فصل ۵

مقاومت مواد

آیا قطعات و سازه‌های مکانیکی خراب می‌شوند و می‌شکنند؟

به شکل‌های زیر نگاه کنید به نظر شما مشکل هر یک از آنها چیست؟

شکل ۱ـ۵ـ نمونه‌هایی از شکست قطعات

آنها در یک چیز مشترک هستند؟ خرابی:

فعالیت

دلایل احتمالی خرابی و شکست قطعات نشان داده شده در شکل ۱ـ۵ را در گروه خود بررسی نمایید؟

.....

.....

.....

به نظر شما کدام دلیل عامل بیشتر خرابی‌های قطعات نشان داده شده در شکل می‌باشد؟

.....

.....

.....

دلایل اصلی خرابی قطعات عبارت‌اند از :

۱ طراحی نامناسب آنها
۲ وجود مشکل در جنس و مواد به‌کار رفته در آنها
۳ مشکل به‌وجود آمده در هنگام ساخت
۴ خرابی محیطی
۵ استفاده نادرست از آنها
۶ فرسودگی

فعالیت

به نظر شما بیشترین علت خرابی قطعات و سازه‌ها که در کارگاه هنرستان مشاهده کردید چیست؟

.....

.....

.....

.....

چگونه می‌توان از بروز خرابی‌ها در قطعات جلوگیری نمود؟

.....

.....

.....

.....

چرا قطعات و سازه‌ها خراب می‌شوند؟

هنگام استفاده از قطعات و سازه‌ها قطعات به روش‌های گوناگون خراب می‌شود:

۱ خوردگی ۲ خستگی ۳ بارگذاری و نیروی بیش از حد ۴ بارگذاری ایجاد کننده نوسانات‌بزرگ‌ـتشدید ۵ سایش

فعالیت

در مورد روش دیگری خرابی قطعات بحث و گفتگو نماید؟

.....

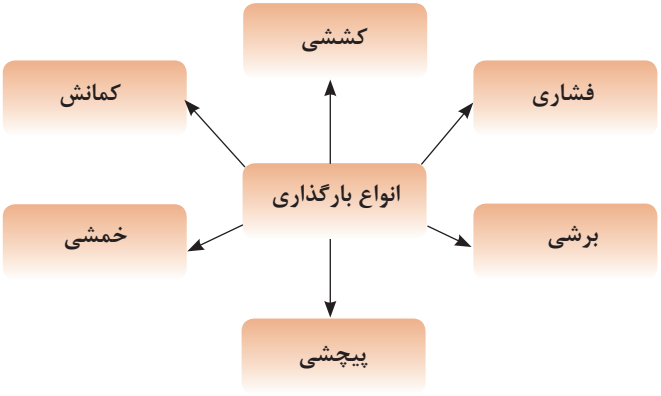
.....

.....

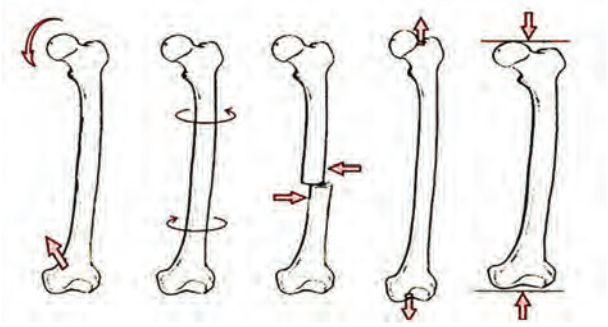
وقتی قطعه‌ای خراب است یعنی اینکه نمی‌تواند کاری که از آن خواسته شده است را به‌درستی انجام دهد. وقتی که می‌گوییم یک قطعه مقاوم است، یعنی اینکه در مقابل خرابی دوام دارد و از خود باید بپرسیم در مقابل چه چیزی مقاوم است. مقاومت در مقابل جابجایی، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر سایش، مقاومت در مقابل شکست، مقاومت در مقابل زنگ زدگی و غیره .

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 ۱ـ۵) . نیروها همچنین می‌توانند محوری یا عرضی بر قطعه در جهت‌های مختلف وارد شوند. قسمت‌های مختلف قطعه بایستی در مقابل این نیروها و بارگذاری‌ها هنگامی‌که به‌صورت آرام یا به‌صورت ضربه و یا به‌صورت پی در پی 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 ۲ـ۵).



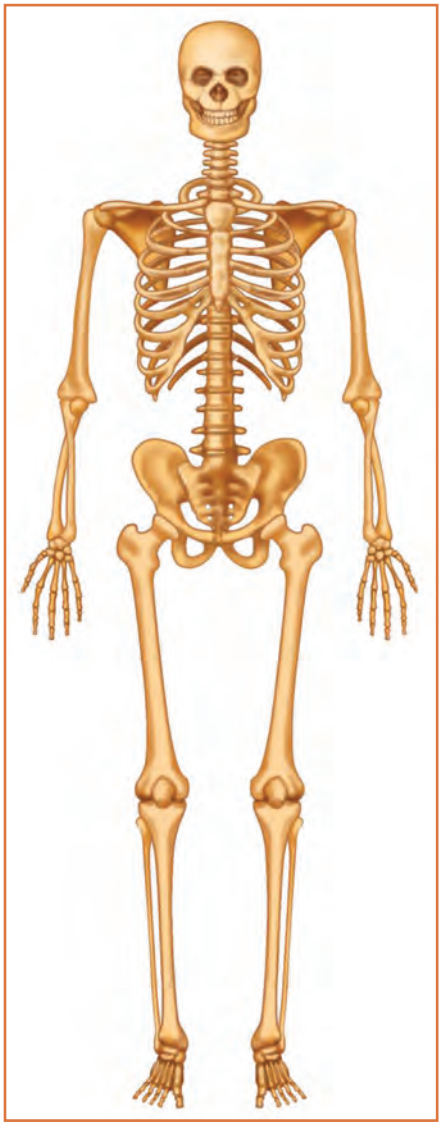
شکل ۱ـ۵ـ انواع بارگذاری بر روی قطعات



شکل ۲ـ ۵ـ انواع بارگذاری‌ها بر روی استخوان

جلوه‌های آفرینش

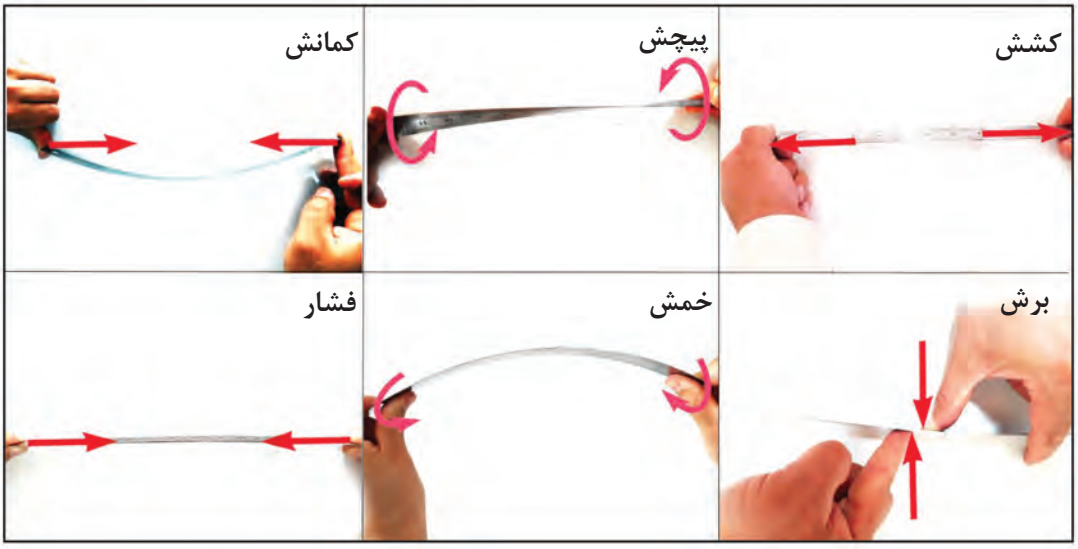
در بدن انسان اسکلت و استخوان‌ها وظایف گوناگونی دارند. حفاظت از اندام‌هایی مانند مغز، قلب، شش‌ها از مهم‌ترین آنها است. حرکت بدن انسان نیز بر پایه اسکلت و استخوان‌ها است. چون اسکلت تکیه‌گاه عضلات قرار می‌گیرد. شکل دادن به بدن انسان نیز از دیگر وظایف استخوان‌ها است. استخوان‌های ما ۱۴ درصد از وزن کل بدنمان را تشکیل می‌دهند. بدن انسان در بدو تولد از ۳۰۰ استخوان تشکیل شده است. تعداد استخوان‌ها به مرورکمتر 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. در هر نوع از بارگذاری بیش از حد بر روی استخوان شکل شکستن استخوان متفاوت است.



