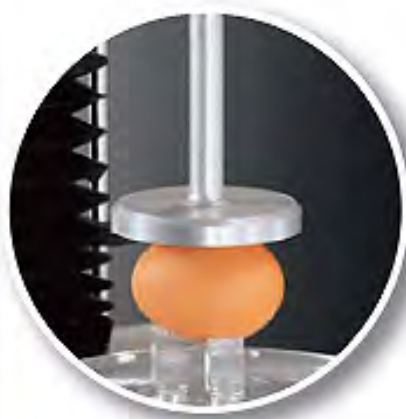


# فصل ٥

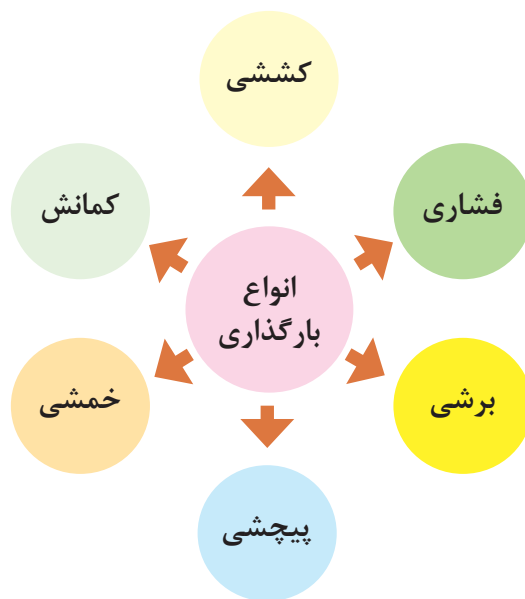
## مقاومت مواد



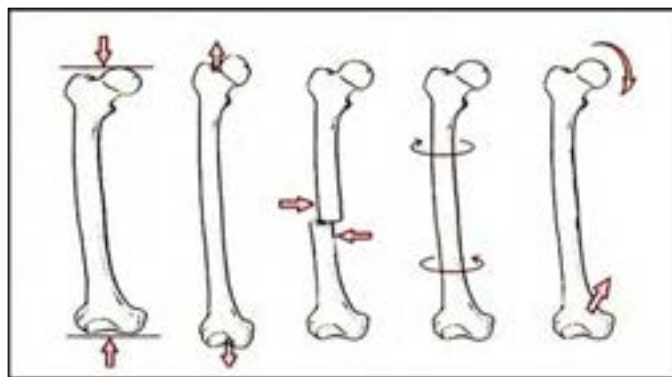
## بارگذاری و نیروهای وارده بر روی قطعات چگونه است؟

در هنگام کار و استفاده از قطعات و ابزارها، نیروها و گشتاورهای مختلفی بر روی قسمت‌های مختلف آنها وارد می‌شود. این بارگذاری‌ها به شکل‌های گوناگونی انجام می‌پذیرد (شکل ۱). نیروها همچنین می‌توانند محوری یا عرضی بر قطعه در جهت‌های 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 ۱- انواع بارگذاری بر روی قطعات



شکل ۲- انواع بارگذاری‌ها بر روی استخوان

## جلوه‌های آفرینش

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. در هر نوع از بارگذاری که منجر به شکست استخوان شود، شکل شکستن استخوان متفاوت است.



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.

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



شکل ۳- انواع بارگذاری بر روی خط کش فلزی



فعالیت



سؤال

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

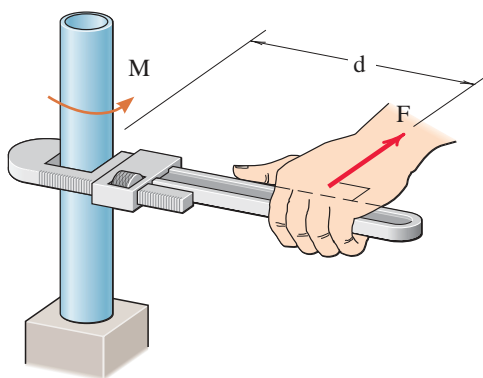
.....  
.....

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

۱- وارد نمودن نیرو

۲- وارد نمودن گشتاور

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



شکل ۴- علائم (M) گشتاور و نیرو (F)

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

.....



فعالیت

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؟

.....



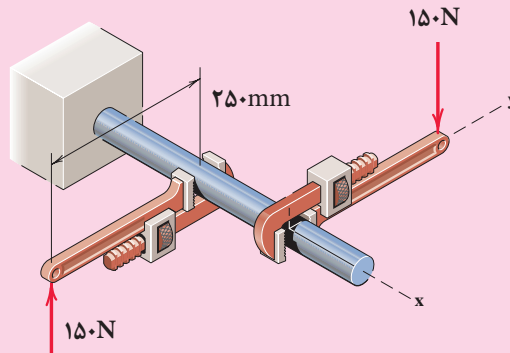
تحقیق

## 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 بر حسب نیوتن-متر به دست آورید.

$$\text{گشتاور کلی} = ۲ \times ۱۵۰ \text{ (N)} \times ۰/۲۵ \text{ (m)} = ۷۵ \text{ (N.m)}$$

جهت گشتاور کلی در جهت عقربه‌های ساعت است.



