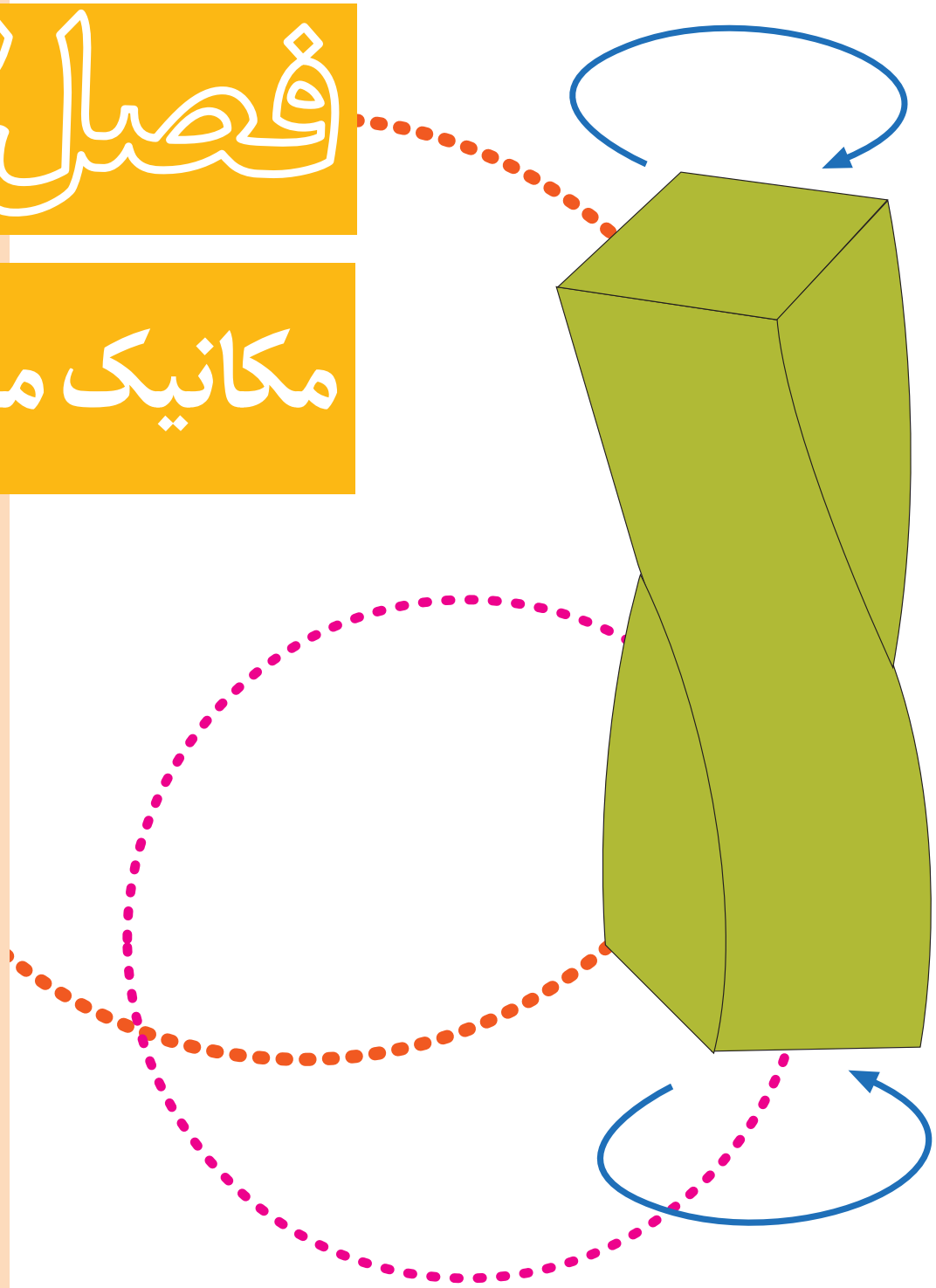
فصل ۲

مکانیک مواد



هدف‌های رفتاری فصل دوم :

به قطعه‌ای از یک سازه چقدر نیرو می‌توان وارد کرد؟
آیا می‌توانید ابعاد قطعه را به نحوی محاسبه کنید که بتواند در مقابل بارگذاری‌های کششی، فشاری و برشی مقاومت کند؟

پس از پایان این درس از هنرجو انتظار می‌رود که :

- تنش و تغییر شکل را توضیح دهد.
- انواع تنش را شرح دهد.
- تنش کششی، فشاری و برشی را محاسبه کند.
- استحکام نهایی و استحکام تسلیم در فلزات را با استفاده از نمودار شرح دهد.
- مفهوم کرنش و قانون هوک را توضیح دهد.
- تنش‌های مجاز را براساس روابط و جدول‌ها استخراج کند.
- مفهوم ضریب اطمینان را توضیح دهد و محاسبات آن را انجام دهد.
- خمش، کمانش و روش پیشگیری از آن‌ها را بیان کند.

مدت زمان آموزش :

- ۱۴ ساعت

مقدمه

در فصل اول کتاب، با محاسبه و تجزیه و تحلیل نیروهای وارد بر یک جسم و تکیه‌گاه‌های آن آشنا شدید.

در حل مسائل واقعی در صنعت، پس از آن‌که طراحی‌های اولیه انجام شده و تحلیل نیروهای وارد بر قطعات مختلف یک دستگاه یا سازه صورت گرفت، این سئوال مطرح می‌شود که آیا قطعات و اتصالات توانایی تحمل نیروهایی که به آن‌ها وارد می‌شود را دارند؟ پاسخ به این پرسش در علم «مکانیک مواد» نهفته است.

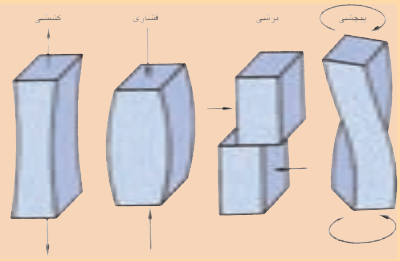
در این فصل با مفاهیم اصلی علم مکانیک مواد آشنا شده و محاسبات مقاومت مواد را خواهید آموخت. یادگیری این مطلب به انتخاب ماده مناسب و تعیین ابعاد مناسب قطعات کمک می‌کند. پس از آن و در فصل‌های سوّم و چهارم، محاسبه استحکام اتصالات را نیز مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲ــ تنش‌ها

وقتی نیروهای خارجی به یک جسم وارد می‌شوند، تمایل دارند تا شکل جسم را تغییر دهند. این در حالی است که مواد تشکیل دهنده جسم در مقابل تغییر شکل مقاومت می‌کنند.

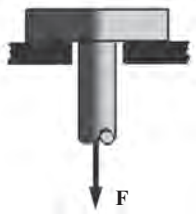
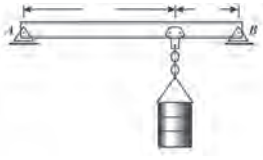
تنش نشان دهنده نیروی وارد شده بر واحد سطح است و آن را با واحدهایی مانند نیوتون بر میلی‌متر مربع (مگاپاسکال) یا کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع می‌سنجند.

بسته به نوع بارگذاری، تنش‌های مختلفی در جسم به وجود می‌آید. جدول ۱ــ۲ انواع تنش، در اجسام را نشان می‌دهد.



چند نوع بارگذاری یک قطعه در شکل بالا نشان داده شده است.

جدول ۱ــ۲ــ انواع تنش

تنش نرمال (قائم)σ		
بارگذاری	نوع تنش	شکل
نیروی کششی	در اثر نیروی کشش وارد شده (F) در میله، تنش کششی به وجود آمده است.	
نیروی فشاری	در اثر نیروی فشاری (F) در تیرآهن و صفحه زیر آن تنش فشاری به وجود آمده است.	
گشتاور خمشی	در اثر نیروی وزن بشکه تنش نرمال (کششی و فشاری) ناشی از گشتاور خمشی به‌وجود آمده است.	

تنش برشی T		
بارگذاری	نوع تنش	شکل
نیروی برشی	در اثر نیروی برشی (F) در ساق پیچ تنش برشی به وجود آمده است.	
گشتاور خمشی	در اثر گشتاور وارد شده توسط توربین به شفت ژنراتور، تنش برشی ناشی از پیچش به وجود آمده است.	

در این فصل انواع تنش معرفی شده و با محاسبه تنش‌های ساده آشنا خواهید شد.

بررسی کنید

در شکل نخست، شروع شکست و در دو شکل بعدی گسیختگی قطعه در یک ابزار ورزشی را مشاهده می‌کنید. در مورد علت به‌وجود آمدن ترک، رشد آن، نیروها و تنش به‌وجود آمده در قطعه، با اعضای گروه خود بحث کنید و جمع‌بندی گروه را به کلاس گزارش دهید.

۱ــ۲ــ تنش‌های ساده

در این فصل به بررسی تنش‌های ناشی از نیرو بر قطعات پرداخته شده است و تحلیل تنش‌های ناشی از گشتاورها مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. شکل‌های ۱ــ۲، ۳ــ۲ و ۵ــ۲ نمونه‌هایی از تنش‌های ساده می‌باشند.

زمانی که هر یک از تنش‌های ساده رخ می‌دهند مقدار آن‌ها به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود :

رابطه ۱ــ۲

$$\text{تنش} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح مقطع}}$$

یا

$$\text{تنش} = \frac{F}{A}$$

که در آن :

تنش : مقدار تنش ساده است که با یکاهای نیوتون بر میلی‌متر مربع(N/mm^2)، کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع(kgf/cm^2) یا ... سنجیده می‌شود.