شکل ۳ـ۵

فعالیت

با استفاده از یک خط کش فلزی، انواع بارگذاری‌ها را بر روی 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 خط کش یا با ایجاد گشتاور انجام شود (شکل۳ـ۵).



شکل ۴ـ۵ ـ انواع بارگذاری بر روی خط‌کش فلزی

پرسش

در کدام نوع از بارگذاری خط‌کش در مقابل جابه‌جایی مقاوم‌تر است؟ در گروه خود بحث کنید؟

.....

.....

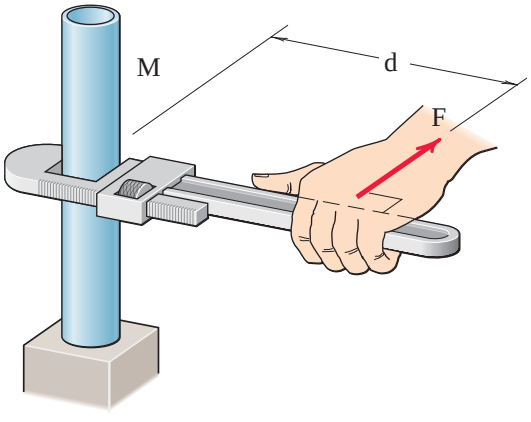
.....

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 نیوتن‌ـمتر (N.m) است. به‌صورت شماتیک نیرو و گشتاور را به‌صورت زیر نشان می‌دهند. به d بازوی گشتاور می‌گویند.



شکل ۵ ـ۵ـ علائم گشتاور و نیرو

فعالیت

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

تحقیق کنید

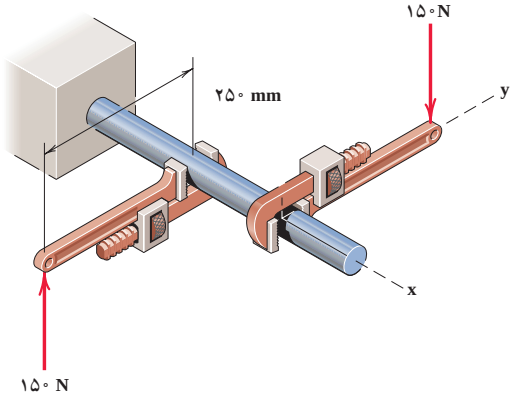
همان‌طور که دیدید بدن انسان در اعمال نیرو و گشتاور به قطعات، محدودیت‌هایی دارد. تحقیق کنید با استفاده از چه ابزارها و وسایلی که خود نیازمند تأمین انرژی نیستند می‌توان نیرو و گشتاور را تقویت و بیشتر نمود؟

مثال:

در شکل۶ـ۵ دو آچار شلاقی یکسان بر روی میله گشتاور وارد می‌کنند. بازوی هر آچار ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. گشتاور کلی وارده به میله را برحسب نیوتن‌ـمتر 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.

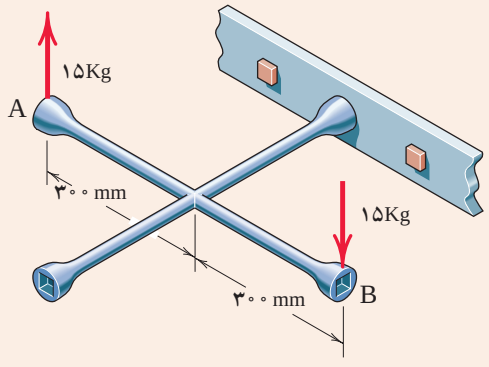


شکل۶ـ۵ـ وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق دو آچار شلاقی

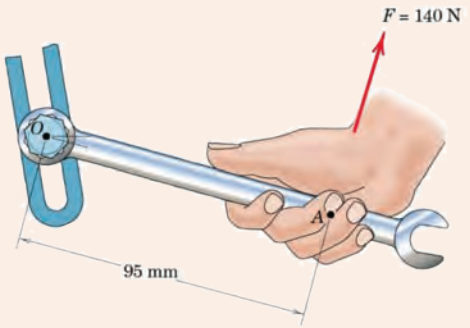
فعالیت

گشتاور وارده به پیچ در نقطه O را در شکل ۷ـ۵برحسب نیوتن متر محاسبه کنید. جهت آن را نیز مشخص کنید.

گشتاور وارده بـــه پیچ را در شکـــل ۸ـ۵ بـــر حسب نیوتن متر محاسبه کنید. جهت آن را نیز مشخص کنید.



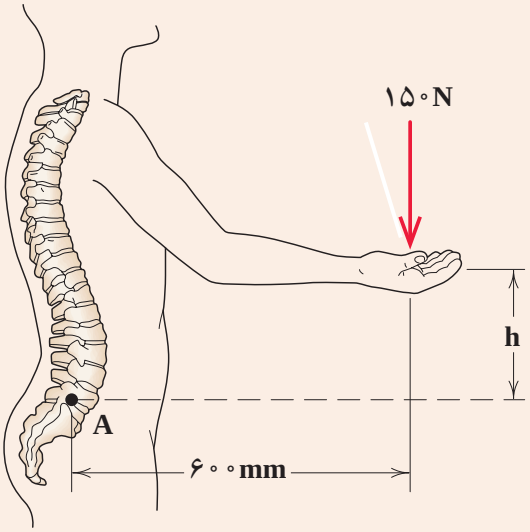
شکل ۷ـ۵ـ وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق آچار



شکل ۸ـ۵ـ وارد نمودن گشتاور بر پیچ از طریق آچار چرخ

تحقیق کنید

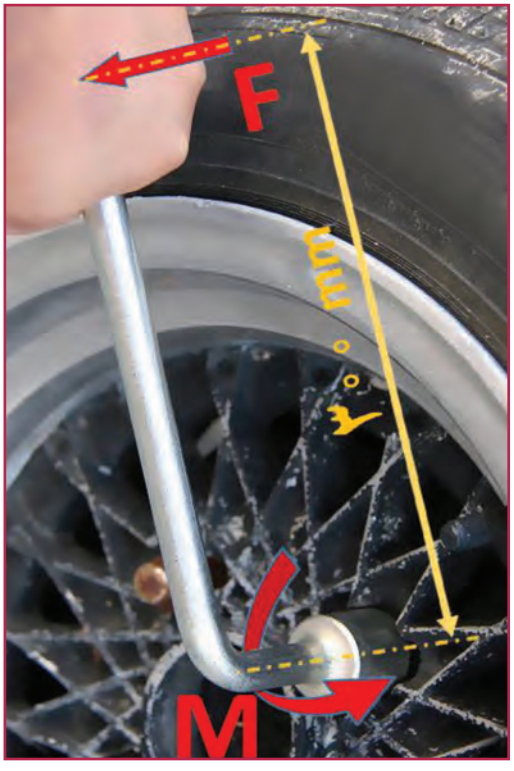
در شکل ۹ـ ۵ گشتاور وارد به ستون فقرات در نقطه A را محاسبه کنید. همچنین همان‌گونه که مشاهده می‌کنید در هنگام بلند کردن بار توسط بدن، هر چه فاصله بار از بدن بیشتر باشد گشتاور وارده به ستون فقرات بیشتر خواهد بود و در نتیجه امکان آسیب‌رسانی به ستون فقرات بیشتر خواهد شد. تحقیق کنید روش صحیح بلند کردن بار توسط بدن و دست‌ها چگونه است و چرا بایستی به آن شیوه، بار را بلند کرد؟



شکل ۹ـ۵ـ گشتاور وارده به ستون فقرات بر اثر بلند کردن بار توسط دست‌ها

فعالیت

برای باز کردن پیچ‌های چرخ خودرو نشان داده شده در شکل روبه‌رو ۱۰کیلوگرم‌ـمتر لازم است. محاسبه کنید مقدار حداکثر نیروی وارده برحسب نیوتن توسط دست را بر روی آچار چرخ تا پیچ باز شود.