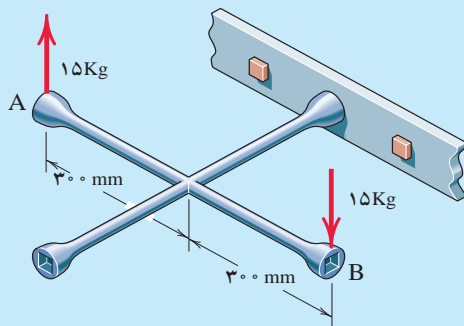
شکل ۵- وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق دو آچار شلاقی

گشتاور وارده به پیچ در نقطه O را در شکل بر حسب نیوتن-متر محاسبه کنید. جهت آن را نیز مشخص کنید.

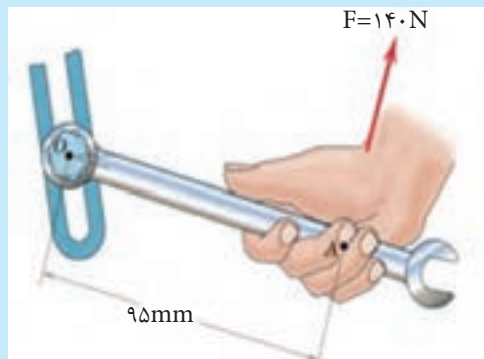


فعالیت

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



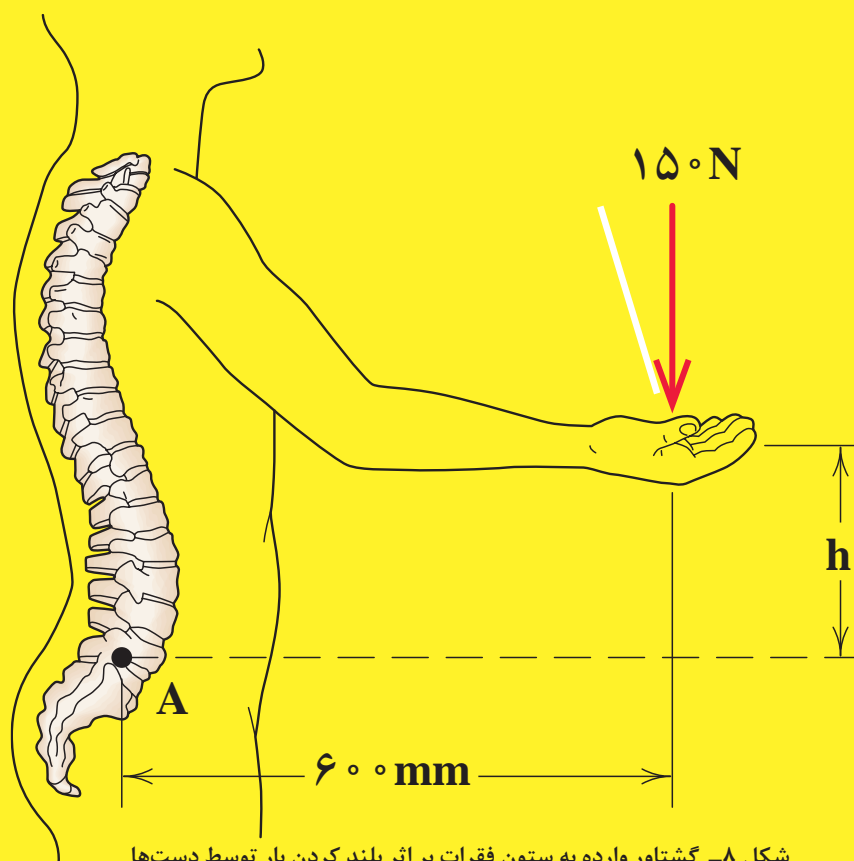
شکل ۷- وارد نمودن گشتاور بر پیچ از طریق آچار چرخ



شکل ۶- وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق آچار



در شکل ۸ گشتاور وارد به ستون فقرات در نقطه A را محاسبه کنید. همچنین همان گونه که مشاهده می کنید 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 آسیب رسانی 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 ۸- گشتاور وارده به ستون فقرات بر اثر بلند کردن بار توسط دست‌ها



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

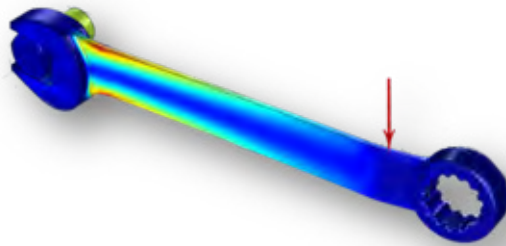


شکل ۹- باز کردن در پیچ چرخ خودرو توسط آچار چرخ

## الاستیک، پلاستیک و شکست قطعات

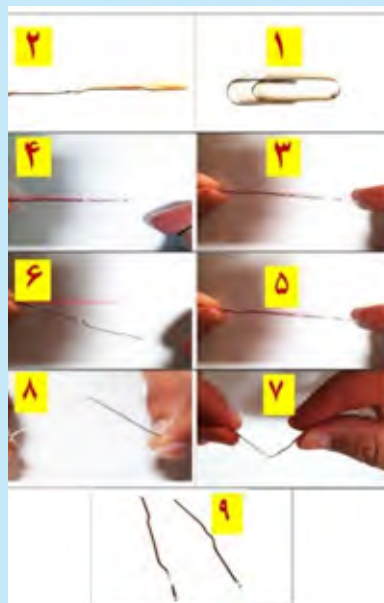
بر روی قطعات انواع بارگذاری وارد می‌شود. در یک قطعه ممکن است یک قسمت از آن بحرانی و حساس باشد و نیرو و گشتاور در آن بیشتر از نقاط یا قسمت‌های دیگر باشد. احتمال خرابی و شکست در این نقطه از همه نقاط در قطعه بیشتر است. در شکل زیر ابتدا قسمت‌های بحرانی یک آچار را مشخص کنید. و سپس به سؤالات زیر پاسخ دهید:

- ۱- 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؟
- ۲- اگر نیرو بیش از حد مجاز به قطعه وارد شود چه اتفاقی می‌افتد؟
- ۳- اگر نیرو خیلی زیاد باشد، یا به دفعات زیاد و به صورت نوسانی وارد شود چه اتفاقی می‌افتد؟



شکل ۱۰- قسمت‌های بحرانی یک آچار هنگام بارگذاری

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



فعالیت





پس از انجام آزمایش پرسش‌های زیر را پاسخ دهید:

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

.....

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

.....

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

.....

در صورتی 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

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!

دانشمندان دریافته‌اند حشره آسیابک<sup>۱</sup> 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



شکل ۱۲- حشره آسیابک

## 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 سفت‌تر 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.



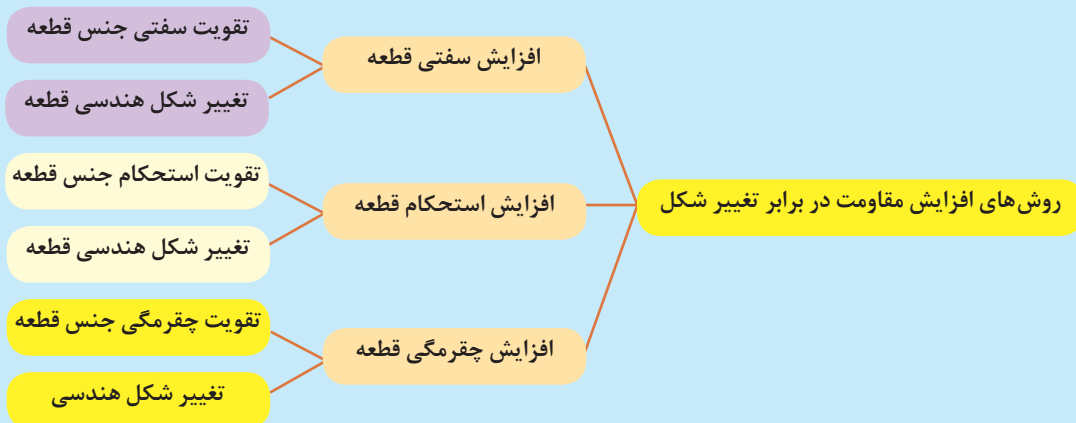
فعالیت

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

.....  
.....

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

- ۱- استفاده از جنس مناسب: انتخاب جنس مناسب برای هدف مورد نظر تأثیر زیادی بر استحکام قطعه خواهد داشت.
  - ۲- شکل هندسی مناسب: با استفاده از شکل‌های هوشمندانه می‌توان قطعات و سازه‌ها را به گونه‌ای ساخت که بار و نیروی بیشتری تحمل نمایند.
  - ۳- 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 در نظر 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

### ۱- شکست تُرد

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



شکست ترد

### ۲- شکست نرم

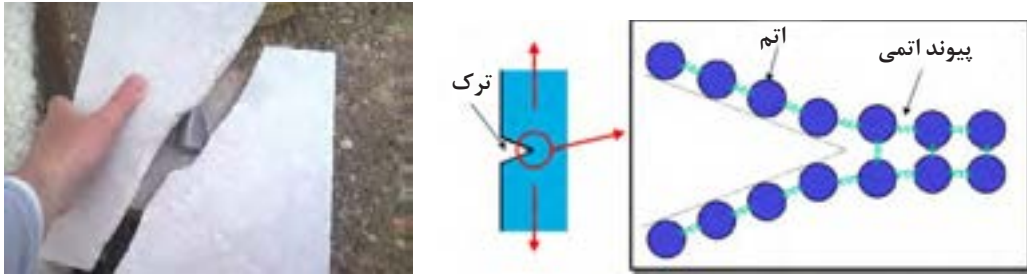
بعد از ایجاد تغییر شکل پلاستیک در نمونه شکست رخ می‌دهد. این نوع شکست بیشتر در فلزات اتفاق می‌افتد.



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 - 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 وارد آمدن تنش کمتری دچار شکست می‌شوند.

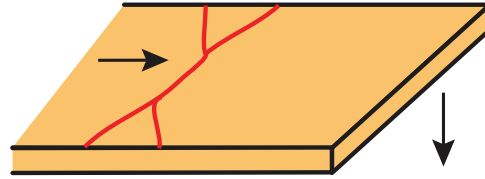
جدول ۱- مقایسه استحکام کششی و مدول الاستیسیته سرامیک‌های مختلف

نام ماده	مدول الاستیسیته	استحکام خمشی
$\text{Si}_3\text{N}_4$	۳۰۴	۲۵۰-۱۰۰۰
$\text{ZrO}_2$	۲۰۵	۸۰۰-۱۵۰۰
$\text{SiC}$	۳۴۵	۱۰۰-۸۲۰
$\text{Al}_2\text{O}_3$	۳۹۳	۲۷۵-۷۰۰
شیشه - سرامیک	۱۲۰	۲۴۷
مولایت	۱۴۵	۱۸۵
اسپینل	۲۶۰	۱۱۰-۲۴۵
اکسید منیزیم	۲۲۵	۱۰۵
اکسید سیلیسیم	۷۳	۱۱۰
شیشه در و پنجره	۶۹	۶۹

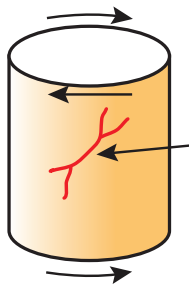
در شکل ۱۴ انواع مدل‌های ترک برداشتن در اثر تنش‌های مختلف وارد شده بر قطعات سرامیکی نشان داده شده است.