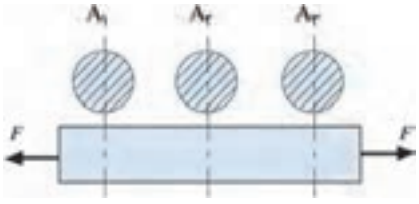
F : مقدار نیروی وارد شده به جسم که باعث به وجود آمدن تنش در قطعه شده است و با یکاهای نیوتون(N)، کیلوگرم نیرو(kgf) یا ... سنجیده می‌شود.

A : سطح مقطعی از جسم که تنش در آن به وجود آمده است و با یکاهای میلی‌مترمربع(mm^2)، سانتی‌متر مربع(cm^2) یا ... سنجیده می‌شود.

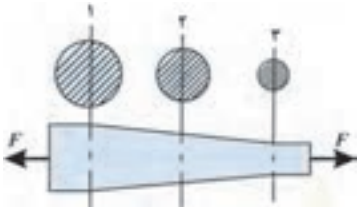
۱ــ۱ــ۲ــ تنش قائم : تنش‌های کششی و فشاری زمانی به‌وجود می‌آیند که جسم تحت تأثیر نیرو در راستای محور جسم قرار می‌گیرد (شکل‌های ۱ــ۲ و ۲ــ۲).

اگر مطابق شکل ۱ــ۲ جسمی تحت تأثیر نیروی کششی F قرار گیرد، تا زمانی که سطح مقاطع A۱ ، A۲ و A۳ برابرند تنش کششی به‌وجود آمده در همه جای جسم برابر است. اما در جسمی مانند شکل ۲ــ۲ که سطح مقاطع تغییر می‌کنند تنش‌ها نیز مساوی نیستند.

یکای N/mm^2 با مگاپاسکال (MPa) برابر است. مقدار تنش در فلزات بیشتر با این یکا بیان می‌شود.



شکل ۱ــ۲ــ جسم استوانه‌ای تحت نیروی کششی (سطح مقطع ثابت است).

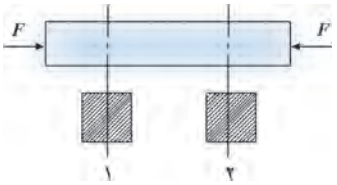


شکل ۲ــ۲ــ جسم مخروطی تحت نیروی کششی (سطح مقطع متغیر است).

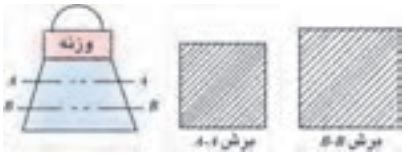
در شرایطی که نیروهای وارد بر سطوح برابر باشند آنگاه :
بزرگ‌ترین تنش در جایی رخ می‌دهد که کوچک‌ترین سطح مقطع وجود دارد. در شکل ۲ــ۲ بزرگ‌ترین تنش در سطح مقطع ۳ وجود دارد، زیرا :

$$(\text{تنش در مقطع ۳}) = \frac{F}{A_3} < (\text{تنش در مقطع ۲}) = \frac{F}{A_2} < (\text{تنش در مقطع ۱}) = \frac{F}{A_1}$$

کار گروهی : تحلیل مشابهی را می‌توان در مورد جسمی که تحت تأثیر نیروی فشاری قرار دارد ارائه داد. شکل‌های ۳ــ۲ و ۴ــ۲ را ببینید و اندازه تنش در مقاطع مختلف آن‌ها را مقایسه کنید.



شکل ۳ــ۲ــ جسم تحت نیروی فشاری با سطح مقطع ثابت



شکل ۴ــ۲ــ جسم تحت نیروی فشاری با سطح مقطع متغیر

باید در نظر داشت که در **تنش کششی** ساده و **تنش فشاری** ساده، سطحی که تحت تأثیر بار (نیرو) قرار می‌گیرد **عمود بر راستای** نیروی وارد شده است. برای تنش کششی و تنش فشاری رابطه (۱ــ۲) را به صورت زیر نمایش می‌دهند :

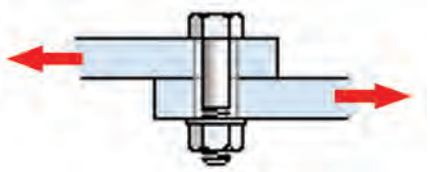
رابطه ۲ــ۲ $\qquad \sigma = \frac{F}{A}$

که در آن :
σ (زیگما) : مقدار تنش کششی یا فشاری است. (یکاهای MPa، kgf/cm^2، ...)
F : مقدار نیروی کششی یا فشاری وارد شده به جسم که باعث به‌وجود آمدن تنش در قطعه شده است. (یکاهای N، kgf، ...)
A : سطح مقطعی ازجسم که تنش در آن به‌وجود آمده است. (یکاهای mm^2، cm^2، ...)

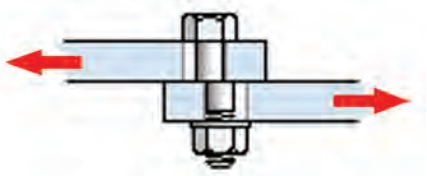
بیش‌ترین تنش کششی در کجای سپری ایجاد شده است؟

معمولاً علامت مثبت را برای نشان‌دادن تنش کششی (عضو در حالت کشش) و علامت منفی را برای نشان‌دادن تنش فشاری (عضو در حالت فشار) به کار می‌برند.

۲ــ۱ــ۲ــ تنش برشی : تنش برشی ساده زمانی در جسم به وجود می‌آید که سطحی که در مقابل بار مقاومت می‌کند **موازی راستای** نیروهای وارده باشد. چنین شرایطی در شکل ۵ــ۲نشان داده شده است.



الف) پیچ در مقابل نیروی برشی مقاومت می‌کند.



ب) پیچ در اثر نیروی برشی بریده شده است.

شکل ۵ــ۲

یک اتصال پیچی که دو ورق را به یکدیگر متصل کرده است تحت تأثیر نیروی برشی F قرار گرفته و در نتیجه در مقطع ساق پیچ، تنش برشی به‌وجود آمده است. اگر جنس پیچ به اندازه کافی استحکام نداشته باشد تا بتواند تنش برشی لازم را تحمل کند، اتصال مانند آنچه که در شکل ۵ــ۲ــب نشان داده شده است دچار شکست می‌شود. مشابه این اتفاق در اتصالات پرچی نیز ممکن است به وجود آید. در فصل چهارم با محاسبات اتصالات پیچی و پرچی آشنا خواهید شد.

برای تنش برشی رابطه ۱ــ۲ را به صورت زیر نمایش می‌دهند :

رابطه ۳ــ۲ $$\tau = \frac{F}{A}$$

که در آن :

τ(تاو) : مقدار تنش برشی است. (یکاهای MPa ، kgf/cm^2 و ...)

F : مقدار نیروی برشی وارد شده به جسم که باعث به وجود آمدن تنش برشی در قطعه شده است. (یکاهای N، kgf و ...)

A : سطح مقطعی از جسم که تنش برشی در آن به وجود آمده است. (یکاهای mm^2، cm^2 و ...)

تیغه‌های قیچی با وارد کردن نیروهای مساوی و موازی در دو جهت مختلف و تقریباً در یک راستا، باعث ایجاد تنش برشی و نهایتاً برش در ورق می‌شوند.

مسأله نمونه ۱ــ۲ : یک میله فولادی به قطر ۱۰ میلی‌متر، تحت تأثیر نیروی کششی ۲۰۰۰۰ نیوتون قرار گرفته است، تنش به وجود آمده در آن از چه نوعی است و مقدار آن چقدر است؟

راه حل :

$$F= ۲۰۰۰۰N$$

$$A=\frac{\pi d^{۲}}{۴}=\frac{۳/۱۴\times(۱۰mm)^{۲}}{۴}=۷۸/۵\ mm^{۲}$$

$$\sigma=\frac{F}{A}=\frac{۲۰۰۰۰N}{۷۸/۵mm^{۲}}=۲۵۵\ N/mm^{۲}$$

تنش ایجاد شده در قطعه از نوع کششی است.

مسأله نمونه ۲ــ۲ : یک قطعه فلزی به ابعاد ۱۰۰ میلی‌متر در ۱۰۰ میلی‌متر به ارتفاع ۵۰ میلی‌متر تحت تأثیر نیروی فشاری ۴۵ کیلونیوتون قرار دارد، مقدار تنش چند مگاپاسکال است؟

راه حل :

$$F= ۴۵\ kN = ۴۵\times۱۰^{۳}N$$

$$A= (۱۰۰mm)(۱۰۰mm) = ۱۰^{۴}mm^{۲}$$

$$\sigma=\frac{F}{A}=\frac{۴۵\times۱۰^{۳}N}{۱۰^{۴}mm^{۲}}=۴/۵\ N/mm^{۲}=۴/۵MPa$$

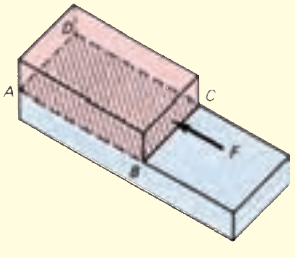
مسأله نمونه ۳ــ۲ : در شکل ۶ــ۲ مقدار تنش‌برشی در سطح ABCD چقدر است؟ با فرض این‌که F=۱۰kN، AB=۱۰cm، BC=۵cm می‌باشند.

راه حل : نیروی F به صورت برشی به سطح ABCD وارد می‌شود.