شکل ۱۰ـ۵ـ باز کردن پیچ چرخ خودرو توسط آچار چرخ

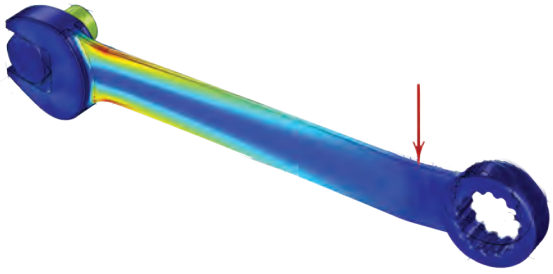
الاستیک، پلاستیک و شکست قطعات

همان‌طور که تجربه کردید 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 قسمت‌های بحرانی یک آچار را مشخص کنید. حال این پرسش‌ها را در ذهن خود مرور کنید؟

۱ اگر نیرو و گشتاور وارده به یک قطعه کم باشد آیا قطعه پس از تغییر شکل به (ممکن است شما مشاهده نکنید) 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 به‌صورت نوسانی وارد شود چه اتفاقی می‌افتد؟



شکل ۱۱ـ۵ـ قسمت‌های بحرانی یک آچار هنگام بارگذاری

فعالیت

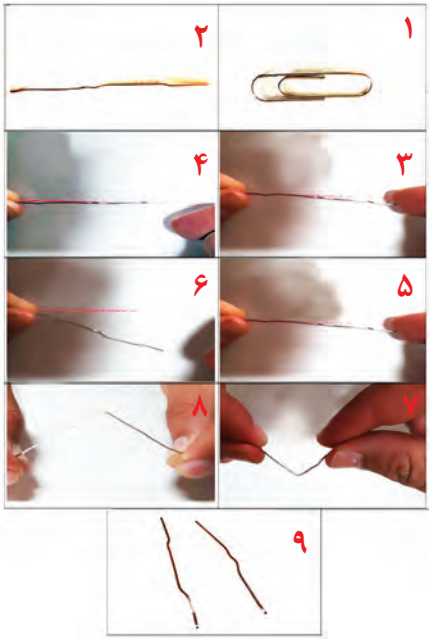
مفتول یک گیره کاغذ را همانند شکل زیر باز کنید. یک سمت آن را در دست خود محکم بگیرید. با انگشت دست دیگر به‌انتهای مفتول نیرو وارد کنید. حالت‌های زیر را در نظر بگیرید (شکل ۱۲ـ۵):

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 بر می‌گردد؟

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

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



شکل ۱۲ـ۵ـ آزمایش بارگذاری بر روی یک مفتول گیره کاغذ

قطعه اگر پس از بارگذاری به حالت اول خود برگشت می‌گویند، قطعه در ناحیه **الاستیک** (کشسان همانند فنر و کش لاستیکی) است. و در زمانی که قطعه به حالت خود برنگشت، می‌گویند قطعه در ناحیه **پلاستیک** (مومسان همانند موم و پلاستیک) است و وقتی قطعه از یک نقطه جدا شود می‌گویند **شکست** اتفاق افتاده است.

جلوه آفرینش

دانشمندان دریافتند حشره آسیابک (dragonfly)با طول حداکثر ۳٫۸ سانتی‌متر، هنگام مهاجرت هزاران کیلومتر را بر فراز اقیانوس‌ها به‌طور پیوسته پرواز می‌کند. آنها معتقدند که بدن این حشرات برای سفرهای طولانی مدت تکامل یافته است. چراکه سطح بال‌های این حشرات در مقایسه با هم‌نوعان خود بسیار بیشتر بوده و امکان پرواز گلاید یا بدون بال‌زدن را برای آنان امکان‌پذیر می‌سازد. به‌نظر 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 شکست؟ طراحی بدن هر پرنده‌ای کاری بسیار سخت و پیچیده است!

شکل ۱۳ـ۵ـ 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 داشته باشد، آن قطعه سفت‌تر است.

استحکام

مقاومت یک قطعه در برابر تغییر شکل دائمی بر اثر اعمال نیرو را می‌گویند. 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 می‌گویند. 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 انجام دهید؟ به نظر شما کدام سفت‌تر، مستحکم‌تر و چقرمه‌تر است؟

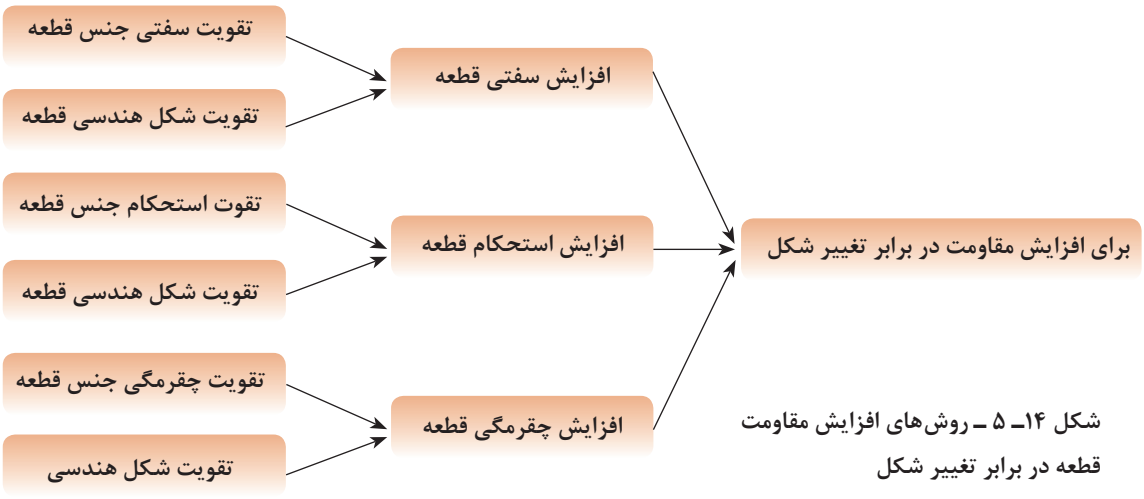
برای افزایش مقاومت در مقابل تغییر شکل بر اثر اعمال نیرو و انرژی چه کاری انجام دهیم:

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 بیشتر تحمل کنند.

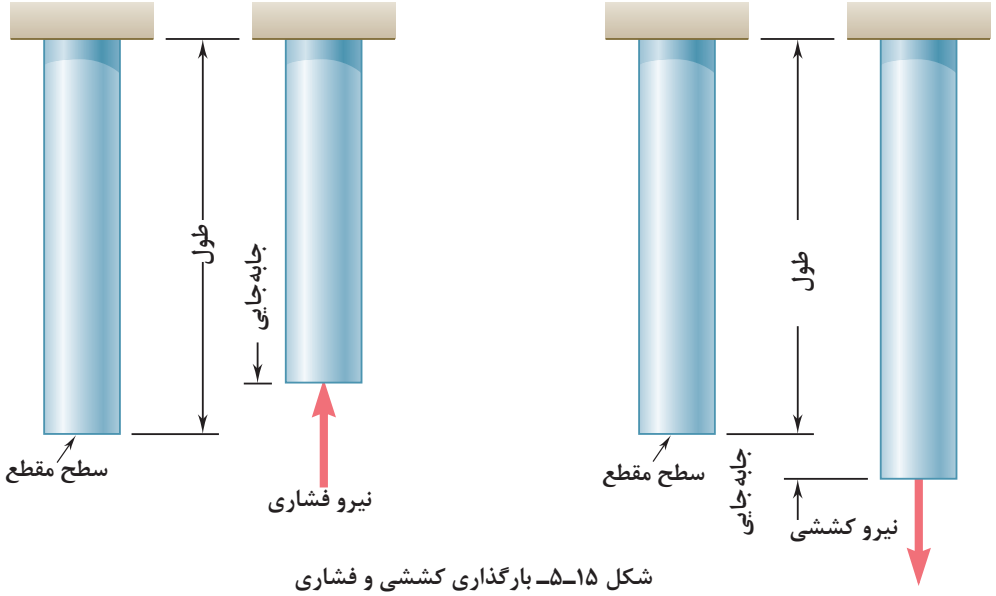
در نمودار زیر روش‌های افزایش مقاومت قطعه در برابر تغییر شکل بر اثر اعمال نیرو نشان داده شده است:



شکل ۱۴ـ ۵ ـ روش‌های افزایش مقاومت قطعه در برابر تغییر شکل

مقاومت قطعه در برابر بارگذاری کششی و فشاری

اگر بار اعمال شده سبب کشیده شدن قطعه در امتداد محور بار شود، بارگذاری کششی خواهد بود. همچنین اگر بـــار اعمال‌شده سبب فشرده‌شدن قـطعه شود بـارگـذاری فشاری خـواهد بود (شکـل ۱۵ـ۵). همان‌طور که قبلاً آموخته‌اید، قطعات در هنگام بارگذاری کم، رفتاری همانند فنر از خود نشان می‌دهند و کشیده می‌شوند و پس از برداشته شدن بار به موقعیت اول خود بازمی‌گردند.



شکل ۱۵ـ۵ـ بارگذاری کششی و فشاری

سفتی قطعه در بار گذاری کششی

جابه‌جایی انتهای یک میله که تحت بارگذاری کششی الاستیک قرار دارد با نیرو و طول میله رابطه مستقیم دارد و با مساحت سطح مقطع و سفتی جنس میله رابطه عکس دارد. هر چه سطح مقطع میله بزرگ تر باشد برای یک نیروی ثابت جابه‌جایی کمتر می‌شود.

$$\text{جابه‌جایی در بارگذاری محوری} = \frac{\text{نیرو} \times \text{طول}}{\text{سفتی جنس} \times \text{سطح مقطع}}$$

سفتی جنس مواد مختلف نسبت به هم متفاوت است. هر چه جنس ماده سفت‌تر باشد جابه‌جایی و تغییر شکل آنها کمتر است.

