرکریستالی هستند. به‌طور کلی اکثر مواد تمایل دارند یک آرایش منظم و تکراری تشکیل دهند، زیرا در این حالت آرایش پایداری دارند.



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

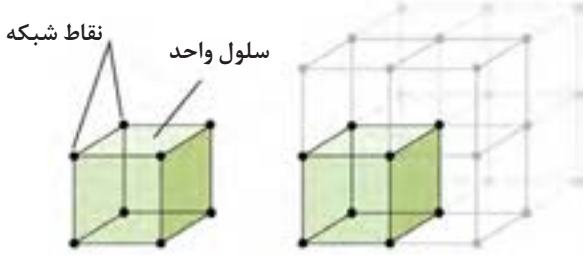
نوع مواد	نوع نظم	مثال	شکل نظم ساختاری
آمورف	بی نظم	شیشه آمورف، پلاستیک	
کریستال جامد	منظم	فلز، آلیاژ فلزی، سرامیک	

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 به‌هم وصل شوند سیستمی به‌وجود می‌آید که شامل تعداد زیادی متوازی‌السطوح است، این سیستم را شبکه کریستالی می‌نامند.

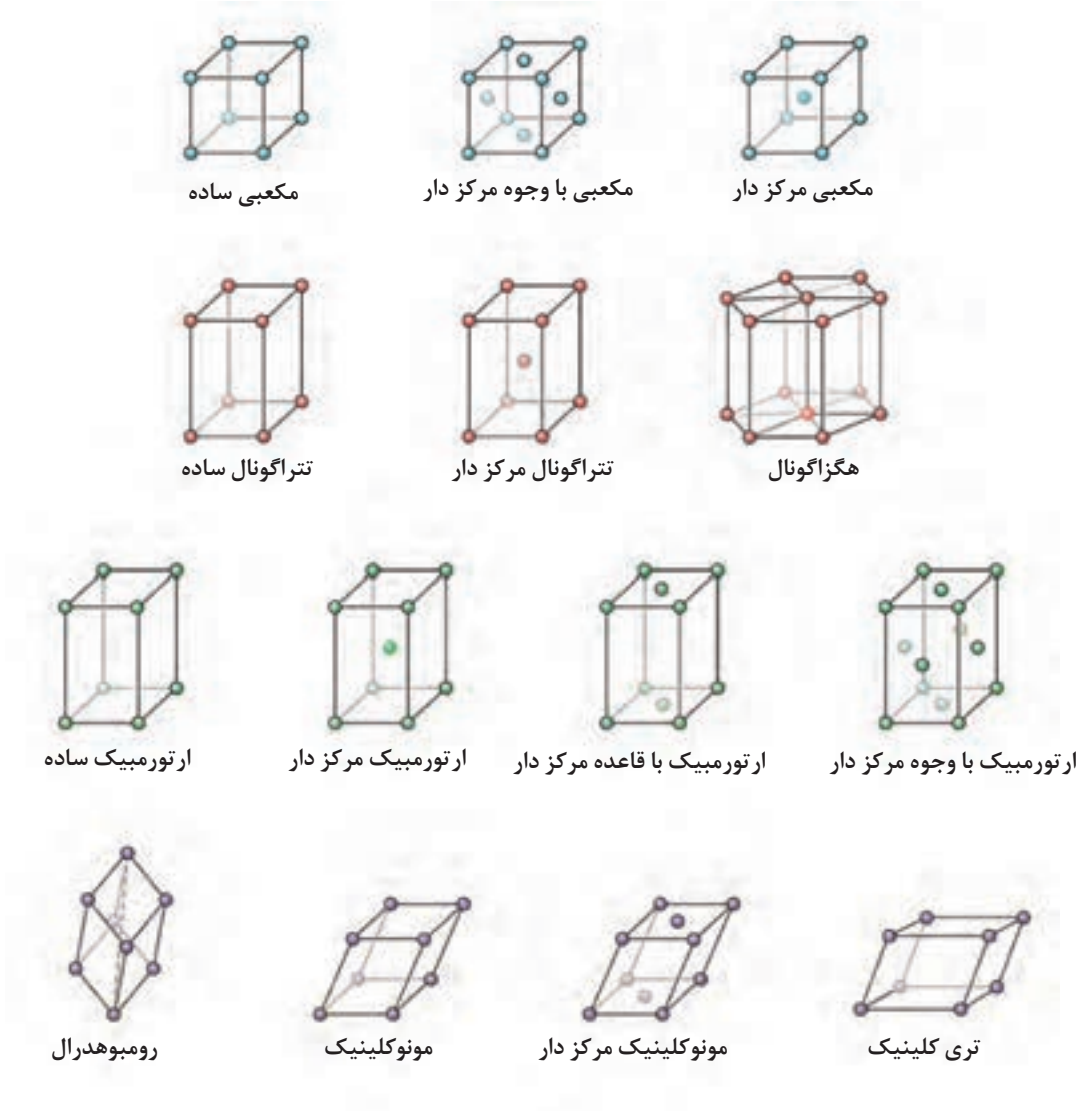
کوچکترین متوازی‌السطوحی که با انتقال پیوسته آن در سه جهت بتوان تمام جهت شبکه را پرکرد سلول واحد نامیده می‌شود.

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



شکل ۹- سلول واحد و شبکه کریستالی

برای بررسی ساختار یک شبکه کریستالی کافی است کوچک‌ترین قسمت شبکه یعنی سلول واحد درنظر گرفته شود. براساس زاویه‌ها و اندازه اضلاع سلول واحد، انواع شبکه فضایی تشخیص داده شده است که به شبکه‌های براوه معروف است، در شکل ۱۰ تصویر این شبکه‌ها نشان داده شده است.

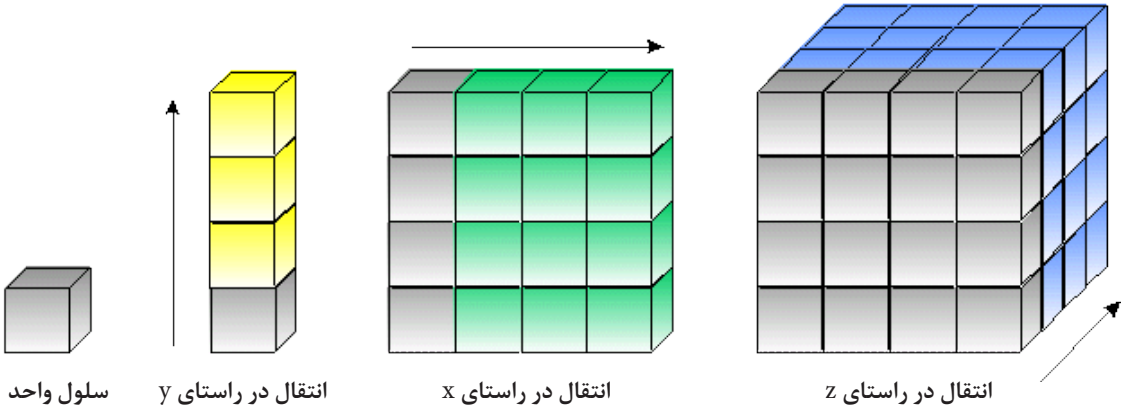


شکل ۱۰- شبکه های براوه

همان‌طور که قبلاً بیان شد، شبکه از لحاظ گستردگی بی‌نهایت می باشد، 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 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 مکعب های کوچک سلول واحد می‌گویند و به کل مکعب کریستال می‌گویند.

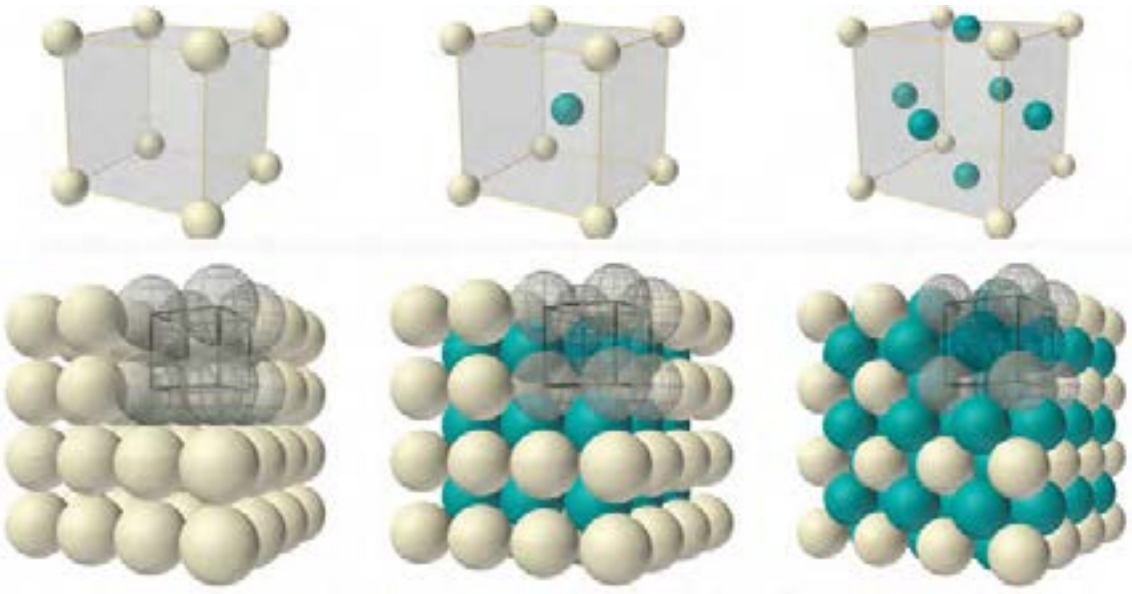
شکل ۱۱- روبیک

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



شکل ۱۲- نحوهٔ 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؟

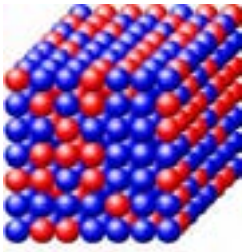


شبکه‌های چهارده گانه براویس در هفت سیستم کریستالی دسته‌بندی می‌شوند. این سیستم‌های کریستالی شامل مکعبی، تتراگونال، اورترومبیک، هگزاگونال، مونوکلینیک، تری کلینیک و رومبوهدرال می‌باشند که در شکل ۱۰ به‌طور کامل نشان داده شده‌اند.

تقسیم بندی مواد از نظر ماهیت

۱ــ 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 ۱۳ــ نحوه قرارگیری اتم‌ها در آلیاژ

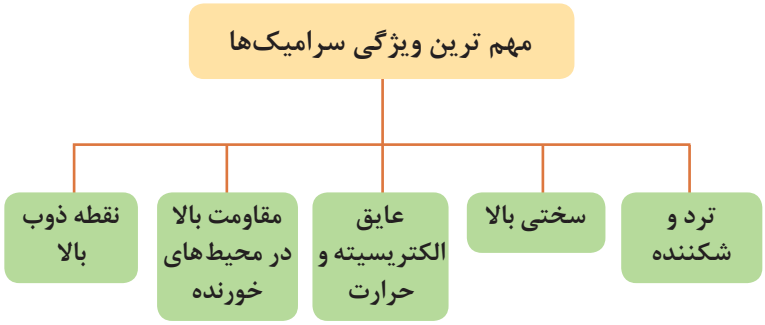
بررسی کنید آلیاژهای فولاد و برنج از چه عناصری تشکیل می‌شوند؟

سؤال

۲ــ سرامیک‌ها

از فراوان ترین عناصر موجود در پوسته زمین عناصر سیلسیم (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، نیتریدها و کاربیدها را می‌توان نام برد.



سؤال

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

سرامیک‌ها می‌توانند شفاف یا مات باشند و بعضی از آنها دارای خواص مغناطیسی هستند. در شکل ۱۴ نمونه‌هایی از سرامیک‌های شفاف نشان داده شده است.

شکل ۱۴ــ 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 دراین کاربرد
ساینده از جنس سیلیسیم کاربید	
آلومینا در لامپ‌های‌هالیدی	
آستر سیلیسیم نیترید در توربین‌های حرارتی	
آجرهای نسوز	

۳ـ پلیمرها

پلیمرها از زنجیره های بلند کربنی (مونومر) در کنار یکدیگر به وجود می‌آیند و پیوند بین اتمی در پلیمرها از نوع پیوندهای ثانویه است. این مواد شامل دو گروه اصلی پلاستیک‌ها و لاستیک‌ها 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 پلی‌اتیلن (PE)، نایلون و پلی‌وینیل کلراید (PVC) هستند.

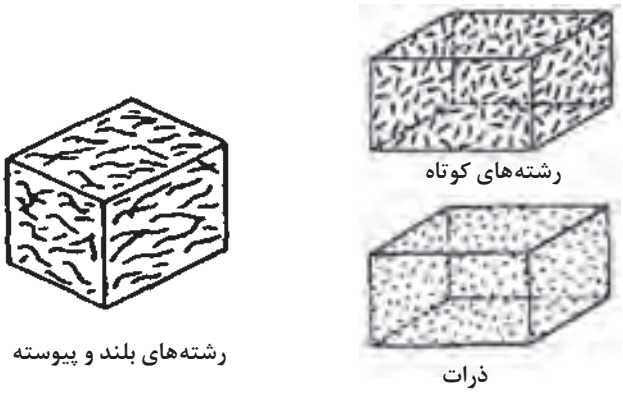
خواص پلیمرها چگالی کم، مقاوم در برابر خوردگی، عایق الکتریسیته، پایداری شیمیایی و شکل پذیری بالا است. بیشتر این مواد چگالی کم و نسبت استحکام به وزن مناسب دارند که بسیار بهتر از فلزات و حتی سرامیک‌ها است. پلیمرها به‌راحتی به اشکال پیچیده‌تر درمی‌آیند، زیرا در دمای بالا خاصیت جاری شدن این مواد به‌شدت افزایش می یابد و امکان قالب‌گیری آنها به شکل های مختلف فراهم می‌شود. اما مقاومت حرارتی آنها کم است و همین امر استفاده از آنها را محدود کرده است.

شکل ۱۵ـ مواد پلیمری مختلف

۴ـ کامپوزیت‌ها

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 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. یکی از مرسوم‌ترین و پرکاربردترین کامپوزیت‌ها فایبرگلاس است. فایبرگلاس یک کامپوزیت با زمینه پلیمری است که توسط الیاف شیشه تقویت شده است. الیاف شیشه استحکام زمینه پلیمری را افزایش می‌دهد. این کامپوزیت انعطاف‌پذیری خوبی در طراحی قطعات دارد. از خواص دیگر آن نسبت استحکام به وزن بالای آن و مقاومت به خوردگی خوب آن است. انواع پروفیل‌های ساختمانی، انواع کانال مخصوص عبور سیم و لوله از کاربردهای فایبرگلاس است. در شکل ۱۶ کامپوزیت‌های مختلف براساس نحوه قرارگیری شکل جزء تقویت‌کننده در زمینه نشان داده شده است.



شکل ۱۶ ـ کامپوزیت‌های مختلف براساس شکل جزء تقویت کننده

سؤال

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

خواص مواد

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 نارسانا 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

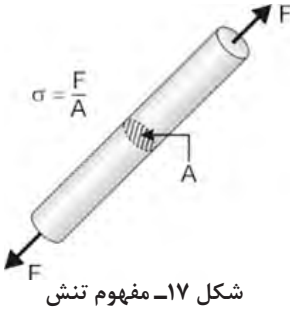
مشابهی دارند.
ساختار مواد ارتباط بین اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن ماده را مشخص می‌کند. نحوهٔ اتصال میان اتم‌ها و یون‌ها به وسیله پیوندهای شیمیایی مشخص می‌شود. اگر نحوه اتصال (نوع پیوند) اتم‌ها متفاوت باشد، حتماً خاصیت ماده نیز متفاوت خواهد بود.
خواص مواد شامل چهار دسته خواص شیمیایی، خواص فیزیکی، خواص ساختاری و خواص تکنولوژیکی می‌شود:

خواص شیمیایی مواد

همان‌طور که می‌دانید مواد از اتم‌ها تشکیل می‌شوند. برای اینکه تخمینی از تعداد اتم‌های موجود در یک جسم به‌دست آورید سر یک سوزن را درنظر بگیرید؛ تقریباً در سر سوزن در حدود ۳۵×۱۰^{۹} 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 تشکیل‌دهندهٔ مواد باعث ایجاد خواص شیمیایی مواد می‌شود.
سرامیک‌ها دارای پیوندهای یونی و کوالانسی هستند و با توجه به ویژگی این پیوندها خواص شیمیایی منحصر 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. سرامیک‌ها در مقابل تمامی‌اسیدها با غلظت ۱۰۰ درصد (به جز اسید فلوئوریدریک) پایداری دارند. همچنین در کوره‌های دما بالا تا ۳۰۰۰ درجه سلسیوس نظیر کوره‌های ذوب فلزات کاربرد دارند.

خواص مکانیکی

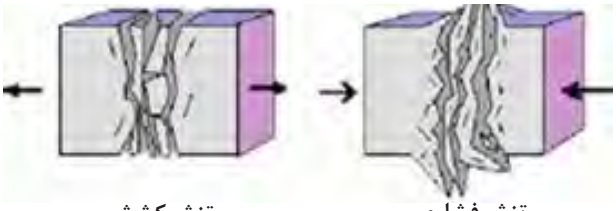
قطعات معمولاً طوری طراحی می‌شوند که بتوانند نیروهای مختلفی را تحمل کنند. اعمال نیرو و میزان آن تا جایی ادامه می‌یابد که قطعه یا جز مورد نظر دچار تغییر شکل دائم و یا شکست نشود. رابطه میان نیرو و تغییر شکل با بررسی خواص مکانیکی مواد سنجیده می‌شود.
یکی از مهم‌ترین مفاهیمی که در شناخت خواص مکانیکی مواد اهمیت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



تنش: σ
سطح: A
نیرو: F

شکل ۱۷ــ مفهوم تنش

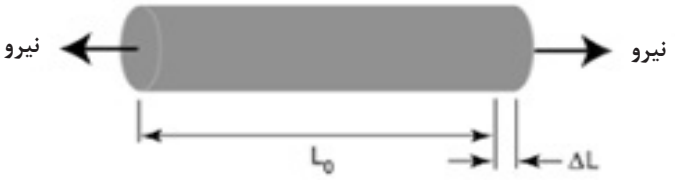
تنشی که باعث کشیده شدن جسم می‌شود تنش کششی و تنشی که موجب کوتاه‌تر شدن طول جسم می‌شود را تنش فشاری می‌نامند. در شکل ۱۸ تنش‌های کششی و فشاری نشان داده شده است.



تنش کششی　　تنش فشاری

شکل ۱۸

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 ۱۹ــ مفهوم کرنش

سؤال

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

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

استحکام

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 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.

جدول ۲- استحکام مواد گوناگون

ماده	استحکام کششی (مگا پاسگال) (MPa)	استحکام فشاری(مگاپاسکال)
چوب	۲_ ۵	۱۰_۲۰
پلیمر	۶۰ _۱۰۰	۱۰_۱۵
آلومینیوم وآلیاژهای آن	۱۰۰_ ۶۰۰	۳۰_۱۰۰
شیشه	۴۰_۱۵۰	۱۰۰۰
پرسلان	۱۰۰_۲۰۰	۴۰۰_ ۸۰۰
کاربید سیلیسیم	۳۱۰	۱۷۲۵ _ ۲۵۰۰

سؤال

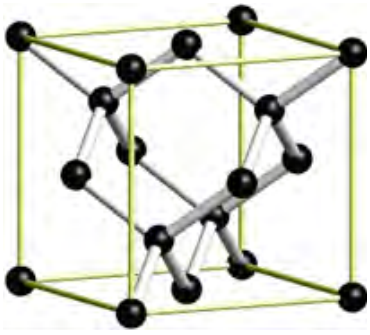
چرا سرامیک‌ها در دماهای بالا مقاومت کششی مناسبی دارند در حالی که در دماهای پایین مقاومت کششی اغلب آنها کمتر از فلزات است؟

سختی

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

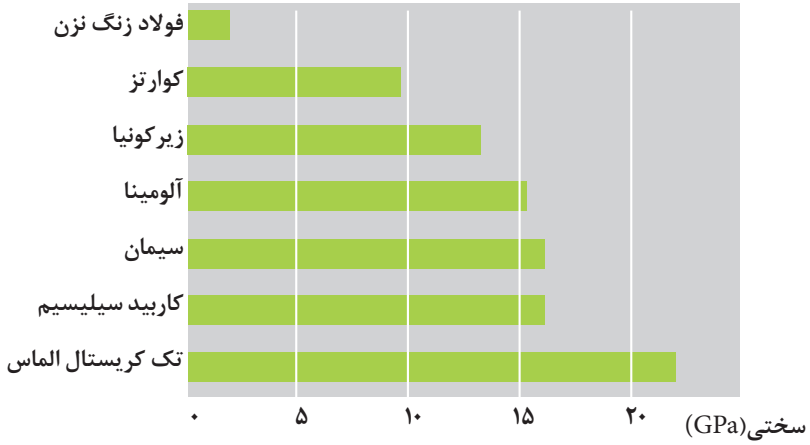
شکل۲۰ـ روش‌های دستی و دستگاهی تعیین سختی

در میان مواد طبیعی، الماس به‌دلیل داشـــتن پیوندهای کووالانسی قوی میان اتم‌های سازنده آن که همان کربن است، سخت‌ترین ماده است.



شکل ۲۱- 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 ۲۲ سختی سرامیک‌های مختلف را می‌توان مقایسه کرد.



شکل ۲۲ـ 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. هرگاه در اثر ضربه ترک کوچکی در آن ایجاد شود این ترک به‌سرعت 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 به‌دلیل چقرمگی بالای آنها نسبت به فلزات است.

شکل ۲۳ـ گسترش ترک و مقاومت ماده در برابر آن (چقرمگی)

سؤال

چند مادهٔ سرامیکی با چقرمگی بالا نام ببرید.

خواص فیزیکی

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

۱ـ نقطهٔ ذوب

۲ـ ضریب انبساط حرارتی

۳ـ جرم مخصوص

۴ـ 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.

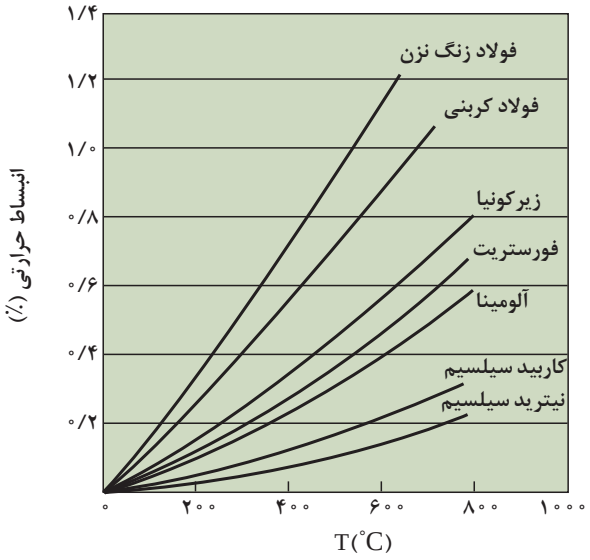
هرچه استحکام و قدرت پیوند اتمی‌در ماده بیشتر باشد، نقطه ذوب افزایش می‌یابد. در جدول۳ نقطه ذوب مواد مختلف بیان شده است.

جدول ۳ ـ نقطه ذوب مواد مختلف

ماده	نقطه ذوب($^{\circ}C$)
آلومینا(Al_2O_3)	۲۰۵۰
سیلیکون کاربید(SiC)	۲۸۰۰
زیرکونیا(ZrO_2)	۲۶۶۰
فولاد	۱۳۷۰
آلومینیوم (Al)	۶۶۰

انبساط حرارتی

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



شکل ۲۴ــ اثر افزایش دما بر ضریب انبساط حرارتی

سؤال

بررسی کنید نوع پیوند اتمی چه تأثیری بر ضریب انبساط حرارتی دارد؟
عوامل مؤثر بر ضرایب انبساط حرارتی را بررسی کنید.