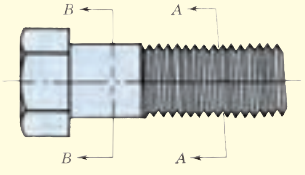
$$F= ۱۰\ kN = ۱۰^{۴}N$$

$$A= (۵۰mm)(۱۰۰mm) = ۵\times۱۰^{۳}mm^{۲}$$

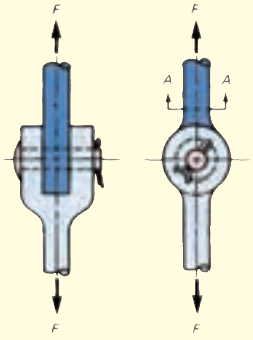
$$\tau=\frac{F}{A}=\frac{۱۰^{۴}N}{۵\times۱۰^{۳}mm^{۲}}=۲\ N/mm^{۲}$$



شکل ۶ــ۲



شکل ۷ــ۲



شکل ۸ــ۲

مسأله نمونه ۴ــ۲ : شکل ۷ــ۲ یک پیچ M10×1.5 را نشان می‌دهد. در اثر بستن و سفت کردن مهره، به پیچ نیروی کششی ۲۰ kN وارد می‌شود. اگر قطر در ساق پیچ (مقطع BB) ۱۰ میلی‌متر و در مقطع AA، ۸/۶ میلی‌متر باشد، تنش کششی به وجود آمده در ساق پیچ و در ناحیه دنده‌ها را محاسبه کنید.

راه حل :

$$F = ۲۰\ kN = ۲ \times ۱۰^{۴}\ N$$

در مقطع AA

$$A = \frac{۳/۱۴(۸/۶)^{۲}}{۴} = ۵۸\ mm^{۲}$$

◀

$$\sigma = \frac{۲\times۱۰^{۴}\ N}{۵۸} = ۳۴۵\ \frac{N}{mm^{۲}}$$

در مقطع BB

$$A = \frac{۳/۱۴(۱۰mm)^{۲}}{۴} = ۷۸/۵\ mm^{۲}$$

◀

$$\sigma = \frac{۲\times۱۰^{۴}\ N}{۷۸/۵\ mm^{۲}} = ۲۵۵\ \frac{N}{mm^{۲}}$$

ملاحظه می‌شود که بیش‌ترین مقدار تنش کششی در محل دنده‌ها (مقطع AA)، به وجود می‌آید زیرا مقطع پیچ در این ناحیه از ساق پیچ (مقطع BB) کوچک‌تر است.

مسأله نمونه ۵ــ۲ : اتصال نشان داده شده در شکل ۸ــ۲ تحت نیروی کششی ۲۹ kN قرار دارد. اگر قطر پین ۱۲mm و قطر میله در مقطع AA، ۲۲ mm باشد، مقدار تنش برشی در پین و تنش کششی در ساقه میله در مقطع AA را حساب کنید.

راه حل : برش در این پین دوگانه است. یعنی پین در دو مقطع در برابر نیروهای برشی مقاومت می‌کند. مساحت کل ناحیه‌ای که در معرض نیروهای برشی قرار دارد را محاسبه می‌کنیم :

$$A = ۲\times\frac{\pi d^{۲}}{۴} = ۲\times\frac{۳/۱۴(۱۲mm)^{۲}}{۴} = ۲۲۶mm^{۲}$$

◀ تنش برشی در پین

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{۲۹\times۱۰^{۳}\ N}{۲۲۶mm^{۲}} = ۱۲۸/۳\ MPa$$

در مقطع AA که برابر کشش مقاومت می‌کند، داریم :

$$A = \frac{۳/۱۴\times(۲۲mm)^{۲}}{۴} = ۳۸۰mm^{۲}$$

◀ تنش کششی در ساق میله

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{۲۹\times۱۰^{۳}\ N}{۳۸۰} = ۷۶/۳\ MPa$$

مسأله نمونه ۶ــ۲ : یک میله آلومینیومی نیروی کششی ۴۵kN را تحمل می‌کند. قطر میله را به نحوی تعیین کنید که تنش وارد شده به میله از ۵۶/۶ MPa بزرگ‌تر نشود.

راه حل :

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\sigma}$$

سطح مقطع موردنیاز برای تحمل نیرو

$$A = \frac{۴۵ \times ۱۰^{۳} N}{۵۲/۵ MPa} = ۷۹۵ mm^{۲}$$

$$A = \frac{\pi d^{۲}}{۴} \rightarrow d = \sqrt{\frac{۴A}{\pi}}$$

◀ حداقل قطر میله برای تحمل نیروی ۴۵kN

$$d = \sqrt{\frac{۴ \times ۷۹۵}{۳/۱۴}} = ۳۱/۸۲ mm$$

با درنظر گرفتن عدم تولید میله به قطر ۳۱/۸۲ mm، میله‌ای به قطر ۳۲ mm انتخاب می‌کنیم.

مسأله نمونه ۷ــ۲ : اگر قطر میله‌ای را که در مسأله قبل محاسبه کردیم ۲ برابر شود، مقدار نیروی قابل اعمال به میله چقدر افزایش پیدا می‌کند؟

راه حل :

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = A \times \sigma$$

$$A = \frac{\pi d^{۲}}{۴} = \frac{۳/۱۴(۶۴ mm)^{۲}}{۴} = ۳۲۱۵/۳۶ mm^{۲}$$

$$F = ۳۲۱۵/۳۶ mm^{۲} \times ۵۶/۶ MPa = ۱۸۱۹۸۹ \simeq ۱۸۲ kN$$

ملاحظه می‌شود که با دو برابر شدن قطر میله، نیروی قابل اعمال به میله چهار برابر افزایش پیدا می‌کند.

آیا می‌توانید دلیلی برای ۲ kN نیروی اضافی پیدا کنید؟

حالا می‌توانید تمرین‌های آخر فصل را شروع کنید، پیش از آن مطلبِ «**چگونه مسأله حل کنیم؟**» را بخوانید.

۲ــ۲ــ استفاده از خواص مواد در طراحی

طراحان ماشین‌آلات و سازه‌ها باید علاوه‌بر شناسایی و بررسی نیروهای وارد شده به هر قطعه، میزان مقاومت و استحکام اعضای مختلف را نیز بشناسند. اعضای سازه‌ها باید از استحکام کافی برخوردار باشند، اما استحکام بیش از اندازهٔ موردنیاز نیز به معنی اتلاف مواد، انرژی و افزایش هزینه است.

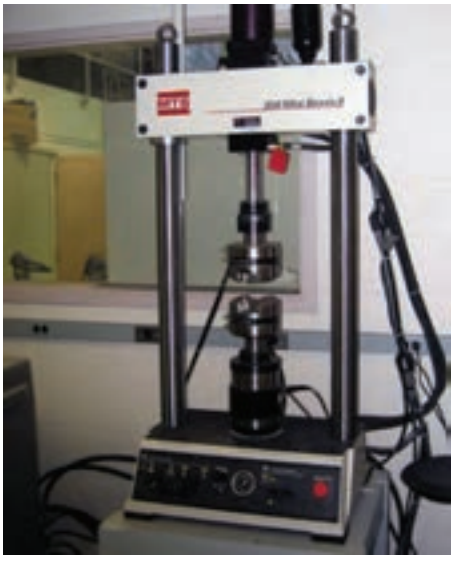
بنابراین مطلع بودن طراحان از خواص مکانیکی و فیزیکی مواد تشکیل دهنده سازه‌ها و ماشین‌آلات مانند انواع فلزات آهنی (فولاد، چدن)، فلزات غیرآهنی (آلومینیوم)، مواد طبیعی (چوب)، مواد مصنوعی (پلاستیک‌ها) و... از اهمیت بسیاری برخوردار است.

در این کتاب نیز برای حل مسائل و تحلیل کاربردهای صنعتی محاسبات فنی، دانستن قوانین ایستایی و محاسبات تنش کافی نیست و اطلاع از خواص مختلف مواد لازم است.

تحقیقات آزمایشگاهی زیادی برای شناسایی خواص مختلف مواد انجام می‌شود. یکی از مهم‌ترین این آزمایش‌ها که خواص مکانیکی مواد را برای طراحان تعیین می‌کند، آزمایش کشش است.

۱ــ۲ــ۲ــ آزمایش کشش : آزمایش کشش برای محاسبه خواص کششی فلزات طراحی شده است. روش انجام این آزمایش در استانداردهای مختلفی تعیین شده است. در این‌جا یکی از این آزمایش‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این آزمایش رفتار یک قطعه نمونه از فلز مورد آزمایش، در مقابل اعمال نیروی کششی بررسی می‌شود. شکل **۹ــ۲** قطعه نمونه آزمایشی‌ای از فلز را نشان می‌دهد.

شکل ۹ــ۲ــ قطعه نمونه برای آزمایش کشش



شکل ۱۰ــ۲ــ دستگاه آزمایش کشش

بیش‌تر بدانید

واژه‌های زیر در مورد خواص مکانیکی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این‌جا با تعاریفی از آن‌ها آشنا می‌شویم :

سختی :
توانایی مواد برای مقاومت در مقابل سایش یا نفوذ سایر مواد است. استحکام فلزات با سختی آن‌ها متناسب است.

کشسانی یا الاستیسیته :
ویژگی‌ای از مواد است که باعث می‌شود قطعه پس از حذف بار، به اندازه اولیه خود بازگردد. مقدارِ بزرگ‌تر از حد الاستیک یک ماده نشان دهنده الاستیسیتهٔ خوب است.

پلاستیسیته :
ویژگی‌ای از مواد است که نشان دهنده تغییر شکل بی‌بازگشت قطعه است بدون آن‌که شکست رخ دهد.