سفتی فولاد > سفتی مس > سفتی آلومینیوم

به‌طور معمول سفتی فولاد از بیشتر فلزات بیشتر است. نام دیگر سفتی جنس مواد، ضریب کشسانی و الاستیک است.

استحکام قطعه در بار گذاری کششی

نیروی وارده به واحد سطح را **تنش** می‌گویند هر چه نیرو بیشتر و سطح مقطع کوچک‌تر باشد تنش بیشتر

می‌گردد. هرچه تنش کششی یا فشاری بیشتر شود، قطعه به خرابی و شکست نزدیک‌تر می‌شود.

$$\text{تنش کششی در بارگذاری محوری} = \frac{\text{نیروی کششی}}{\text{سطح مقطع}}$$

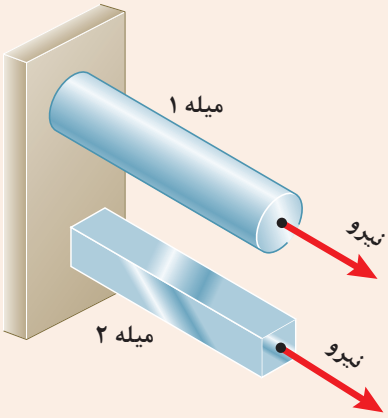
اگر تنش کششی و فشاری در یک قطعه بیشتر از استحکام کششی جنس شود، قطعه دچار خرابی و شکست می‌گردد. استحکام کششی به جنس قطعه بستگی دارد. یکی دیگر از راه‌های افزایش استحکام یک قطعه تقویت شکل هندسی است تا تنش در قطعه کم شود. برای اینکه یک میله در برابر نیروی کششی مقاوم باشد بایستی سطح مقطع میله را افزایش دهیم. یعنی هر چه سطح مقطع میله بیشتر باشد در مقابل نیروی کششی یا فشاری مقاوم‌تر است. مقاومت قطعاتی که به صورت کششی یا فشاری بارگذاری شده‌اند، نوع شکل سطح مقطع روی آن تأثیر ندارد. مقدار استحکام کششی جنس فلزات مختلف با یکدیگر متفاوت است.

استحکام کششی فولاد > استحکام کششی مس > استحکام کششی آلومینیوم

فعالیت

فکر کنید

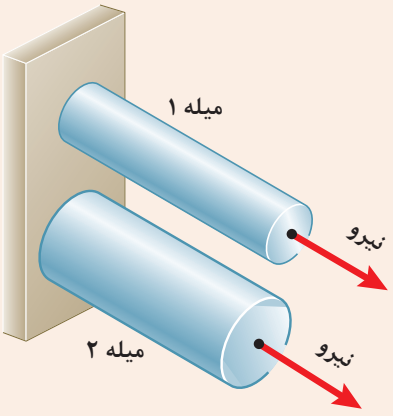
در شکل ۱۶ـ۵ دو میله از جنس فولاد تحت بارگذاری یکسان کشیده می‌شوند. اگر طول و وزن میله‌ها یکسان باشند کدام یک بیشتر کشیده می‌شوند؟ در گروه خود بحث نمائید.



شکل ۱۶ـ۵ـ بارگذاری یکسان بر روی میله‌هایی با طول و جنس و وزن یکسان

فکر کنید

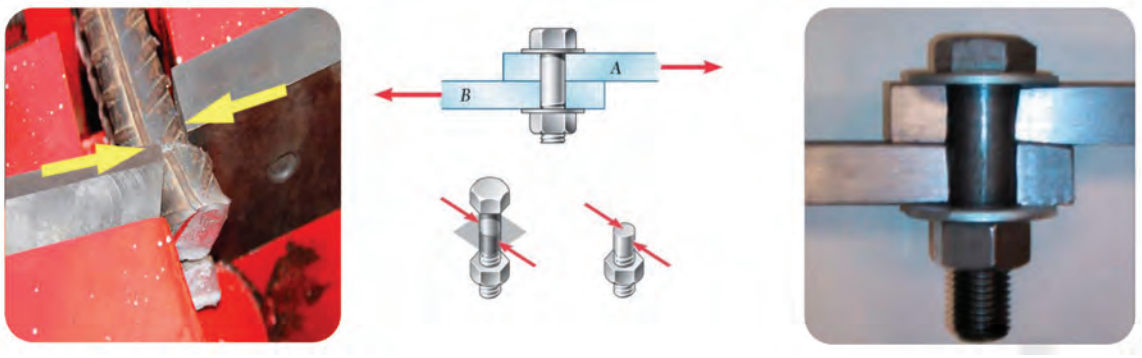
در شکل روبه‌رو دو میله از جنس فولاد با سطح مقطع دایره‌ای توپر تحت بارگذاری یکسان کشیده می‌شوند. اگر وزن میله ۱ نصف وزن میله ۲ باشد جابه‌جایی میله ۱ چند برابر میله ۲ است (طول میله‌ها برابر است).



شکل ۱۷ـ۵ـ بارگذاری یکسان بر روی میله‌هایی با طول و جنس یکسان

مقاومت قطعه در برابر بارگذاری برشی

اگر بار اعمال شده سبب کشیده شدن قطعه در امتداد محور بار شود، بارگذاری کششی خواهد بود. همچنین اگر بار اعمال شده سبب فشرده شدن قطعه شود بارگذاری فشاری خواهد بود. همان‌طور که قبلاً آموخته‌اید، قطعات در هنگام بارگذاری کم، رفتاری همانند فنر از خود نشان می‌دهند و کشیده می‌شوند. پس از برداشته شدن بار به موقعیت اول خود باز می‌گردند مقاومت سازه‌هایی که دارای سطح مقطعی که به‌صورت کششی یا فشاری بارگذاری شده است، مستقل از شکل مقطع است (شکل ۱۸ـ۵).



شکل ۱۸ـ۵ـ بارگذاری برشی

استحکام قطعه در بارگذاری برشی:

نیروی برشی وارده به واحد سطح را **تنش‌برشی** می‌گویند هر چه نیروی برشی بیشتر و سطح مقطع کوچک‌تر باشد تنش برشی بیشتر می‌گردد. هر چه تنش برشی یا فشاری بیشتر شود، قطعه به خرابی و شکست نزدیک‌تر می‌شود. برای نمونه اگر در شکل ۱۸ـ۵ قطر پیچ کوچک‌تر و نیرو ثابت باشد، تنش برشی بیشتر خواهد بود.

$$\text{تنش برشی} = \frac{\text{نیروی برشی}}{\text{سطح مقطع}}$$

اگر تنش برشی در یک قطعه بیشتر از استحکام برشی جنس قطعه شود، قطعه دچار خرابی و شکست می‌گردد. استحکام برشی جنس‌های مختلف در قطعه متفاوت است. پس برای افزایش استحکام یک قطعه بایستی تنش را کم کنیم. برای اینکه یک پیچ یا قطعه در برابر نیروی برشی مقاوم باشد بایستی سطح مقطع پیچ را افزایش دهیم. یعنی هرچه سطح مقطع پیچ بیشتر باشد در مقابل نیروی برشی مستحکم‌تر است. استحکام قطعاتی که به‌صورت برشی بارگذاری شده‌اند، شکل مقطع روی آن تأثیری است. استحکام برشی فلزات با توجه به جنس آنها متفاوت است. هر چه استحکام برشی جنس بالاتر باشد، استحکام قطعه در برابر بارگذاری برشی بیشتر خواهد بود.

استحکام برشی فولاد > استحکام برشی مس > استحکام برشی آلومینیوم

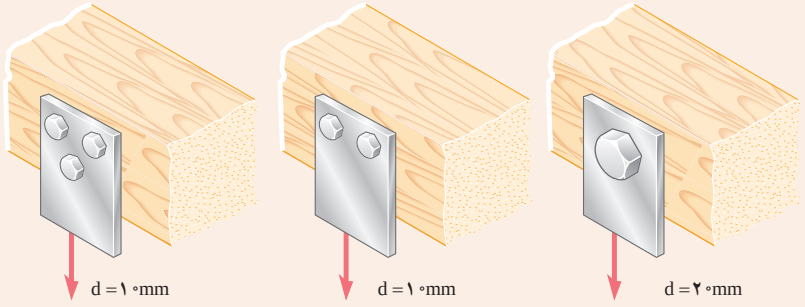
فعالیت

با توجه به شکل زیر در مورد علت خرابی لبه‌های برنده ناخن‌گیر و دم باریک بحث و گفتگو کنید. به نظر شما لبه‌های برنده استحکام لازم را نداشته است یا اینکه به درستی از آنها استفاده نشده است؟

شکل ۱۹ـ۵ ـ لبه‌های برنده خراب شده در ناخن گیر و دم باریک

فعالیت

در شکل ۲۰ـ۴ یک تسمه فولادی توسط چند پیچ از یک جنس بر روی یک دیوار چوبی محکم پیچ شده است. به نظر شما برای یک نیروی برشی ثابت کدام حالت از اتصال در برابر نیروی برشی مستحکم‌تر است و پیچ‌ها دیرتر بریده می‌شوند. در گروه خود بحث کنید.