جرم مخصوص

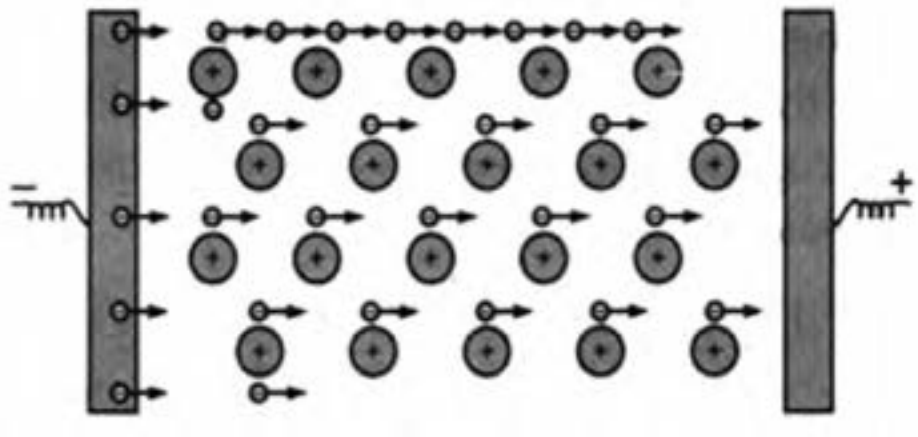
جرم واحد حجم هر ماده را جرم مخصوص می‌گویند که برای هر ماده مقدار معین و ثابتی است که به نوع و ساختمان ماده بستگی دارد. هر چه ماده‌ای متراکم‌تر باشد، جرم مخصوص بیشتری خواهد داشت. درجدول ۴جرم مخصوص مواد مختلف بیان شده است.

جدول۴ــ جرم مخصوص مواد مختلف

ماده	جرم مخصوص (g/cm^3)
آلومینا(Al_2O_3)	۳/۹۶
سیلیکون کاربید(SiC)	۳/۲۱
زیرکونیا(ZrO_2)	۵/۶۸
فولاد	۸
آلومینیوم (Al)	۲/۷

قابلیت هدایت جریان الکتریکی و حرارتی

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



شکل ۲۵ـ هدایت الکتریکی

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.

قابلیت هدایت حرارتی عبارت است از توانایی یک جسم در انتقال حرارت از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر. هرچقدر این قابلیت بیشتر باشد ماده با اتلاف انرژی کمتری حرارت را از خود عبور می‌دهد و به‌جای دیگری می‌برد. برای مثال حتماً 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.

جدول۵ ــ هدایت الکتریکی و مقاومت الکتریکی مواد مختلف

مواد	مقاومت الکتریکی (Ω)	هدایت الکتریکی($\Omega \times m$)
نقره	$۱/۵۹ \times ۱۰^{-۲}$	$۶/۳۰ \times ۱۰^{۲}$
مس	$۱/۶۸ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۹۶ \times ۱۰^{۲}$
طلا	$۲/۴۴ \times ۱۰^{-۲}$	$۴/۱۰ \times ۱۰^{۲}$
آلومینیوم	$۲/۸۲ \times ۱۰^{-۲}$	$۳/۵ \times ۱۰^{۲}$
کلسیم	$۳/۳۶ \times ۱۰^{-۲}$	$۲/۹۸ \times ۱۰^{۲}$
تنگستن	$۵/۶۰ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۷۹ \times ۱۰^{۲}$
روی	$۵/۹۰ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۶۹ \times ۱۰^{۲}$
نیکل	$۶/۹۹ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۴۳ \times ۱۰^{۲}$
لیتیم	$۹/۲۸ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۰۸ \times ۱۰^{۲}$
آهن	$۱/۰ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۲}$
پلاتین	$۱/۰۶ \times ۱۰^{-۲}$	$۹/۴۳ \times ۱۰^{۲}$
قلع	$۱/۰۹ \times ۱۰^{-۲}$	$۹/۱۷ \times ۱۰^{۲}$
فولاد زنگ‌نزن	$۶/۰۹ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۴۵ \times ۱۰^{۲}$
جیوه	$۹/۸ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۰۲ \times ۱۰^{۲}$
آب دریا	۲×۱۰^{-۱}	۸/۴
آب آشامیدنی	۲×۱۰^{۳}	۵×۱۰^{-۲}
سیلیکون	$۶/۴۰۰ \times ۱۰^{۳}$	$۱/۵۶ \times ۱۰^{-۳}$

سؤال

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

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 به‌کمک نیروی فشاری و ضربه، قابلیت چکش‌خواری می‌نامند. به‌عنوان مثال فولاد ، مس و برنج را می‌توان تحت تأثیر نیروی فشاری تغییر شکل داد و عملیاتی مانند نورد، خم‌کاری و آهنگری را روی آنها انجام داد. سرامیک‌ها برخلاف فلزات دارای قابلیت چکش‌خواری نمی‌باشند.

سؤال

چرا سرامیک‌ها قابلیت چکش‌خواری ندارند؟

قابلیت ریخته‌گری

این مفهوم رابطه تنگاتنگی با شکل‌پذیری دارد . برخی از مواد را می‌توان به خوبی توسط فرایند ریخته گری تولید کرد. این مواد به دلیل خاصیت سیالیت در حالت مذاب، مقاطع نازک را در قالب‌های ریخته‌گری به‌خوبی پر می‌کنند. از این جمله می‌توان به چدن و آلومینیوم اشاره کرد، که دارای قابلیت ریخته‌گری مناسبی هستند.

سؤال

ریخته‌گری مذاب در تولید چه نوع از محصولات سرامیکی کاربرد دارد؟

قابلیت جوشکاری

موادی دارای قابلیت جوشکاری می‌باشند، که بتوان آنها را به‌کمک حرارت یا حرارت همراه با فشار، به‌صورت 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 ماشین‌کاری (براده‌برداری) کرد و سطح آنها پس از براده‌برداری همچنان صاف و پرداخت شده باشد.

انواع مواد سرامیکی

عموماً مواد سرامیکی در کاربردهای صنعتی به دو گروه تقسیم می‌شوند: متداول و پیشرفته. مواد سرامیکی متداول عمدتاً سرامیک‌های سیلیکاتی هستند که شامل آجرها، کاشی‌ها، چینی‌ها و شیشه‌ها می‌شوند. سرامیک‌های پیشرفته دارای خواص حرارتی، مکانیکی و شیمیایی ویژه‌ای هستند. سرامیک‌های اکسیدی بسیار خالص مانند آلومینا و زیرکونیا، سوخت‌های هسته‌ای، کاربیدها و نیتریدها و شیشه سرامیک‌ها در دسته سرامیک‌های مهندسی قرار می‌گیرند. در شکل ۲۶ کاربردهای مختلف سرامیک‌های سنتی و پیشرفته نشان داده شده است.

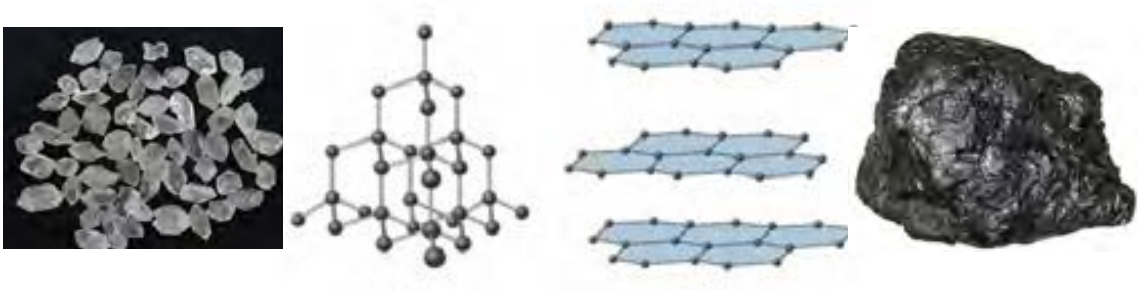
شکل۲۶- دسته بندی سرامیک‌ها

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

۱ــ مواد سرامیکی تک عنصری

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 ۲۰۰۰°C ذوب می‌شود و گاهی به‌صورت الیاف در کامپوزیت‌ها، به‌منظور بهبود خواص مواد دیگر به‌کار می‌رود که در صنعت هوا- فضا کاربرد زیادی دارد. Si و Ge به‌عنوان مواد اصلی نیمه‌هادی‌ها به‌کار می‌روند.

کربن به‌دلیل دارا بودن خصوصیاتی نظیر استحکام زیاد، وزن کم و مقاومت در برابر خوردگی و حرارت کاربرد زیادی دارد. کربن براساس ساختار کریستالی اهمیت صنعتی فراوانی دارند. کربن به‌صورت گرافیت به‌دلیل داشتن ساختار لایه‌ای و تنش برشی بحرانی بسیار پایین، به‌عنوان ماده روانکار برای کاهش اصطکاک لغزشی بین سطح تماس قطعات در درجه حرارت‌های بالا به‌کار می‌رود. همچنین به‌دلیل نقطه ذوب بالا در ساخت راکتورهای اتمی (در ترمزکننده‌ها و غلاف سوخت) نیز کاربرد دارد. کربن به‌صورت الماس برای ابزار برش کاربرد فراوان دارد.



(ب) (الف)

شکل ۲۷- 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 ($^{\circ}C$)	۴۱۰۰	۳۷۵۰
چگالی ($g / cm^{۳}$)	۲/۲۶	۱/۴ـ۲
پایداری در مقابل واکنش‌های شیمیایی	دارد	دارد
هدایت الکتریکی	ندارد	در بین لایه‌ها هدایت الکتریکی دارد

سؤال

چرا گرافیت تنها در بین لایه‌ها، هدایت الکتریکی دارد؟

۲ـ مواد سرامیکی غیراکسیدی

مـواد سرامیکی غیـراکسیدی یکی از گـروه‌های مهم موادسرامیکی است. این مـواد از بیش از یک نوع اتم تشکیل شده‌اند. ترکیبات این گروه از مـواد سرامیکی را بیشتر عناصر C، Si، Ge و Mg همچنین B، N، H تشکیل می‌دهند، به‌عنوان مثال ترکیبات نیتریـدی و کاربیدی که به‌عنوان مواد مقاوم در حرارت‌های بالا در ماشین‌های حرارتی کاربرد دارند. این گروه از مواد سرامیکی پایداری خوبی در برابر حرارت دارنـد مانند ترکیب $Si_۳N_۴$ که می‌تواند درجه حرارتی تا $۱۴۰۰^{\circ}C$ را تحمل کند. این ترکیب از واکنش پـودر سیلیسیم تحت جریان گاز نیتروژن و در دما فشار زیـاد ایجاد می‌شود، برای مثال پره توربین با این روش تولید شده است.

شکل ۲۸- پره توربین Si_3N_4

کاربرد دیگر سرامیک غیر اکسیدی مربوط به‌سختی بالای آنها است. قطعاتی که در معرض اصطکاک و نیروی سایشی قرار دارند، با لایه‌ای از این مواد پوشش داده می‌شود و یا به‌طور کامل از این دسته از سرامیک ساخته می‌شود. به‌طور مثال، Si_3N_4 نیترید سیلسیم در ساخت موتورهای با پیستون چرخشی به‌عنوان سرسوپاپ به‌کار می‌رود. اما سطح خارجی سرامیک‌های غیراکسیدی در درجه حرارت‌های بسیار بالا در معرض خطر اکسیده شدن قرار می‌گیرد درصورتی که این خطر در سرامیک‌های اکسیدی دیده نمی‌شود.

شکل۲۹- سرسوپاپ Si_3N_4

۳ــ مواد سرامیکی اکسیدی

گروه دیگر از مواد سرامیکی مواد اکسیدی است.
از میان سرامیک‌های اکسیدی می‌توان آلومینا (Al_2O_3)، زیرکونیا (ZrO_2)، توریا (ThO_2)، برلیا (BeO) و منیزیا (MgO) را نام برد.
اکسیدهای به کار برده برای تولید این مواد، باید تا حدامکان از اکسیدهای خالص باشد.
سرامیک‌های اکسیدی که کاربرد دیرگداز دارند، باید علاوه بر نقطه ذوب بالا از فازهای پایداری نیز تشکیل شده باشند تا تمایل به واکنش‌های 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؛ به‌عبارتی دیگر ضریب انبساط حرارتی آنها جزئی بوده و همچنین تبدیل فاز در حالت جامد در آنها ایجاد نشود.

شکل ۳۰- آجرهای دیرگداز سیلیسیمی

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

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

جدول ۷ـ برخی از خواص سرامیک‌های پیشرفته

مواد	سختی (kg/mm^2)	چقرمگی ($MPa.m^{1/2}$)	مدول الاستیسیته (GPa)	استحکام (MPa)	چگالی (g/cm^3)	دمای ذوب (C°)
SiO_2	۶۵۰	۰/۵	۷/۲	۴۸	۲/۲	۵۰۰
Al_2O_3	۱۳۰۰	۴/۵	۳۶ـ۴۰	۲۵۰ـ۳۰۰	۳/۹۶	۲۰۵۰
ZrO_2	۱۲۰۰	۶/۹	۱۷ـ۲۵	۱۱۳ـ۱۳۰	۵/۶	۲۷۰۰
SiC	۲۵۰۰	۳/۴	۴۰-۴۴	۳۱۰	۳/۲	۳۰۰۰
Si_3N_4	۱۳۰۰	۵	۳۰ـ۷۰	۴۱۰	۳/۲۴	۱۹۰۰

۴ـ سرامیک‌های پیشرفته

سرامیک‌های پیشرفته شامل کاربیدها، برایدها، نیتریدها 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 به‌کار می‌روند.

گروهی از سرامیک‌های پیشرفته به دلیل داشتن خواص فیزیکی منحصر به فرد در ساخت قطعات الکتریکی و الکترونیکی، عایق‌های الکتریکی با ولتاژ بالا و پایین، خازن‌ها، مبدل‌های سیگنال‌های الکتریکی و به‌عنوان سرامیک‌های مغناطیسی در کامپیوترهای بزرگ دیجیتالی برای ذخیره‌سازی داده‌ها کاربرد دارند.

این مواد به‌دلیل دارا بودن ویژگی مقاومت به‌خوردگی در دماهای بالا به‌عنوان کاتالیزورهای واکنش‌های شیمیایی به‌عنوان سنسور برای ردیابی گازهای خطرناک به‌کار می‌روند. همچنین به‌دلیل سازگاری با بدن انسان به‌عنوان 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.

شکل ۳۱- 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 ۴۶۰Mpa و چقرمگی شکست آن تا حدود $5MPa.m^{\frac{1}{2}}$ برسد. اغلب به‌عنوان لایه پوششی برای فلزات و کامپوزیت‌های کربن ـ کربن به‌کار می‌رود. همچنین به صورت ذرات و الیاف تقویت‌کننده در کامپوزیت‌های زمینه فلزی و سرامیکی و به‌دلیل مقاومت خزشی و حرارتی بالا برای دهانه راکتورها و لوله‌های مبدل‌های حرارتی به‌کار می‌رود.

شکل ۳۲- 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 به‌عنوان پوشش هسته‌ای در راکتورهای اتمی با مقاومت سایشی بالایی که دارد، برای ضدگلوله کردن زره‌پوش‌ها به‌کار می‌رود اما استحکام این ماده در دماهای بالا زیاد نیست.

شکل ۳۳- زره کاربید بور

نیترید سیلسیم(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 به‌کار می‌رود.

شکل ۳۴- بلبرینگ از جنس Si_3N_4

نیترید آلومینیوم (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 به‌همین دلیل در مواردی چون چوب گلف، قیچی سرامیکی، قالب‌های اکستروژن گرم، واشر در شیرها، پروانه پمپ‌های انتقال مواد شیمیایی، سرپیستون و آسترپیستون‌ها کاربرد دارد. به‌کارگیری زیرکونیا به‌عنوان اجزای موتورهای حرارتی باعث شده تا از کاهش دمای موتور جلوگیری شده و بازده موتور افزایش یابد و ازطرفی 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 ۳۵- گلوله‌های آسیاب زیرکونیایی

برایدتیتانیم TiB_2 :

این ماده به عنوان‌هادی 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 دی‌الکتریک پایین و مقاومت بالا مورد نیاز است به‌کار می‌رود.

شکل ۳۶- کاربردهای مختلف آلومینا

اکسید اورانیوم UO_2 :

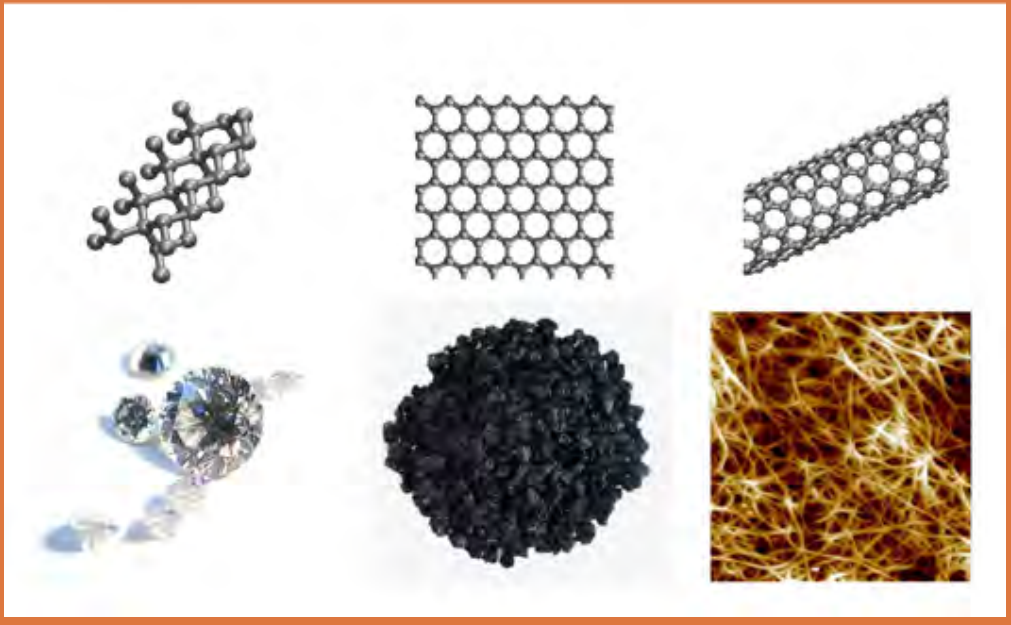
به‌عنوان سوخت راکتورهای هسته‌ای به‌کار می‌رود.

شکل دادن سرامیک‌ها:

روش‌های متداول برای شکل دادن سرامیک‌ها عبارت‌اند از: ریخته‌گری دوغابی، روش‌های شکل‌دادن 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 خشک‌کردن 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.

فصل ۳

فناوری و سرامیک



نانومواد و نانو سرامیک

آیا تاکنون واژه نانوفناوری را شنیده‌اید؟

در سال ۱۹۵۹ دانشمندی به نام ریچارد فاینمن ملقب به پدر علم فناوری، در یک سخنرانی پیش‌بینی جذابی را بیان کرد. او اظهار داشت که در آینده می‌توان ۲۵هزار صفحه دایرةالمعارف را در ابعاد یک سر سوزن جا داد و تمام کتاب‌های جهان را در جزوه‌ای ۳۵ صفحه‌ای حفظ و نگهداری کرد، به شرطی می‌توان به‌این هدف دست پیدا کرد که کارها در مقیاس اتم و مولکول انجام شود و اتم‌ها را طوری که خودمان می‌خواهیم یکی یکی بچینیم. برای چیدن اتم‌ها باید از دستگاه‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری خاصی استفاده کنیم تا نسبت‌ها را کوچک کند. امروزه پیش‌بینی فاینمن به حقیقت پیوسته است و نانوفناوری دریچه جدیدی بر علم گشوده است.

اخیراً در عملیات باستان شناسی کشف شده که برخی از سرامیک‌های لعاب‌دار دوره خلفای عباسی دارای طرحی بسیار پیچیده هستند و چندین رنگ و تلألؤ رنگین کمانی را از خود نشان می‌دهند. تعدادی از این کاشی‌ها در برخی از مساجد تونس نیز به کار برده شده است. وقتی نور سفید به این سرامیک‌ها برخورد می‌کند، رنگ آن تغییر می‌کند. این جلوه از کنار هم قرار گرفتن نانوذرات مختلف با خواص نوری منحصر به‌فرد به‌وجود می‌آید.

نانوفناوری بر صنایع الکترونیک و داروسازی، مراقبت از سلامتی، آب و هوا و محیط زیست، انرژی، شیمی و کشاورزی، علوم رایانه و فناوری اطلاعات اثر می‌گذارد و سلامتی و رفاه مردم را بالا می‌برد و ... . این علم، شکل بیشتر صنایع را تغییر می‌دهد و باعث ساخت وسایل کوچک‌تر، ارزان‌تر و سبک‌تر با تحمل و سرعت بیشتر می‌شود. به‌این ترتیب مواد خام و انرژی کمتری مصرف می‌شود.

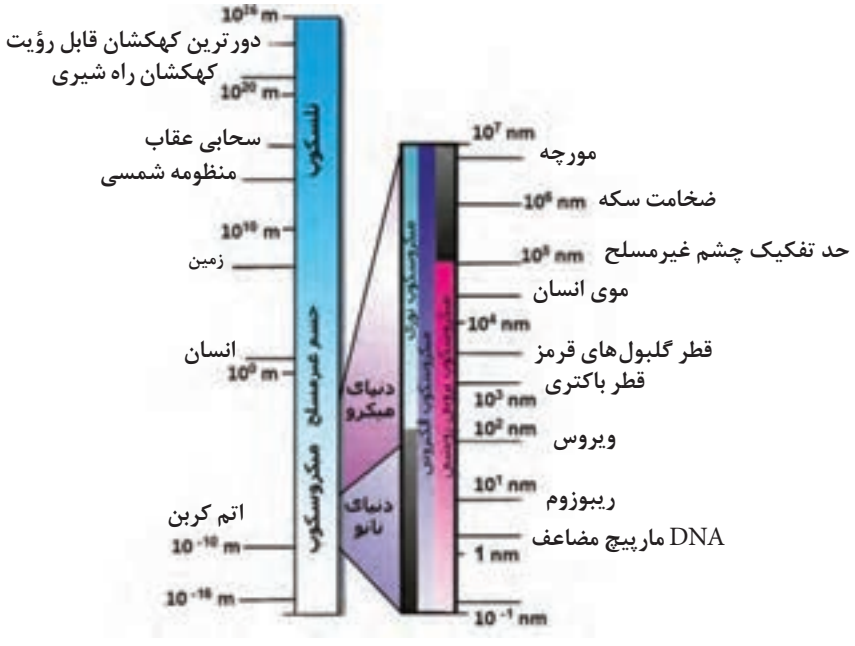
از دیگر اثرات نانو فناوری در ارتباط با نحوه عملکرد رایانه‌ها است که سرعت آنها را بیشتر می‌کند و همچنین علوم ارتباطات را گسترش می‌دهد. نانوالکترونیک ظرفیت تجهیزات نظامی را گسترش می‌دهد، روبات‌ها را پیشرفته‌تر می‌کند و به علوم مختلف نظیر فیزیک، شیمی و مهندسی تولدی دوباره می‌دهد. با نانو فناوری می‌توان ساختمان‌ها و خودروهایی با مصالح و مواد اولیهٔ سبک‌تر و مقاوم‌تر ساخت. برد هواپیمای نظامی و ظرفیت باربری هواپیما بیشتر می‌شود و مصرف سوخت در ماشین‌ها کاهش می‌یابد. امکان پرتاب سفینه به خارج از مدار زمین و حتی خارج از منظومه شمسی افزایش می‌یابد. هواپیماها، موشک‌ها و ایستگاه‌های فضایی از قدرت و کاربرد بیشتر و وزن سبک‌تر و مواد با

ثبات بیشتری برخوردار می‌شوند. فناوری نانو، امکان استفاده از انرژی حرارتی خورشید را برای تجهیزات الکتریکی و دستگاه‌های ذخیره انرژی افزایش می‌دهد، آب و هوای آلوده یک مشکل جهانی است. محصولات با فناوری بالا به مردم اجازه می‌دهد تا کمتر از تأثیرات سوءِ آب و هوایی صدمه ببینند. همچنین، تجهیزات پیشرفته و ارزان برای تحقیقات پزشکی و مراقبت از سلامتی را فراهم می‌کند.

شکل ۱- حسگر با ابعاد بسیار کوچک برای پاک‌سازی عروق بدون نیاز به جراحی

نانو مواد

موادی که حداقل یکی از ابعاد آنها در مقیاس ۱ الی ۱۰۰ نانومتر باشد، نانو مواد در نظر گرفته می‌شود. یک نانومتر برابر با یک میلیاردم متر است. این اندازه ۵۰۰۰۰ بار کوچک‌تر از قطر یک تار موی انسان است. به‌طور میانگین ۳ تا ۶ اتم در کنار یکدیگر، طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند که این خود به نوع اتم بستگی دارد (یک نانومتر = ۶ اتم هیدروژن در کنار یکدیگر). کوچک‌ترین اشیای قابل دید توسط چشم غیرمسلح اندازهٔ حدود ۱۰۰۰۰ نانومتر دارد. در شکل ۲ مقایسه مقیاس‌های طولی با مثال‌های گوناگون نشان داده شده است.