نمونه آزمایشی از دو انتها در دستگاه آزمایش (شکل ۱۰ــ۲) قرار گرفته و نیروی کششی محوری به آن وارد می‌شود. با افزایش مقدار نیرو، طول نمونه آزمایشی نیز افزایش می‌یابد. مقدار نیروی وارد شده و افزایش طول قطعه توسط دستگاه، اندازه‌گیری و نمایش داده می‌شود. نتایج به دست آمده از آزمایش در جدولی ثبت می‌شود. اعمال نیروی کششی و ثبت نتایج آزمایش تا شکستن قطعه ادامه پیدا می‌کند. برای درک بهتر آزمایش لازم است تا مفهوم کرنش معرفی شود.

۲ــ۲ــ۲ــ تنش و کرنش : برای بررسی نتایج آزمایش، تنش و نسبت تغییر طول نمونه آزمایشی به طول اولیه آن را محاسبه می‌کنند. میزان تغییرات طول بر طول اولیه **کرنش** نامیده می‌شود. رابطه کرنش به صورت زیر بیان می‌شود :

رابطه ۴ــ۲

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

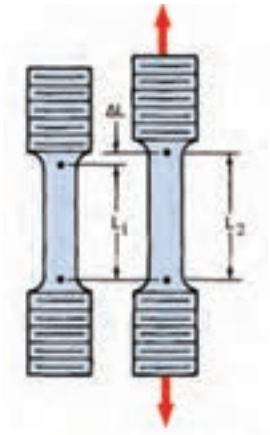
که در آن :

ε (اپسیلون) : مقدار کرنش به وجود آمده در قطعه است. (بدون یکا)

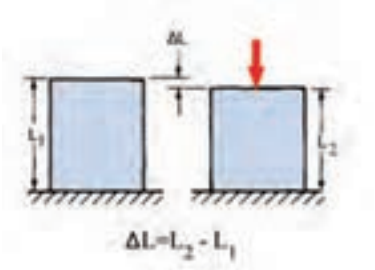
ΔL : تغییرات اندازه‌ای که در اثر اعمال نیرو در قطعه به وجود آمده است. (یکاهای mm ,....)

L : طول اولیه قطعه پیش از اعمال نیرو است. (یکاهای mm ,...)

در شکل ۱۱ــ۲ــ الف تغییر طول قطعه نمونه آزمایش، بعد از اعمال نیروی کششی نشان داده شده است. شکل ۱۱ــ۲ــ ب نیز تغییر طول در برابر نیروی فشاری را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که در هر دو مورد ΔL در راستای نیروی اعمال شده اندازه‌گیری می‌شود.



الف) نمونه آزمایش کشش قبل و بعد از اعمال نیروی کششی F



ب) قطعه تحت فشار قبل و بعد از اعمال نیروی فشاری F (L_1 طول اولیه و L_2 طول ثانویه)

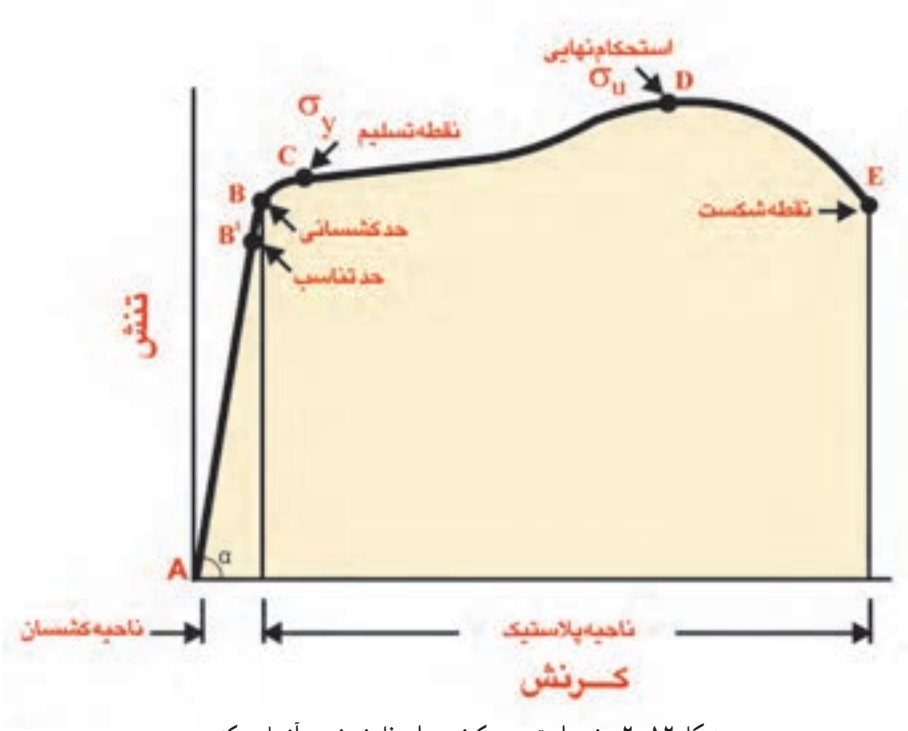
شکل ۱۱ــ۲

درختان نمادی از استقامت در شرایط سخت محیطی مانند باد و طوفان و زلزله هستند. مواردی که نام برده شد، انواع نیروها را به درختان وارد می‌کنند که باعث ایجاد تنش‌های مختلفی در آن می‌شود، اما چگونه درختان مقاومت می‌کنند؟

راز این مقاومت علاوه بر سلول‌های بلند تشکیل دهنده تنه درختان و انعطاف‌پذیری چوب، در مقطع درخت نهفته است. مقطع دایره‌ای برای تحمل انواع بارها مقطع مناسبی است.

با استفاده از روابط (۲ــ۲) و (۴ــ۲)، مقدار تنش و کرنش را برای نتایج به دست آمده از آزمایش کشش محاسبه نموده و سپس مقدار تنش را بر حسب کرنش در نموداری ترسیم می‌نمایند، نمودار شکل ۱۲ــ۲ از نتایج یک آزمایش کشش ترسیم شده است.

بخشی از منحنی که به صورت خط راست و بین دو نقطه A، 'B است، تناسب خطی بین تنش و کرنش را نشان می‌دهد. در نقطه 'B خط راست تمام می‌شود، به همین دلیل نقطه 'B را **حد تناسب** می‌نامند. در هر تنشی تا قبل از نقطه B هرگاه بار از روی نمونه آزمایشی برداشته شود نمونه آزمایشی به طول اولیه خود باز می‌گردد. در تنش‌های بعد از نقطه B در صورت حذف بار، نمونه آزمایشی به طول اولیه خود باز نمی‌گردد و قدری افزایش طول به صورت دائمی در آن باقی می‌ماند. نقطه B مرز بین ناحیه کشسانی و تغییر شکل دائمی در قطعه است. از این رو نقطه B را **حد کشسانی** می‌نامند. در مواد چکش خوار حد کشسانی (نقطه B) و حد تناسب (نقطه 'B) بسیار به هم نزدیک‌اند.



شکل ۱۲ــ۲ــ نمودار تنش ــ کرنش برای فلز نمونه در آزمایش کشش

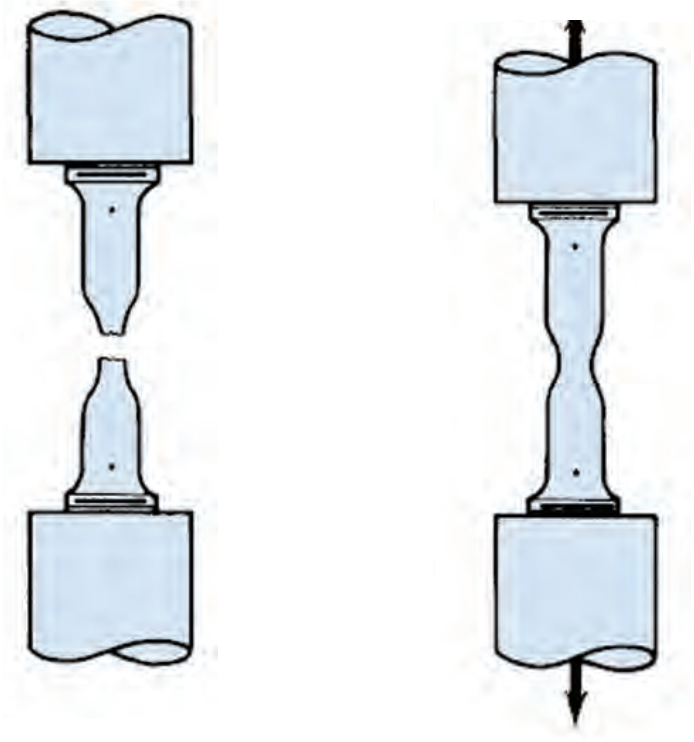
رابطه میان تنش و کرنش چیست؟

وقتی ماده‌ای در محدوده کشسان خود تحت تأثیر نیرو قرار می‌گیرد، تنش و کرنش متناسب هستند. آن‌ها به طور مستقیم با یک عدد که ضریب کشسانی نامیده می‌شود با یکدیگر رابطه دارند.

کرنش × ضریب کشسانی = تنش

در ادامه آزمایش کشش به نقطه‌ای می‌رسیم که در آن بدون افزایش قابل توجهی در نیرو، شاهد افزایش طول در نمونه آزمایش هستیم. این نقطه که بر روی نمودار تنش ــ کرنش با حرف C نشان داده شده است نقطه تسلیم نامیده می‌شود. مقدار تنش در این نقطه را «**استحکام در نقطه تسلیم**» یا به اختصار «**تنش تسلیم**» می‌نامند و با σ_y یا $\sigma_{تسلیم}$ نمایش داده می‌شود.