(ج) (ب) (الف)

شکل ۲۰ـ۵ـ اتصالات چند روش اتصال تسمه به دیوار چوبی تحت بارگذاری برشی

فعالیت

با یک انبردست دو مفتول یا میخ با قطرهای مختلف را برش دهید. برای نیروی وارده یکسان تنش برشی وارده به کدام‌یک بیشتر است؟ کدام‌یک راحت‌تر بریده می‌شود؟ چرا؟

همین کار را برای دو مفتول با قطر یکسان و جنس متفاوت (مس و فولاد) انجام دهید؟ تنش برشی کدام یک بیشتر خواهد بود؟ کدام یک زودتر بریده خواهد شد؟ چرا؟

مقاومت قطعه در برابر بارگذاری خمشی

یکی دیگر از انواع بارگذاری‌ها همان طور که در آزمایش با خط کش فلزی تجربه کردید بارگذاری خمشی بود. خط‌کش فلزی یا هر قطعه دیگر با چندین روش بارگذاری خم می‌شوند. در شکل زیر دو روش برای خم کردن خط‌کش نشان داده شده است. یکی با اعمال نیروی عرضی در یک نقطه از خط‌کش مانند انتهای آن، و دیگری با اعمال گشتاور در هر نقطه از آن خم می‌شود. سطح مقطع تیر و محور خمش نیز در شکل نشان داده شده است.

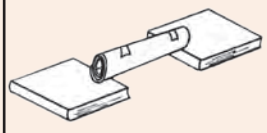
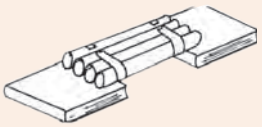
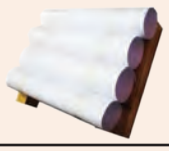
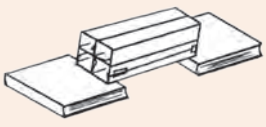
شکل ۲۱ـ۵ـ انواع بارگذاری برای خمش یک تیر یا قطعه

فعالیت

با استفاده از روش‌های نشان داده شده در شکل ۲۱ـ۵ بر روی خط‌کش فلزی بارگذاری خمشی انجام دهید؟

فعالیت

دو کاغذ A۴ را نصف کنید و با استفاده از آنها آزمایش‌های زیر را انجام دهید:

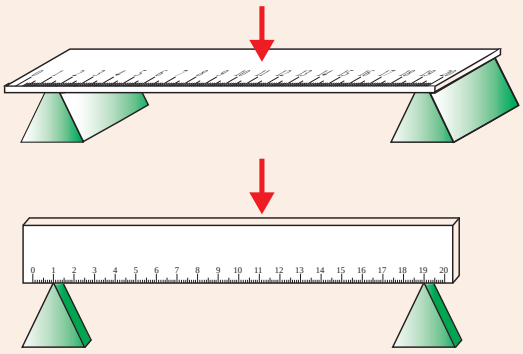
کاغذها را تا کرده روی هم قرار دهید، سپس لبه‌های آن را چسب زده و آنها را روی دو تکیه‌گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خمش شدن را حس نمایید.		
کاغذها را روی هم قرار دهید، سپس آن را لوله کرده و با چسب لبه‌های آن را بچسبانید. سپس آن را روی دو تکیه‌گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خمش شدن را حس نمایید.		
کاغذها را تک تک لوله کرده و سپس با چسب آنها را به هم وصل کنید. سپس آن را روی دو تکیه گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خمش شدن را حس نمایید.		
کاغذها را تک تک به شکل قوطی در آورده و سپس با چسب آنها را به هم وصل کنید. سپس آن را روی دو تکیه گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خمش شدن را حس نمایید.		

فعالیت

پس از انجام آزمایش‌ها به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:
وزن کاغذها در سه آزمایش با هم چه تفاوتی دارند؟
۱ـ استحکام کدام قطعه و سازه کاغذی که شما آزمایش کردید در مقابل نیروی خمشی بالاتر است؟
۲ـ اگر شما قرار بود یک پل طراحی می‌کردید، کدام یک از سازه‌ها را پیشنهاد می‌کردید؟

فعالیت

با استفاده از خط‌کش فلزی بارگذاری خمشی را در دو جهت انجام دهید؟ استحکام خمشی خط‌کش فلزی در کدام جهت بیشتر است؟ یعنی در کدام حالت خط‌کش به سختی خم می‌شود؟ (راهنمایی به سطح مقطع خط‌کش توجه کنید.(شکل ۲۲ـ۵)) .

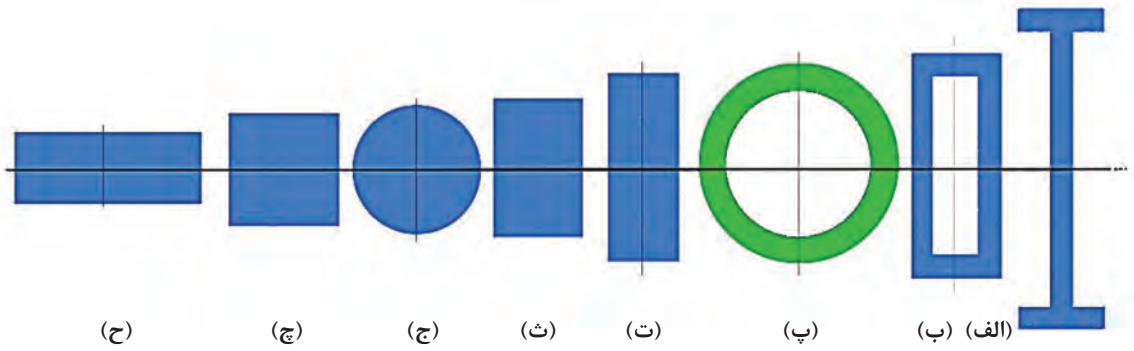


شکل ۲۲ـ ۵ـ بارگذاری خمشی بر روی خط‌کش در دو جهت

همان‌طور که در آزمایش مشاهده کردید با اینکه سطح مقطع خط‌کش در دو حالت یکسان است اما استحکام خمشی خط‌کش در حالت ب بیشتر از حالت الف است. دلیل آن این است که ممان اینرسی سطح مقطع خط‌کش، حول محور خمش در حالت ب بیشتر از حالت الف است.

ممان اینرسی چیست؟

ممان اینرسی عامل مقاوم در مقابل خمش می‌باشد و هر چه ذرات تشکیل دهنده جسم در سطح مقطع نسبت به محور خمش دورتر باشد، ممان اینرسی بیشتر است.



شکل ۲۳ـ۵ـ انواع سطح مقطع در خمش

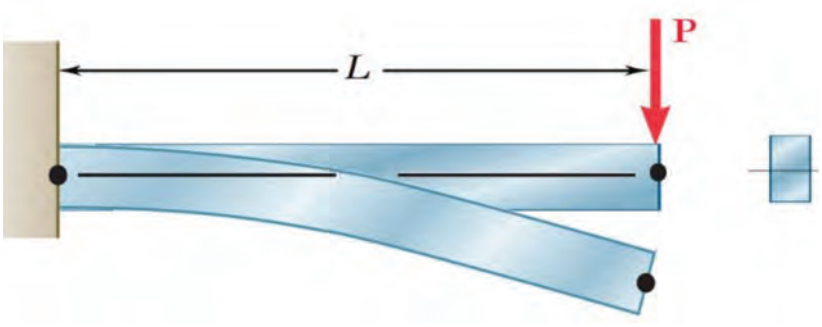
به شکل ۲۳ـ۵ توجه کنید، تمام سطح مقطع جسم در اشکال با هم برابر است. یعنی همه مساحت‌ها یکسان هستند ولی ممان اینرسی حول محور افقی در شکل الف که شبیه به I است از ممان اینرسی بقیه شکل‌ها بیشتر است. همچنین ممان اینرسی شکل ح از همه کوچک‌تر است.

فعالیت

کتاب خود را ۹۰ درجه موافق عقربه‌های ساعت بچرخانید. حال به سطح مقطع‌ها نگاه کنید، به نظر شما کدام سطح مقطع‌ها در حول محور افقی (محور جدید) ممان اینرسی بیشتری دارند؟ در گروه خود بحث کنید؟

سفتی قطعه در بارگذاری خمشی:

هنگام خمش یک قطعه یا یک تیر بالای جسم کشیده و پایین جسم فشرده می‌شود و بیشترین جابه‌جایی قطعه در انتهای آن خواهد بود.