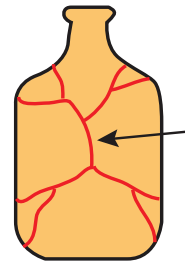
(ب) تنش فشاری



(الف) تنش خمشی



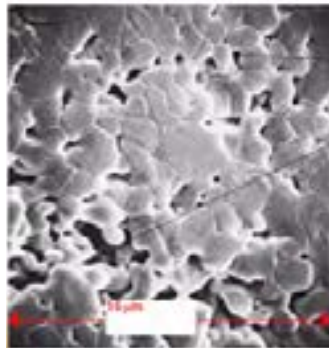
(د) تنش پیچشی



(ج) تنش‌های داخلی

شکل ۱۴- انواع مدل‌های ترک در سرامیک در اثر تنش‌های 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

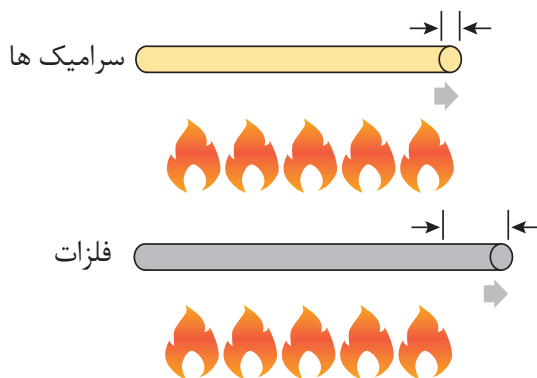
به نظر شما چرا با افزایش درصد تخلخل‌ها استحکام قطعه کاهش می‌یابد؟



سؤال

### 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.

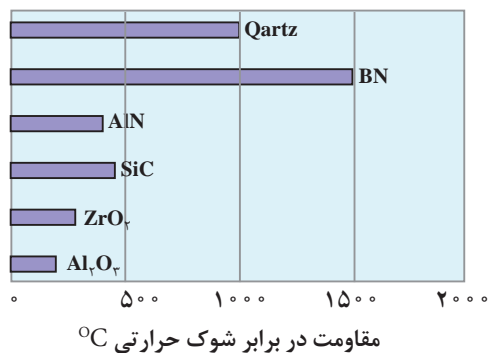


شکل ۱۶

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



۱- ضریب انبساط حرارتی: هرچه ضریب انبساط حرارتی ماده موردنظر کمتر باشد، انبساط و انقباض قطعه کمتر می‌شود و در مقابل شوک حرارتی پایداری بیشتری 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.

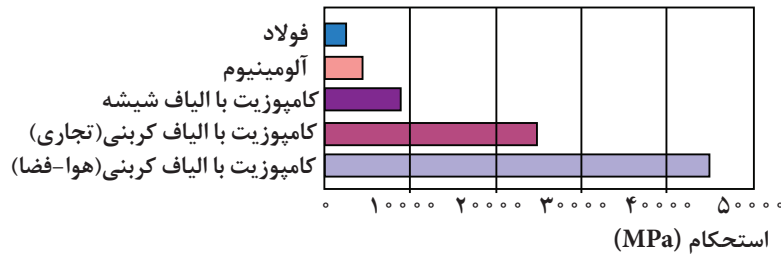
۳- استحکام

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

## راه‌های افزایش مقاومت سرامیک‌ها

همان گونه 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:

۱- کامپوزیت‌سازی: کامپوزیت‌های با زمینه فلزی با پلیمری که در آنها الیاف سرامیکی به کار 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

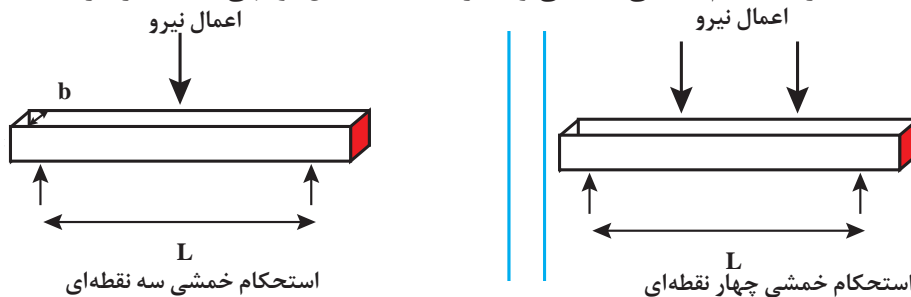
۲- برای قطعاتی که از سطح ترک برمی‌دارند و رشد ترک در آنها زیاد است، پوشش دهی سطحی بر روی آنها انجام می‌شود. به عنوان مثال لعاب کاری باعث افزایش مقاومت به ضربه سرامیک‌ها می‌شود.

## مدول شکست<sup>۱</sup> (MOR)

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 آسان تر است

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



شکل ۱۹- انواع آزمایش استحکام خمشی

<sup>۱</sup>-Modulus of Rupture





## فصل ۶

### سرامیک و محیط زیست



## انرژی و کنترل آلودگی

جایگزین و تمیز دارند و باعث افزایش بازده روش‌های تولید انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شوند.