تنش در نقطه D، **حد نهایی استحکام** نامیده می‌شود. این بیش‌ترین مقدار تنشی است که نمونه آزمایشی می‌تواند تحمل نماید. استحکام نهایی را با σ_u یا $\sigma_{نهایی}$ نمایش می‌دهیم. پس از این نقطه، در قطعه گلویی بوجود آمده و پس از کاهش سطح مقطع قطعه در نقطه E دچار شکست می‌شود.



الف) نمونه آزمایشی در زمان ایجاد شدن گلویی ب) نمونه آزمایشی پس از شکست

شکل ۱۳ــ۲

فکر کنید

چون ساختمان‌ها و بناهای تاریخی ایران براساس محاسبات دقیق بنا شده است، درگذر زمان همچنان ثابت و استوار باقی مانده‌اند. اما برای حفظ این آثار ارزشمند نیاز به مراقبت و نگهداری می‌باشد. در شکل‌های فوق محراب مسجد جامع یزد از آثار قرن ۶ نشان داده شده است.

مرمت‌گران، با یک ابزار اندازه‌گیری بسیار ساده که از گچ و شیشه ساخته شده است، کرنش‌ها و رشد ترک‌ها را در ساختمان محراب نظارت و اندازه‌گیری می‌کنند. می‌توانید روش کار این ابزار را توضیح دهید؟

۳ــ۲ــ ضریب کشسانی و قانون هوک

ناحیه بین A و B در نمودار تنش ــ کرنش ناحیه کشسان نامیده می‌شود. شیب خط AB بیان کننده میزان کشسان بودن ماده است.

مقدار شیب این خط که نسبت بین تنش و کرنش در ماده است مقدار ثابتی است، که ضریب کشسانی (مدول الاستیسیته) نامیده شده و با حرف E نمایش داده می‌شود.

رابطه ۲ــ۵

$$\tan\alpha = E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

یا

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

این رابطه به **قانون هوک** معروف است.

با جایگزین کردن روابط تنش و کرنش در رابطهٔ فوق می‌توان رابطه ۲ــ۶ را برای محاسبه تغییر طول به‌دست آورد.

پس داریم :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

رابطه ۲ــ۶

$$\Delta L = \frac{F \times L}{A \times E}$$

که در روابط فوق :

E : ضریب کشسانی ماده (یکای MPa و ...)

ε : مقدار کرنش به وجود آمده در قطعه (بدون یکا)

ΔL : تغییرات اندازه‌ای است که در اثر اعمال نیرو در قطعه به وجود آمده است. (یکای mm، ...)

F : مقدار نیروی وارد شده به جسم که باعث به وجود آمدن تنش در قطعه شده است. (یکای N، ...)

A : سطح مقطعی از جسم که تنش در آن به وجود آمده است. (یکای mm^2، ...)

L : طول اولیه قطعه پیش از بارگذاری است. (یکای mm، ...)

ضریب کشسانی در هر ماده مقدار ثابتی است و جزء ویژگی‌های مکانیکی ماده محسوب می‌شود. این ضریب برای فلزات در کشش و فشار یکسان است. در جدول ویژگی‌های مواد (پیوست ۲ ــ ب) ضریب کشسانی مواد مختلف نمایش داده شده است.

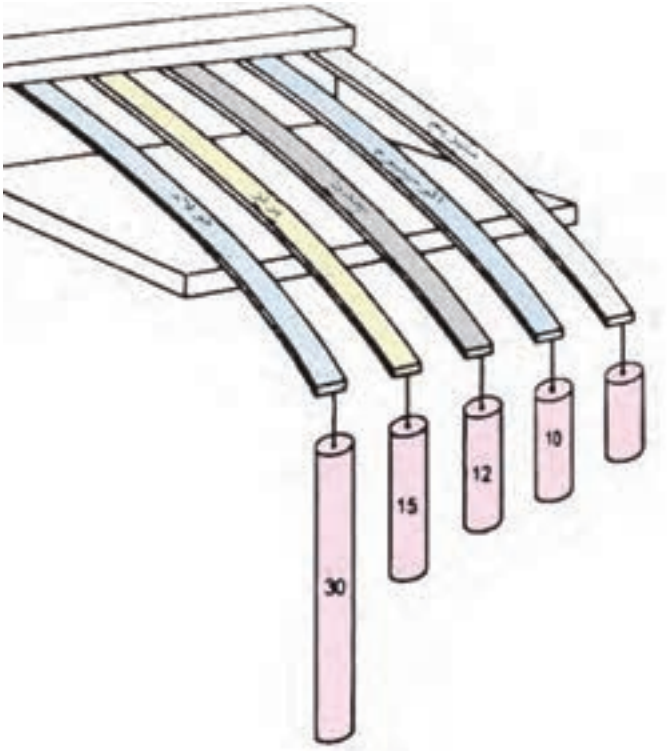
رابرت هوک

(قرن ۱۷ میلادی ــ ۱۱و۱۲ هجری)

هوک فیزیکدانی بود که گرچه در سراسر عمر از بیماری رنج می‌برد، لیکن یک لحظه از کار و کوشش باز نه ایستاد. هوک در تلسکوپ‌ها و دیگر ابزارهای نجومی و ساعت‌های آن عصر، اصلاحات بسیاری به عمل آورد. او می‌دانست که حرکت سیارات به دور خورشید را باید یک مسأله مکانیکی در نظر گرفت و برای نیروی گرانشی قانون عکس مجذور فاصله را پیشنهاد کرد.

آنچه بیش‌تر دلیل معروف شدن هوک است استخراج رابطه تجربی F=KX است. وی نخستین فردی بود که درباره کشسانی مطالعه کرد. او به رفتار کشسان یا الاستیک فنرها علاقه داشت و همین علاقه، وی را به کشف قانون هوک هدایت کرد. این قانون بیان می‌دارد که مقدار کشیده شدن یک جسم کشسان، با نیروی وارد شده بر آن، نسبت مستقیم دارد.

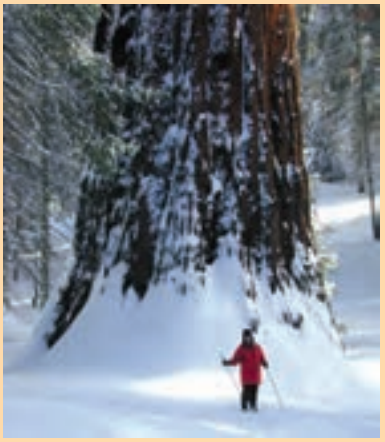
فکر کنید : شکل ۱۴ــ۲ تسمه‌هایی از جنس‌های مختلف را نشان می‌دهد، که دارای ابعاد یکسانی هستند. همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید، نیروی وزن مورد نیاز برای خمش یکسان تسمه‌ها متفاوت است. چرا؟

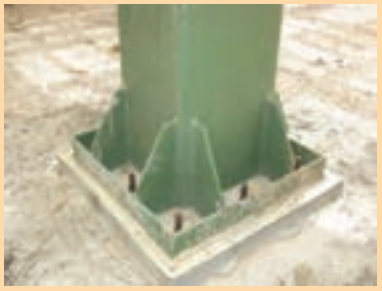


شکل ۱۴ــ۲

فلزات شکننده : اجزائی که با فلزات شکننده مانند چدن ساخته می‌شوند، پیش از شکستن دچار تغییر شکل قابل توجهی نمی‌شوند. بنابراین نقطه تسلیم مانند آنچه که پیش از این در مورد فلزات چکش‌خوار مشاهده شد در نمودار تنش ــ کرنش این مواد وجود ندارد. شکل ۱۵ــ۲ نموداری از نتایج آزمایش کشش برای فلزات شکننده را نمایش می‌دهد.

مقایسه کنید

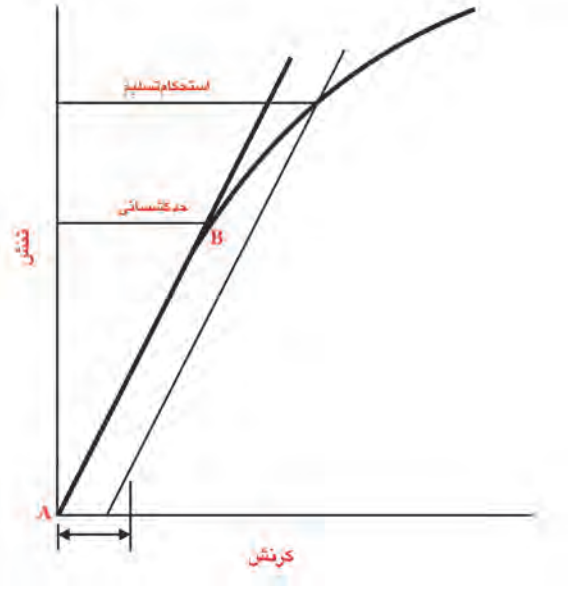




پیش از این مطالبی در مورد مقاومت درختان در مقابل نیروهای مختلف بیان شد. تصویر نخست تنه یکی از کهن‌سال‌ترین درختان جهان را در بخش نزدیک زمین نشان می‌دهد. چه شباهتی بین این تصویر و تصویر دوم که طرح اتصال ستون به کف ستون را نشان می‌دهد، می‌بینید؟

(الف) (ب)

نمونهٔ آزمایشگاهی الف) برای ماده نرم و ب) برای شکننده می‌باشد.



الف) شکست در قطعه نمونه از فلزات شکننده ب) نمودار تنش ـ کرنش در آزمایش کشش برای مواد شکننده

شکل ۱۵ــ۲

۴ــ۲ــ تنش‌های مجاز

استحکام که از ویژگی‌های مواد است با آزمایش‌های مکانیکی مانند آزمایش کشش، اندازه‌گیری می‌شود. در عمل نمی‌توان قطعات را به گونه‌ای طراحی کرد که تا «**استحکام نهایی**» ماده بارگذاری شوند. در بسیاری از مسائل محاسباتی، به‌هنگام طراحی و یا تحلیل قطعات صنعتی و اتصالات، هدف نه تنها پیش‌گیری از شکست قطعات، بلکه جلوگیری از تغییر شکل دائمی در آن‌هاست، بنابراین بیش‌ترین مقدار تنش قابل قبول ایجاد شده در قطعه باید در ناحیه کشسان باشد.