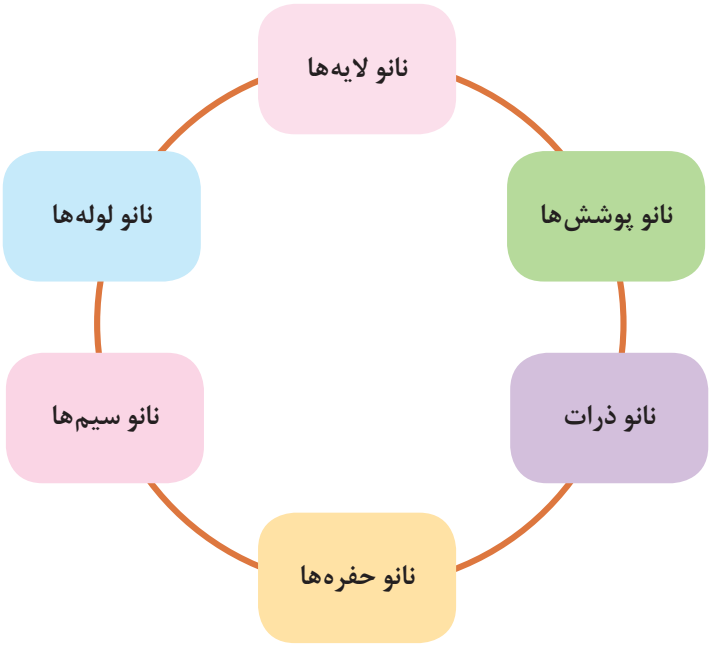


شکل ۲- مقیاس‌های طولی مختلف

همهٔ مواد از جمله فلزات، نیمه‌هادی‌ها، شیشه‌ها، سرامیک‌ها و پلیمرها در ابعاد نانو می‌توانند وجود داشته باشند. همچنین فناوی نانو می‌تواند تمامی ذرات بی‌شکل (آمورف)، کریستالی، آلی، غیرآلی و یا به صورت منفرد، مجتمع و پودر را در برگیرد.

دسته بندی نانو مواد

مواد در مقیاس نانو مطابق شکل ۳ تقسیم‌بندی می‌شوند:



شکل ۳- انواع ساختارها در مقیاس نانو

اکنون به معرفی بعضی از موارد بالا می‌پردازیم:

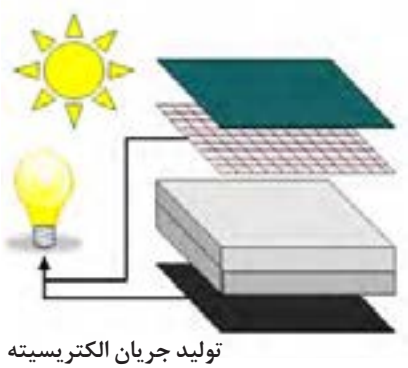
نانو پوشش‌ها

یکی از مواردی که در حال حاضر فناوری نانو در آن به‌طور گسترده و مؤثری مورد استفاده قرار گرفته است، پوشش‌ها و فرایندهای پوشش‌دهی است. تحقیقات صورت گرفته بر روی نانوپوشش‌ها نشان می‌دهد که خواص آنها نسبت به پوشش‌های معمولی بهبود چشمگیری یافته است.

پوشش‌ها دارای کاربردهای متنوعی از صنایع اتومبیل گرفته تا صنایع لوازم خانگی هستند. نانوپوشش‌ها از سطوحی که در معرض آسیب‌های محیطی مانند باران، برف، نمک‌ها، رسوب‌های اسیدی، اشعهٔ ماورای بنفش، نور آفتاب و رطوبت می‌باشند، محافظت می‌کنند.

نانو پوشش‌های حفاظتی برای افزایش مقاومت در مقابل خوردگی، افزایش سختی سطوح و حفاظت در مقابل

عوامل مخرب محیطی هستند. علاوه بر آن، فناوری نانو از خش برداشتن، تکه تکه شدن و خرده شده روکش‌ها جلوگیری می‌کند. از موارد استفادهٔ نانو پوشش‌ها می‌توان به روکش‌های ضد انعکاس در مصارف خودروسازی و سازه‌ای، روکش‌های محافظ (ضد خش، غیر قابل رنگ‌آمیزی و قابل شستشوی آسان) و روکش‌های تزئینی اشاره کرد. از جمله کاربرد نانوپوشش‌ها در سطح سلول‌های خورشیدی است که به منظور افزایش جذب نورخورشید و افزایش بازده سلول‌های خورشیدی به‌کار می‌رود.



شکل ۴- کاربرد پوشش در سطح سلول خورشید

استحکام و سختی بالای نانوپوشش‌های سرامیکی زمینهٔ کاربرد آنها در ادوات نظامی را فراهم کرده است. همچنین استفاده از پوشش‌های سرامیکی در تجهیزات دریایی، هزینه و صدمات ناشی از خوردگی را به شدت کاهش داده است. از جمله نانوپوشش‌های سرامیکی، پوشش‌هایی است که از نانوذرات آلومینا (Al_2O_3) و تیتانیا (TiO_2) تهیه می‌شوند.

با جستجو در منابع مختلف لیستی از کاربردهای نانو پوشش‌ها تهیه کنید.

تحقیق

نانوسرامیک‌ها

با پیدایش نانو فناوری، نانو سرامیک‌ها هرچه بیشتر اهمیت خود را نشان دادند. زمان تولید نانو سرامیک‌ها را می‌توان دههٔ ۹۰ میلادی دانست. در این زمان نانوپودرهای سرامیکی تولید شدند. با استفاده از نانو پودرها، دمای پخت کاهش می‌یابد و روش‌های ساخت مواد ساده‌تر می‌شود و در نتیجه هزینه تولید نیز کاهش خواهد یافت.

نانوسرامیک‌ها، سرامیک‌هایی هستند که اجزای سازنده آنها در حد نانومتر است و دارای خواص مکانیکی بهتر، استحکام بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتر هستند و همچنین خواص الکتریکی، مغناطیسی و نوری مطلوب‌تری خواهند داشت.

یکی از مشکلات سرامیک‌ها شکنندگی آنهاست که با

تولید سرامیک‌هایی در مقیاس نانو قابلیت شکل‌پذیری و ضربه‌پذیری آنها بهبود می‌یابد. سرامیک‌ها در کاربردهای هوافضا در حفاظت حرارتی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد سرامیک‌های ساخته شده با فناوری نانو در حسگرها، الکترونیک و سازه‌های فضایی در حال گسترش است. در تکنولوژی ساخت رایانه‌ها نیز امکان وقوع تحولاتی با استفاده از تراشه‌های نانوسرامیکی به جای تراشه‌های سیلیکونی وجود دارد.

سرامیک‌ها و عصر الکترونیک

الکترونیک به طور قابل توجهی زندگی ما را در برگرفته است به نظر می‌رسد هر محصولی که می‌خریم از الکترونیک در آن استفاده شده است : دستگاه پخت نان که قابلیت برنامه‌ریزی برای پخت نان دارد، ساعت‌های جدید که در رأس هر ساعت صدای پرنده می‌دهند، اجاق مایکروویو که می‌داند چه مدت غذا را یخزدایی کند یا پخت کند و البته رایانه رومیزی؛ بازار محصولات الکترونیکی بیش از ۱۵ تریلیون دلار در سال برآورد شده است.

نقش سرامیک‌ها در الکترونیک به چه میزان است؟

سرامیک‌ها به دلیل تنوعی که دارند به روش‌های گوناگونی در وسایل الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از سرامیک‌ها کاملاً مانع از عبور الکتریسیته شده و نارسانا نامیده می‌شوند. آلومینای مورد استفاده در شمع خودرو از جمله سرامیک‌های نارساناست که برق را از خود عبور نمی‌دهد.

برخی از سرامیک‌ها که مقاومت نامیده می‌شوند مقدار کمی جریان را از خود عبور می‌دهند. مقاومت‌ها مقدار جریان عبور از سیم را کنترل می‌کنند. بنابراین جریان الکترون‌ها نیاز به کار بیشتری برای عبور دارد. این کار اضافی باعث ایجاد گرما می‌شود و در بعضی از موارد مقدار گرمای ایجاد شده به قدری است که می‌توان با آن اجاق‌ها، بخاری‌ها و المنت‌های مورد استفاده در ذوب شیشه و تراشه‌های سیلیسیمی را ساخت.

جدول ۱- رفتار متفاوت سرامیک‌ها در برابر الکتریسیته

انواع مواد الکتریکی	نوع رفتار
ابر رسانای الکتریکی	الکتریسیته را بدون هیچ مقاومتی از خود عبور می‌دهد.
رسانای الکتریکی	الکتریسیته را با مقاومت کمی از خود عبور می‌دهد.
نیمه رسانای الکتریکی	مانند یک دریچه ویژه عمل و جریان الکتریسیته را کنترل می‌کند.
نارسانای الکتریکی	از عبور الکتریسیته از سیم جلوگیری می‌کند.
مقاومت	الکتریسیته را از خود به سختی عبور می‌دهد.
خازن	الکتریسیته را ذخیره و برخی از سیگنال‌های الکتریکی را فیلتر می‌کند.
پیزو الکتریک	نیروی مکانیکی و الکتریسیته را به یکدیگر تبدیل می‌کند.
پایرو الکتریک	حرارت و الکتریسیته را به یکدیگر تبدیل می‌کند.
تراشه سیلیسیمی	به مانند مغز میکروپردازنده در مدارهای مجتمع یا آسیاب الکترونی دیگر عمل می‌کند.
ترمیستور	مقاومت آن با دما تغییر می‌کند.
وریستور	مقاومت آن با ولتاژ تغییر می‌کند.
حسگرهای رطوبت و گاز	مقاومت آنها با رطوبت و فشار گاز تغییر می‌کند.

برخی از وسایل الکتریکی به جریان متناوب و برخی به جریان مستقیم نیاز دارند. دانشمندان در سال ۱۸۷۰ کشف کردند که سرامیک طبیعی به نام گالنا یک نیمه رسانا است که می‌تواند جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل کند. در واقع گالنا مانند یک خیابان یا تونل یک طرفه عمل می‌کند جریان متناوب در نیمه اول سیکل متناوب وارد گالنا می‌شود و از آن عبور می‌کند اما هنگامی‌که سیکل معکوس می‌شود نمی‌تواند باز گردد. بنابراین گالنا جریان متناوب را به مستقیم تبدیل می‌کند این کشف به دانشمندان اجازه داد تا وسایل الکتریکی جدیدی را ابداع کنند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این ابداع در رادیو است که امواج رادیویی را به پالس‌های الکتریکی و سپس صدا تبدیل می‌کند.

شکل۵- سنگ طبیعی گالنا

نقش سرامیک در فناوری مدارهای مجتمع

تراشه سیلیسیمی

آیا فکر کرده‌اید، چگونه دانشمندان ۱۶ میلیون ترانزیستور و تمام مسیرهای رسانای الکتریسیته، نارساناها، مقاومت‌ها و دیگر وسایل الکتریکی را در یک مدار مجتمع به‌اندازه ناخن شست جای می‌دهند؟

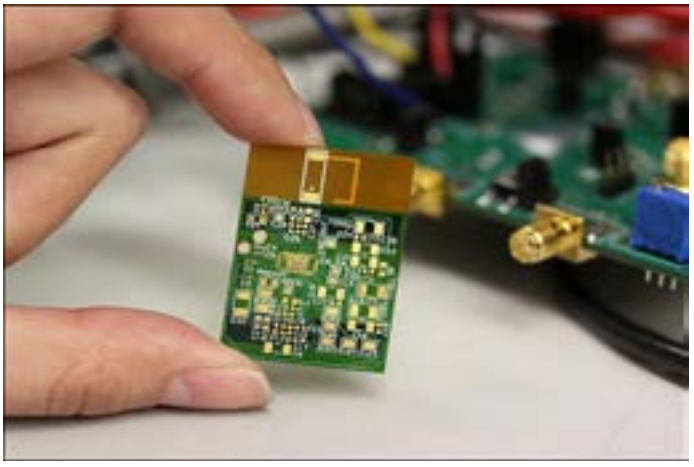
برای این کار هر قطعه‌را به‌اندازه حدود ۵۰۰نانومتر می‌سازند و بر روی سطح یک تراشه تک بلور سیلیسیمی به صورت لایه‌های متوالی قرار داده می‌شود. یک تراشه می‌تواند بیش از ۲۰ لایه داشته باشد که همه آنها به صورت یک مسیر مارپیچ به یکدیگر متصل می‌شوند.

شکل۶- تراشه سیلیسیمی

برای اینکه بتوانید پیچیدگی یک مدار مجتمع را تصور کنید یک ساختمان ۲۰ طبقه را در نظر بگیرید که دارای هزاران واحد است . هر واحد پر از سیم‌کشی‌های الکتریکی و وسایل برقی متفاوت مانند یخچال، تلویزیون و رایانه است. این وسایل برقی مانند اجزای منفرد یک ریز تراشه است که هر یک نیازمند اتصال مخصوص به خود هستند و در ضمن همگی به سیم‌کشی اصلی ساختمان متصل هستند.

حال لوله‌کشی آب را درنظر بگیرید؛ این نیز شبکه دیگری را تشکیل می‌دهد که در عین مجزا بودن به عملکرد مجتمع کمک می‌کند. سرانجام راهروها و درها را در نظر بگیرید که اینها نیز مدار دیگری را تشکیل می‌دهند. حال همه سیم‌کشی‌ها، لوله کشی‌ها، راهروها و کلیدهای برق، شیرها و درهای این ساختمان ۲۰ طبقه را به‌اندازه ناخن شست فشرده کنید. به نحوی که هیچ فضای خالی بین طبقات وجود نداشته باشد. این ساختار بسیار فشرده مثال خوبی از پیچیدگی مدارهای مجتمع جدید است. سیم‌کشی برق، لوله‌کشی و راهروها نشانگر پیچیدگی مسیرهای الکتریکی در این مدار مجتمع است. کلیدهای برق، شیرهای آب و درها نشانگر میکروسوئیچ‌ها و دریچه‌های کنترل مسیر جریان در مدار مجتمع هستند. میلیون‌ها وسیله برقی نشانگر قطعات الکتریکی گوناگون در مدار مجتمع هستند. مهندسی که مدارهای مجتمع را طراحی می‌کند، قطعات مورد نیاز برای هر کاربرد را در مدار مجتمع انتخاب می‌کنند.

در این قسمت نحوه ساخت مدارهای مجتمع مورد بررسی قرار داده می‌شود. ابتدا در مورد مواد داخل مدارهای مجتمع به ویژه سرامیک‌ها صحبت می‌کنیم.



شکل۷- تصویری از یک مدار مجتمع

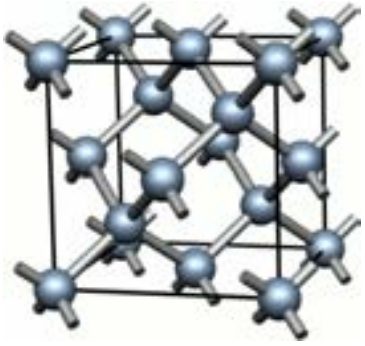
بیشتر مواد به کار رفته در مدارهای مجتمع نیمه رسانا هستند، یعنی در شرایطی مانع از عبور الکتریسیته و در شرایط دیگر باعث عبور آن می‌شوند. آنها مانند میکروسوئیچ‌هایی عمل می‌کنند که الکتریسیته را در مدار مجتمع هدایت می‌کنند تا وظایفی مانند ذخیره‌سازی اطلاعات یا انجام محاسبات پیچیده را انجام دهند.

برخی از مواد مانند سیلیسیم و ژرمانیم نیمه رسانای طبیعی یا ذاتی هستند زیرا دارای شکاف‌انرژی باریکی هستند و به انرژی زیادی برای جهش از شکاف انرژی و ایجاد جریان الکتریسیته نیاز ندارند. برخی از مواد از جمله سیلیسیم و ژرمانیم را می‌توان با افزودن مقدار کمی‌از عناصر دیگر مانند فسفر و برم یا بور به نیمه‌رساناهای طراحی شده یا غیرذاتی تبدیل کرد. افزودن این مواد را آلاییدن می‌نامند.

۱-Band Gap

نیمه رساناهای موجود در مدارهای مجتمع از کدام دسته هستند؟

از جمله مواد به کار رفته به عنوان نیم‌رسانا می‌توان ژرمانیم نام برد. ژرمانیم ساختاری شبیه به الماس دارد. بنابراین می‌توان گفت که بیشتر مدارهای مجتمع ساختار سرامیکی دارند.



شکل ۸- ساختار کریستالی ژرمانیم

چگونگی ساخت مدارهای مجتمع

اولین گام در ساخت مدار مجتمع ساخت یک تک بلور بسیار خالص و کامل سیلیسیمی‌است. دانشمندان یک روش متفاوت برای این کار ابداع کردند؛ آنها سیلیسیم را در یک بوته ساخته شده از سرامیک سیلیسی، ذوب کردند. پس از ذوب سیلسیم، تک‌بلور آن با روش مشابه ساخت نبات ایجاد می‌شود.

دومین گام ساخت مدارهای مجتمع برش دادن میله تک بلور به شکل صفحات نازک با ضخامت ۰/۰۰۶ سانتی‌متر و سایش و پولیش آنها تا رسیدن به یک سطح صاف و آیینه‌ای است. این روش شکل‌دهی ضروری است زیرا قطعاتی که بر روی سطح این صفحات شکل قرار داده می‌شوند پهنایی حدود ۵۰۰ نانومتر دارند. حتی کوچک‌ترین خراش یا تخلخل، قطعه را با مشکل مواجه می‌کند. تمام گام‌های برش، سایش و پولیش به وسیله سرامیک‌ها انجام می‌شود. پس از این مرحله‌ها لایه‌های متوالی با روش‌های مختلف بر روی زیر پایه سیلیسیمی‌قرار داده می‌شود.

کاربردهای الکتریکی دیگر سرامیک‌ها

نارساناهای الکتریکی سرامیکی

از زمان کشف الکتریسیته، سرامیک‌ها و شیشه‌ها به‌عنوان نارساناهای الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سرامیک‌ها به‌عنوان نارسانای الکتریکی تقریباً در همه دستگاه‌های الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ به‌طور مثال سرامیک‌ها در رادیو، تلویزیون، لوازم برقی خانگی و موتور دستگاه‌های مخابراتی، سامانه‌های مایکروویو، رایانه‌ها، دستگاه‌های صنعتی، پزشکی و سامانه‌های فضانوردی و نظامی به‌کار گرفته می‌شوند. یکی از قدیمی‌ترین کاربردهای نارساناهای سرامیکی، نارسانا کردن خطوط انتقال برقی است که برق را از مدار هیدروالکتریک به نیروگاه‌های برق و سپس به خانه‌ها منتقل می‌کنند. وقتی از کنار دکل‌های بزرگ برق عبور کرده باشید متوجه خواهید شد که سیم‌ها هرگز به دکل‌ها وصل نمی‌شوند بلکه به نارساناهای بزرگ سرامیکی متصل می‌شوند. این نارساناهای سرامیکی باید بتوانند ولتاژهای بسیار زیاد را تحمل کنند و همچنین به‌اندازه کافی مستحکم باشند که وزن سیم‌ها را حتی در هنگام بارش یا کولاک تحمل کنند. هنگامی‌که الکتریسیته به خانه‌ها می‌رسد، نارساناهای سرامیکی، پریزها و دوشاخه‌های برق، حفاظت درمقابل شوک الکتریکی و نیز آتش را انجام می‌دهند.

کاربرد مهم دیگر نارساناهای سرامیکی در زیر پایه یا گیره‌هایی است که سامانه‌های الکتریکی دیگر را به آنها متصل می‌کنند. پلاستیک تقویت شده با الیاف شیشه مثالی از یک زیر پایه است و سرامیک‌هایی مانند آلومینا هدایت حرارتی بالایی نسبت به پلاستیک‌ها دارند و می‌توانند حرارت را با سرعت از خود دور کنند، به عنوان نارسانا در زیر پایه یا گیره‌هایی که سامانه‌های الکتریکی را به آنها متصل می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برخی از محصولات مانند برخی از اجزای لیزر به سرامیک‌هایی نیاز است که حرارت را بهتر از آلومینا منتقل می‌کنند. اکسید برلیم و نیترید آلومینیم هر دو حرارت را سریع‌تر از آلومینا و تقریباً به سرعت دیگر فلزات منتقل می‌کنند. اما بهترین ماده در انتقال حرارت الماس است؛ الماس حرارت را ۵ تا ۱۰ مرتبه سریع‌تر از بهترین فلزات انتقال می‌دهد.

جدول ۲- هدایت حرارتی مواد مختلف

نوع ماده	هدایت حرارتی $(W/m^{\circ}K)$
SiO_2	۱۰
Al_2O_3	۲۵ ـ ۴۰
MgO	۲۵ ـ ۵۰
SiC	۲۵ ـ ۱۰۰
Si_3N_4	۵۰
AlN	۱۲۰-۲۲۰
BN	۱۰۰ـ۲۵۰
BeO	۲۷۰

سرامیک‌های دی الکتریک و خازن‌ها

خازن‌های سرامیکی قطعات الکتریکی هستند که تقریباً در تمام دستگاه‌های الکتریکی به کار می‌روند. خازن یک نوع نارسانای خاص به نام دی‌الکتریک است. اگرچه دی‌الکتریک جریان را از خود عبور نمی‌دهد اما تحت تأثیر الکتریسیته قرار می‌گیرد. در اثر جریان الکتریسیته، دی‌الکتریک سرامیکی دارای بار مثبت و منفی می‌شود که سبب ایجاد قطبیت در آن می‌گردد و در این حالت ذخیره الکتریسیته در سرامیک اتفاق می‌افتد.

برخی از سرامیک‌ها بهتر قطبی می‌شوند؛ آلومینا قطبی‌بودن کمی از خود نشان می‌دهد به همین دلیل نارسانای بسیار خوبی است. یک سرامیک ویژه به نام تیتانات باریم هزار مرتبه بیشتر از آلومینا قطبی می‌شود و برای ساخت خازن‌ها بسیار مفید است. میزان قطبی‌بودن مواد مختلف با ثابت دی‌الکتریک بیان می‌شود. در جدول ۳ ثابت دی‌الکتریک مواد مختلف بیان شده است.

جدول ۳- هدایت دی الکتریک مواد مختلف

نوع ماده	ثابت دی‌الکتریک
هوا	۱/۰۰
شیشه	۷/۷۵
میکا	۵/۴۰
کاغذ	۳/۰۰
پرسلان	۵/۵۷
پیرکس	۴/۸۰
کوارتز	۳/۸۰
تفلون	۲/۱۰

کاربرد مهم سرامیک‌های دی الکتریک در تلفن همراه است که در آن دی الکتریک به عنوان فیلتر عمل می‌کند. گوشی تلفن همراه دائماً در معرض امواج ناخواسته رادیویی، تلویزیونی و امواج خواسته تلفنی قرار دارد. هر یک از این سیگنال‌ها طول موج و فرکانس مخصوص به خود را دارند. سرامیک دی‌الکتریک در یک تلفن همراه به نحوی طراحی شده است که فقط از آن فرکانس تلفن عبور کرده و بقیه فرکانس‌ها را جدا می‌کند.

ابررساناهای سرامیکی

ابررساناهای سرامیکی برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ کشف شدند. این ابر رساناهای سرامیکی قادر بودند با هزینه کمتری از ابررساناهای فلزی کار کنند و با کاهش اتلاف الکتریکی در حین انتقال، ذخیره‌سازی را درپی داشتند.

چرا ابر رساناها تا این حد مهم هستند؟

ابر رساناها هیچ مقاومتی در برابر عبور جریان از خود نشان نمی‌دهند. بیشتر مواد حتی بهترین رساناهای فلزی یعنی مس و نقره نیز مقداری مقاومت الکتریکی دارند و الکتریسیته برای عبور از آنها باید کار انجام دهد. این امر

باعث اتلاف بخشی از انرژی الکتریکی و ایجاد گرما می‌شود. ابر رساناهای سرامیکی کم هزینه‌تر از ابر رساناهای فلزی هستند زیرا ابر رساناهای فلزی در دماهای بسیار پایین ابررسانا می‌شوند.
اولین ابررسانا یعنی جیوه که در سال ۱۹۱۱ کشف شد باید تا حدود $-۲۶۹^{\circ}C$ سرد می‌شد تا ابررسانا شود. تنها روش برای رسیدن به‌این دمای بسیار پایین غوطه‌ورکردن جیوه در هلیم مایع بود که روشی پرهزینه و بسیار گران بود. ابررسانای سرامیکی کشف شده در سال ۱۹۸۷ نیاز داشت که تا دمای $-۱۸۱^{\circ}C$ سرد شود که با استفاده از نیتروژن مایع این دما ایجاد می‌شد. نیتروژن نسبت به هلیوم بسیار ارزان‌تر است و بنابراین کاهش هزینه‌ها را در پی خواهد داشت.

سرامیک‌های مغناطیسی

سرامیک‌ها می‌توانند خاصیت مغناطیسی داشته باشند و در دستگاه‌های ضبط، نوار ضبط، بلندگوها و در تمام موتورهای لوازم جانبی خودروها که حرکت دارند (مانند موتور برف‌پاک‌کن، صندلی‌های برقی، پنجره‌های برقی و غیره) به‌کار روند.