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

## نقش سرامیک‌ها در حفظ انرژی

ایک 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. در نتیجه 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.

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 در نظر 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 (اوپک) در دهه ۱۹۷۰ بود. در آن زمان

## عایق کاری با الیاف شیشه‌ای

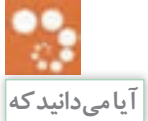
برای ساخت این الیاف مذاب شیشه از انتهای محفظه‌ای با تعداد زیاد سوراخ ریز خارج شده و حالت رشته‌ای دارا می‌باشند و پس از دمیدن هوا و بخار پرفشار به آنها تبدیل به الیاف نازک شیشه‌ای می‌گردند. (در طی این فرایند از گلوله شیشه‌ای که در حدود ۱/۵ سانتی متر قطر دارد، الیافی به طول ۱۵۰ کیلومتر نیز تولید شده است).

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 به کار رفته است. این عایق‌ها در سال‌های ۱۹۳۱ تا ۱۹۳۷ ساخته شده‌اند. الیاف شیشه‌ای رشته‌های نازک از جنس شیشه (پشمک مانند) با تخلخل‌های زیاد هستند و هوای داخل تخلخل‌ها مانع انتقال حرارت است.



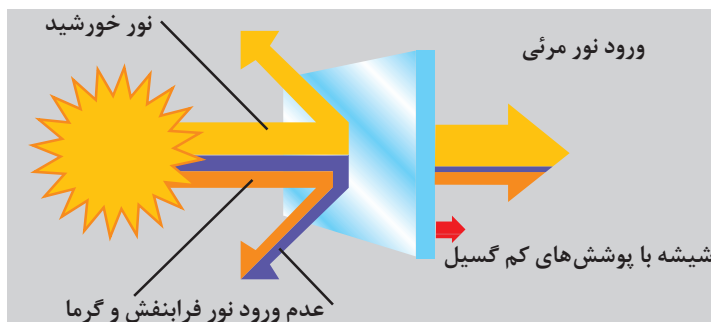
شکل ۱- الیاف شیشه‌ای

به کارگیری 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 به کار برده شوند. برای کاهش اتلاف حرارت از پنجره‌ها، شیشه‌های دوجداره 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.



شکل ۲- عملکرد شیشه‌هایی با پوششی از یک لایه نازک فلزی در جلوگیری از اتلاف انرژی

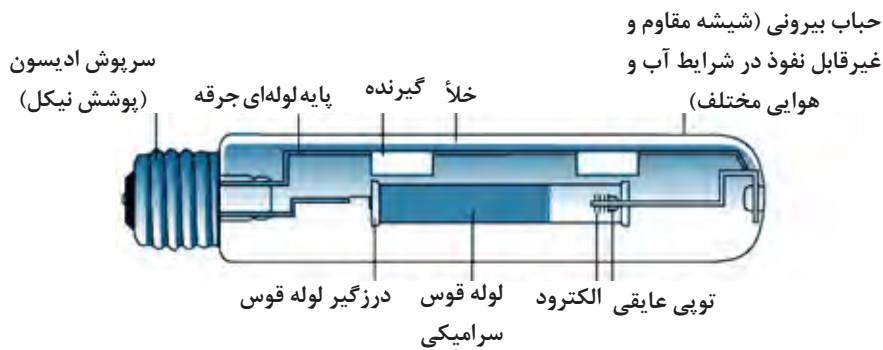
در مورد عملکرد شیشه‌های با پوشش فلز بازتابنده تحقیق کنید.



### لامپ‌های باراندمان 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 سدیمی با مصرف

هر ۱۴۰ (لومن) روشنایی تولید می‌کند، در حالی که لامپ‌های تنگستن فقط ۱۵ لومن روشنایی دارند. در شکل ۳ اجزای لامپ سدیمی نشان داده شده است. جیوه با فشار بالا در آن نگهداری می‌شود.



شکل ۳- اجزای لامپ سدیمی

ویژگی‌های آلومینا برای کاربرد در لامپ‌های سدیمی را مشخص کنید.



سؤال

تنها مسئله موجود در مورد لامپ‌های سدیمی تفاوت رنگ اجسام در زیر نور لامپ سدیم با نور روز است. برای رفع این مسئله لامپ‌های هالوژنی ابداع شده‌اند. بخار هالید فلزی در این لامپ‌ها در یک لوله قوسی شکل از جنس شیشه سیلیسی قرار می‌گیرد. محققان در حال بررسی 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 لامپ هالیدی



چرا بخارهای فلزی در یک لوله قوسی شکل از جنس سرامیکی قرار می‌گیرند؟

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

جدول ۱- خصوصیات مهم لامپ‌های الکتریکی

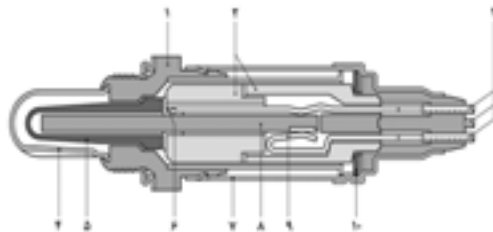
ردیف	نوع لامپ	شار نوری (لومن)	افت لومن (درصد از لومن اولیه)	متوسط طول عمر (ساعت)	حداکثر بهره نوری (لومن بر وات)
۱	رشته‌ای معمولی	۱۰ تا ۵۰۰۰۰	۱۵ تا ۴۰	۱۰۰۰	۱۰
۲	رشته‌ای هالوژن	۳۰۰ تا ۴۰۰۰۰	۸ تا ۱۵	۱۰۰۰	۱۵
۳	فلورسنت	۹۰۰ تا ۱۲۰۰۰	۸ تا ۲۵	۷۰۰۰	۴۰
۴	بخار جیوه	۱۲۰۰ تا ۶۰۰۰۰	۳۵ تا ۴۰	۳۰۰۰	۶۰
۵	هالید فلزی	۴۰۰۰ 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

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.