با توجه به این‌که بارگذاری واقعی برروی قطعات ممکن است با آنچه که در هنگام طراحی پیش‌بینی شده متفاوت باشد و یا اینکه کیفیت و روش تولید مواد اولیه بسیار گوناگون است و همواره مواد دقیقاً مطابق طراحی تولید نمی‌شوند. لذا برای اطمینان از یک طراحی قابل اعتماد، مقدار تنش قابل قبول باید به اندازه کافی کوچک شود، تا تمام عدم قطعیت‌های فوق را پوشش دهد. در روش طراحی بر اساس تنش مجاز قطعه را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که تنش محاسبه شده در آن در بعدی (مثلاً ۶۰٪) از استحکام در نقطه تسلیم بالاتر نرود. مقدار این تنش که «**تنش مجاز**» نامیده می‌شود بسته به کاربردهای مختلف توسط نهادهای تخصصی تعیین و پیشنهاد می‌شود.

فلزات هم خسته می‌شوند!

هنگامی که سازه‌ای تحت بارگذاری متناوب قرار می‌گیرد، حتی اگر بارگذاری باعث بوجود آمدن تنشی کمتر از تنش تسلیم شود، جسم دچار شکست می‌شود که این پدیده به نام «خستگی» شناخته شده و **بارگذاری متناوب** تولید کننده آن «بارگذاری خستگی» نامیده می‌شود.

به‌عنوان نمونه محورهای دورانی توربین‌ها، برخی از مخازن تحت فشار، پل‌های فلزیِ عبور و مرور خودرو و قطار تحت بارگذاری خستگی قرار دارند.

در این کتاب از پیشنهاد AISC[1] برای مقادیر تنش مجاز در فولادها استفاده خواهیم کرد.

رابطه ۲ــ۷ $\sigma_{مجاز} \leq ۰/۶ \times \sigma_{تسلیم}$

رابطه ۲ــ۸ $\tau_{مجاز} = ۰/۴ \times \sigma_{تسلیم}$

که در روابط فوق :

$\sigma_{مجاز}$: تنش کششی مجاز

$\tau_{مجاز}$: تنش برشی مجاز

$\sigma_{تسلیم}$: استحکام در نقطه تسلیم

مقدار **استحکام** در نقطه تسلیم برای مواد صنعتی پرکاربرد در پیوست ۲ ــ ب آمده است. از آنجا که فولاد ساختمانی در صنعت بسیار پرکاربرد است در این‌جا مقدار تنش‌های مجاز برای فولاد St37 را محاسبه می‌کنیم.

با مراجعه به جدول (پیوست ۲ ــ ب) برای فولاد ساختمانی St37 داریم :

$$\sigma_{تسلیم} = ۲۳۴ \frac{N}{mm^۲}$$

$$\sigma_{مجاز} \leq ۰/۶ \times ۲۳۴$$

◀ تنش کششی مجاز

$$\sigma_{مجاز} \leq ۱۴۰ \frac{N}{mm^۲}$$

◀ تنش برشی مجاز

$$\tau_{مجاز} = ۰/۴ \times ۲۳۴$$

$$\tau_{مجاز} = ۹۴ \frac{N}{mm^۲}$$

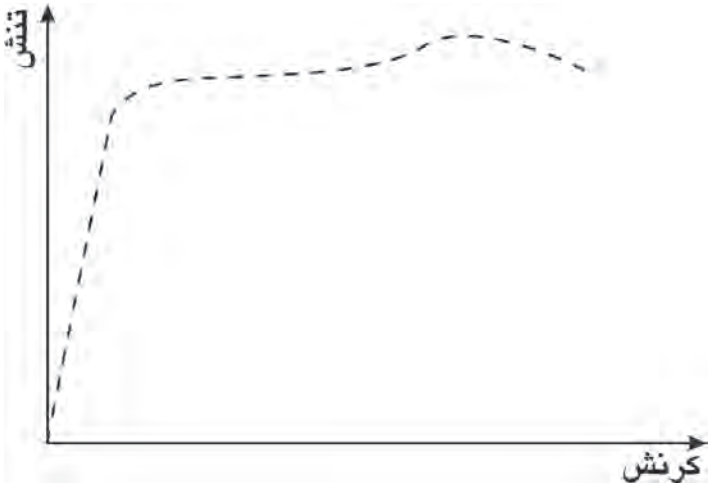
امروزه با کمک نرم‌افزارهای مهندسی، طراحی قطعات و اجزاء ماشین‌ها آسان‌تر شده است. با ترسیم مدل سه‌بعدی قطعه، اعمال نیروها در محیط مجازی و معرفی جنس قطعه، نرم‌افزار با روش‌های محاسباتی تنش‌های مختلف را محاسبه کرده و نقاطی را که تنش در آن‌ها بیش از حد مجاز است مشخص می‌کند.

تصویر بالا نتایج یکی از این تحلیل‌های کامپیوتری را برای شاتون در موتور خودرو نشان می‌دهد. در بارگذاری انجام شده تنش در ناحیه‌هایی که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، بیش‌تر است و در نواحی آبی تنش کمتر است.

مقدار تنش کششی مجاز و تنش برشی مجاز فولاد ساختمانی St37 را به خاطر بسپارید. علاوه بر اینکه از مقادیر به‌دست‌آمده، در حل مسائل فصل‌های آینده استفاده خواهیم کرد، این اعداد در صنعت نیز بسیار پرکاربرد هستند.

۱ــ American Instituate of Steel Construction

تمرین در کلاس : در شکل زیر نمودار تنش ـ کرنش برای یک نوع فولاد با خط چین نمایش داده شده است. با توجه به مطالب گفته شده حد استحکام نهایی (σ_u) و حد تسلیم (σ_y) را بر روی نمودار مشخص کنید و ناحیه تنش مجاز براساس توصیه AISC را پر رنگ نمائید.



شکل ۱۶ــ۲

۵ــ۲ــ ضریب اطمینان

روشی که برای تعیین تنش مجاز در بخش پیش نشان دادیم، در برخی از زمینه‌های تخصصی دیگر طراحی نیز به‌کار می‌رود، با این وجود یک روش عمومی نیست. زیرا برای مواد و بارگذاری‌های معینی مناسب است.

روش عمومی ارتباط بین تنش و استحکام، روش «ضریب اطمینان» است. ضریب اطمینان که آن را با F.S. نشان می‌دهیم، طبق رابطه زیر تعریف می‌شود :

رابطه ۹ــ۲

$$\text{ضریب اطمینان (F.S.)} = \frac{\text{استحکام}}{\text{تنش}} > ۱$$

در این رابطه، به طور معمول استحکام در نقطه تسلیم یا استحکام نهایی را در صورت و تنش ایجاد شده در قطعه را در مخرج قرار می‌دهند. توجه داشته باشید که تنش و مقاومت به کار رفته باید از نظر نوع و یکا با یکدیگر هماهنگی داشته باشند. یعنی چنان‌چه استحکام برشی با یکای $\frac{N}{mm^2}$ در صورت قرار گیرد، تنش نیز باید تنش برشی و با یکای $\frac{N}{mm^2}$ باشد.

ضریب اطمینان را به صورت ساده می‌توان چنین تعریف کرد که برای اطمینان بیشتر در طراحی، قطعه را چند برابر قوی‌تر از آن‌چه که واقعاً لازم است، می‌سازند. البته باید توجه داشت

توماس یانگ

(قرن ۱۸ و ۱۹ میلادی ــ ۱۳ هجری)

یانگ اعجوبه‌ای بود. در دو سالگی خواندن می‌دانست و در هشت سالگی به‌تنهایی به آموختن ریاضی پرداخت و در نه سالگی شروع به یادگیری زبان‌های فرانسوی، ایتالیایی، عبری، عربی و فارسی کرد به طوری که در ۱۴ سالگی این زبان‌ها را می‌دانست.

یانگ تحصیلات دانشگاهی خود را در رشته پزشکی گذراند. مطالعات خود را بر روی ساختمان چشم و ماهیت نور متمرکز کرد.

از کارهای دیگر یانگ مطالعه بر نیروی کشش سطحی مایعات و نیز خاصیت کشسانی در جامدات است و به دلیل کارهای علمی او در این زمینه، ضریب کشسانی موسوم به "مدول یانگ" را به نام او انتخاب کرده‌اند.

ضریب اطمینان یا Factor of Safety را به صورت مخفف با F.S. نمایش می‌دهند.

که انتخاب بی‌دلیل ضرایب اطمینان بالا از یک سو طرح را از نظر اقتصادی غیرقابل دفاع می‌کنند و از سوی دیگر طراحی سایر قطعات سازه یا ماشین را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

جدول ۲ــ۲ نمونه‌ای از ضرایب اطمینان پیشنهادی برای قطعات فولادی را معرفی می‌کند.

جدول ۲ــ۲ــ ضریب اطمینان (F.S.) پیشنهادی

ردیف	شرایط بارگذاری	ضریب اطمینان
۱	ایستایی	۲
۲	بار متغیر	۳
۳	بار ضربه‌ای	۵

توجه داشته باشید که طراح بسته به کاربرد طرح، می‌تواند ضرایب اطمینان بزرگ‌تر یا کوچک‌تری را انتخاب کند.