شکل ۲۴ـ۵ـ خمش یک قطعه تحت بارگذاری خمشی

فعالیت

توسط یک تکه ابر بارگذاری خمشی را آزمایش کنید و کشیدگی و فشردگی ذرات را ترسیم نمایید.

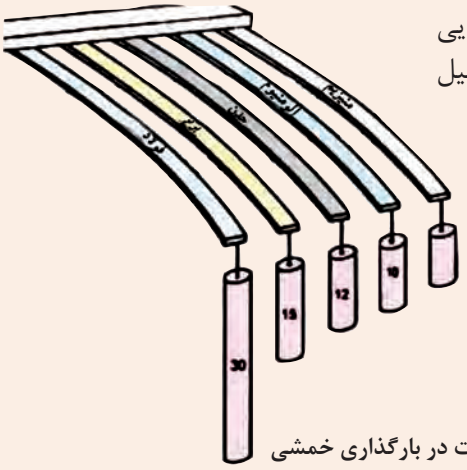
جابه‌جایی انتهای یک قطعه که تحت بارگذاری خمشی قرار دارد با نیرو و طول میله رابطه مستقیم دارد و با ممان اینرسی و سفتی جنس قطعه رابطه عکس دارد. یعنی هر چه ممان اینرسی سطح مقطع قطعه بزرگ‌تر باشد برای یک نیروی ثابت جابه‌جایی کمتر می‌شود و قطعه در مقابل خمش سفت‌تر است.

$$\text{جابه‌جایی در خمش} \propto \frac{\text{نیرو} \times \text{طول}^3}{\text{سفتی جنس} \times \text{ممان اینرسی}}$$

هر چه جنس ماده سفت‌تر باشد جابه‌جایی و تغییر شکل آنها در مقابل خمش کمتر و سفتی قطعه بیشتر خواهد بود و برای جابه‌جایی باید نیرو و گشتاور بیشتری وارد شود.

فعالیت

در گروه در مورد نیرو و گشتاور، سفتی جنس، جابه‌جایی و طول قطعات در شکل زیر، بحث و گفتگو نمایید و دلیل جابه‌جایی ثابت آنها را توضیح دهید؟



شکل ۲۵ ـ۵ـ جابه‌جایی قطعات در بارگذاری خمشی

استحکام قطعه در بارگذاری خمشی

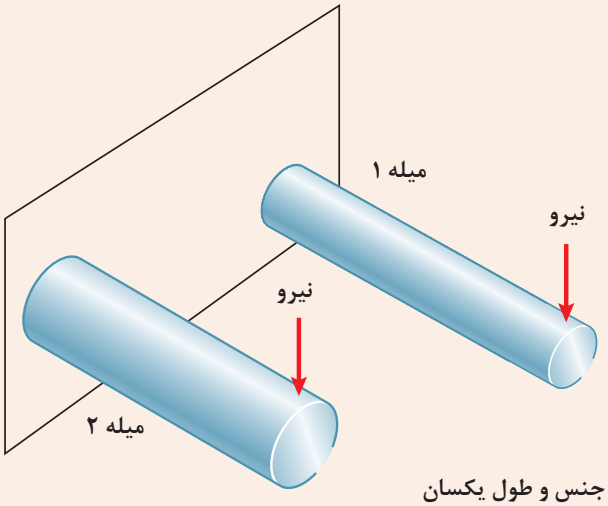
هنگام خمش در یک قطعه، بالای جسم کشیده و پایین جسم فشرده می‌شود. لذا به بالای جسم تنش کششی و به پایین جسم تنش فشاری اعمال می‌شود. اگر تنش کششی و فشاری در یک قطعه در هنگام خمش بیشتر از استحکام کششی یا فشاری شود، قطعه دچار خرابی و شکست می‌گردد. همان‌طور که قبلاً گفته شد استحکام کششی یا فشاری به جنس قطعه بستگی دارد. یکی دیگر از راه‌های افزایش استحکام یک قطعه بایستی در هنگام خمش، کاهش تنش است. برای این‌کار بایستی ممان اینرسی قطعه حول محور خمش را افزایش دهیم. یعنی هر چه ممان اینرسی بیشتر باشد، قطعه در مقابل خمش مستحکم‌تر است.

$$\text{تنش در قطعه هنگام خمش} \propto \frac{\text{گشتاور}}{\text{ممان اینرسی}}$$

اگر وزن و طول قطعه‌ای ثابت باشد، سطح مقطع به شکل I، در بارگذاری خمشی در یک جهت بیشترین استحکام را دارا است (به قطعات نشان داده شده در شکل اول فصل مراجعه کنید). اگر بارگذاری خمشی در چند جهت باشد دایره توخالی بهترین استحکام خمشی را دارد. این موضوع را در آزمایش با کاغذها تجربه کردید.

فعالیت

دو مفتول فلزی هم جنس را به طول ۲۰ سانتی‌متر که دارای قطرهای مختلف و توپر هستند به یک گیره ببندید، و آن را بارگذاری خمشی کنید، کدام‌یک دارای استحکام خمشی بالاتر هستند؟ همین کار را برای دو مفتول هم جنس، هم وزن، هم طول با ممان اینرسی متفاوت انجام دهید. استحکام کدام‌یک بیشتر است؟



شکل ۲۶ـ ۵ـ بارگذاری خمشی دو میله با جنس و طول یکسان

مقاومت قطعه در برابر بارگذاری پیچشی

یکی دیگر از انواع بارگذاری‌ها همان طور که در آزمایش با خط کش فلزی تجربه کردید بارگذاری پیچشی است. خط‌کش فلزی یا هر قطعه دیگر با چندین روش بارگذاری پیچشی می‌شوند. در شکل زیر دو روش برای پیچاندن قطعه خط‌کش نشان داده شده است .

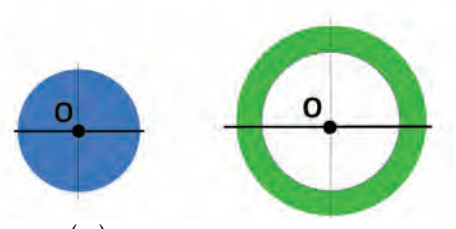
شکل ۲۷ـ۵ـ روش‌هایی برای پیچاندن قطعه

فعالیت

با چند روش بارگذاری متفاوت یک خط‌کش فلزی را دچار پیچش نمایید و سپس شکل‌های آنها را ترسیم نمایید؟

ممان اینرسی قطبی چیست؟

ممان اینرسی قطبی عامل مقاوم در مقابل پیچش است و هر چه ذرات تشکیل دهنده جسم در سطح مقطع نسبت به محور دوران دورتر باشد، ممان اینرسی قطبی بیشتر است. برای اینکه استحکام قطعه در مقابل پیچش بیشتر باشد بایستی ممان اینرسی قطبی جسم حول محور دوران بالاتر باشد. به شکل ۲۸ـ۵ نگاه کنید، مساحت سطح مقطع شکل الف با شکل ب برابر است اما ممان اینرسی قطبی سطح مقطع شکل الف از ممان اینرسی قطبی شکل ب بیشتر است.

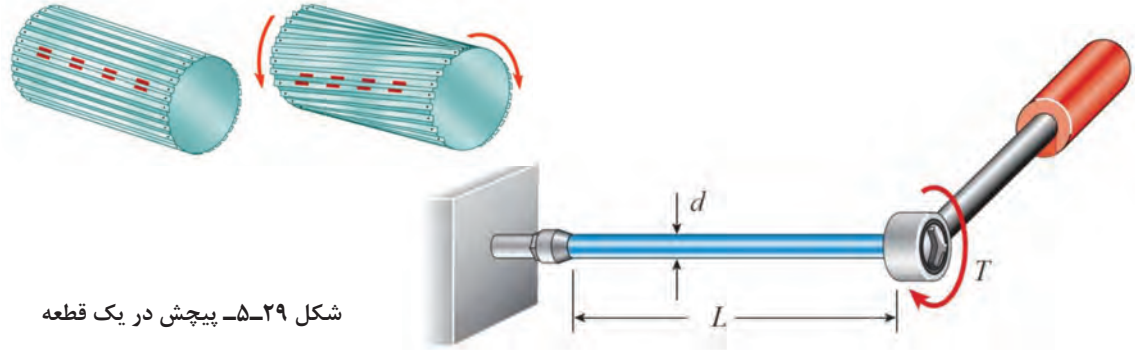


(ب) (الف)

شکل ۲۸ـ۵ ممان اینرسی قطبی برای دو سطح مقطع متفاوت

سفتی قطعه در بارگذاری پیچشی:

هنگامی‌که قطعه‌ای تحت بارگذاری پیچشی قرار می‌گیرد، ذرات جسم حول محور خود دوران می‌کند و جابه‌جا می‌شوند. انواع بارگذاری برای ایجاد پیچش در جسم وجود دارد.