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

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 موجودار برای عنصر گرم‌کن
۱۰. واشر فنری



شکل ۵- اجزای سنسور اکسیژن

## فندک‌های سرامیکی

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 به قدری گرم می‌شود که با این گرما می‌توان گاز طبیعی را روشن کرد.

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



شکل ۶- اجزای سرامیکی با کاربرد در فندک‌ها

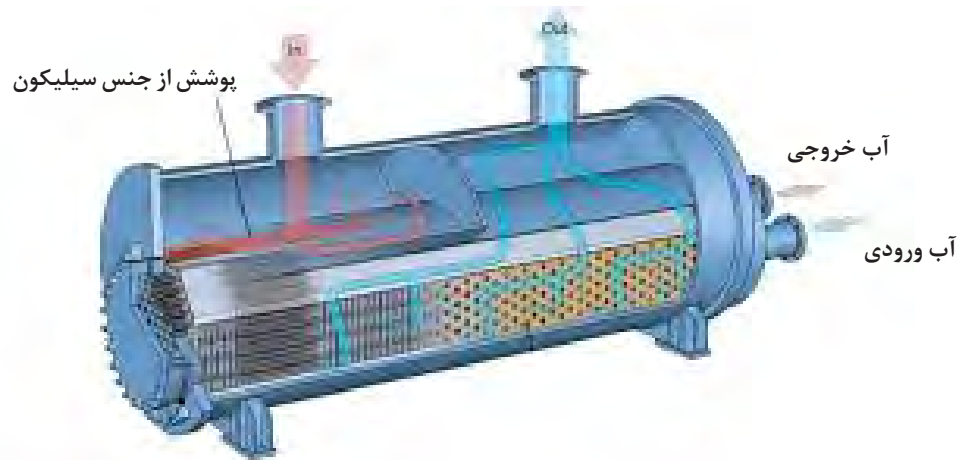
## سرامیک‌های مورد استفاده در صرفه‌جویی انرژی صنعتی

### مبدل حرارتی

حرارت تولیدی پیشنهاد شده است. بیشترین 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

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 پیش گرم کردن هوای مورد نیاز در فرایند از جمله راهکارهایی است که برای جلوگیری از اتلاف

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

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



تحقیق



### 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 کمی دارند 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.



شکل ۸- مشعل تابشی

## سرامیک‌ها و منابع انرژی تجدیدپذیر انرژی باد و آب

این فناوری‌ها از سرامیک‌های الکتریکی به ویژه نارساها الکتریکی استفاده می‌شود؛ همچنین پره‌های آسیاب‌های بادی از کامپوزیت‌های حاوی الیاف سرامیکی ساخته می‌شوند. قطعاتی که در این روش تولید انرژی به کار می‌روند با سرعت زیادی می‌چرخند، بنابراین از سرامیک‌های مقاوم در برابر سایش، به ویژه ساچمه‌های نیتريدسیلیسیمی استفاده می‌شود.

سوزاندن نفت و زغال سنگ باعث مصرف منابع طبیعی می‌شود که تشکیل آنها چندین میلیون سال به طول 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



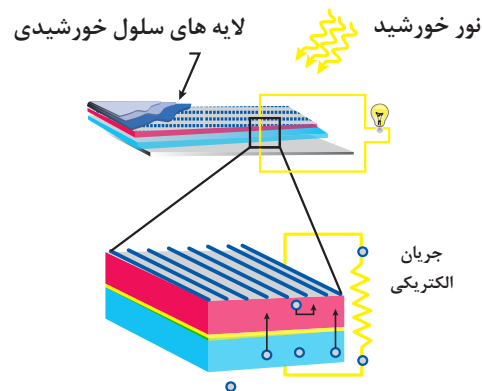
شکل ۹- توربین‌های بادی با طراحی‌های مختلف



## انرژی خورشید

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 نور خورشید بدون هزینه و آلودگی، الکتریسیته تولید کند. در حال حاضر تلاش‌های زیادی برای گسترش این نوع انرژی صورت گرفته است.

نور خورشید منبع انرژی مهمی است که برای تولید انرژی‌های نو کمتر استفاده شده است. راه‌های زیادی برای استفاده از انرژی خورشید وجود دارد. از جمله این روش‌ها، متمرکز کردن نور خورشید توسط آینه‌ها است که با این روش می‌توان حرارت مورد نیاز برای راه‌اندازی یک توربین فراهم کرد. روش دیگر تولید الکتریسیته با پیل‌های فوتو - ولتایی



شکل ۱۰- تولید انرژی در سلول‌های خورشیدی

پیل‌های خورشیدی به دلایل زیر هنوز گسترش زیادی نیافته‌اند:

- ۱- گران هستند.
- ۲- راندمان بالایی ندارند (به تعداد زیادی از آنها نیاز است تا برق مصرفی یک خانه تأمین شود).
- ۳- فقط هنگامی که خورشید در آسمان است کار می‌کنند.
- ۴- جریان الکتریسیته مستقیم ایجاد می‌کنند، در حالی که برای روشن کردن لوازم الکتریکی خانه‌ها به جریان متناوب نیاز است.