در زمینه‌های تخصصی، تنش‌های مجاز و ضرایب اطمینان توسط نهادهای مرتبط تعیین و اعلام می‌شود، که از جمله می‌توان به توصیه‌ها و استانداردهای صنایع هوایی، صنعت ساختمان و یا صنعت نفت اشاره کرد.

ضریب اطمینان را به‌صورت ساده می‌توان به این صورت تعریف کرد که برای اطمینان بیش‌تر در طراحی، قطعه را چند برابر قوی‌تر از آن‌چه که ظاهراً لازم است می‌سازند.

بیش‌تر بدانیم

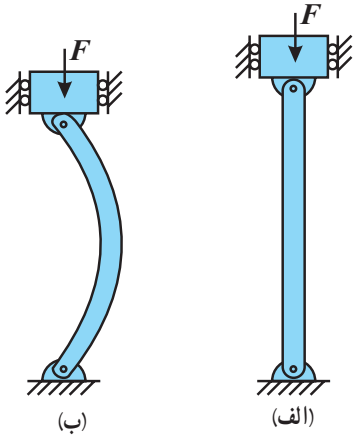
در طراحی، هنگام مشخص کردن اندازه قطعات، تقریباً در همه موارد مجبوریم از اندازهٔ مواد موجود در انبار یا بازار استفاده کنیم. به‌عنوان مثال، در صورتی‌که در پاسخ مسأله‌ای برای تعیین قطر یک میله عدد ۱۹/۴mm به‌دست آمده باشد، نزدیک‌ترین اندازه موجود را به‌عنوان پاسخ اعلام خواهیم کرد که در مورد این مثال، پاسخ میله به قطر ۲۰mm خواهد بود.

توجه داشته باشید که در انتخاب اندازه‌هایی که از نتیجه محاسبه کوچک‌تر هستند باید ضریب اطمینان موردنظر را دوباره کنترل کرد.

۶ــ۲ــ کمانش در ستون‌ها

فرض کنید می‌خواهیم ستونی به طول L را برای نگه‌داری بار مفروض F طراحی کنیم (شکل ۱۷ــ۲ــ الف). ستون در دو انتهایش اتصال پینی دارد. F باری محوری است و از مرکز ستون می‌گذرد. اگر A مساحت سطح مقطع ستون، طوری انتخاب شود که مقدار تنش ($\sigma = \frac{F}{A}$) روی مقطع عرضی کوچک‌تر از تنش مجاز (σ_{all}) ماده مورد استفاده باشد، ظاهراً می‌توان نتیجه گرفت که ستون به درستی طراحی شده است.

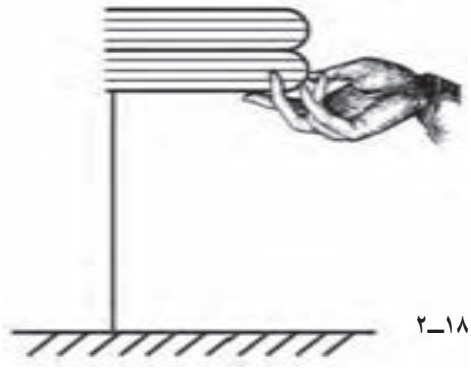
اما ممکن است وقتی که بار اعمال می‌شود، ستون به‌جای آن‌که مستقیم باقی بماند، دچار **کمانش** شود. یعنی به‌طور ناگهانی انحنای شدید پیدا کند (شکل ۱۷ــ۲ــ ب). روشن است ستونی که تحت بار مشخص شده، کمانش کند، به‌درستی طراحی نشده است. با یک آزمایش این موضوع را بررسی می‌کنیم.



شکل ۱۷ــ۲ــ کمانش در ستون‌ها

آزمایش کنید : مقوایی به ابعاد ۳۰۰mm×۲۰۰mm و به ضخامت تقریبی ۳mm تهیه کنید، (می‌توانید از مقوای جعبه شیرینی استفاده کنید). می‌خواهیم مطابق شکل از این مقوا برای تحمل بخشی از نیروی وزن کتاب استفاده کنیم. پیش از شروع آزمایش پیش‌بینی کنید که به این مقوا، بار چند کتاب را می‌توان اعمال کرد؟ پیش‌بینی خود را یادداشت کنید.

مطابق دستورالعمل جدول بعد، آزمایش را ادامه دهید و تعداد کتاب‌ها یا وزن آن‌ها را در جدول وارد کنید.



شکل ۱۸ــ۲

تقویت تیرها و ستون‌ها

تنش‌های ایجاد شده در اثر اعمال بار به تیرها و ستون‌ها، در تمام نقاط آنها یکسان نیست. در اجرای سازه‌های فولادی و اسکلت فلزی ساختمان‌ها نقاطی را که بیش‌ترین تنش در آن‌ها رخ می‌دهد، به‌وسیله اضافه کردن ورق و جوش‌کاری تقویت می‌کنند.

این ورق‌های تقویتی از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند و استحکام سازه فلزی را تضمین می‌کنند.

جدول ۳ــ۲ــ ثبت نتایج آزمایش

ردیف	شرح آزمایش	تعداد کتاب‌ها	وزن کتاب‌ها
۱	مقوا از طول بلند (۳۰۰mm) زیر کتاب‌ها قرار گرفته است.		
۲	مقوا از طول کوتاه (۲۰۰mm) زیر بار قرار گرفته است.		
۳	مقوا را به دو نیمه ۱۵۰mm×۲۰۰mm تقسیم کرده و یکی از آن‌ها از طول ۱۵۰mm زیر بار قرار گرفته است.		
۴	نیمه دیگر به یک استوانه به ارتفاع ۱۵۰mm تبدیل شده و پس از چسباندن درز آن زیر بار قرار گرفته است.		

با بررسی نتایج آزمایش در گروه خود به این سئوال پاسخ دهید که :

- مقدار بار قابل اعمال به ورق مقوایی به **چه عواملی** بستگی دارد؟
- با هم فکری در گروه، روشی بیابید که بیش‌ترین تعداد کتاب را بتوان به این مقوا اعمال کرد.

با توجه به مثال فوق و آزمایش انجام شده، ملاحظه می‌شود که برای عضوهایی که تحت فشار قرار دارند باید به پایداری آن‌ها نیز توجه شود. روش‌های مختلفی برای پیش‌گیری از کمانش در ستون‌ها وجود دارد که اصلاح شکل سطح مقطع ستون، تغییر نوع تکیه‌گاه در دو سر ستون و کاهش اندازه طول آزاد ستون از آن جمله است.

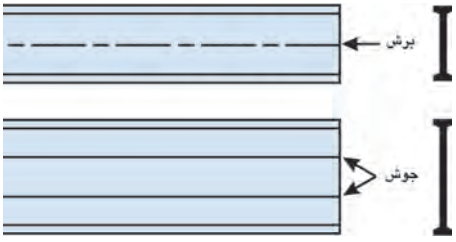
پرسش : با توجه به مطالب گفته شده، در صورتی‌که سطح مقطع‌های یک نیم‌رخ ناودانی، یک تیرآهن I شکل و یک لوله، همه از جنس فولاد ساختمانی، یکسان باشند، کدام‌یک را برای ساخت ستون انتخاب خواهید کرد؟ چرا؟

یکی از متداول‌ترین روش‌های ساخت ستون در صنعت، اتصال دو تیرآهن I شکل به یکدیگر است. تیرها را به‌وسیله ورق‌های واسطه به هم متصل نموده و جوش‌کاری می‌کنند.

شکل فوق ساخت اشتباه این نوع ستون و تخریب آن را در زلزله نشان می‌دهد. کدام پدیده باعث خم شدن ستون شده است؟

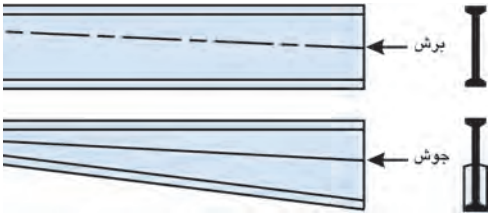
۷ــ۲ــ خمش در تیرها

با اعمال بار، بر روی تیرهای افقی ساده در سازه‌های فلزی، خمش در تیرها رخ می‌دهد. برای پیش‌گیری از این پدیده، تیرها را تقویت می‌کنند. این نوع تیرها به تیرهای بارگسترده معروفند. تیرهایی که برای تحمل بارگسترده هستند از طریق برش تیغه (جان) یک تیرآهن از وسط و اضافه نمودن یک ورق دیگر به جان و جوش‌کاری همه آن‌ها به یکدیگر ساخته می‌شوند. شکل ۱۹ــ۲ روش ساختن این نوع تیر را نشان می‌دهد. این عمل باعث افزایش ارتفاع تیر و افزایش توانایی تحمل بار آن می‌شود.



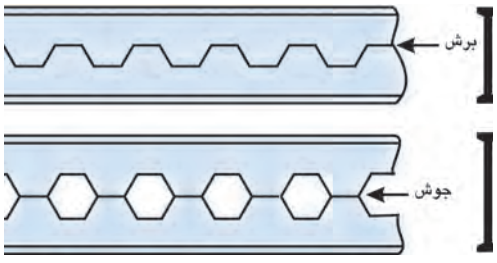
شکل ۱۹ــ۲

اگر تیر، از طریق برش زاویه‌دار تیغه یک تیرآهن، گسترده شود، نتیجه کار تیری مخروطی می‌باشد. این تیر دارای بیش‌ترین استحکام خمشی در مرکز گستردگی است. چنین طرحی باعث کمتر شدن وزن فولاد موردنیاز برای سازه فلزی نیز می‌شود.