شکل ۲۹ـ۵ـ پیچش در یک قطعه

به شکل بالا نگاه کنید. زاویه پیچشی یا جابه‌جایی انتهای یک قطعه که تحت بارگذاری پیچشی قرار دارد با نیرو و طول میله رابطه مستقیم دارد و با ممان اینرسی قطبی و سفتی برشی جنس قطعه (که به آن صلابت هم گفته می‌شود) رابطه عکس دارد. یعنی هر چه ممان اینرسی سطح مقطع قطعه بزرگ‌تر باشد برای یک نیروی ثابت جابه‌جایی کمتر می‌شود و قطعه در مقابل پیچش سفت‌تر است.

$$\text{زاویه در پیچش} \propto \frac{\text{طول} \times \text{گشتاور پیچشی}}{\text{سفتی برشی جنس} \times \text{ممان اینرسی قطبی}}$$

هر چه جنس ماده سفت‌تر باشد جابه‌جایی و تغییر شکل آنها در مقابل پیچش کمتر خواهد بود و برای جابه‌جایی باید نیرو و گشتاور بیشتری وارد شود.

سفتی برشی فولاد > سفتی برشی مس > سفتی برشی آلومینیوم

فعالیت

سه خط‌کش چوبی، فلزی و پلاستیکی به طول ۳۰ سانتی‌متر با سطح مقطع یکسان را تحت پیچش قرار دهید. برای جابه‌جایی ۴۵ درجه کدام‌یک نیروی بیشتری لازم است؟

استحکام قطعه در بارگذاری پیچشی

بارگذاری پیچشی سبب ایجاد تنش برشی در جسم می‌شود. اگر تنش برشی وارده به جسم از استحکام برشی قطعه عبور کند قطعه دچار خرابی می‌شود. فلزات و مواد مختلف دارای استحکام برشی جنس متفاوت هستند. هر چه استحکام برشی جنس بالاتر باشد استحکام پیچشی نیز بالاتر خواهد بود.

$$\text{تنش در قطعه هنگام پیچش} \propto \frac{\text{گشتاور پیچشی}}{\text{ممان اینرسی قطبی}}$$

هرچه ممان اینرسی قطبی بیشتر باشد استحکام پیچشی قطعه بالاتر خواهد بود. برای نمونه اگر دو لوله توپر و تو خالی با اندازه یکسانی اگر دارای وزن و جنس یکسان باشند، استحکام پیچشی لوله تو خالی بیشتر است.

فعالیت

یکی از مواردی که هنگام کار با آن مواجه می‌شویم بریدن پیچ در اتصالات است. به نظر شما کدام عامل سبب بریدن پیچ می‌شود (شکل ۳۰ـ۵)؟

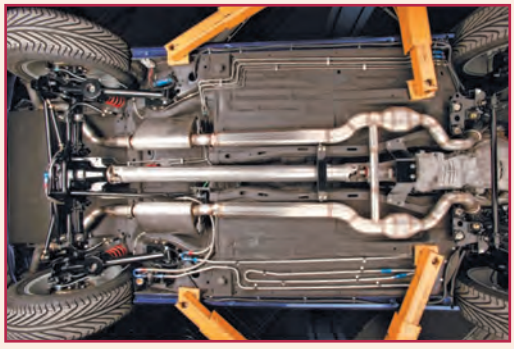
الف) وارد کردن گشتاور بیش از حد مجاز به پیچ

ب) پایین بودن ممان اینرسی قطبی

ج) پایین بودن تنش برشی مجاز به‌دلیل جنس قطعه

شکل ۳۰ـ۵ـ یک پیچ بریده شده بر اثر بارگذاری پیچشی

در سیستم انتقال قدرت در خودرو، جهت انتقال حرکت از موتور به چرخ‌های عقب از میل گاردان استفاده می‌شود. میل گاردان تحت بارگذاری پیچشی قرار دارد. تحقیق کنید که سطح مقطع میل گاردان دارای چه شکلی است و جنس آن از چیست (شکل۳۱ـ۵)؟



شکل ۳۱ـ۵ـ میل گاردان بارگذاری پیچشی را برای انتقال گشتاور تحمل می‌نماید.

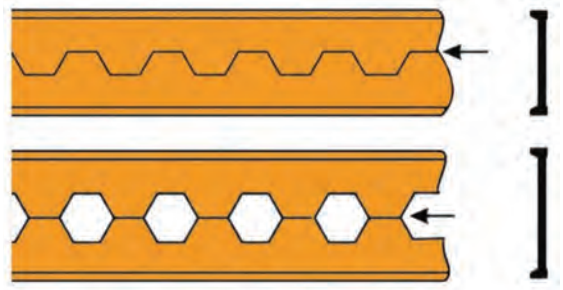
ارزشیابی

تمرین

اگر وزن و نیروی وارده به دو کفش نشان داده شده در شکل روبه‌رو یکسان باشد تنش فشاری بر روی پاشنه کدام کفش بیشتر است، احتمال خراب شدن کدام پاشنه بیشتر می‌باشد؟

تمرین

از روش‌های تولید تیرهای آهنی، برش و جوش‌کاری تیر آهن به شکل لانه زنبوری است، چرا این نوع از تیرآهن‌ها در مقابل خمش استحکام بیشتری دارند؟



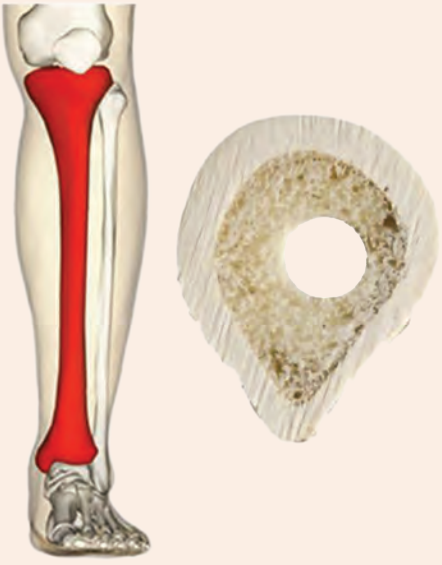
تمرین

در وزنه‌برداری گشتاور زیادی به میله وزنه برداری وارد می‌شود که آن را خم می‌کند. برای اینکه استحکام میله در بارگذاری خمشی بالا رود چه راه‌حلی پیشنهاد می‌نمایید؟

تحقیق کنید

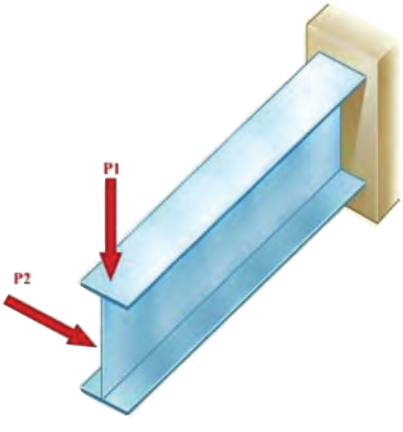
همان‌طور که می‌دانید در مدارهای برقی خودرو، ساختمان یا وسایل، فیوزها نقش حفاظتی از دیگر قطعات برقی را بر عهده دارند. یعنی اینکه اگر برق بخواهد به قطعه‌ای صدمه وارد کند، فیوز از این کار محافظت می‌کند و خود را قربانی می‌کند. به همین صورت در وسایل مکانیکی نیز فیوز مکانیکی وجود دارد. فیوز مکانیکی سبب می‌شود تا نیرو و گشتاور بیش از حدی به قطعات مکانیکی وارد نشود و آنها دچار خرابی و شکست نشوند. فیوزهای مکانیکی انواع مختلفی دارند که پین‌های برشی از این جمله هستند. شما همراه گروه خود در زمینه انواع فیوزهای مکانیکی که خود را قربانی دیگر قطعات می‌کنند تا به آنها صدمه نزند تحقیق کنید و چند نمونه از آن را در دستگاه‌ها و وسایل کاری موجود در کارگاه نام ببرید.

تحقیق کنید



همان‌طور که دیدید استخوان‌های بدن انسان هر کدام برای هدفی که دارند دارای شکل متفاوتی هستند. استخوان ساق پا (تیبیا) دومین استخوان بزرگ بدن بعد از استخوان ران پا است که انواع مختلف بارگذاری در جهت‌های مختلف به آن وارد می‌شود. به نظر شما سطح مقطع این استخوان چرا به‌صورت توپر یا به شکل مربع شکل نیست؟ فکر می‌کنید طراح آن چرا این شکل را که شبیه دایره تو خالی می‌باشد انتخاب کرده است؟ به‌صورت گروهی تحقیق کنید.