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



سؤال

## انرژی حاصل از گیاهان

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.

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

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

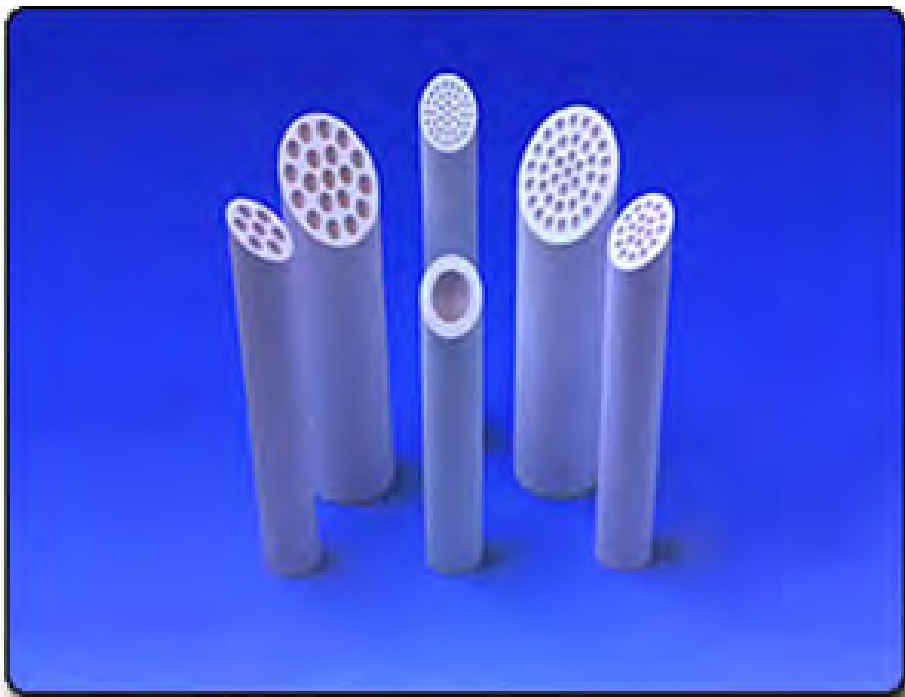


سؤال

## برق حاصل از سوخت‌های فسیلی تجدید ناپذیر

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.

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. هنگامی که نیروگاه سیکل ترکیبی کار می‌کند، زغال سنگ 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 پره‌های توربین و حرکت ژنراتور می‌شود. همچنین گازهای داغ که از توربین خارج می‌شوند از لوله‌های مبدل حرارتی که در میان آنها آب جریان دارد، عبور



شکل ۱۱- چند نمونه فیلتر سرامیکی

## انرژی هسته‌ای

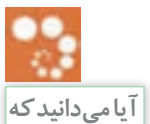
به آب منتقل می‌شود و به وسیله ژنراتورهای بخار به الکتریسیته تبدیل می‌شود. رآکتورهای جدیدتر که رآکتور سریع نامیده می‌شوند، از سوخت پرنرژی تری که مخلوطی از اکسید اورانیم و اکسید پلوتونیم است استفاده می‌کنند و گرما را به طور مؤثرتر و ایمن‌تری به یک فلز مذاب منتقل می‌کنند.

سرامیک‌ها در صنعت انرژی هسته‌ای نیز کاربرد دارند که شامل قرص سوختی، میله کنترل و دفع زباله‌های رادیواکتیو است. سوخت مورد استفاده در رآکتورهای سنتی عمدتاً از جنس اکسید اورانیم که یک نوع سرامیک است، می‌باشد. واکنش هسته‌ای قرص‌های سوخت اکسید اورانیم، گرما ایجاد می‌کند که این گرما



شکل ۱۲- اکسید اورانیم

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 رآکتور معمولاً بیش از ۱۵۰۰۰ میله سوخت دارد و می‌تواند الکتریسیته مورد نیاز ۳۵۰۰۰۰ خانه که فقط از انرژی برق استفاده می‌کنند را تأمین کند.



اختلاط پسماندهای رادیواکتیو با پودرهای سرامیکی و تبدیل آنها به شیشه یا سرامیک‌های بسیار پایدار طراحی کرده‌اند. ذوب پسماندهای رادیواکتیو و تبدیل آنها به شیشه یا سرامیک‌ها، احتمال نشت پسماندهای هسته‌ای به محیط اطراف را به حداقل می‌رساند.