سؤال

با جستجو در منابع مختلف، چند ماده سرامیکی دارای خاصیت مغناطیسی را نام ببرید.

مصارف پزشکی

اولین کاربرد سرامیک‌های پزشکی مربوط به عدسی عینک است که به قرن دوازدهم باز می‌گردد. پس از آن در سال ۱۷۷۴ پرسلان‌های سرامیکی به‌عنوان جایگزین برای دندان‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

سرامیک‌های دندانی

اولین تلاش ثبت شده برای استفاده از سرامیک‌ها به عنوان جایگزین دندان در سال ۱۷۷۴ توسط یک دندان‌پزشک فرانسوی انجام شد. هنگامی که این دندان‌پزشک پرسلان سرامیکی را برای اولین بار دید متوجه شباهت زیاد آن با دندان طبیعی شد. قبل از آن، مواد دیگری مانند عاج، استخوان، چوب و دندان حیوانات نیز برای این کار مورد استفاده قرار گرفته بود. اما این مواد چندان مؤثر نبودند، زیرا به سرعت لکه‌دار می‌شدند.
از سال ۱۷۷۴ و به ویژه در ۴۰ سال گذشته سرامیک‌های دندانی به گونه‌ای اصلاح شدند تا رنگ و شفافیت دندان طبیعی را بازسازی کنند و استحکام بیشتری داشته باشند. علاوه بر استفاده از سرامیک‌ها به عنوان دندان مصنوعی آنها به عنوان روکش، پرکردنی و تاج دندان نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روکش از یک لایه نازک سرامیکی تشکیل شده است که معمولاً بر سطح قابل رؤیت دندان‌های جلویی چسبانده می‌شود. ماده پرکردنی سرامیکی جایگزین مناسبی با رنگ طبیعی می باشد که برای ترمیم حفرات دندانی به جای پرکردنی‌های ساخته شده از آلیاژ نقره، قلع، جیوه مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از یک پوسته سرامیکی توخالی جهت پوشش سطح خارجی دندان به عنوان

شکل ۹- روکش‌های پرسلانی

سرامیک‌ها در ارتودنسی (ردیف کردن دندان‌های نامنظم) نیز کاربرد دارند برای منظم کردن دندان، یک گیره توسط چسب به دندان متصل می‌کنند و یک سیم فلزی را از بین گیره‌های نصب شده بر روی دندان‌ها عبور داده می‌شود تا یک فشار یکنواخت به دندان‌ها وارد شود و آنها را به تدریج منظم کند. در گذشته‌این گیره‌ها را از فلزات می‌ساختند اما به دلیل براقیت فلزات این گیره‌ها بر روی دندان‌ها مشخص بودند و ظاهر جالبی نداشتند.

الف) فلزی

ب) سرامیکی

شکل ۱۰- گیره ارتودنسی فلزی و سرامیکی

پیوند گوش میانی

بسیاری از مردم به دلیل بیماری یا آسیب به استخوان‌های کوچک گوش که لرزش‌های صدا را از پرده صماخ به گوش داخل منتقل می‌کنند، دچار مشکل ناشنوایی می‌شوند. جایگزین‌های پلیمری و فلزی زیادی برای گوش میانی مورد استفاده قرار گرفته است، اما به دلیل عدم پیوند این جایگزین با پرده صماخ کارایی مناسبی نداشته است. دانشمندان موفق به ساخت شیشه‌ای شده‌اند که با بدن سازگاری دارد و با بافت‌های نرم و سخت پیوند برقرار می‌کنند و توسط بدن پس زده نمی‌شوند. جراحان می‌توانند این کاشتنی‌ها را در حین جراحی به طور دقیق به شکل گوش درآورند.

الف) کاشتنی گوش ب) برش حفره‌ای از گوش

شکل ۱۱- تصویر گوش و محل قرارگیری کاشتنی گوش

پیوند دریچه قلب

یکی از نارسایی‌های قلبی مربوط به دریچه‌های آئورتی است که نمی‌توانند با هر بار تپش قلب به درستی بسته شوند. هنگامی‌که دریچه‌های قلب به خوبی عمل نمی‌کنند، خونی که باید از قلب خارج شود مجدداً به قلب باز می‌گردد که باعث کاهش میزان خون جریان یافته با هر ضربان قلب می‌شود. دانشمندان علم سرامیک یک دریچه مکانیکی مصنوعی سرامیکی ساخته‌اند که استفاده از آن موفقیت‌آمیز بوده است. این دریچه از یک ماده کربنی ویژه به نام کربن پیرولیتیک ساخته شده است و مانند دری که فنر به آن وصل شده است عمل می‌کند. این دریچه با هر بار ضربان قلب باز و سپس بسته می‌شود. کربن پیرولیتیک برای جایگزین شدن به جای استخوان نیز مناسب است.

شکل ۱۲- دریچه قلب مصنوعی

پروتز

محققان در ساخت بازوی دست و دیگر پروتزهای مصنوعی به پیشرفت‌های قابل توجهی دست یافته‌اند. سرامیک‌ها نقش روز افزون و مهمی‌در این زمینه به‌عنوان الیاف مستحکم برای تقویت پلیمرها بازی می‌کنند. کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف نسبت استحکام به وزن بالایی دارند و در نتیجه پروتزهای بسیار سبک و مستحکمی را می‌توان با این مواد طراحی کرد. موضوع مورد توجه در این زمینه، حسگرهای سرامیکی است که در پروتزها کار گذاشته می‌شوند تا حس لامسه را ایجاد کند و بر هم کنش ناخواسته با اجسام را محدود کنند. این فناوری هنوز در گام‌های اولیه توسعه قرار دارد اما حسگرهای پیزوالکتریک و حسگرهای سرامیکی دیگر در این زمینه کاربردهای بیشتری خواهند داشت.

شکل ۱۳- بخش بالایی یک پروتز مفصل ران

سرامیک‌های مورد استفاده در دستگاه‌های تنظیم ضربان قلب

قلب عضوی است که با سرعت ثابتی می‌تپد. گاهی به ویژه در پیری ضربان قلب به نحو خطرناکی افزایش می‌یابد. پزشکان متوجه شده‌اند که شوک‌های الکتریکی ملایم می‌تواند ضربان قلب را به سرعت معمولی بازگرداند.
دستگاه تنظیم ضربان قلب، دستگاهی است که با عمل جراحی در قفسه سینه کار گذاشته می‌شود تا برای کنترل سرعت ضربان قلب به طور پیوسته پالس‌های الکتریکی رها کند. نارساناهای الکتریکی خازن‌های سرامیکی و واشرهای شیشه‌ای که مانع از ورود مایعات بدن به داخل دستگاه می‌شوند از اجزای مهم این دستگاه محسوب می‌شوند. امروزه حتی محفظه بیرونی برخی از این دستگاه‌ها از سرامیک‌هایی مانند آلومینا ساخته می‌شود زیرا سرامیک‌ها بیش از سایر مواد با بدن سازگار هستند.

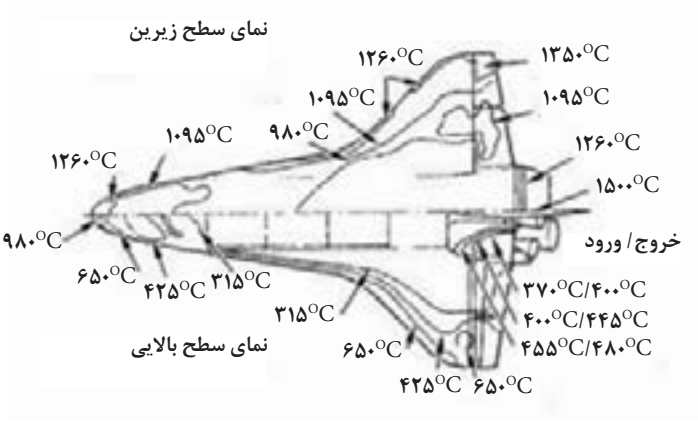
کاربردهای دما بالای سرامیک‌ها در هوا ـ فضا

کاشی‌های سرامیکی که سطح فضاپیما را می‌پوشانند به عنوان محافظ حرارتی عمل می‌کنند. در موتورهای توربین گازی سرامیک‌هایی با ضخامت بسیار کمتر به‌عنوان پوشش‌های محافظت حرارتی به‌کار می‌روند تا از فلز زیرین در برابر دمای بالای موتور محافظت کنند. متداول‌ترین این مواد زیرکونیا است. لایه‌ای به ضخامت حدود ۰/۰۶ سانتی‌متر از این ماده می‌تواند دمای فلز زیرین را تا حدود ۲۰۰ درجه سلسیوس کاهش دهد،

به همین دلیل موتور را می‌توان در دمای بالاتر به کار برد. استفاده از موتور در دمای بالاتر قدرت آن را افزایش و سوخت مصرفی را کاهش می‌دهد.
یک کاربرد دما بالای دیگر سرامیک‌ها در موتور هواپیما است. موتور هواپیما نیز مانند خودرو به شمع یا جرقه زن برای احتراق سوخت نیاز دارد، اما دمای موتور هواپیما بسیار بیشتر است. نارسانای شمع خودرو باید این دمای بالا و شوک را تحمل کند. نیتریدسیلیسیم گزینه مناسبی برای این کاربرد است.
سرامیک‌ها در قسمت‌هایی از هواپیما که در معرض دمای بالا هستند، کاربرد دارد. قطعات سرامیکی و کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی نیز در مشعل و بسیاری از قطعات موتورهای توربین گازی در حال توسعه به‌کار می‌روند.

سرامیک در صنایع فضایی

سرامیک‌ها به دلیل ویژگی پایداری حرارتی بالا کاربرد گسترده‌ای‌دارند. آشناترین کاربرد سرامیک‌ها در فناوری هوا- فضا شاتل هوایی یا فضاپیما است. سطح خارجی فضاپیما با حدود ۳۳۰۰۰ کاشی سرامیکی پوشانده می‌شود که بدنه آلومینیمی و نیز فضانوردان را از دمای بالا در حین خروج و نیز بازگشت به اتمسفر زمین محافظت می‌کند. اصطکاک ایجاد شده بین شاتل و هوای اطراف در سرعت بالا به قدری است که دمایی حدود ۱۴۵۰ °C ایجاد می‌کند که این دما تقریباً دو برابر نقطه ذوب آلیاژهای آلومینیمی است که بدنه شاتل از آنها ساخته شده است.
دماغه و لبه بال‌ها در معرض بیشترین اصطکاک هستند و بالاترین دما را در شاتل دارند، بنابراین در این قسمت‌ها کامپوزیت سرامیکی به کار می‌رود. این کامپوزیت از الیاف کربن در زمینه کربنی تشکیل می‌شود که مقاومت دمایی بسیار بالایی دارد، اما اگر در دمای بالا در تماس با اکسیژن قرار گیرد، می‌سوزد. برای ممانعت از تماس با اکسیژن، این کامپوزیت ابتدا با لایه‌ای از کاربید سیلیسیم و سپس با لایه‌ای از دی‌اکسیدسیلیسیم پوشانده می‌شود. سایر قسمت‌های شاتل دماهای پایین‌تری دارند و معمولاً به بیشتر از ۱۲۰۰ °C نمی‌رسد و بنابراین بدنه آلومینیمی با کاشی‌هایی از جنس سیلیس محافظت می‌شود. نقطه ذوب سیلیس ۱۷۰۰ °C است، بنابراین مقاومت بالایی برای کاربرد در شاتل‌ها دارد.

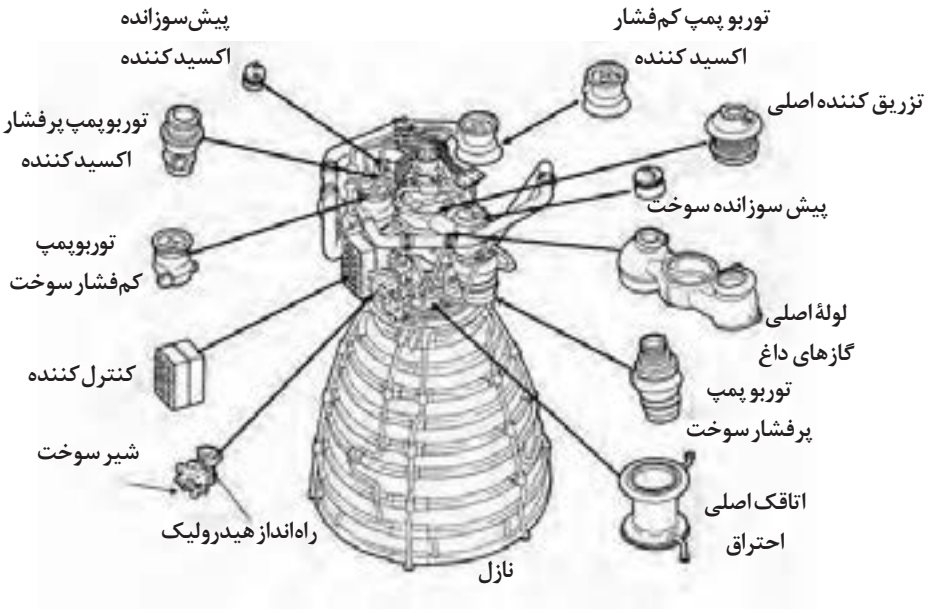


شکل ۱۴- نقشه دمایی شاتل (از نمای زیرین و بالایی)

سؤال

به نظر شما برای کاشی شاتل اکسید سیلیسیم متخلخل مناسب است؟ چرا؟

سرامیک‌ها کاربردهای دیگری نیز در شاتل‌ها دارند، از جمله آنها آسترکاری نازل هدایت موشک است تا در برابر دمای بالا محافظت شوند. همچنین سرامیک‌ها در قطعات پیشرفته، حسگرهای دما و فشار و در تقویت قطعات فلزی نیز کاربرد دارند.



شکل۱۵- نازل موشک و اجزای آن

فصل ۴

محاسبات در سرامیک

تخلخل در سرامیک‌ها

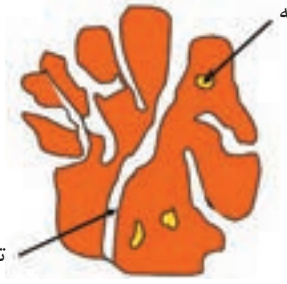
قطعات سرامیکی متخلخل: اغلب قطعات سرامیکی با استفاده از مواد اولیه پودر شده تولید می‌شوند. به همین دلیل این قطعات در حالت خام دارای مقدار قالب توجهی فضای خالی خواهند بود که به دلیل قرار گرفتن ناپیوسته ذرات در کنار هم، ایجاد می‌شوند. به‌این فضاهای خالی تخلخل گفته می‌شود.

اگرچه بخش اعظمی‌از این فضاهای خالی در طی فرایند پخت از بین می‌روند، با این وجود دستیابی به یک قطعه بدون تخلخل در اکثر مواقع غیرممکن و یا به شرایط پخت ویژه‌ای نیاز دارد. گاهی اوقات نیز قطعات را با توجه به محصول مورد نظر متخلخل می‌سازیم (مانند بدنه‌های کاشی دیوار و آجر). به دلیل وجود تخلخل‌ها در ساختار سرامیک‌ها و تأثیر مهم آنها بر خواص مختلف قطعات سرامیکی، اطلاع از میزان و چگونگی توزیع آنها، از اهمیت خاصی برخوردار است.

ساختمان تخلخل‌ها:

به‌طور کلی در قطعات سرامیکی با دو دسته تخلخل روبه‌رو هستیم :

۱-تخلخل باز ۲- تخلخل بسته



تخلخل‌های باز آن دسته از فضاهای خالی در داخل قطعه هستند که به سطح آن، راه دارند. دلیل حضور این تخلخل‌ها، وجود تخلخل‌های اولیه در قطعه شکل داده شده، خروج گازهای حاصل از مواد فرّار در طی پخت و یا خروج آب در هنگام خشک شدن قطعه است. دلیل اصلی ایجاد تخلخل بسته در هنگام پخت در اثر عدم اتصال مناسب ذرات به هم ایجاد می‌شود.

محاسبه چگالی ظاهری، حقیقی و کلی:

برای یک بدنهٔ بدون تخلخل، تنها یک وزن و یک حجم وجود دارد. اما در مورد قطعات متخلخل این چنین نیست و حجم‌های متعدد و درنتیجه چگالی‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد.

برای قطعات متخلخل سه نوع حجم تعریف می‌شود که عبارت‌اند از:

الف) حجم کلی یا توده‌ای[1]

مجموع حجم مادهٔ جامد و حجم تخلخل‌های باز و بسته را حجم کلی گویند. این حجم را به سه روش می‌توان اندازه‌گیری کرد:

الف) اندازه‌گیری ابعاد نمونه، با استفاده از لوازم اندازه‌گیری طول (البته در مواردی که‌این امکان وجود داشته باشد.) مثلاً آجر متخلخلی با ابعاد ۲۲/۵cm × ۱۰cm × ۸cm دارای حجم کلی ۱۸۰۰ سانتی‌متر مکعب است.

ب) استفاده از روش جابه‌جایی جیوه، چون جیوه نمی‌تواند وارد تخلخل‌های باز شود.

۱ـ Bulk Volume

ج) استفاده از اختلاف وزن بین حالتی که نمونه به‌طور کامل آب جذب کرده است (S) و زمانی که در حالت غوطه‌وری در آب قرار دارد (I). در این حالت مقدار (S-I) برابر با حجم کلی خواهد بود.

$$\text{حجم کلی} = V_b = (S-I)$$

ب) حجم ظاهری[1]

مجموع حجم مادهٔ جامد و حجم تخلخل‌های بسته را حجم ظاهری گویند. این حجم را می‌توان با استفاده از اختلاف وزن قطعهٔ خشک (اندازه‌گیری شده در هوا) (D) و وزن قطعه غوطه ور شده (I) محاسبه کرد. یعنی می‌توان نوشت:

$$\text{حجم ظاهری ماده متخلخل} = V_a = (D - I)$$

ج) حجم حقیقی[2]

مجموع حجم تنها در برگیرندهٔ حجم جزء جامد است. این حجم را می‌توان با پودر کردن نمونه (به گونه‌ای که موجب از بین رفتن تمام تخلخل‌ها شود) و سپس استفاده از پیکنومتر، اندازه گیری کرد.

پیکنومتر یک وسیله یا ابزار آزمایشگاهی شبیه به بالن ژوژهٔ دردار می‌باشد که درپوش یا در آن دارای یک شیار باریک و باز درون خود می‌باشد. این وسیله برای تعیین دانسیته یا چگالی مایعات به کار می‌رود.

برای اندازه گیری چگالی یک مایع، ابتدا و در مرحلهٔ اول، جرم پیکنومتر خالی که با آب مقطر شسته شده و سپس خشک شده، همراه با درپوش با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی بسیار دقیق (ترجیحاً) تا سه یا چهار رقم اعشار اندازه‌گیری می‌شود. (a)

در مرحلهٔ دوم مقدار مشخصی از پودر محصول یا مواد اولیه برحسب گرم را که از الک عبور کرده است با کمک قیف درون پیکنومتر ریخته و درپوش آن را می‌گذاریم و آن را وزن می‌کنیم. (b)

در مرحله سوم پیکنومتر با پودر را از مایع پر می‌کنیم و وزن پیکنومتر، پودر و آب را اندازه می‌گیریم و با c نشان می‌دهیم.

در مرحله چهارم پیکنومتر را خالی می‌کنیم و بعد از شستشو پر از آب مقطر می‌کنیم و درپوش آن را می‌گذاریم و جرم پیکنومتر پر از آب مقطر اندازه گرفته می‌شود و با d نشان داده می‌شود.

با کمک از رابطه زیر دانسیته حقیقی به‌دست می‌آید.

$$\rho_t = \frac{b-a}{(d-a)-(c-b)} \times D_L$$

D_L: دانسیته مایع

* نکته: به دانسیته حقیقی دانسیته پودر (ρ_p) یا دانسیته واقعی هم گفته می‌شود.

برای یک قطعهٔ متخلخل، حجم‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد. در حالی که همین قطعه فقط دارای یک وزن است، زیرا از وزن هوای داخل تخلخل‌ها می‌توان صرف نظر کرد. بنابراین برای هر قطعهٔ متخلخل سه نوع چگالی می‌توان تعریف کرد که عبارت‌اند از:

$$\text{چگالی کلی (توده‌ای)} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم کلی یا توده‌ای قطعه}} = \frac{D}{S-I}$$

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم ظاهری قطعه}} = \frac{D}{D-I}$$

$$\text{چگالی حقیقی} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم حقیقی قطعه}} = \frac{D}{V_t}$$

1-Apparet Volume
2-True Volume

باید برای همه این چگالی‌ها واحد نیز ذکر شود و در صورت استفاده از چگالی نسبی ظاهری واحد حذف می‌شود. در صورتی‌که برای وزن و حجم به ترتیب واحدهای گرم و سانتی‌متر مکعب مورد استفاده قرار گیرد، واحد چگالی آن گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) می‌شود. برای مثال اگر یک ماده دارای چگالی $3/2 g/cm^3$ باشد چگالی نسبی آن نیز ۳/۲ خواهد بود.

مثال : وزن یک قطعه سرامیکی در حالت خشک برابر با ۱۴/۶۲ g، در حالت جذب آب کامل برابر با ۱۶/۲۵ g و در شرایط غوطه وری برابر با $8/37 g/cm^3$ است. چگالی کلی و چگالی نسبی ظاهری این قطعه را محاسبه کنید.

حل:

$$\text{چگالی کلی} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم کلی قطعه}} = \frac{D}{S - I}$$

$$= \frac{۱۴/۶۲}{(۱۶/۲۵ - ۸/۳۷)} = ۱/۸۵ \ g/cm^3$$

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم ظاهری قطعه}} = \frac{D}{D - I}$$

$$= \frac{۱۴/۶۲}{(۱۴/۶۲ - ۸/۳۷)} = ۲/۳۴ g/cm^3$$

$$\text{چگالی نسبی ظاهری} = \frac{\text{چگالی ظاهری}}{\text{چگالی آب}} = \frac{۲/۳۴}{۱} = ۲/۳۴ g/cm^3$$

مثال: با استفاده از اطلاعاتی که داده می‌شود، چگالی کلی دو جسم A و B را محاسبه کنید.

علامت قطعه	A	B
وزن خشک (**D**)	۱۲۰ g	۹۲ g
وزن قطعه بعد از جذب آب کامل (**S**)	۱۴۶ g	۱۰۵ g
وزن قطعه در حالت غوطه وری در آب (**I**)	۷۲ g	۴۳ g

حل:

$$\text{چگالی کلی} = \frac{\text{وزن قطعه خشک}}{\text{حجم کلی}}$$

اگر چگالی کلی را با علامت ρ_b نشان دهیم، آنگاه خواهیم داشت:

$$\rho_b = \frac{D}{S - I}$$

برای جسم A: $\rho_b = \frac{۱۲۰}{۱۴۶-۷۲} = ۱/۶۲ \ g/cm^3$

برای جسم B: $\rho_b = \frac{۹۲}{۱۰۵-۴۳} = ۱/۴۸ \ g/cm^3$

محاسبه حجم تخلخل‌ها و درصد تخلخل ظاهری: برای به‌دست آوردن درصد تخلخل ظاهری، باید حجم تخلخل‌های باز را به حجم قطعه تقسیم کنیم. می‌دانیم حجم تخلخل‌های باز از اختلاف بین S و D به دست می‌آید، در نتیجه خواهیم داشت:

$$\text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{\text{حجم تخلخل‌های باز}}{\text{حجم قطعه}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{S-D}{S-I} \times ۱۰۰$$

$S-D$ = حجم تخلخل باز

$S-I$ = حجم قطعه

مثال: با توجه به اطلاعات مثال قبل درصد تخلخل ظاهری را برای جسم A و جسم B محاسبه کنید.

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم A} = \frac{۱۴۶ - ۱۲۰}{۱۴۶ - ۷۲} \times ۱۰۰ = ٪۳۵/۱۳$$

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم B} = \frac{۱۰۵ - ۹۲}{۱۰۵ - ۴۳} \times ۱۰۰ = ٪۲۰/۹۷$$

برای به‌دست آوردن درصد جذب آب، باید وزن آب جذب شده در تخلخل‌های باز را به وزن خشک قطعه تقسیم کنیم. رابطهٔ درصد جذب آب بدین صورت خواهد بود:

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{S-D}{D} \times ۱۰۰ \quad \text{یا} \quad \text{درصد جذب آب} = \frac{\text{وزن آب جذب شده}}{\text{وزن خشک قطعه}} \times ۱۰۰$$

می‌دانیم که حجم حقیقی(V_t)، (که از طریق آن چگالی حقیقی و در نتیجه چگالی نسبی حقیقی را تعیین می‌کنیم) تنها شامل اجزای جامد تشکیل دهندهٔ جسم است و حجم کلی (V_b) دربرگیرندهٔ حجم اجزای جامد و حجم تخلخل‌های باز و بسته است. پس اختلاف بین این دو حجم (V_b-V_t)، حجم تخلخل‌های موجود در جسم را مشخص می‌کند.