شکل ۲۰ــ۲

از دیگر روش‌های متداول ساخت تیرهای گسترده، می‌توان به روش لانه زنبوری اشاره کرد. روش تولید این تیرها نیز در شکل ۲۱ــ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۱ــ۲

تحقیق کنید

تفاوت بین خمش در تیرها و کمانش در ستون‌ها را تحقیق کنید و نتایج را در کلاس بررسی نمایید.

برش تیرآهن برای تولید تیر لانه زنبوری

چگونه مسأله حل کنیم؟

یکی از کلیدی‌ترین بخش‌های حل مسائل تنش، شناخت درست سطحی است که در مقابل نیروهای وارد شده به جسم، مقاومت می‌کند. بنابراین ابتدا با تحلیل درستی از بارگذاری انجام شده بر روی قطعه، انواع تنش بوجود آمده را شناسایی نموده و سپس سطوحی را که در اثر اعمال نیرو در آن‌ها تنش بوجود آمده است، محاسبه نمایید.

بی‌توجهی به یکای کمیت‌ها از جمله اشتباه‌های رایج در حل مسائل است. همان‌گونه که گفتیم تنش در فلزات معمولاً با یکای MPa بیان می‌شود که مقدار آن معادل $1N/mm^2$ است. بنابراین در مسائل تنش ابتدا یکای طول‌ها را به mm و یکای نیروها را به N تبدیل نمایید. در این صورت پس از محاسبه تنش یکای آن MPa خواهد بود.

در صورتی که در حل مسائل واقعی در صنعت، با یکاهایی غیر از آنچه که در این فصل مطرح شد روبه‌رو شدید، می‌توانید از جدول تبدیل یکاها در پیوست ت ــ ۱ استفاده نمایید.

«تیرــورق» از برش‌کاری و جوش‌کاری ورق‌های فولادی تولید می‌شود. نمونه رایجی از کاربرد آن‌ها، در ساخت سوله‌های صنعتی است.

تمرین‌های فصل دوم

۱ــ۲ــ یک قطعه فولادی با سطح مقطع مستطیلی به ابعاد ۲۰mm×۳۰mm و طول 400mm با نیروی 90kN کشیده می‌شود. تنش کششی در این قطعه چند $\frac{N}{mm^2}$ است؟

۲ــ۲ــ میله فولادی به قطر ۵۰mm نیروی فشاری ۹kN را تحمل می‌کند. تنش فشاری در میله چند MPa است؟

۳ــ۲ــ نیروی کششی که بر پیچ M20×2.5 وارد شده است، تنش کششی ۶۰MPa را در ساق پیچ به وجود آورده است. مقدار نیروی F چند کیلو نیوتن است؟

۴ــ۲ــ یک سازه فلزی به جرم ۱۸۰ تن بر روی ۲۴ پایه استوانه‌ای کوتاه که قطر هر یک ۱۵۰mm است قرار دارد. میانگین تنش فشاری به وجود آمده در پایه‌ها چقدر است؟

۵ــ۲ــ اگر در مسأله قبل، مقدار تنش مجاز قابل اعمال به ستون‌ها ۷/۵MPa باشد، لازم است ستون‌ها چه قطری داشته باشند؟

۶ــ۲ــ یک پیچ استاندارد M16×2 مطابق شکل **۲ــ۲۲** تحت تأثیر نیروی کششی ۴۵kN قرار دارد. ارتفاع سر پیچ (گل پیچ) ۱۰mm است، مقدار تنش کششی در ساق پیچ و تنش برشی در گل پیچ را محاسبه کنید.

شکل ۲ــ۲۲

۷ــ۲ــ در مسأله قبل، ارتفاع لازم برای سر پیچ را محاسبه کنید، به طوری که تنش کششی به وجود آمده در ساق پیچ دو برابر تنش برشی ایجاد شده در سر پیچ باشد.

۸ــ۲ــ در مسأله **۱ــ۲** میزان افزایش طول قطعه فولادی و کرنش آن را محاسبه کنید (مقدار مدول الاستیسیته را از جدول استخراج کنید).

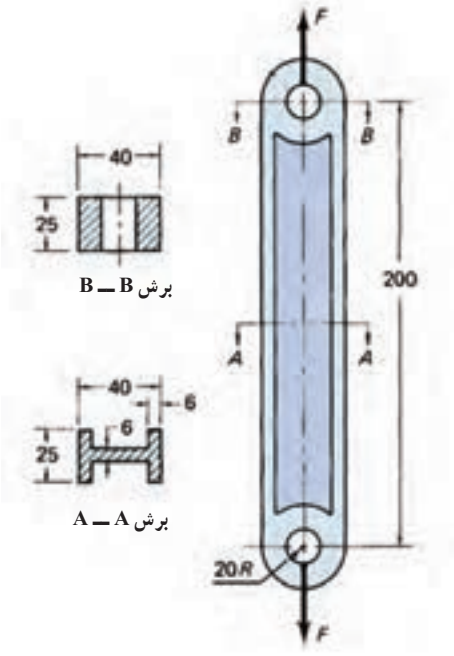
۹ــ۲ــ برای پانچ کردن سوراخی به قطر ۵۰mm بر روی یک ورق از جنس آلومینیومِ آلیاژی به ضخامت ۱۶mm چه نیرویی لازم است؟ تنش برشی ۲۶۵MPa می‌تواند باعث بریده شدن این ماده شود.

۱۰ــ۲ــ یک میله استوانه‌ای فولادی به قطر ۳۰mm و ارتفاع ۱۸m به صورت عمودی از سقف آویزان است. با توجه به این‌که میله، باید بتواند وزن خودش را تحمل کند، تنش کششی در فاصله ۹ متری از نقطه آویز را حساب کنید. بیشترین تنشی که در این میله ایجاد می‌شود در کجاست و مقدار آن چقدر است؟ چگالی فولاد را از جداول راهنما استخراج کنید.

۱۱ــ۲ــ در یک آزمایش کشش بر روی نمونه‌ی مس سخت‌کشیده به طول ۱۰۰mm و قطر ۸mm دستگاه در یک لحظه خاص تغییر طولی معادل ۰/۲ را نشان داده است. میزان تنش و نیروی اعمالی بر نمونه را محاسبه کنید (مدول یانگ را از جدول استخراج کنید).

۱۲ــ۲ــ مقادیر تنش مجاز با دستورالعمل AISC برای فولادهای St44ــ2 و St52ــ3 را محاسبه کنید.

۱۳ــ۲ــ در شکل ۲۳ــ۲ بازوی یک ماشین نشان داده شده که نیروهای کششی را تحمل می‌کند. اگر ماده تشکیل دهنده آن حداکثر ۷۵MPa تنش کششی را تحمل کند و ضریب اطمینان را ۲ درنظر بگیریم. بیش‌ترین نیرویی که می‌توان به این عضو اعمال کرد، چقدر است؟



شکل ۲۳ــ۲

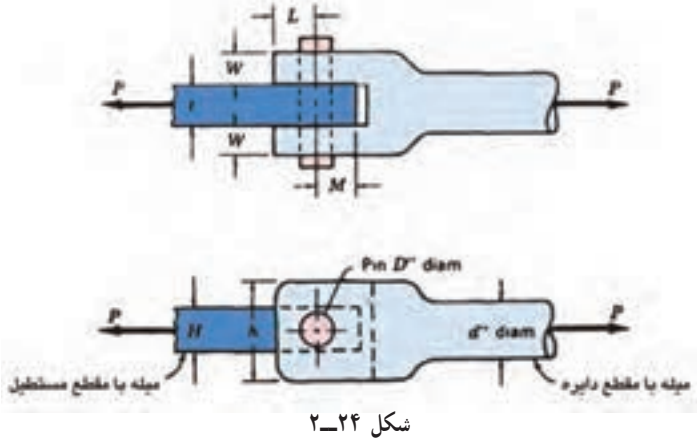
مسأله برای تمرین بیشتر

۱۴ــ۲ــ یک استوانه توخالی کوتاه فلزی، تکیه‌گاهی است که نیروی فشاری ۱۸۰kN را در راستای طولی خود تحمل می‌کند. شرایط به‌گونه‌ای است که تنش فشاری بیش‌تر از ۹۵MPa قابل تحمل نیست.

الف) اگر قطر خارجی ۱/۵ برابر قطر داخلی باشد. اندازه قطر داخلی و خارجی را محاسبه کنید.

ب) اگر ضخامت جداره ۶ میلی‌متر باشد، قطر داخلی و خارجی را محاسبه کنید.

۱۵ــ۲ــ اجزای ماشین نشان داده شده در شکل زیر را بررسی کنید. روش‌های از بین رفتن هر یک از این اجزا را در اثر وارد شدن نیروی کششی P بیان کنید. در هر مورد نوع تنش‌هایی که منجر به خرابی اجزا می‌شود را مشخص کرده و سپس با استفاده از نمادهای حروفی که اندازه‌ها را مشخص می‌کنند (حل پارامتری) سطوحی را که در مقابل تنش‌ها مقاومت می‌کنند محاسبه کنید.



شکل ۲۴ــ۲

۱۶ــ۲ــ قلاب جرثقیلی که برای بلند کردن خودروها در گورستان خودروها استفاده می‌شود، به وسیله کابل فولادی به دکل جرثقیل متصل است.

در یک آزمایش فرضی می‌خواهیم جرثقیل را به‌وسیلهٔ یک میله از جنس‌های مختلف به کابل متصل کنیم. نیروی وزن خودروها، به این میله، نیروی کششی وارد می‌کند. قطر میله را برای جنس‌های مختلف (فولاد، مس، آلومینیوم، پلاستیک و...) حساب کنید و پاسخ‌ها را با هم مقایسه کنید. جرم هر خودرو در حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم است.

شکل ۲۵ــ۲