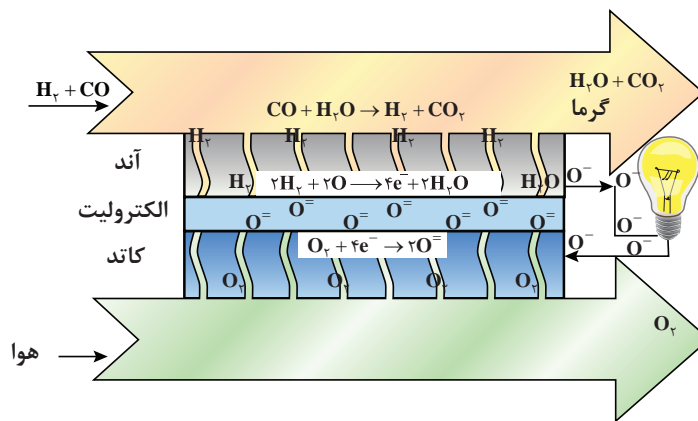
مهم‌ترین کاربرد سرامیک‌ها در صنعت هسته‌ای در دفن زباله‌های هسته‌ای رادیواکتیو است. ورود زباله‌های رادیواکتیو به داخل هوا یا آب‌های زیرزمینی آسیب‌های زیادی را ایجاد می‌کند. مهندسان سرامیک برای جلوگیری از ورود تشعشعات این زباله‌ها راه‌هایی برای

## سرامیک‌های مورد استفاده در پیل‌های سوختی

پیل‌های سوختی انواع گوناگونی دارند که مهم‌ترین آنها برای صنعت سرامیک، پیل سوختی اکسید جامد (SOFC<sup>1</sup>) 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.

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.



شکل ۱۳- نحوه عملکرد پیل سوختی اکسید جامد

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

هم اکنون پیل‌های سوختی در چه وسایلی کاربرد دارند؟



سؤال



تحقیق

### نقش سرامیک‌ها در کنترل آلودگی

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 آگزوز خودروها و غبارگیری صنعتی استفاده می‌شود.

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، می‌دَل‌های حرارتی سرامیکی، فندک‌های جایگزین شمعک

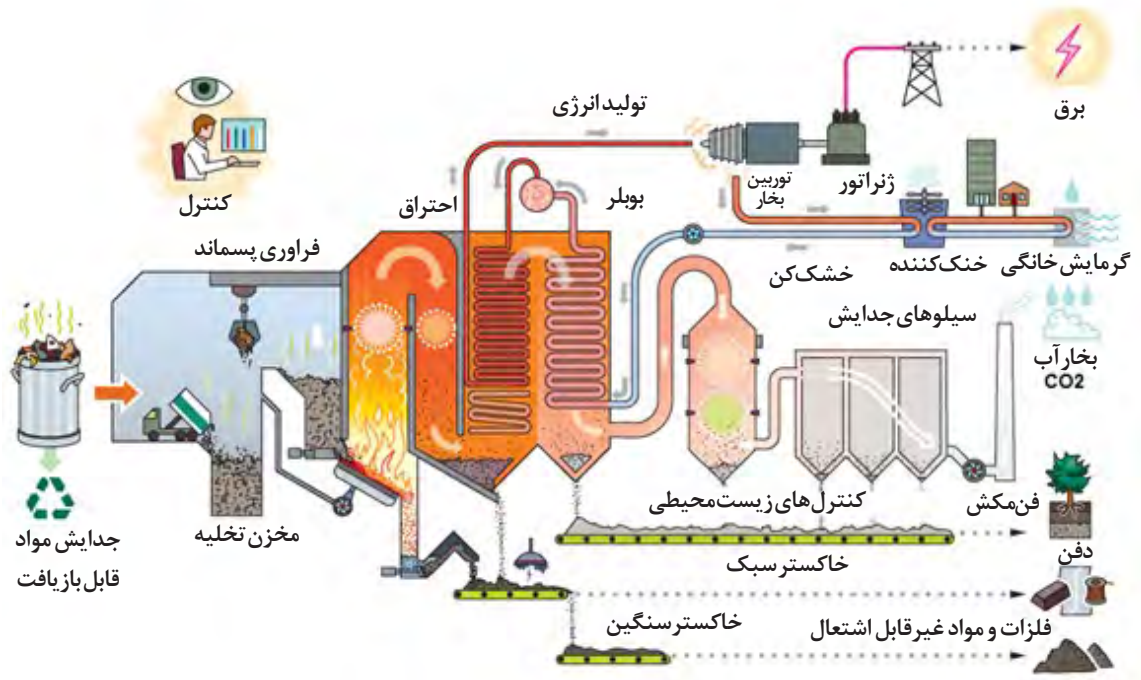
### سوزاندن زباله‌ها و مواد شیمیایی خطرناک

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 زباله‌سوزها نیز کاربرد دارند.

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 ماشین‌های 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، زباله‌سوزها با سرامیک‌ها آسترکاری



شکل ۱۴- تفکیک زباله



شکل ۱۵- تصویر کلی فرایند زباله سوز شهری

## آب و فاضلاب

اغلب آسترهایی از جنس سرامیک‌ها دارند. همچنین آب‌های آلوده از فیلترهای سرامیکی عبور داده می‌شود تا ذرات ناخواسته از آن جدا شود. همچنین برای ایجاد واکنش‌های پاک‌سازی آب‌ها، گازهای داغی از میان سرامیک‌های متخلخل داخل آب دمیده می‌شود.

بیشتر 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 شوند. کانال‌های انتقال آب آلوده و مخازنی که آب در آنها مورد عملیات پاک‌سازی قرار می‌گیرد،

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



سؤال

## مهار لکه‌های نفتی

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 لایه خارجی (دامن بوم آتشین) از جنس پلاستیکی به نام پلی‌وینیل کلرید است. پس از احاطه شدن لکه نفتی توسط بوم آتشین لکه آتش زده می‌شود.

یکی از شگفت‌انگیزترین کاربردها 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



شکل ۱۶- مهار لکه نفتی با بوم آتشین

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



تحقیق

## 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 نظریاتی اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir) ارسال نمایند.

وب‌گاه: [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir)

دفترتالیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کارداش