مثال: نمونه‌ای از جنس آجر سیلیسی دارای ابعاد $۲\times۴\times۴cm^۳$ است. در صورتی که چگالی نسبی حقیقی آجر ۲/۳۹ و وزن این قطعه در حالت خشک ۷۲g باشد، مقدار تخلخل حقیقی آن را محاسبه کنید.

حل:

با توجه به اینکه چگالی نسبی (و در نتیجه چگالی) و جرم این نمونه را داریم، می‌توانیم حجم واقعی نمونه را محاسبه کنیم.

$$\rho = \frac{M}{V} \Rightarrow V = \frac{M}{\rho}$$

$$\text{حجم حقیقی} \Rightarrow V = \frac{۷۲}{۲/۳۹} = ۳۰/۱۳cm^۳$$

در واقع، با این عملیات از وزن هوای داخل تخلخل‌های جسم صرف نظر کردیم.

اختلاف بین حجم محاسبه شده از رابطهٔ قبلی و حجم نمونه، حجم تخلخل‌ها است. پس:

حجم حقیقی - حجم کلی = حجم تخلخل

حجم کلی نمونه = ۴×۴× ۲cm^۳= ۳۲cm^۳

حجم تخلخل = ۳۲-۳۰/۱۳= ۱/۸۷cm^۳

حال اگر این حجم را به حجم نمونه تقسیم کنیم و عدد حاصل را در ۱۰۰ضرب کنیم، درصد تخلخل حقیقی به دست می‌آید که در واقع شامل تخلخل‌های باز و بسته است.

$$\text{درصد تخلخل حقیقی} = \frac{۱/۸۷}{۳۲} \times ۱۰۰ = ۵/۸۴$$

مثال: چگالی نسبی کلی یک آجر ۱/۷۰ و چگالی نسبی حقیقی آن ۲/۴۰ است. در صورتی که ابعاد یک تکهٔ بریده شده از این آجر برابر ۴cm × ۳cm× ۲cm باشد، مقدار آبی را که‌این نمونه می‌تواند جذب کند، محاسبه کنید. (فرض کنید که تمام تخلخل‌های این قطعه باز باشند).

چگالی کلی و حقیقی این نمونه به ترتیب برابر۱/۷۰ g/cm^۳ و ۲/۴۰ g/cm^۳ خواهد بود.

$$\rho_b \text{ (چگالی کلی)} = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم کلی}} \Rightarrow ۱/۷۰ = \frac{m}{۳\times۴\times۲cm^۳}$$

$$m = ۴۰/۸۰g \text{ (وزن نمونه)}$$

$$\rho_t \text{ (چگالی حقیقی)} = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم حقیقی}} \Rightarrow \text{حجم حقیقی} = \frac{۴۰/۸۰}{۲/۴۰} = ۱۷cm^۳$$

پس حجم اجزای جامد تشکیل دهندهٔ این نمونه ۱۷cm^۳ است. از اختلاف بین این دو حجم و حجم کلی نمونه، حجم تخلخل‌ها حاصل می‌شود. پس :

حجم تخلخل‌ها : ۲۴ - ۱۷ = ۷cm^۳

اگر این تخلخل‌ها همگی باز فرض شوند، به هنگام جذب، مقدار ۷ cm^۳ آب جذب نمونه خواهد شد.

مثال: وزن یک نمونه متخلخل برابر با ۴۷/۳۰ g است. اگر این قطعه را وارد جیوه کنیم، ۳۱۲g جیوه جابه‌جا می‌شود. چگالی کلی این ماده را محاسبه کنید. (چگالی جیوه برابر با ۱۳/۶۰g/cm^۳)

حل: طبق قانون ارشمیدس هرگاه جسمی‌وارد سیالی شود، منجر به جابه‌جایی مقداری از سیال که هم حجم خودش است، می‌شود. پس حجم این مقدار جیوه جا به جا شده با حجم نمونه برابر است.

$$\rho \text{ (چگالی جیوه)} = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{۳۱۲}{۱۳/۶۰} = ۲۲/۹۴cm^۳$$

زیرا جیوه برخلاف آب نمی‌تواند وارد تخلخل‌های جسم شود، این مقدار برابر با حجم کلی نمونه است. پس می‌توان نوشت:

$$\rho_b \text{ (چگالی کلی نمونه)} = \frac{m}{V} = \frac{۴۷/۳}{۲۲/۹۴} = ۲/۰۶g/cm^۳$$

محاسبهٔ چگالی دوغاب

دوغاب عبارت است از مخلوط آب و مواد اولیه سرامیکی، به شرط آن که ذرات جامد در مایع به صورت معلق قرار داشته باشند. چگالی نسبی دوغاب را نیز می‌توان از تقسیم چگالی آن بر چگالی آب به دست آورد. برای اندازه گیری چگالی، از بالن ژوژه یا استوانه مدرج استفاده می‌شود. با پرکردن بالن ژوژه از دوغاب مورد نظر تا خط نشانه و توزین آب، پس از کم کردن وزن بالن ژوژه وزن دوغاب به دست می‌آید و سپس با تقسیم کردن این وزن بر حجم آن، چگالی دوغاب به دست می‌آید و می‌توان با تقسیم این عدد بر چگالی آب، چگالی نسبی دوغاب را محاسبه کرد.

مثال: به منظور اندازه گیری چگالی نسبی یک دوغاب سرامیکی از یک بالن ژوژه یک لیتری با وزن ۵۸۲/۸ g استفاده کرده‌ایم. در صورتی که وزن این بالن ژوژه همراه با ۱۰۰۰cc دوغاب برابر با ۲۲۱۲/۸ g باشد، چگالی و چگالی نسبی آن را محاسبه کنید.

حل:

وزن دوغاب = ۲۲۱۲/۸g-۵۸۲/۸g=۱۶۳۰g

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{۱۶۳۰g}{۱۰۰۰cm^۳} = ۱/۶۳g/cm^۳$$

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی دوغاب}}{۱} = \frac{۱/۶۳}{۱} = ۱/۶۳$$

چگالی نسبی دوغاب = ۱/۶۳

نکته

بعضی اوقات در صنعت ممکن است با اصطلاح وزن لیتری یا غلظت وزنی برخورد کنید. این تعریف گاهی به‌جای چگالی به کار می‌رود. در این اندازه گیری، وزن یک لیتر دوغاب را معیار قرار می‌دهیم. مسأله‌ای که اکنون مطرح می‌شود این است که اگر مقدار مشخصی از مواد پودر شده را با یکدیگر مخلوط کنیم، آیا می‌توانیم چگالی دوغاب حاصله را از طریق محاسبه به‌دست آوریم؟ پاسخ به‌این سؤال مثبت است. رابطه‌ای که به‌این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل گسترده‌تری از رابطهٔ چگالی است و عبارت است از:

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای دوغاب}}$$

با استفاده از چند مثال، نحوهٔ کاربرد این رابطه را نشان می‌دهیم.

مثال با استفاده از ۱۶/۷۶kg از یک مادهٔ اولیه سرامیکی (با چگالی نسبی ۲/۶۰) و ۸ لیتر آب، دوغابی تهیه شده است. چگالی دوغاب را محاسبه کنید.

حل: ابتدا حجم مادهٔ اولیه مصرفی را محاسبه می‌کنیم. برای این منظور از رابطهٔ چگالی استفاده می‌کنیم.

$$\text{حجم} = \frac{\text{وزن}}{\text{چگالی}} \Rightarrow \text{حجم پودر} = \frac{۱۶۷۶۰\,g}{۲/۶۰g/cm^۳}$$

حجم پودر = ۶۴۴۶/۱۵cm^۳

از طرفی وزن ۸ لیتر آب برابر با ۸۰۰g است. با استفاده از رابطهٔ صفحهٔ بعد چگالی دوغاب را به دست می‌آوریم:

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجمِ اجزای دوغاب}}$$

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(۱۶۷۶۰+۸۰۰۰)g}{(۶۴۴۶/۱۵+۸۰۰۰)cm^۳} = ۱/۷۱g/cm^۳$$

مثال: با استفاده از ۲۰g رس کاملاً خشک با چگالی ۲/۶۲g/cm^۳ و ۳۰cm^۳ آب، دوغابی تهیه کرده‌ایم. چگالی و چگالی نسبی دوغاب را به‌دست آورید.

حل:

$$\text{حجم پودر} = \frac{\text{وزن پودر}}{\text{چگالی پودر}} = \frac{۲۰g}{۲/۶۲g/cm^۳} = ۷/۶۳cm^۳$$

با توجه به‌اینکه چگالی آب برابر ۱g/cm^۳ است در نتیجه وزن ۳۰ cm^۳ آب ۳۰ gr است.

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(۲۰+۳۰)g}{(۷/۶۳+۳۰)cm^۳} = ۱/۳۳g/cm^۳$$

$$\text{چگالی نسبی دوغاب} \quad \frac{۱/۳۳}{۱} = ۱/۳۳$$

مثال: چه حجمی‌از آب را باید به ۵۰g لعاب خشک (با چگالی ۲/۸۰g/cm^۳) اضافه کرد تا دوغاب لعابی با چگالی ۱/۶۵ g/cm^۳ حاصل شود؟

حل:

برای محاسبه، به حجم لعاب خشک نیاز داریم. پس ابتدا آن را با استفاده از رابطه چگالی محاسبه می‌کنیم.

$$\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow \text{حجم لعاب خشک} = \frac{۵۰g}{۲/۸۰g/cm^۳} = ۱۷/۸cm^۳$$

$$\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow$$

می‌دانیم چگالی دوغاب نهایی باید برابر با ۱/۶۵ g/cm^۳ باشد. پس خواهیم داشت:

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع جرم اجزا}}{\text{مجموع حجم اجزا}}$$

در صورتی که وزن و حجم آب لازم را به‌ترتیب x و y فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم:

$$۱/۶۵ = \frac{۵۰+x}{۱۷/۸+y}$$

از طرفی چگالی آب برابر با ۱/۰ gr/cm^۳ است. در نتیجه وزن و حجم آب از نظر عددی یکسان است، یعنی:

$$x=y$$
$$\Rightarrow ۱/۶۵ = \frac{۵۰+y}{۱۷/۸+y} \Rightarrow y = ۳۱/۷cm^۳$$

نکته

بعضی اوقات ممکن است مجبور باشیم با افزودن آب یا مواد جامد خواص جریانی دوغاب را تصحیح کنیم. در چنین حالتی معمولاً دوغاب‌های برگشتی را با استفاده از افزودن آب یا مواد جامد به چگالی مورد نظر رسانده و در صورت تنظیم نبودن ویسکوزیته دوغاب، پس از روان‌سازی مجدد، دوغاب حاصله وارد خط تولید می‌شود.

مثال: در یک مخزن ۲۱۰ لیتری، دوغاب با چگالی نسبی ۲/۱۵ موجود است. چه مقدار آب به‌این مقدار دوغاب باید افزود تا چگالی نسبی آن به ۲/۰۰ کاهش یابد؟

حل:

ابتدا وزن دوغاب موجود را محاسبه می‌کنیم.

$$m=\rho.V$$

$$\rho=\frac{m}{v}\Rightarrow m=\rho.V$$

$$m=2/15 g/cm^3\times 210000 cm^3=451500 g$$

با توجه به‌اینکه چگالی آب $1 g/cm^3$ است، وزن و حجم آن از نظر عددی برابر هستند. پس اگر وزن آب مورد نیاز را x در نظر بگیریم، حجم آن نیز x خواهد بود. در نتیجه:

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزا}}{\text{مجموع حجم اجزا}}$$

$$2=\frac{451500+x}{210000+x}\Rightarrow x=15750 cm^3$$

با توجه به‌اینکه هر لیتر برابر با ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب است، $\frac{15750}{1000}=15/75 L$ = حجم آب مورد نیاز است پس باید این مقدار آب را به دوغاب افزود تا چگالی آب به مقدار مورد نظر برسد.

آسیاب گلوله‌ای و محاسبات مربوط به آن

در آماده‌سازی مواد اولیه سرامیک پس از خردایش به مرحله‌ای می‌رسیم که آسیاب کردن نام دارد. آسیاب‌کردن در اثر فشار ناشی از ضربه و سایش صورت می‌گیرد. این مرحله بسیار با اهمیت است و می‌توان گفت کیفیت مواد اولیه به فراوری آنها و آسیاب کردن صحیح وابسته است و همواره ۵۰ درصد انرژی در مرحله آماده‌سازی صرف آسیاب کردن می‌شود. در صنایع سرامیک معمولاً آسیاب کردن به دو روش خشک ساب و تر ساب صورت می‌گیرد. معمولاً در آزمایشگاه از جارمیل، ولی در کارگاه و صنایع از بال میل بهره گرفته می‌شود.

جنس جداره خارجی و داخلی جارمیل‌ها از چینی سخت و پلاستیک فشرده و در مورد بال میل‌ها در جداره خارجی از فولاد و برای پوشش داخلی بال میل‌ها از آجرهای ساخته شده از چینی سخت، آلومینا، استاتیت ویا قطعات لاستیکی استفاده می‌شود.

بال میل‌های صنایع سرامیک یک استوانه فولادی دارای پوشش داخلی مناسب می‌باشند که درون آنها را

گلوله‌هایی از جنس چینی سخت، آلومینا یا فلینیت در ابعاد مختلف استفاده می‌شود. مواد ساییدنی در حین چرخیدن بال میل در اثر فشار ناشی از وزن خود، غلتیدن و سقوط گلوله‌ها متلاشی و به ذرات ریزتر تبدیل می‌گردند و در نتیجه دانه بندی ریزتر ذرات که هدف از آسیاب کردن است، حاصل می‌شود.

تعیین حجم جار میل و بال میل

شکل هندسی جار میل و بال میل استوانه است با داشتن ابعاد داخلی استوانه حجم آن محاسبه می‌شود. با داشتن سطح قاعده استوانه و ارتفاع داخلی آن می‌توان حجم را محاسبه کرد. واحد حجم را می‌توان بر حسب لیتر، سانتی‌متر مکعب، دسی متر مکعب و یا متر مکعب و ... انتخاب کرد. برای محاسبه حجم یک استوانه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$V = \pi r^2 h$$

V = حجم استوانه

r = شعاع داخلی بال میل

h = ارتفاع داخلی بال میل

مثال ۱: حجم استوانه‌ای که قطر داخلی (d) آن ۱۲۰۰ میلی متر و دارای طول داخلی ۲۲۰ سانتی‌متر می‌باشد را بر حسب متر مکعب و لیتر محاسبه نمایید.

$$d = ۱۲۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۱/۲m$$

$$h = ۲۲۰ \div ۱۰۰ = ۲/۲m$$

$$r = \frac{d}{۲} = \frac{۱/۲}{۲} = ۰/۶m$$

$$V = \pi r^2 h = ۳/۱۴ \times (۰/۶)^2 \times ۲/۲ = ۲/۴۸m^3$$

$$۲/۴۸ \times ۱۰۰۰ = ۲۴۸۰L$$

چون هر متر مکعب ۱۰۰۰ لیتر می‌باشد پس حجم استوانه معادل ۲۴۸۰ لیتر است.

تقسیم بندی حجمی بال میل در خشک سابی و ترسابی

در روش خشک ساب معمولاً حجم داخلی بال میل به ۳ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. $\frac{۱}{۳}$ حجم برای گلوله‌ها و $\frac{۱}{۳}$ حجم برای مواد اولیه و $\frac{۱}{۳}$ حجم باقی مانده، فضای خالی می‌ماند.

در ترسابی، حجم داخلی بال میل به ۴ قسمت مساوی تقسیم می‌گردد. $\frac{۱}{۴}$ حجم (۲۵ درصد) برای آب، $\frac{۱}{۴}$ حجم برای مواد اولیه، $\frac{۱}{۴}$ حجم برای گلوله و $\frac{۱}{۴}$ باقی‌مانده فضای خالی است. چون مخلوط آب و مواد اولیه دوغاب را تشکیل می‌دهد پس $\frac{۱}{۲}$ حجم بال میل دوغاب است.

مثال ۲: حجم مفید بال میل ترسابی ۵۰۰ لیتر می‌باشد. ۲۵ درصد حجم مفید بال میل را مشخص نمایید.

$$۵۰۰\times\frac{۲۵}{۱۰۰}=۱۲۵ \text{ لیتر}$$

مثال ۳: در صورتی که $\frac{۱}{۳}$ حجم مفید جار میل خشک ساب ۲ لیتر باشد، حجم مفید جارمیل چند لیتر است؟

$$\text{حجم مفید جار میل } x=۲\div\frac{۱}{۳}=۲\times\frac{۳}{۱}=۶L$$

برای تعیین سهمیه وزنی چهارگانه (آب، ماده اولیه، گلوله و فضای خالی) جارمیل و بال میل ترساب با مشخص بودن حجم آنها می‌توان از رابطه $\rho=\frac{m}{v}$ استفاده کرد که در آن m جرم، V حجم و ρ وزن مخصوص است.

مثال ۴: حجم داخلی (مفید) یک بال میل ترساب ۶۰۰ لیتر می‌باشد. چه مقدار وزنی آب با وزن مخصوص ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، مواد اولیه با میانگین وزن مخصوص ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، گلوله با وزن مخصوص ۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای بارگیری این بال میل مورد نیاز است؟

$$\text{سهمیهٔ حجمی هر جزء داخل بال میل } V=\frac{۶۰۰\times۲۵}{۱۰۰}=۱۵۰L=۰/۱۵۰m^۳$$

$$\text{محاسبهٔ سهمیهٔ وزنی آب} \Rightarrow \text{آب } \rho=۱g/cm^۳ \Rightarrow \text{آب} \rho=۱\times۱۰۰۰=۱۰۰۰ \ kg/m^۳$$

$$\text{آب } \rho=۱۰۰۰kg/m^۳ \Rightarrow \rho=\frac{m}{V}\Rightarrow ۱۰۰۰=\frac{m}{۰/۱۵}\Rightarrow m=۱۵۰kg$$

$$\text{محاسبه سهمیهٔ وزنی گلوله} \Rightarrow \text{گلوله } \rho=۳۰۰۰kg/m^۳\Rightarrow ۳۰۰۰=\frac{m}{۰/۱۵۰} \Rightarrow m=۰/۱۵۰\times۳۰۰۰=۴۵۰kg$$

محاسبه سهمیهٔ مواد اولیه:

$$\rho=۲۵۰۰kg/m^۲ \quad ۲۵۰۰=\frac{m}{۰/۱۵۰}\Rightarrow m=۰/۱۵۰\times۲۵۰۰=۳۷۵kg$$

نکته

توجه داشته باشید که چون در این محاسبات برای آب و ماده اولیه حجم برابر در نظر گرفته شده است پس وزن مخصوص دوغاب در صورت تغییر نکردن میانگین وزن مخصوص مواد اولیه همواره ثابت خواهد ماند.

درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از مواد اولیه در بال میل و جار میل با معلوم بودن وزن هر یک از مواد اولیه را می‌توان محاسبه کرد. همچنین محاسبه حجم مواد اولیه و درصدی از حجم کل بال میل که توسط هر یک از مواد اولیه اشغال شده است، ممکن می‌باشد. برای آشنایی با روش محاسبه مثالی آورده می‌شود.

مثال۵: وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل ترسابی ۴۵۰ Kg می‌باشد.اگر وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل به تفکیک ۲۵۰kg کائولین زدلیتز ۱۰۰ kg سیلیس همدان و ۱۰۰ kg فلدسپات چغایی بوده و حجم کل بال میل۷۲۰L باشد، درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از مواد اولیه را محاسبه نمایید. (میانگین وزن مخصوص مواد اولیهg/cm^3 ۲/۵)

حجم کل مواد اولیه

$$\rho=\frac{m}{v}\Rightarrow V=\frac{m}{\rho}=\frac{۴۵۰۰۰۰}{۲/۵}=۱۸۰۰۰۰cm^3=۱۸۰L$$

$$۴۵۰Kg\times۱۰۰۰=۴۵۰/۰۰۰gr$$

حجم کل مواد اولیه	وزن کل مواد
۱۸۰L حجم کائولین زدلیتز x=۱۰۰L	۴۵۰kg ۲۵۰
۱۸۰L حجم سیلیس همدان x=۴۰L	۴۵۰kg ۱۰۰
۱۸۰L حجم فلدسپات چغایی x=۴۰L	۴۵۰kg ۱۰۰
حجم کائولین زدلیتز ۱۰۰L درصد حجم کائولین زدلیتز z=۱۳/۹ ٪	حجم بال میل به L ۷۲۰ ۱۰۰
حجم سیلیس همدان ۴۰L درصد حجم سیلیس همدان z=۵/۶ ٪	۷۲۰L ۱۰۰
حجم فلدسپات چغایی۴۰L k=۵/۶ ٪ درصد حجم فلدسپات چغایی	۷۲۰L ۱۰۰

درصد حجم باقی مانده بال میل جهت آب، گلوله و فضای خالی

$$۱۰۰-(۱۳/۹+۵/۶+۵/۶)=۱۰۰-۲۵/۱=۷۴/۹٪$$

محاسبه سرعت دورانی بال میل‌ها

سرعت دورانی مناسب در بال میل ترساب ۶۰ درصد تا ۷۰ درصد سرعت بحرانی آن می‌باشد. سرعت بحرانی از رابطه $N_c = \frac{۴۲}{\sqrt{d}}$ محاسبه می‌شود که در آن N_c سرعت بحرانی بر حسب rpm (دور بر دقیقه) و d قطر داخلی بال میل بر حسب متر است.

مثال ۶: سرعت دورانی بال میل ترساب با قطر خارجی ۱۵۵۰ میلی متر و ضخامت دیواره (مجموع ضخامت لاینینگ و جدارهٔ فلزی) ۲۰۰ میلی متر را محاسبه کنید . (سرعت دورانی مناسب را ۶۵ درصد سرعت بحرانی بگیرید.)

قطر داخلی d=۱۵۵۰-(۲۰۰×۲)=۱۱۵۰ میلی‌متر
قطر داخلی d=۱۱۵۰÷۱۰۰۰=۱/۱۵ متر

$$N_c = \frac{۴۲}{\sqrt{۱/۱۵}} = \frac{۴۲}{۱/۰۷۲} = ۳۹\text{rpm}$$

سرعت دورانی مناسب برای بال میل تر ساب = $\frac{۶۵}{۱۰۰} \times ۳۹ = ۲۵\text{rpm}$

مثال ۷: سرعت بحرانی بال میل ۴۰rpm است در صورتی که ضخامت لاینینگ آن ۱۵۰ میلی متر و ضخامت ورق فلزی ۱۰ میلی متر باشد قطر خارجی بال میل را بر حسب mm محاسبه نمایید.

$$۴۰ = \frac{۴۲}{\sqrt{}} \Rightarrow \sqrt{d} = \frac{۴۲}{۴۰} = ۱/۰۵ \Rightarrow d = (۱/۰۵)$$

قطر داخلی بال میل d=۱/۱m=۱۱۰۰mm

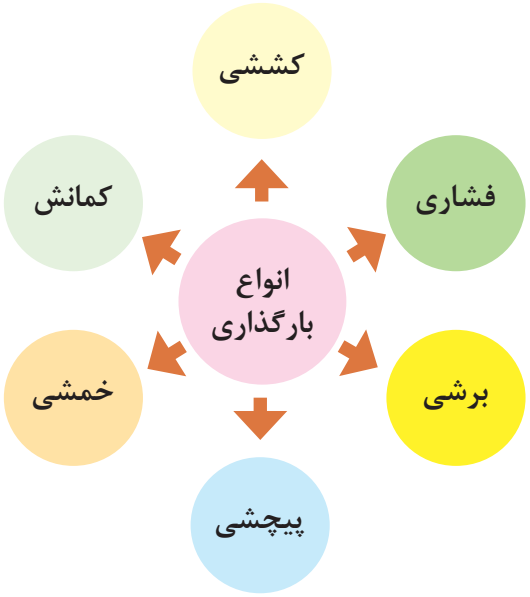
قطر خارجی بال میل ۱۱۰۰+۲×۱۵۰+۲×۱۰=۱۴۲۰mm

فصل ۵

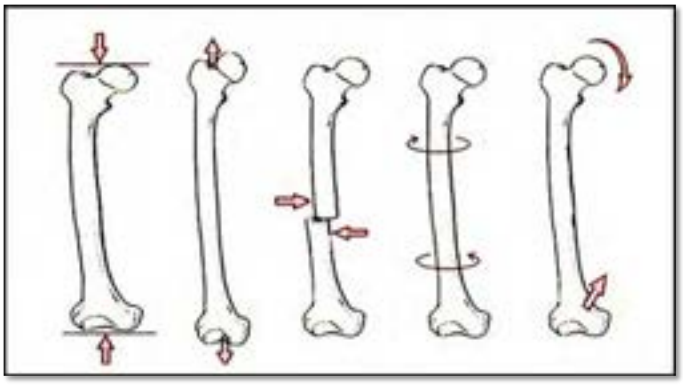
مقاومت مواد

بارگذاری و نیروهای وارده بر روی قطعات چگونه است؟

در هنگام کار و استفاده از قطعات و ابزارها، نیروها و گشتاورهای مختلفی بر روی قسمت‌های مختلف آنها وارد می‌شود. این بارگذاری‌ها به شکل های گوناگونی انجام می‌پذیرد (شکل ۱). نیروها همچنین می‌توانند محوری یا عرضی بر قطعه در جهت های مختلف وارد شوند. قسمت‌های مختلف قطعه بایستی در مقابل این نیروها و بارگذاری‌ها هنگامی که به صورت آرام یا به صورت ضربه و یا پی‌درپی اعمال می‌شود از خود مقاومت نشان دهند. اسکلت بدن انسان نیز از استخوان‌های مختلفی تشکیل شده است، که تحت بارگذاری‌های مختلفی قرار می‌گیرد. برای نمونه استخوان پای انسان تحت بارگذاری کششی، بارگذاری فشاری، برشی، پیچشی و خمشی قرار می‌گیرد (شکل ۲).