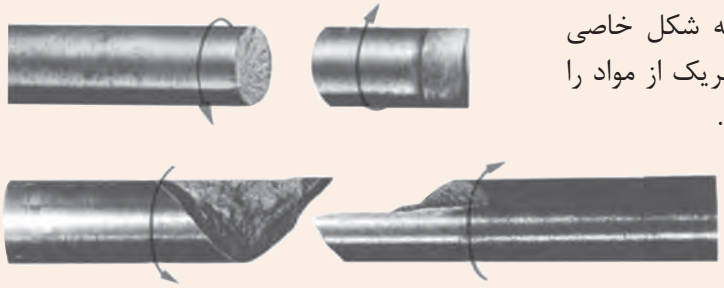
تمرین



در شکل روبه‌رو اگر نیروی P۱ و P۲ با هم برابر باشند، جابه‌جایی تیر در جهت افقی بیشتر است یا در جهت عمودی؟ علت را توضیح دهید؟

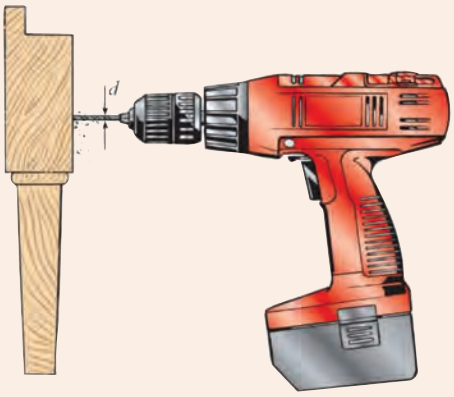
تحقیق کنید

مواد ترد و شکننده و مواد نرم و چکش پذیر هرکدام در هنگام پیچش به شکل خاصی می‌شکنند، شکل شکستن هریک از مواد را هنگام پیچش تحقیق کنید .

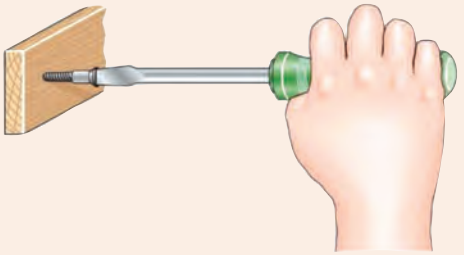


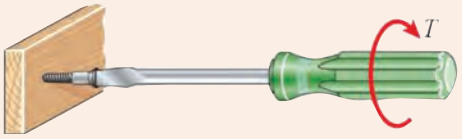
بررسی کنید

یکی از موارد رایج در هنگام کار شکست مته هنگام سوراخ‌کاری است. دلایل شکست مته هنگام کار را بررسی نمایید؟



هنگام پیچ کردن قطعات چوبی برای استحکام بالا بایستی چه موارد را در نظر گرفت؟





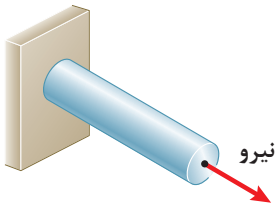
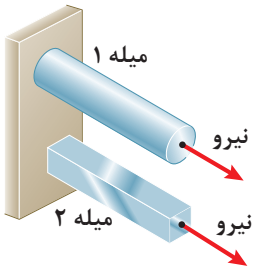
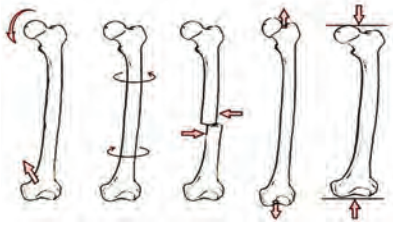
تحقیق کنید

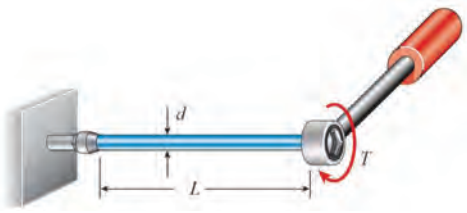
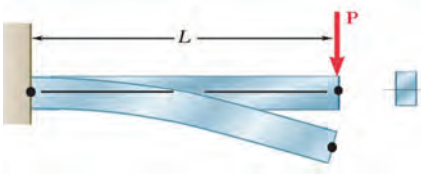
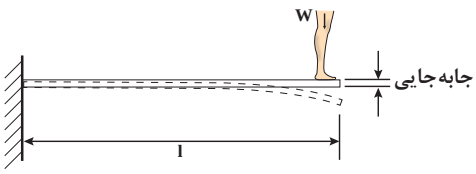
کمانش چیست و برای استحکام قطعه در کمانش بایستی چه کاری انجام داد؟ تصاویر مربوطه را رسم نمایید.

نمونه آزمون: ارزشیابی پایانی فصل مقاومت قطعات در برابر تغییر شکل

قابل توجه هنرجویان عزیز:

- نمره این آزمون به‌صورت ۱ یا ۲ یا ۳ خواهد بود که در عدد ۵ ضرب می‌شود و با نمره مستمر جمع می‌گردد و نمره فصل محاسبه و در کارنامه ثبت می‌گردد.
- **نمره ۱** را در صورتی می‌توانید کسب کنید که از ۵ سؤال بخش اول ۳ سؤال را کامل پاسخ دهید.
- **نمره ۲** را زمانی کسب می‌کنید که علاوه‌بر نمره ۱ از ۳ سؤال بخش دوم ۲ سؤال را کامل پاسخ دهید.
- **نمره ۳** را زمانی کسب می‌کنید که علاوه‌بر نمره ۲ از ۳ سؤال بخش سوم ۲ سؤال را کامل پاسخ دهید.مدت آزمون: ۹۰ دقیقه

بخش اول	سؤال ۱	اگر طول یک میله دو برابر شود و بقیه ابعاد و جنس ثابت بماند، سفتی کششی میله چند برابر می‌شود؟ محاسبه کنید.	
	سؤال ۲	دو میله هم‌وزن، هم‌طول و هم‌جنس که یکی از آنها توپر و دیگری توخالی (لوله) است در نظر بگیرید، محاسبه کنید سفتی کششی کدام کمتر است؟	
	سؤال ۳	یک میله و یک شمش فلزی دارای سطح مقطع و طول یکسان هستند، جنس میلگرد از مس و دیگری از فولاد است، محاسبه کنید جابه‌جایی انتهای کدام‌یک کمتر است؟	
	سؤال ۴	برای اینکه تحت بارگذاری برشی پیچ برش نخورد چه راه‌حل‌هایی پیشنهاد می‌کنید؟	
	سؤال ۵	نام انواع بارگذاری‌های انجام شده بر روی استخوان پا در شکل نشان داده شده را بنویسید؟	

بخش دوم	سؤال ۱	اگر گشتاور پیچشی و طول میله دو برابر شود، زاویه پیچش در انتهای میله به چه میزان تغییر می‌کند. محاسبه کنید.	
	سؤال ۲	دو میله هم‌وزن، هم‌طول و هم‌جنس که یکی از آنها توپر و دیگری توخالی (لوله) است را با یک گشتاور ثابت در نظر بگیرید، تنش در کدام‌یک بیشتر است؟ محاسبه کنید.	
	سؤال ۳	برای جلوگیری از برش پیچ در بارگذاری پیچشی چه راه‌حل‌هایی را پیشنهاد می‌کنید؟	
بخش سوم	سؤال ۱	در شکل روبه‌رو نیرو ۴ برابر و طول تیر ۲ برابر و سفتی جنس و ممان اینرسی سطح مقطع تیر ۲ برابر شود، محاسبه کنید جابه‌جایی تیر نسبت به حالت قبل چه تغییری می‌کند؟	
	سؤال ۲	در شکل روبه‌رو یک تخته شیرجه شنا را مشاهده می‌کنید. اگر طول تخته ۲ برابر و وزن شناگر نیز ۲ برابر شود مقدار جابه‌جایی انتهای تخته قبل از پرش نسبت به حالت قبل از آن چه تغییری می‌کند. محاسبه نمایید.	
	سؤال ۳	اگر طول یک تیر یک سر درگیر دو برابر شود و بقیه ابعاد و جنس ثابت بماند، محاسبه کنید سفتی خمشی تیر چند برابر می‌شود؟	

فهرست منابع

۱ـ برنامه درسی رشته صنایع فلزی ـ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۴

۲ـ امیر بهادر بهادران، محاسبات فنی عمومی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۴

۳- Askeland, Donald R., and Pradeep Prabhakar Phulé. "The science and engineering of materials." (2003):255.

۴- Callister, William D., and David G. Rethwisch. Materials science and engineering: an introduction. Vol. 7. New York: Wiley, 2007.

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب ازطریق نامه به‌نشانی 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