شکل ۱ــ انواع بارگذاری بر روی قطعات



شکل ۲ــ انواع بارگذاری‌ها بر روی استخوان

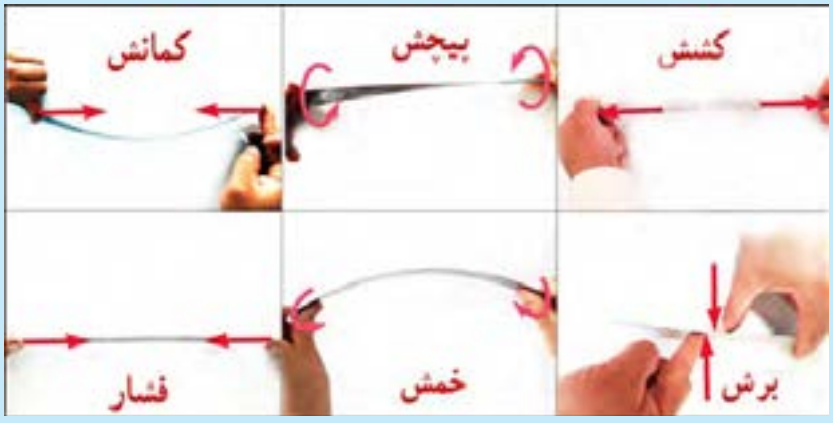
جلوه‌های آفرینش

در بدن انسان اسکلت و استخوان‌ها وظایف گوناگونی دارند. حفاظت از اندام‌هایی مانند مغز، قلب، شش‌ها از مهم‌ترین آنها است. حرکت بدن انسان نیز بر پایه اسکلت و استخوان‌ها است. چون اسکلت تکیه‌گاه عضلات قرار می‌گیرد، شکل دادن به بدن انسان نیز از دیگر وظایف استخوان‌ها است. استخوان‌های ما ۱۴ درصد از وزن کل بدن ما را تشکیل می‌دهند. بدن انسان در آغاز تولد از ۳۰۰ استخوان تشکیل شده است. تعداد استخوان‌ها به مرور کم‌تر و در بزرگسالی به ۲۰۶ عدد کاهش می‌یابد. یکی شدن چند استخوان با هم، علت کم شدن تعداد استخوان‌های بدن است. بیشترین تعداد استخوان‌های بدن در دستان ما قرار دارد.

مچ دست به تنهایی ۵۴ استخوان دارد. صورت ۱۴ و پا ۲۶ استخوان دارد. طولانی‌ترین استخوان بدن، استخوان ران پاست. این استخوان یک چهارم قد هر فرد را تشکیل می‌دهد.کوچک‌ترین استخوان بدن در گوش میانی قرار دارد و «استخوان رکابی» نامیده می‌شود و کمتر از سه میلی‌متر است. تنها استخوانی که هنگام تولد رشد کافی یافته و دیگر تغییر نمی‌کند، در گوش قرار دارد. اگرچه به نظر استخوان‌های بدن سفت و محکم هستند اما ۷۵ درصد آنها را آب تشکیل می‌دهد. هر کدام از استخوان‌ها شکل خاصی دارند و بارگذاری و اعمال نیرو بر روی آنها متفاوت است. درهر نوع از بارگذاری که منجر به شکست استخوان شود، شکل شکستن استخوان متفاوت است.

فعالیت

با استفاده از یک خط‌کش فلزی، انواع بارگذاری‌ها را برروی آن اعمال کنید. همچنین به میزان جابه‌جایی خط‌کش در هر نوع بارگذاری توجه نمایید. بارگذاری می‌تواند با اعمال نیرو در راستای طول خط‌کش، عمود بر خط‌کش یا با ایجاد گشتاور انجام شود (شکل ۳).



شکل ۳ـ انواع بارگذاری بر روی خط‌کش فلزی

سؤال

در کدام نوع از بارگذاری خط‌کش در مقابل جابه‌جایی مقاوم تر است؟ در گروه خود بحث کنید.

.....

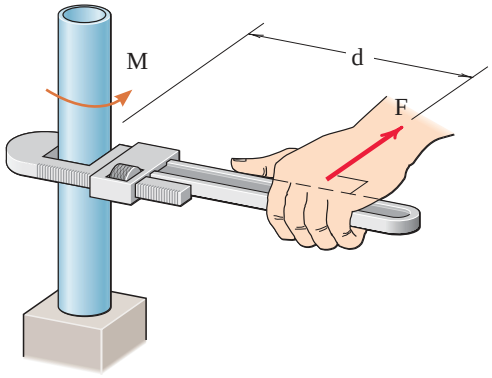
.....

در فعالیت انجام شده بارگذاری اعمال شده از دو بخش تشکیل شده است:

۱ـ وارد نمودن نیرو

۲ـ وارد نمودن گشتاور

واحد نیرو نیوتن (N) و واحد گشتاور نیوتن‌متر (N.m) است. به‌صورت شماتیک نیرو (F) و گشتاور (M) را به‌صورت زیر نشان می‌دهند. به d بازوی گشتاور می‌گویند. گشتاور با فرمول $F \times d$ محاسبه می‌شود.



شکل ۴ـ علائم (M) گشتاور و نیرو (F)

فعالیت

حداکثر گشتاوری که شما می‌توانید با کمک یک دست بدون وسایل کمکی بر روی یک میله وارد کنید حدود چند نیوتن ـ متر است؟ حداکثر نیرویی که می‌توانید یک طناب را بکشید چند نیوتن است؟ (هر یک کیلوگرم نیرو حدود ۱۰ نیوتن است)

.....

تحقیق

همان‌طور که دیدید بدن انسان در برابر اعمال نیرو و گشتاور به قطعات محدودیت‌هایی دارد. تحقیق کنید با استفاده از چه ابزارها و وسایلی که خود نیازمند تأمین انرژی نیستند می‌توان نیرو و گشتاور را تقویت و بیشتر نمود؟

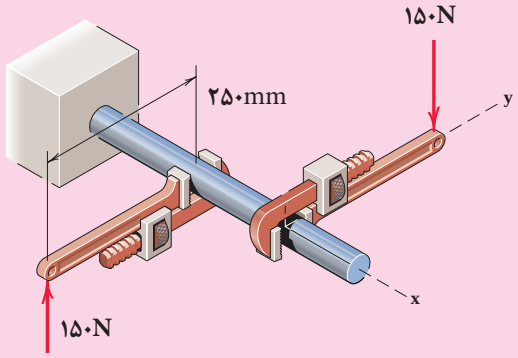
.....

مثال:

در شکل ۵ دو آچار شلاقی یکسان بر روی میله گشتاور وارد می‌کنند. بازوی هر آچار ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. گشتاور کلی وارده به میله را برحسب نیوتن ـمتر به‌دست آورید.

گشتاور کلی = گشتاور هر آچار × ۲ = ۲×۱۵۰ (N) × ۰/۲۵ (m) =۷۵ (N.m)

جهت گشتاور کلی در جهت عقربه‌های ساعت است.



شکل ۵ـ وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق دو آچار شلاقی

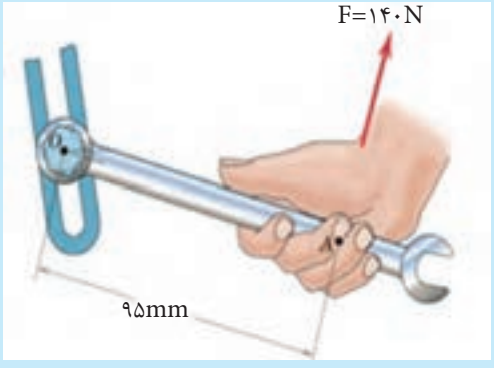
فعالیت

گشتاور وارده به پیچ در نقطه O را در شکل برحسب نیوتن ـ متر محاسبه کنید. جهت آن را نیز مشخص کنید.

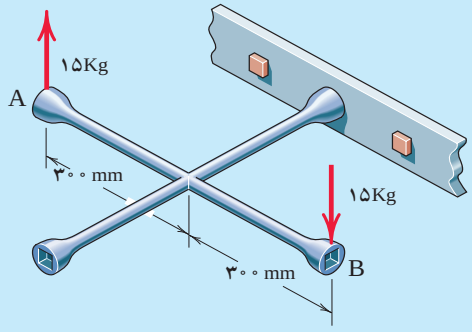
.....

گشتاور وارده به پیچ را در شکل ۷ بر حسب نیوتن ـ متر محاسبه کنید. جهت آن را نیز مشخص کنید.

.....



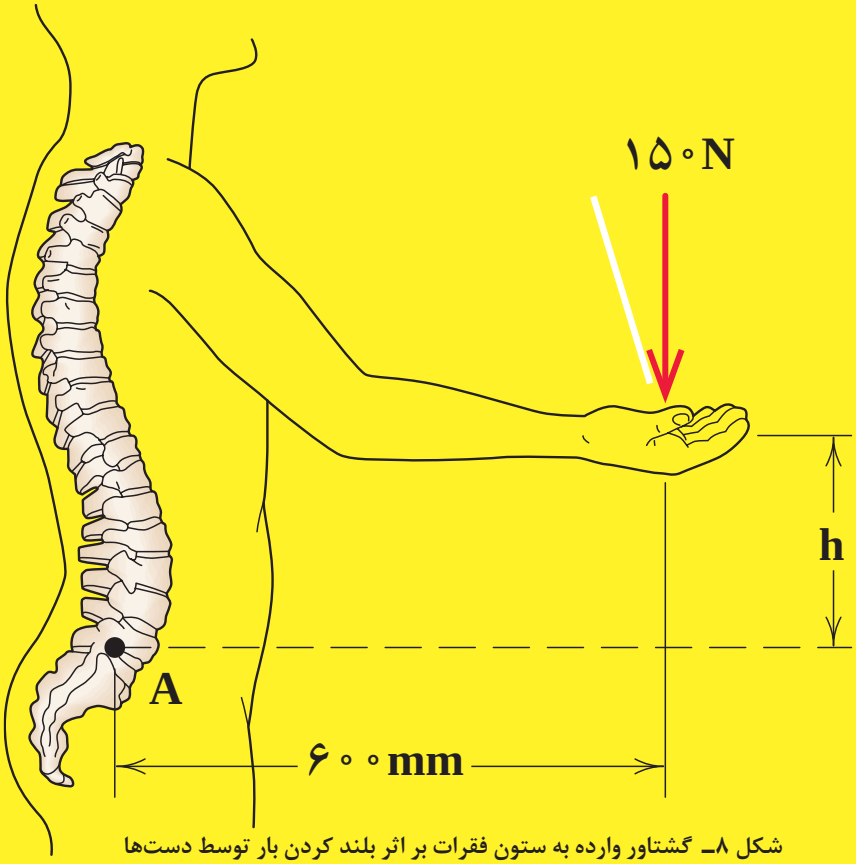
شکل ۶ـ وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق آچار



شکل ۷ـ وارد نمودن گشتاور بر پیچ از طریق آچار چرخ

تحقیق

در شکل ۸ گشتاور وارد به ستون فقرات در نقطه A را محاسبه کنید. همچنین همان‌گونه که مشاهده می‌کنید در هنگام بلند کردن بار توسط بدن، هر چه فاصله بار از بدن بیشتر باشد گشتاور وارده به ستون فقرات بیشتر خواهد بود و در نتیجه امکان آسیب‌رسانی به ستون فقرات بیشتر خواهد شد. تحقیق کنید روش صحیح بلند کردن بار توسط بدن و دست‌ها چگونه است و چرا بایستی به آن شیوه، بار را بلند کرد.



شکل ۸ــ گشتاور وارده به ستون فقرات بر اثر بلند کردن بار توسط دست‌ها

فعالیت

برای باز کردن پیچ‌های چرخ خودروی نشان داده شده در شکل زیر،گشتاوری به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم ـ متر لازم است. مقدار حداکثر نیروی وارده برحسب نیوتن توسط دست، بر روی آچارچرخ تا پیچ باز شود را محاسبه کنید؟

.....

شکل۹ـ باز کردن در پیچ چرخ خودرو توسط آچار چرخ

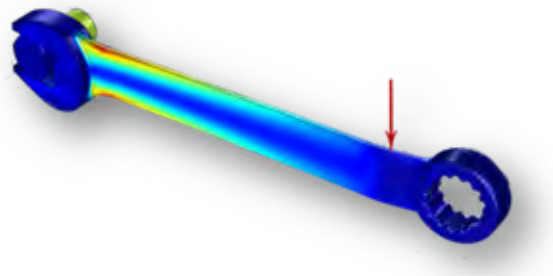
الاستیک، پلاستیک و شکست قطعات

بر روی قطعات انواع بارگذاری وارد می‌شود. در یک قطعه ممکن است یک قسمت از آن بحرانی و حساس باشد و نیرو و گشتاور در آن بیشتر از نقاط یا قسمت‌های دیگر باشد. احتمال خرابی و شکست در این نقطه از همه نقاط در قطعه بیشتر است. در شکل زیر ابتدا قسمت‌های بحرانی یک آچار را مشخص کنید. و سپس به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱ـ اگر نیرو و گشتاور وارده به یک قطعه کم باشد آیا قطعه پس از تغییر شکل (ممکن است شما مشاهده نکنید) به شکل اول خود باز می‌گردد ؟

۲ـ اگر نیرو بیش از حد مجاز به قطعه وارد شود چه اتفاقی می‌افتد؟

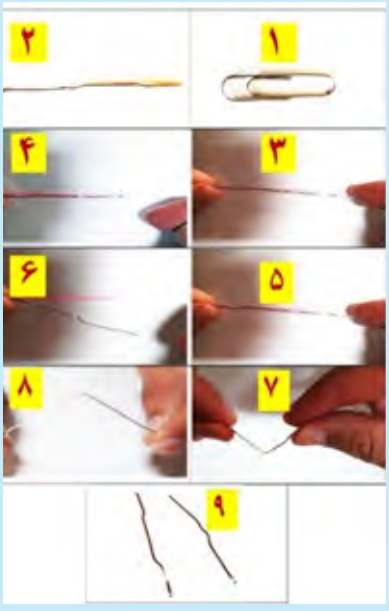
۳ـ اگر نیرو خیلی زیاد باشد، یا به دفعات زیاد و به‌صورت نوسانی وارد شود چه اتفاقی می‌افتد؟



شکل ۱۰- قسمت‌های بحرانی یک آچار هنگام بارگذاری

فعالیت

مفتول یک گیره کاغذ را همانند شکل زیر باز کنید. یک سمت آن را در دست خود محکم بگیرید. با انگشت دست دیگر به انتهای مفتول نیرو وارد کنید. حالت‌های زیر را در نظر بگیرید (شکل ۱۱):



شکل ۱۱- آزمایش بارگذاری بر روی یک مفتول گیره کاغذ

سؤال

پس از انجام آزمایش پرسش‌های زیر را پاسخ دهید:

۱ـ اگر نیروی وارد شده به سر مفتول کم باشد پس از برداشتن نیرو، آیا مفتول به جای خود برمی‌گردد؟

.....

۲ـ اگر نیروی وارد شده به سر مفتول زیاد باشد پس از برداشتن نیرو، آیا مفتول به جای خود برمی‌گردد؟

.....

۳ـ اگر نیروی وارد شده به سر مفتول زیاد باشد و این کار را برای چندین بار تکرار کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

.....

درصورتی که قطعه پس از بارگذاری و حذف آن به حالت اولیه خود برگشت کند، گفته می‌شود که تغییر شکل الاستیک (کشسان) داشته است مانند فنر و کش لاستیکی و در صورتی که قطعه پس از بارگذاری و پس از حذف آن به حالت اولیه خود برنگردد و تغییر شکل ایجاد شده را حفظ کند، در این حالت تغییر شکل پلاستیک (موسان) اتفاق افتاده است مانند موم.

جلوه آفرینش

دانشمندان دریافتند حشره آسیابک[1] با طول حداکثر ۳/۸ سانتی‌متر هنگام مهاجرت هزاران کیلومتر را بر فراز اقیانوس‌ها به طور پیوسته پرواز می‌کند. آنها معتقدند که بدن این حشرات برای سفرهای طولانی مدت تکامل یافته است. چرا که سطح بال‌های این حشرات در مقایسه با همنوعان خود بسیار بیشتر بوده و امکان پرواز گلاید یا بدون بال‌زدن را برای آنان امکان‌پذیر می‌سازد. به نظر شما در طول زندگی این حشره بال‌های آن چند بار بالا و پایین می‌رود؟ در آزمایش قبل، مفتول را چند بار بالا و پایین حرکت دادید تا مفتول شکسته شود؟ طراحی بدن هر پرنده ای کاری بسیار سخت و پیچیده است!

شکل ۱۲- حشره آسیابک

۱ـ dragonfly

انواع مقاومت در مقابل تغییر شکل

سفتی: مقاومت یک قطعه در برابر تغییر شکل کشسان (الاستیک) بر اثر اعمال نیرو را گویند. هرچه قطعه برای جابه‌جایی و تغییر شکل کشسان نیروی بیشتری نیاز باشد، آن قطعه سفت تر است.

استحکام: مقاومت یک قطعه در برابر تغییر شکل دائمی بر اثر اعمال نیرو را گویند. هرچه قطعه نیروی بیشتری تحمل کند قبل از این‌که تغییر شکل دائمی بدهد یا دچار تسلیم و شکست شود آن قطعه مستحکم‌تر است.

چقرمگی: مقاومت در برابر شکست بر اثر مصرف انرژی را گویند. هرچه برای شکستن قطعه انرژی بیشتری صرف شود، آن قطعه چقرمه‌تر است.

فعالیت

یک تکه چوب تر و یک تکه چوب خشک مشابه هم را تحت بارگذاری خمشی قرار دهید؟ به نظر شما کدام سفت تر، مستحکم‌تر و چقرمه‌تر است؟

.....

.....

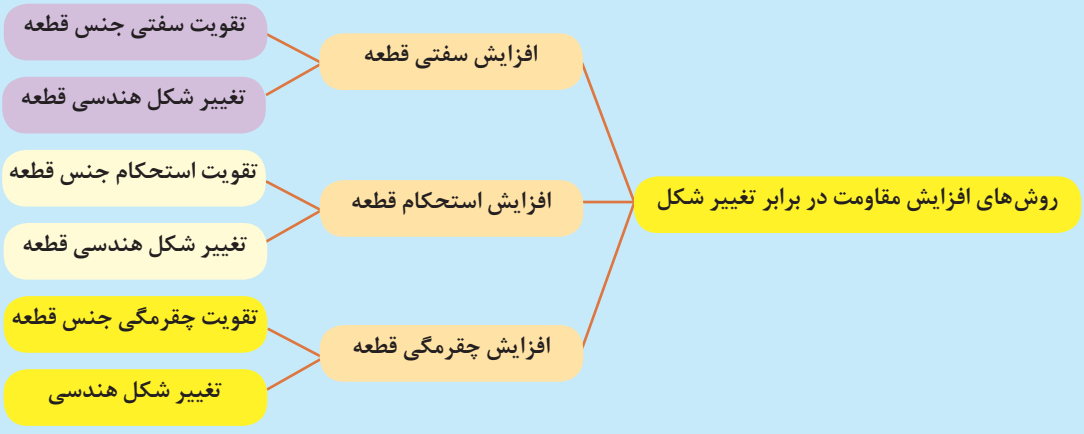
برای افزایش مقاومت در مقابل تغییر شکل بر اثر اعمال نیرو و انرژی چه کاری انجام دهیم:

۱ـ استفاده از جنس مناسب: انتخاب جنس مناسب برای هدف مورد نظر تأثیر زیادی بر استحکام قطعه خواهد داشت.

۲ـ شکل هندسی مناسب: با استفاده از شکل‌های هوشمندانه می‌توان قطعات و سازه‌ها را به گونه‌ای ساخت که بار و نیروی بیشتری تحمل نمایند.

۳ـ استفاده از تکیه‌گاه و ایجاد شرایط مناسب: وجود تکیه‌گاه‌های خوب سبب می‌شود که قطعات نیروی بیشتری را تحمل کنند.

در نمودار زیر روش‌های افزایش مقاومت قطعه در برابر تغییر شکل بر اثر اعمال نیرو نشان داده شده است:



نمودار ۱- روش‌های افزایش مقاومت قطعه در برابر تغییر شکل

استحکام سرامیک‌ها

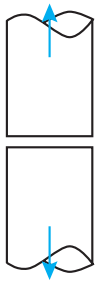
شکسته شدن قند و یک شکلات را درنظر بگیرید:
آیا نوع شکست در این دو ماده یکسان است؟

وقتی نیروی وارد شده بر قند بیشتر از استحکام آن باشد، شکسته می‌شود. اما در این نوع شکلات ابتدا تغییر شکل در آن ایجاد می‌شود و سپس از هم جدا می‌گردد. اغلب سرامیک‌ها همانند قند شکسته می‌شوند. در مقابل نیروهای وارد شده استحکام دارند، اما به محض آنکه تنش وارد شده بیشتر از استحکام آنها باشد، دچار شکست می‌شوند.

انواع شکست در مواد

۱ـ شکست تُرد

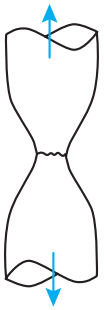
بدون اینکه تغییر شکلی در قطعه ایجاد شود شکست اتفاق می‌افتد. این نوع شکست بیشتر در سرامیک‌ها مشاهده می‌شود.



شکست ترد

۲ـ شکست نرم

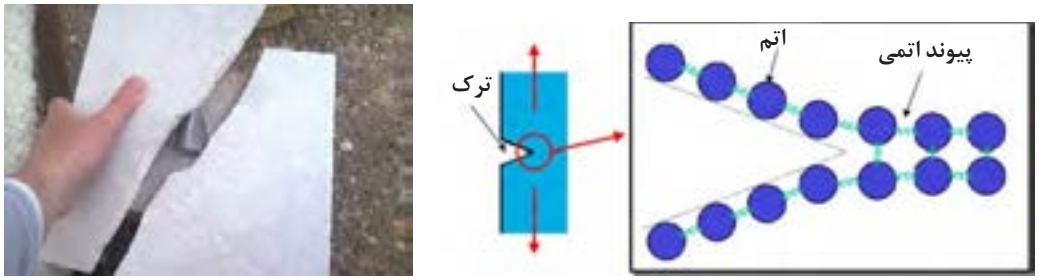
بعد از ایجاد تغییر شکل پلاستیک در نمونه شکست رخ می‌دهد. این نوع شکست بیشتر در فلزات اتفاق می‌افتد.



شکست نرم

شکست ترد سرامیک‌ها

در دمای اتاق سرامیک‌های کریستالی و آمورف مانند (شیشه) قبل از اینکه تغییر شکل دائمی داشته باشند، شکسته می‌شوند. علت این نوع شکست در سرامیک‌ها مربوط به نوع پیوند بین اتم‌ها و نحوه قرارگیری اتم‌ها در کنار یکدیگر است. همان‌طور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، اتصال بین اتم‌ها در اثر ایجاد ترک و وارد شدن نیرو شکسته می‌شود.



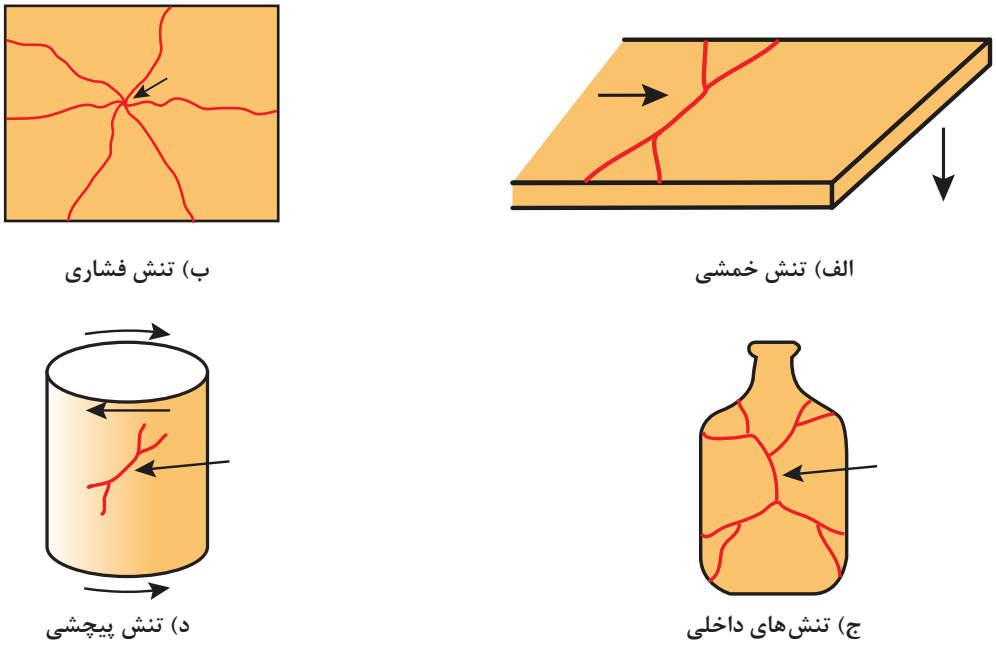
شکل ۱۳- شکسته شدن پیوند اتمی در سرامیک

در جدول ۱ استحکام مواد سرامیکی مختلف بیان شده است. مقاومت سرامیک‌ها در برابر نیروهای وارد شده، با توجه به درصد پیوند یونی ـ کووالانسی و کریستالی یا آمورف بودن ساختار ماده تغییر می‌کند. هرچه درصد پیوندهای کووالانسی بیشتر باشد، تنش بیشتری برای شکستن پیوندها نیاز است. همچنین مواد آمورف با واردآمدن تنش کمتری دچار شکست می‌شوند.

جدول ۱ -مقایسه استحکام کششی و مدول الاستیسیته سرامیک های مختلف

نام ماده	مدول‌الاسیسیته	استحکام‌خمشی
Si_3N_4	۳۰۴	۲۵۰ _۱۰۰۰
ZrO_2	۲۰۵	۸۰۰ _ ۱۵۰۰
SiC	۳۴۵	۱۰۰ _ ۸۲۰
Al_2O_3	۳۹۳	۲۷۵ _ ۷۰۰
شیشه ـ سرامیک	۱۲۰	۲۴۷
مولایت	۱۴۵	۱۸۵
اسپینل	۲۶۰	۱۱۰ _۲۴۵
اکسیدمنیزیم	۲۲۵	۱۰۵
اکسیدسیلیسیم	۷۳	۱۱۰
شیشه در و پنجره	۶۹	۶۹

در شکل ۱۴ انواع مدل‌های ترک برداشتن در اثر تنش‌های مختلف وارد شده بر قطعات سرامیکی نشان داده شده است.



الف) تنش خمشی

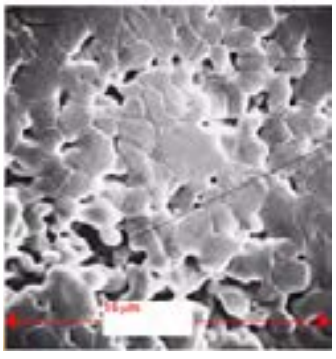
ب) تنش فشاری

ج) تنش‌های داخلی

د) تنش پیچشی

شکل ۱۴- انواع مدل های ترک در سرامیک در اثر تنش های مختلف

در هنگام شکل‌دهی سرامیک‌ها به دلایل مختلفی، تخلخل (فضای خالی) در ساختار ایجاد می‌شود، در شکل ۱۵ تخلخل‌های درون ساختار قطعه سرامیکی از جنس آلومینا نشان داده شده است.



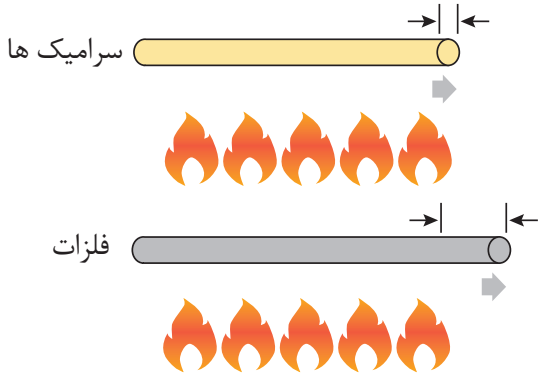
شکل ۱۵- تصویر میکروسکوپی تخلخل در قطعه سرامیکی از جنس آلومینا

سؤال

به‌نظر شما چرا با افزایش درصد تخلخل‌ها استحکام قطعه کاهش می‌یابد؟

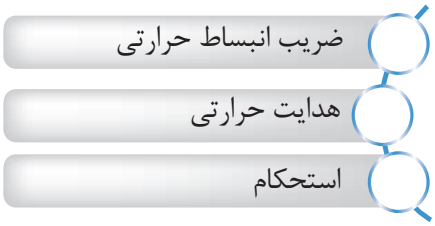
مقاومت ماده در برابر تغییرات دمایی

در بسیاری از کاربردها، پایداری حرارتی قطعه در برابر سرد و گرم شدن سریع اهمیت دارد. پایداری حرارتی قطعه، در اثر سرد و گرم شدن در اصطلاح شوک حرارتی نامیده می‌شود. سرامیک‌ها در برابر شوک حرارتی ضعیف می‌باشند.



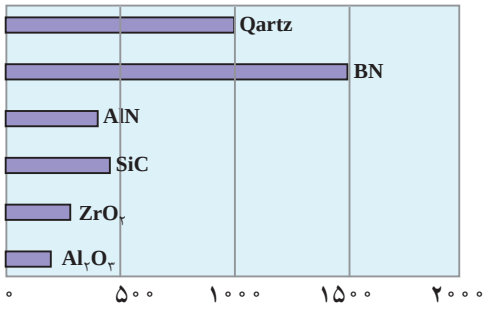
شکل ۱۶

مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شوک حرارتی در زیر بیان شده است:



۱ـ ضریب انبساط حرارتی: هرچه ضریب انبساط حرارتی ماده موردنظر کمتر باشد، انبساط و انقباض قطعه کمتر می‌شود و در مقابل شوک حرارتی پایدارتر خواهد بود.

در تصویر افزایش طول فلزات و سرامیک‌ها بر اثر افزایش حرارت نشان داده شده است. میزان افزایش طول سرامیک‌ها به دلیل کم بودن ضریب انبساط حرارتی کمتر از فلزات است.



شکل ۱۷ –مقایسه مقاومت در برابر شوک حرارتی سرامیک‌ها

۲- هدایت حرارتی

هر چه قابلیت ماده در انتقال حرارت بیشتر باشد، در مقابل شوک حرارتی پایدار تر خواهد بود.

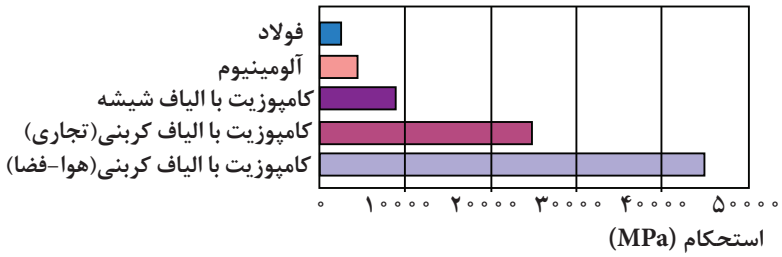
۳- استحکام

هر چه استحکام و قدرت پیوند های ماده بیشتر باشد، در مقابل شوک حرارتی پایدار تر خواهد بود.

راه‌های افزایش مقاومت سرامیک‌ها

همان‌گونه که قبلاً بیان شد، سرامیک‌ها شکست ترد دارند و استحکام مکانیکی مناسبی در برابر تنش‌های کششی ندارند. راه‌های مختلف برای افزایش استحکام سرامیک‌ها در برابر تنش کششی مطرح شده است:

۱ـ کامپوزیت‌سازی: کامپوزیت‌های با زمینه فلزی با پلیمری که در آنها الیاف سرامیکی به‌کار می‌رود، در برابر تنش‌های کششی مقاومت مناسبی دارند. این کامپوزیت‌ها می‌توانند مقاومت بیشتری نسبت به فلزات داشته باشند. (شکل ۱۸)



شکل ۱۸ -مقایسه استحکام کامپوزیت های مختلف

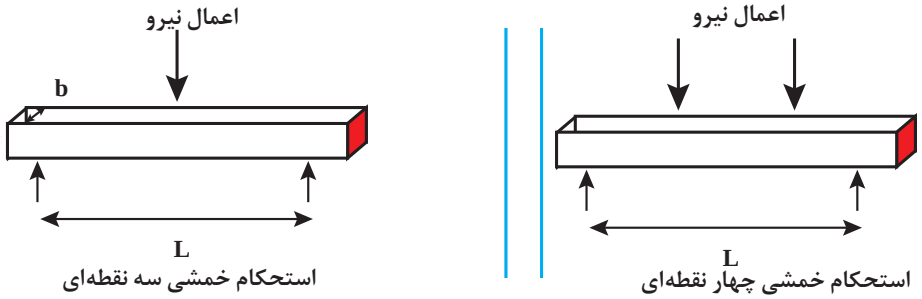
۲ـ برای قطعاتی که از سطح ترک برمی‌دارند و رشد ترک در آنها زیاد است، پوشش‌دهی سطحی برروی آنها انجام می‌شود. به‌عنوان مثال لعاب‌کاری باعث افزایش مقاومت به ضربه سرامیک‌ها می‌شود.

مدول شکست (MOR)[۱]

بر خلاف فلزات که معیار ارزیابی استحکام، کشش می‌باشد، استحکام قطعات سرامیکی را بر اساس استحکام خمشی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. چرا؟

✓ آماده سازی نمونه جهت تست آسان‌تر است

✓ نتایج به دست آمده از استحکام خمشی، کششی و فشاری اختلاف قابل توجهی با یکدیگر دارند.



شکل ۱۹ - انواع آزمایش استحکام خمشی

۱-Modulus of Rupture

فصل ۶

سرامیک و محیط زیست

انرژی و کنترل آلودگی

رشد روزافزون جمعیت و صنعتی شدن شهرها منجر به افزایش مصرف انرژی و آلوده شدن محیط زیست شده است. سرامیک‌ها نقش مهمی در تأمین انرژی‌های جایگزین و تمیز دارند و باعث افزایش بازده روش‌های تولید انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شوند.

نقش سرامیک‌ها در حفظ انرژی

بشر در قرون گذشته به‌ویژه از زمان اختراع خودرو منابع انرژی طبیعی مانند زغال‌سنگ و نفت را بیش از حد اتلاف کرده است. زغال‌سنگ و نفت منابع تجدیدناپذیر هستند، بنابراین باید جایگزینی برای آنها درنظر گرفته شود و همچنین از اتلاف آنها جلوگیری شود.

از سال ۱۹۷۰ تلاش‌های زیادی برای حفظ انرژی انجام شده است. مهم‌ترین رخداد تاریخی که توجه همگان را به خود جلب کرد، تحریم نفت توسط سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اپک) در دهه ۱۹۷۰ بود. در آن زمان اپک میزان نفت صادراتی خود را محدود کرد. با تحریم نفت، کشورهای صنعتی با مسائل متعددی روبه‌رو شدند. از سوی دیگر قیمت محصولات ساخته شده از نفت مانند گازوئیل که در منازل کاربرد داشت نیز افزایش یافت.

درنتیجه فعالیت و تلاش‌های متعددی برای تأمین انرژی از منابعی نظیر باد، آب، منابع ژئوترمال (آب گرم حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی)، گیاهان و نور خورشید مورد توجه قرار گرفت. در این برنامه‌ها سرامیک‌ها و شیشه‌ها نقش کارسازی داشتند.

عایق کاری با الیاف شیشه ای

یکی از مهم‌ترین برنامه‌ها در زمینه حفظ انرژی ابداع عایق‌های حرارتی ساخته شده از الیاف شیشه‌ای است که برای حفظ انرژی در دیوارها، سقف‌ها و ساختمان‌ها به‌کار رفته است. این عایق‌ها در سال‌های ۱۹۳۱تا ۱۹۳۷ ساخته شده‌اند. الیاف شیشه‌ای رشته‌های نازک از جنس شیشه (پشمک مانند) با تخلخل‌های زیاد هستند و هوای داخل تخلخل‌ها مانع انتقال حرارت است.

برای ساخت این الیاف مذاب شیشه از انتهای محفظه‌ای با تعداد زیاد سوراخ ریز خارج شده و حالت رشته‌ای دارا می‌باشند و پس از دمیدن هوا و بخار پرفشار به آنها تبدیل به الیاف نازک شیشه‌ای می‌گردند. (در طی این فرایند از گلوله شیشه ای که در حدود ۱/۵ سانتی متر قطر دارد، الیافی به طول ۱۵۰ کیلومتر نیز تولید شده است).

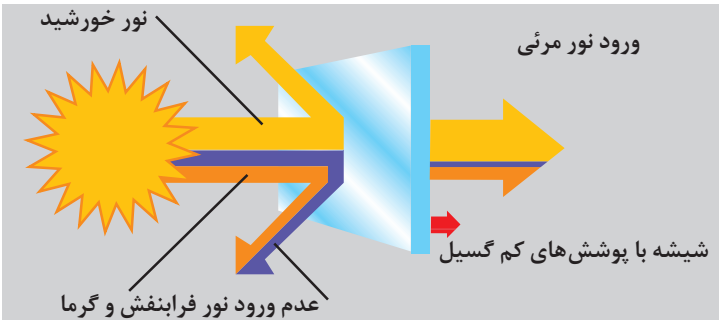
شکل ۱ــ الیاف شیشه‌ای

آیا می‌دانید که

به‌کارگیری الیاف شیشه‌ای از سال ۱۹۳۹ تاکنون منجر به بیش از ۲ میلیارد دلار صرفه‌جویی در هزینه‌های سالیانه شده است. در این برآورد فرض شده که فقط ۵۰٪ خانه‌ها دارای عایق‌بندی باشند. بنابراین کل انرژی صرفه‌جویی شده بیش از این مقدار است.

شیشه‌های دوجداره و پوشش‌های بازتابنده

الیاف شیشه‌ای برای کاربرد در دیوارها و ساختمان‌ها بسیار مناسب بوده، اما کدر بوده، و نمی‌توانند برای عایق‌بندی پنجره‌ها به‌کار برده‌شوند. برای کاهش اتلاف حرارت از پنجره‌ها، شیشه های دو جداره ابداع شدند که در بین دو جداره هوای ساکن قرار دارد. همچنین روش دیگری که برای کاهش اتلاف پنجره پیشنهاد شده، پوشاندن شیشه پنجره با یک لایه بسیار نازک از یک فلز بازتابنده است.



شکل۲- عملکرد شیشه‌هایی با پوششی از یک لایه نازک فلزی در جلوگیری از اتلاف انرژی

تحقیق

در مورد عملکرد شیشه‌های با پوشش فلز بازتابنده تحقیق کنید.

لامپ‌های با راندمان بالا

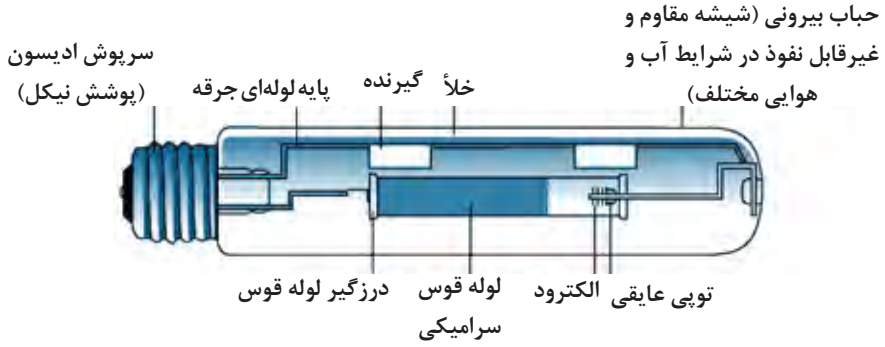
لامپ‌ها جزء محصولات پرمصرف هستند که برق بسیار زیادی را مصرف می‌کنند. خوشبختانه نوآوری‌های جدید با استفاده از سرامیک‌ها راندمان این لامپ‌ها را افزایش داده است.

اولین لامپ تجاری، لامپ التهابی توماس ادیسون بود که از یک رشته تنگستن که در یک حباب شیشه‌ای بدون هوا قرار دارد تشکیل شده است. تنگستن از فلزاتی است که در اثر عبور جریان الکتریسیته حرارت زیادی ایجاد می‌کند و این حرارت باعث روشنایی لامپ می‌شود.

لامپ التهابی راندمان بالایی ندارد و رشته تنگستن پس از مدتی می‌سوزد. لامپی که جایگزین این لامپ‌ها شده لامپ فلورسنت است که راندمان و طول عمر بیشتری نسبت به لامپ‌های التهابی دارد. همچنین لامپ‌های بخار سدیمی پرفشار که در دهه ۱۹۶۰ ابداع شدند، راندمان بیشتری را نیز ایجاد می‌کنند. این لامپ‌ها نور طلایی یا زرد داشته و برای روشن کردن خیابان‌ها از آنها استفاده می‌شود. یک لامپ سدیمی‌با مصرف

هر ۱۴۰ (لومن) روشـــنایی تولید می‌کند، در حالی که لامپ‌های تنگســـتن فقط ۱۵ لومن روشنایی دارند. در شـــکل ۳ اجزای لامپ سدیمی نشان داده شده است.

جزء کلیدی در یک لامپ ســـدیمی، یـــک لوله قوس الکتریکی نازک از جنس آلومینا است که بخار سدیم و جیوه با فشار بالا در آن نگهداری می‌شود.



شکل ۳- اجزای لامپ سدیمی

سؤال

ویژگی‌های آلومینا برای کاربرد در لامپ‌های سدیمی را مشخص کنید.

تنها مســـئله موجود در مورد لامپ‌های سدیمی تفاوت رنگ اجسام در زیر نور لامپ سدیم با نور روز است. برای رفع این مســـئله لامپ‌های هالوژنی ابداع شده‌اند. بخار هالید فلزی در این لامپ‌ها در یک لوله قوسی شکل از جنس شیشـــه سیلیسی قرار می‌گیرد. محققان درحال بررســـی لوله‌های قوس آلومینایی مناسب برای لامپ هالوژنی هستند که راندمان و طول عمر بیشتری داشته باشند. یک نمونه لامپ هالیدی در شکل ۴ نشان داده شده است.

شکل ۴-یک لامپ‌هالیدی

سؤال

چرا بخارهالید فلزی در یک لولهٔ قوسی شکل از جنس سرامیکی قرار می‌گیرد؟

در جدول زیر انواع لامپ‌ها از جنبه‌های گوناگون مقایسه شده است.

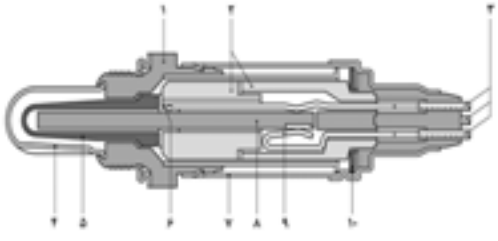
جدول ۱ــ خصوصیات مهم لامپ‌های الکتریکی

ردیف	نوع لامپ	شار نوری (لومن)	افت لومن (درصد از لومن اولیه)	متوسط طول عمر (ساعت)	حداکثر بهره نوری (لومن بر وات)
۱	رشته‌ای معمولی	۱۰ تا ۵۰۰۰۰	۱۵ تا ۴۰	۱۰۰۰	۱۰
۲	رشته‌ای هالوژن	۳۰۰ تا ۴۰۰۰۰	۸ تا ۱۵	۱۰۰۰	۱۵
۳	فلورسنت	۹۰۰ تا ۱۲۰۰۰	۸ تا ۲۵	۷۰۰۰	۴۰
۴	بخار جیوه	۱۲۰۰ تا ۶۰۰۰۰	۳۵ تا ۴۰	۳۰۰۰	۶۰
۵	هالید فلزی	۴۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰۰	۳۰ تا ۴۵	۳۰۰۰	۶۰
۶	بخار سدیم پرفشار	۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰	۲۵ تا ۳۵	۵۰۰۰	۷۰
۷	بخار سدیم کم‌فشار	۱۸۰۰ تا ۳۵۰۰۰	۲۰ تا ۳۵	۴۰۰۰	۸۰

خودروهای دارای مصرف سوخت کم

بیشتر نفت وارداتی کشورها در پالایشگاه‌های بزرگ فراوری می‌شود تا به بنزین و گازوئیل مورد نیاز برای خودروها تبدیل شود. میزان مصرف سوخت خودروها در ۲۵ سال گذشته کاهش چشمگیری داشته است. بخشی از این کاهش با توسعه و تولید خودروهای سبک وزن که مصرف سوخت کمتری دارند، تحقق یافته است. جایگزین کردن آلیاژهای فلزی سنگین با کامپوزیت‌های تقویت شده با سرامیک‌ها منجر به کاهش شدید وزن خودروها شده است. همچنین روی کارآمدن حسگرهای اکسیژن و سامانه‌های کنترل الکترونیکی در موتور خودرو نیز تأثیر بسزایی در کاهش مصرف سوخت داشته است. در شکل ۵ سنسور اکسیژن و اجزای آن نشان داده شده است.

۱. محفظه سنسور ۲. لوله محافظ سرامیکی ۳. سیم رابط ۴. لوله محافظ شیاردار ۵. لایه سرامیکی فعال سنسور ۶. اتصال ۷. درپوش محافظ ۸. عنصر گرم‌کن ۹. اتصالات موجدار برای عنصر گرم‌کن ۱۰. واشر فنری.



شکل۵- اجزای سنسور اکسیژن

فندک‌های سرامیکی

گاز طبیعی منبع انرژی مهم دیگری است که ترکیب آن متان است و از چاه‌های نفت به دست می‌آید. بسیاری از وسایل گرمایشی نظیر اجاق‌های خانگی با گاز طبیعی روشن می‌شوند. تا اوایل دهه ۱۹۷۰، در وسایلی که با این سوخت کار می‌کردند از شمعک استفاده می‌کردند. شمعک شعله کوچکی است که دائماً می‌سوزد تا برای روشن کردن دستگاه مجبور به استفاده از کبریت نباشیم. براساس بررسی‌های صورت گرفته شمعک‌ها در حدود ۳۵ تا ۴۰٪ گاز طبیعی خانه‌ها که معادل ۷۰/۰۰۰ متر مکعب گاز طبیعی است را تلف می‌کنند. به منظور جلوگیری از این اتلاف، فندک‌های سرامیکی طراحی و ابداع شدند که منجر به صرفه‌جویی عظیمی در مصرف گاز طبیعی شده‌اند. این فندک‌ها از ترکیب سرامیکی به نام کاربید سیلیسیم تشکیل شده است. هنگامی که فندک روشن می‌شود، جریان از کاربید سیلیسیم عبور می‌کند و در چند ثانیه به‌قدری گرم می‌شود که با این گرما می‌توان گاز طبیعی را روشن کرد.

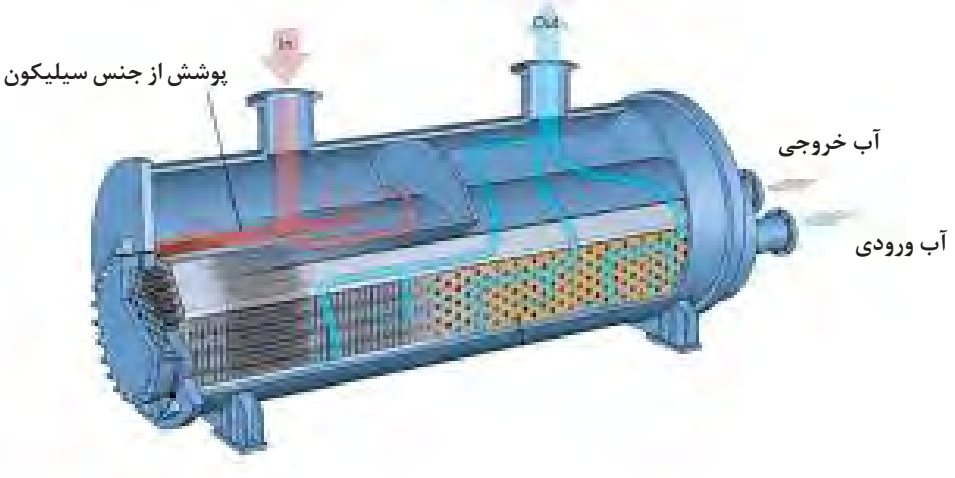
شکل ۶- اجزای سرامیکی با کاربرد در فندک‌ها

سرامیک‌های مورد استفاده در صرفه جویی انرژی صنعتی

مبدل حرارتی

بیشتر فرایندهای صنعتی حداقل در یک مرحله نیاز به دمای بالا دارند و راندمان بالا در این فرایندها دارای اهمیت است. مبدل‌های حرارتی و استفاده از حرارت اتلافی برای پیش‌گرم‌کردن هوای مورد نیاز در فرایند از جمله راهکارهایی است که برای جلوگیری از اتلاف حرارت تولیدی پیشنهاد شده است. بیشتر این مبدل‌های حرارتی از لوله‌هایی از جنس کاربیدسیلیسیم ساخته شده‌اند تا گرمای فرایند با کمترین اتلاف در داخل آنها جریان یابد. سپس هوای سرد مورد نیاز برای فرایند از داخل این لوله‌ها عبور داده می‌شود تا گرم شود. ممکن

است مجاری عبور هوا هم جهت نباشند و هوای گرم از یک جهت و هوای سرد از جهت عمود بر آن عبور کند؛ در این حالت مبدل حرارتی با جریان عمودی به کار می‌رود که پتانسیل زیادی برای کاربرد در صنایع کوچک و موتورهای توربین گازی دارد.



شکل ۷- اجزای مبدل حرارتی

تحقیق

یک نوع از مبدل‌های حرارتی، ساختار لانه‌زنبوری دارند که شکل آن در زیر نشان داده شده است؛ درباره نحوه عملکرد این مبدل‌ها تحقیق کنید.

مشعل‌های تابشی

حوزه صنعتی دیگری که سرامیک‌ها برای صرفه‌جویی در انرژی در آن کاربرد دارند، در زمینه حرارت‌دهی تابشی با استفاده از مشعل است. این مشعل‌ها آلودگی بسیار کمی‌دارند و برای خشک کردن رنگ، شکل دادن شیشه خودرو و گرم کردن هوا در صنایع گوناگون به کار می‌روند. به‌منظور افزایش راندمان این مشعل‌ها، یک توری

کامپوزیتی از جنس کاربید سیلیسیم در سطح آنها قرار می‌گیرد. این توری باعث می‌شود که انتقال حرارت تابشی از مشعل تقریباً دو برابر شود.

شکل۸- مشعل تابشی

سرامیک‌ها و منابع انرژی تجدیدپذیر

انرژی باد و آب

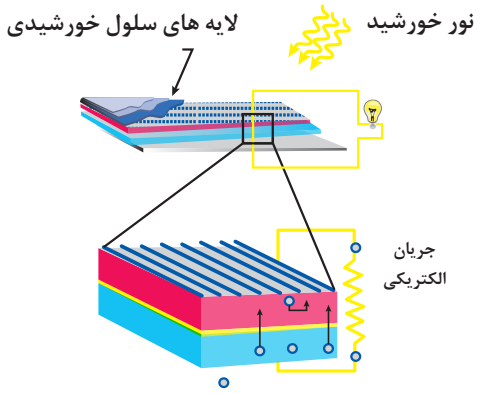
سوزاندن نفت و زغال سنگ باعث مصرف منابع طبیعی می‌شود که تشکیل آنها چندین میلیون سال به‌طول انجامیده است و این منابع تجدیدناپذیر هستند، بنابراین باید منابع تجدیدپذیر جایگزین آنها شوند. آسیاب‌های بادی و سدهای هیدروالکتریک دو منبع انرژی تجدیدپذیر هستند که سالیان زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سرامیک‌ها در این دو فناوری نیز دارای اهمیت خاصی هستند. در هردوی این فناوری‌ها از سرامیک‌های الکتریکی به ویژه نارساناهای الکتریکی استفاده می‌شود؛ همچنین پرّه‌ء آسیاب‌های بادی از کامپوزیت‌های حاوی الیاف سرامیکی ساخته می‌شوند. قطعاتی که در این روش تولید انرژی به‌کار می‌روند با سرعت زیادی می‌چرخند، بنابراین از سرامیک‌های مقاوم در برابر سایش، به‌ویژه ساچمه‌های نیتریدسیلیسیمی استفاده می‌شود.

شکل ۹- توربین‌های بادی با طراحی‌های مختلف

انرژی خورشید

نورخورشید منبع انرژی مهمی‌است که برای تولید انرژی‌های نو کمتر استفاده شده است. راه‌های زیادی برای استفاده از انرژی خورشید وجود دارد. از جملهٔ این روش‌ها، متمرکز کردن نور خورشید توسط آینه‌ها است که با این روش می‌توان حرارت مورد نیاز برای راه اندازی یک توربین فراهم کرد.

روش دیگر تولید الکتریسیته با پیل‌های فوتو ـ ولتایی است که به نام پیل خورشیدی معروف هستند. پیل‌های خورشیدی از نیم‌رسانای سیلیسیمی (همان ماده‌ای که برای ساخت تراشه‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد) ساخته می‌شوند. بنابراین پیل خورشیدی می‌تواند با تابش نورخورشید بدون هزینه و آلودگی، الکتریسیته تولید کند. درحال حاضر تلاش‌های زیادی برای گسترش این نوع انرژی صورت گرفته است.



شکل ۱۰-تولید انرژی در سلول‌های خورشیدی

پیل‌های خورشیدی به دلایل زیر هنوز گسترش زیادی نیافته‌اند:

۱ـ گران هستند.

۲ـ راندمان بالایی ندارند (به تعداد زیادی از آنها نیاز است تا برق مصرفی یک خانه تأمین شود).

۳ـ فقط هنگامی‌که خورشید در آسمان است کار می‌کنند.

۴ـ جریان الکتریسیته مستقیم ایجاد می‌کنند، درحالی که برای روشن کردن لوازم الکتریکی خانه‌ها به جریان متناوب نیاز است.

سؤال

بررسی کنید چگونه می‌توان جریان الکتریسیته مستقیم را به متناوب تبدیل کرد؟

انرژی حاصل از گیاهان

درختان، سبزه‌ها و ساقه‌های ذرت می‌توانند منبع مهم انرژی باشند. یکی از روش‌هایی که برای تولید انرژی از گیاهان پیشنهاد شده شامل تبدیل انرژی ناشی از سوزاندن گیاهان به انرژی الکتریکی است و راه دیگر تبدیل انرژی شیمیایی گیاهان به سوخت‌های مایع مانند الکل یا سوخت‌های گازی مانند متان است. سرامیک‌ها در هر دوی این روش‌ها برای کنترل و حفظ انرژی تولید شده کاربرد دارند.

سؤال

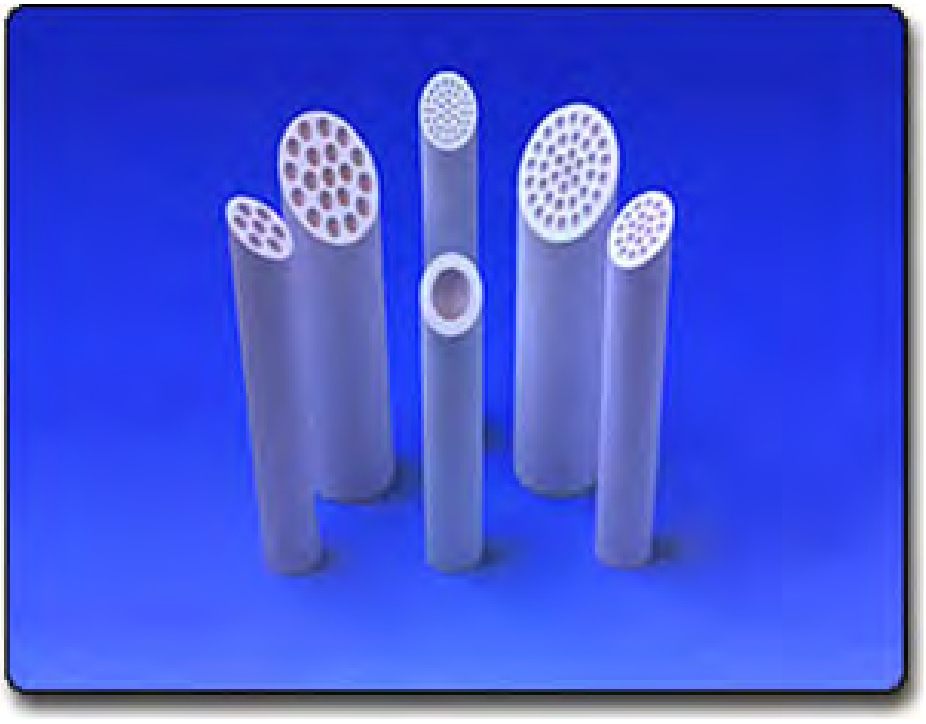
چه ویژگی از سرامیک‌ها برای کاربرد در این روش مورد توجه است؟

برق حاصل از سوخت‌های فسیلی تجدید ناپذیر

سرامیک‌ها برای کنترل آلودگی نیز از اهمیت زیادی برخوردار هستند. برای مثال می‌توان به پارچه‌های سرامیکی که غبار و خاکستر نسوخته را از گازهای گرم اتلافی پیش از خارج شدن از دودکش کارخانجات جدا می‌کنند، اشاره کرد.

هنگامی‌که نیروگاه سیکل ترکیبی کار می‌کند، زغال‌سنگ پودر شده با هوا مخلوط شده و در یک کوره بزرگ سوزانده می‌شود. این فرآیند گازهای داغی (عمدتاً هوا) را ایجاد می‌کند که باعث چرخش سریع پرّه‌های توربین و حرکت ژنراتور می‌شود. همچنین گازهای داغ که از توربین خارج می‌شوند از لوله‌های مبدّل حرارتی که در میان آنها آب جریان دارد، عبور داده می‌شوند؛ با انتقال انرژی گرمایی آب می‌جوشد و بخار پرفشاری را ایجاد می‌کند که از یک توربین بخار عبور کرده و الکتریسیته بیشتری تولید می‌کند.

مشکل این سامانه‌ها آن است که زغال سنگ ناخالصی‌های زیادی دارد که به خوبی نمی‌سوزد و تولید خاکستر می‌کند. ورود خاکستر به داخل موتور باعث خوردگی و سایش زیادی می‌شود و مانع از عملکرد مناسب توربین‌ها می‌شوند. برای جلوگیری از ورود خاکستر به درون توربین، فیلترهای سرامیکی به کار برده می‌شود. در شکل ۱۱-۶ چند نمونه فیلتر سرامیکی نشان داده شده است.



شکل ۱۱- چند نمونه فیلتر سرامیکی

انرژی هسته‌ای

سرامیک‌ها در صنعت انرژی هسته ای نیز کاربرد دارند که شـــامل قرص سوختی، میله کنترل و دفع زباله‌های رادیواکتیو اســـت. سوخت مورد استفاده در رآکتورهای ســـنتی عمدتاً از جنس اکســـید اورانیم کـــه یک نوع سرامیک است، می‌باشـــد. واکنش هسته ای قرص‌های سوخت اکسید اورانیم، گرما ایجاد می‌کند که این گرما به آب منتقل می‌شـــود و به وسیله ژنراتورهای بخار به الکتریســـیته تبدیل می‌شـــود. رآکتورهای جدیدتر که رآکتور ســـریع نامیده می‌شوند، از سوخت پرانرژی‌تری که مخلوطی از اکســـید اورانیم و اکسید پلوتونیم است استفاده می‌کنند و گرما را به طور مؤثرتر و ایمن‌تری به یک فلز مذاب منتقل می‌کنند.

شکل ۱۲- اکسید اورانیم

آیا می‌دانید که

یک قرص اکسید اورانیم با قطری حدود ۱ سانتی‌متر و طول ۱/۲۵ سانتی‌متر دارای انرژی معادل انرژی ۱ تن زغال‌سنگ، ۵۶۷ لیتر نفت یا ۶۳۷ متر مکعب گاز طبیعی است! قرص‌های سوخت رآکتورهای هسته‌ای در میله‌هایی به طول ۳/۵ متر نگه‌داری می‌شوند. یک راکتور معمولاً بیش از ۱۵۰۰۰ میله سوخت دارد و می‌تواند الکتریسیته مورد نیاز ۳۵۰۰۰۰ خانه که فقط از انرژی برق استفاده می‌کنند را تأمین کند.

مهم‌ترین کاربرد ســـرامیک‌ها در صنعت هســـته‌ای در دفن زباله‌های هسته‌ای رادیواکتیو است. ورود زباله‌های رادیواکتیو به داخل هوا یا آب‌های زیرزمینی آسیب‌های زیـــادی را ایجاد می‌کند. مهندســـین ســـرامیک برای جلوگیری از ورود تشعشعات این زباله‌ها راه‌هایی برای اختلاط پســـماندهای رادیواکتیو با پودرهای سرامیکی و تبدیل آنها به شیشـــه یا ســـرامیک‌های بسیار پایدار طراحی کرده‌اند. ذوب پسماندهای رادیواکتیو و تبدیل آنها به شیشه یا سرامیک‌ها، احتمال نشت پسماندهای هسته‌ای به محیط اطراف را به‌حداقل می‌رساند.

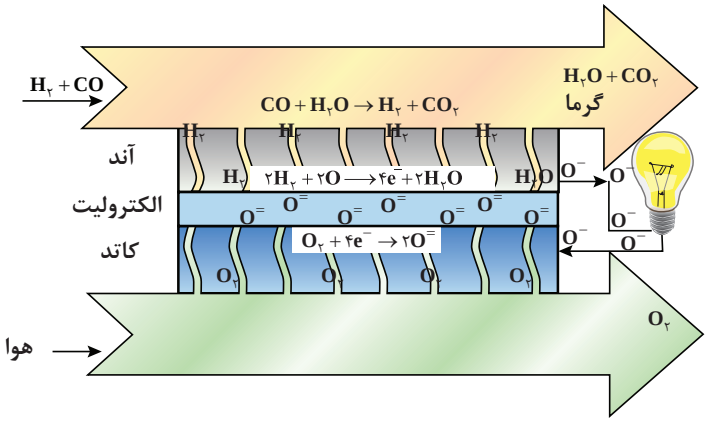
سرامیک‌های مورد استفاده در پیل‌های سوختی

نیروگاه‌های زغال‌سنگی و نفتی راندمان بالایی ندارند و بیشتر این نیروگاه‌ها فقط می‌توانند حدوداً ۳۲ تا ۳۵ درصد انرژی ذخیره شده در سوخت را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند. پیل‌های سوختی جایگزین مناسبی برای این نیروگاه‌ها هستند. در پیل‌های سوختی به جای سوزاندن سوخت از واکنش‌های شیمیایی برای ایجاد الکتریسیته استفاده می‌شود.

یک پیل سوختی می‌تواند به طور مستقیم حدود ۶۰ درصد انرژی سوخت را به الکتریسیته تبدیل کند و هم زمان گرمای مناسبی برای گرم کردن خانه‌ها و یا تولید الکتریسیته اضافی فراهم کند. مزیت دیگر پیل‌های سوختی این است که آلودگی بسیار کمتری نسبت به فرایندهای سوزاندن سوخت ایجاد می‌کنند.

پیل‌های سوختی انواع گوناگونی دارند که مهم‌ترین آنها برای صنعت سرامیک، پیل سوختی اکسید جامد(SOFC[1]) است. این پیل مشابه حسگر اکسیژن زیرکونیایی عمل می‌کند که در اثر اختلاف غلظت اکسیژن در داخل و خارج حسگر اکسیژنی یک ولتاژ ایجاد می‌شود.

در SOFC هوا در یک طرف زیرکونیا و در طرف دیگر سوختی مانند گاز طبیعی یا هیدروژن قرار می‌گیرد. اکسیژن موجود در هوا از زیرکونیا عبور کرده و با سوخت واکنش می‌دهد و در اثر انجام واکنش شیمیایی الکتریسیته ایجاد می‌شود. در اثر انجام واکنش شیمیایی بین سوخت و اکسیژن، گرما نیز تولید می‌شود و پیل سوختی را در دمای کاری مناسب و بهینه نگه می‌دارد.



شکل ۱۳- نحوه عملکرد پیل سوختی اکسید جامد

سؤال

اگر به جای هوا، گاز هیدروژن یا گاز طبیعی مثل متان به کار رود علاوه بر الکتریسیته چه محصولاتی تولید خواهد شد؟

تحقیق

هم اکنون پیل‌های سوختی در چه وسایلی کاربرد دارند؟

۱ـ Solid State Oxide Fuel Cell

نقش سرامیک‌ها در کنترل آلودگی

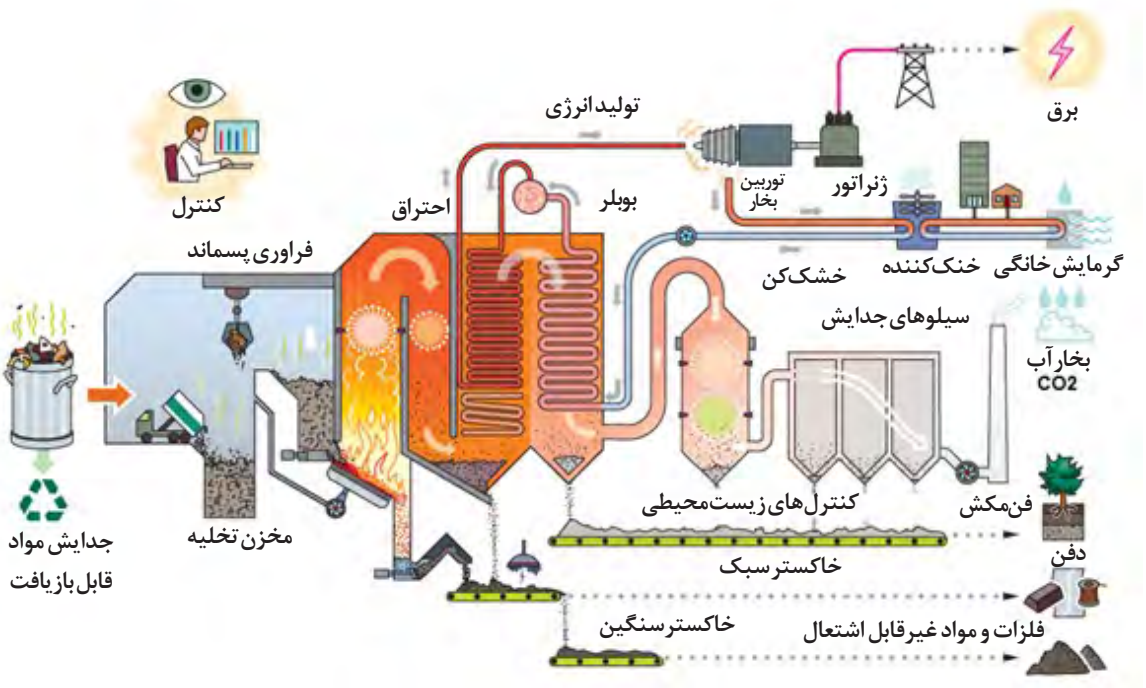
تاکنون برخی از کاربردهای سرامیک‌ها در کنترل آلودگی مورد بررسی قرار گرفت. و در مورد کاربرد سرامیک‌ها در فیلترهای نیروگاه‌های زغال‌سنگی و حبس زباله‌های هسته‌ای بحث شد. در ضمن نقش سرامیک‌ها در دستگاه‌ها و روش‌های حفظ انرژی یا تولید انرژی با راندمان بالا نیز مورد بررسی قرار گرفت. لامپ‌های با راندمان بالا، مبدّل های حرارتی سرامیکی، فندک‌های جایگزین شمعک موتورهای حرارتی دما بالا و پیل‌های سوختی همگی به کاهش آلودگی کمک می‌کنند. سرامیک‌ها علاوه بر موارد ذکر شده در حوزه‌های دیگری مانند سوزاندن زباله‌ها، کنترل آب و فاضلاب و حتی نظافت لکه‌های نفتی در دریاها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین از فیلترهای سرامیکی در اگزوز خودروها و غبارگیری صنعتی استفاده می‌شود.

سوزاندن زباله‌ها و مواد شیمیایی خطرناک

یکی از مسائلی که محیط زیست را تهدید می‌کند انباشته شدن زباله‌ها است. از جمله فناوری‌هایی که در سال‌های اخیر در این زمینه انجام شده سوزاندن زباله‌های شهری است. در ابتدا زباله‌ها به مراکز دفن زباله حمل شده و سپس به کارخانه‌های صنعتی منتقل می‌شوند. در آنجا ماشین های اتوماتیک، مواد قابل بازیافت را جدا می‌کنند و بقیه را در کوره‌های بزرگ می‌سوزانند و حرارت ایجاد شده برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود. به منظور جلوگیری از انتقال و اتلاف حرارت، زباله سوزها با سرامیک‌ها آستر کاری می‌شوند. همچنین سرامیک‌ها در زدودن ذرات خاکستر از هوایی که از زباله‌سوزها خارج می‌شود نیز نقش دارند.

بسیاری از مواد شیمیایی مضر و نیز سلاح‌های شیمیایی نظامی به قدری خطرناک هستند که نمی‌توان آنها را دفن کرد یا در زباله‌سوزهای معمولی سوزاند. این مواد در زباله‌سوزهای ویژه‌ای سوزانده می‌شوند تا به موادی بی‌خطر تبدیل شوند که سرامیک‌ها در این زباله سوزها نیز کاربرد دارند.

شکل ۱۴- تفکیک زباله



شکل ۱۵- تصویر کلی فرایند زباله سوز شهری

آب و فاضلاب

بیشـــتر فرایندهای صنعتی به آب نیاز دارند و آب‌های مصرفی برای آنها اغلب در حین فرایند به اسیدها، بازها و مواد شیمیایی حل شده و ذرات جامد آغشته می‌شوند و باید قبل از استفاده مجدد یا بازگشت به محیط زیست تصفیه شـــوند. کانال‌های انتقال آب آلـــوده و مخازنی که آب در آنها مورد عملیات پاکســـازی قرار می‌گیرد، اغلب آســـترهایی از جنس سرامیک‌ها دارند. همچنین آب‌های آلوده از فیلترهای سرامیکی عبور داده می‌شود تا ذرات ناخواسته از آن جدا شود. همچنین برای ایجاد واکنش‌های پاک ســـازی آب‌ها، گازهای داغی از میان سرامیک‌های متخلخل داخل آب دمیده می‌شود.

سؤال

به نظر شما چرا باید لوله‌های انتقال آب‌های آلوده که اغلب جنس فلزی یا پلاستیکی دارند، با سرامیک‌ها آستر کاری شوند؟

مهار لکه‌های نفتی

یکی از شگفت‌انگیزترین کاربرد سرامیک‌ها، مهار لکه‌های نفتی نشت کرده از تانکرهای دریایی است. دانشمندان به این نتیجه رسیدند که آلودگی حاصل از سوزاندن، ضرر بسیار کمتری نسبت به پخش شدن نفت از دریا و رسیدن به خشکی دارد. برای مهار لکه‌های نفتی آن را با یک ساختار شناور به نام بوم محاصره می‌کنند و سپس سوزانده می‌شوند.

در ابتدا بوم‌هایی از جنس فولاد مطرح شدند که بسیار سنگین و گران بود. اما سپس بوم سرامیکی به نام بوم آتشین ابداع شد. این بوم از شناورهایی تشکیل شده که به سهولت می‌توان آنها را با یک قایق به دور لکه نفتی یدک کرد.

شناورها دو بخش داخلی و خارجی دارند. بخش داخلی از یک سرامیک متخلخل شناور با لایه‌هایی از تورهای فولادی مقاوم در برابر خوردگی و یک پارچه سرامیکی دما بالا تشکیل شده و لایه‌خارجی (دامن بوم آتشین) از جنس پلاستیکی به نام پلی‌وینیل کلرید است. پس از احاطه شدن لکهٔ نفتی توسط بوم آتشین لکه آتش زده می‌شود.

شکل ۱۶- مهار لکه نفتی با بوم آتشین

تحقیق

آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از نشت نفت به دریا را بررسی کنید.

فهرست منابع و مراجع

۱- برنامه درسی رشته سرامیک، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش، ۱۳۹۳

۲- تویسرکانی، حسین، زمستان ۱۳۸۰، اصول علم مواد، چاپ دوم، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر

۳- افتخاری، یکتا، بیژن،۱۳۸۸، محاسبات در سرامیک، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

4- Richerson, David. 1944. The magic of ceramics.

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب ازطریق نامه به نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: www.tvoccd.medu.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش