

فیزیک مکانیک

فصل دوازدهم: کشسانی و خواص مکانیکی مواد

حسین شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم



دانشگاه هرمزگان

- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:
h.shenavar@gmail.com
- از همکاران محترم در دانشگاه هرمزگان، برای همفکری ها و حمایت هایشان، سپاسگزارم.

۱ فصل دوازدهم: کشسانی و خواص مکانیکی مواد

- سازه های نامعین
- کشسانی و خواص مکانیکی مواد

آنچه گذشت...

- قوانین حرکت:
یکی از راه های نوشتن قوانین حرکت، استفاده از سه قانون حرکت نیوتن است. این شکل از علم مکانیک کلاسیک را مکانیک نیوتنی می نامند. نوشتن قوانین مکانیک به شکل های دیگر، مانند مکانیک لاگرانژی، هامیلتونی و ... هم ممکن است.
ما در این کتاب مکانیک نیوتنی را بررسی خواهیم کرد.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

قانون کولن برای دو بار نقطه ای:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

قانون هوک برای جرم متصل به فنر

$$F = -kx$$

نیروی عمودی سطح، کشش نخ، نیروی ارشمیدس و ...

این دو دسته قانون، طیف بسیار گسترده ای از پدیده های فیزیکی را به درستی توضیح می دهند.

قانون اول: وقتی برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، جسم حالت حرکت خود را حفظ خواهد کرد. یعنی اگر ساکن باشد، ساکن خواهد ماند و اگر با سرعت در حال حرکت باشد، با همان سرعت به حرکت خود ادامه خواهد داد.

قانون دوم: رابطه شتاب و نیرو

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

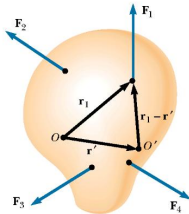
قانون سوم نیوتن: هر عملی را عکس العملی است، با مقدار مساوی و در جهت خلاف آن

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

قوانین نیوتن فقط در دستگاه های لخت برقرار هستند.

پرسش: حرکت یک جسم صلب (یک نوع خاص از سیستم ذره که در آن فاصله ذرات تغییر نمی کند) چگونه است؟

شرط تعادل استاتیک



- یک جسم در تعادل ایستایی (استاتیک) است اگر دو شرط زیر به صورت همزمان برای آن صادق باشند:

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

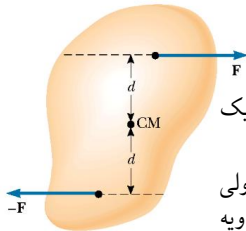
مجموع نیروهای وارد بر جسم صفر باشد:

یعنی شتاب جسم در همه جهات باید صفر باشد.

مجموع گشتاورهای وارد بر جسم " حول همه محورها " صفر باشد:

$$\sum \vec{\tau}_i = 0$$

یعنی شتاب زاویه ای جسم در همه جهات باید صفر باشد.



دقت کنید که هر دو شرط باید برقرار باشند تا جسم در حالت تعادل استاتیک قرار گیرد.

مثلا در شکل پایین، مجموع نیروهای وارد شده به جسم صفر است ولی مجموع گشتاورها صفر نیست، بنابراین جسم دوران می کند و شتاب زاویه ای دارد. چنین جسمی در تعادل استاتیک نیست.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

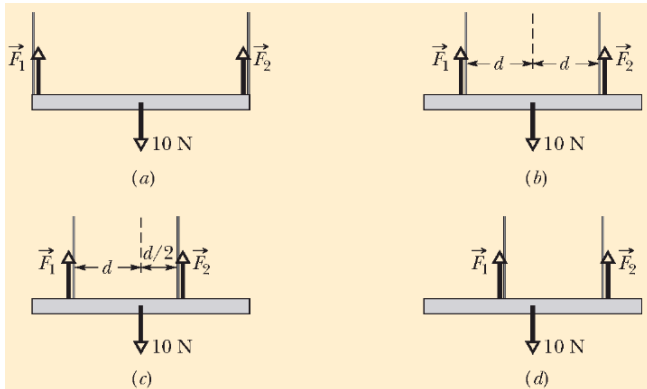
سازه های نامعین

- شروطی که در جلسه قبل برای تعادل اجسام صلب مطرح کردیم، می توانند حداکثر سه معادله مستقل از هم برای ما فراهم کنند. این معادلات معمولاً شامل دو معادله تعادل نیروها و یک معادله تعادل گشتاورهاست.
- از حل دستگاه های معادلات خطی در ریاضیات می دانیم که اگر تعداد متغیرهای مجهول با تعداد معادلات (سازگار) برابر باشد، آنگاه جوابی یکتا خواهیم داشت. ولی اگر تعداد مجهولات کمتر از معادلات باشد، جواب را نمی توان به صورت یکتا معلوم کرد (مساله نامعین است).
- یک سازه کلی را در نظر بگیرید. در هنگام حل معادلات حاصل از شروط تعادل استاتیک این سازه متوجه می شویم که تعداد مجهولات آن بیشتر از تعداد معادلات است. چنین سازه ای را سازه نامعین می نامیم.



مثال هایی از سازه های نامعین

مثال: می خواهیم یک میله همگن به وزن ده نیوتن را به کمک دو نخ از سقف آویزان کنیم. این دو نخ نیروهای $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ را به میله وارد می کنند. شکل زیر چهار روش برای آویزان کردن میله را نشان می دهد. کدامیک از این چهار مورد نشان دهنده یک مساله نامعین است (یعنی با اطلاعات داده شده نمی توان $\vec{F}_1$ یا $\vec{F}_2$ را یافت.)؟



مثال هایی از سازه های نامعین

- فرض کنید طول میله برابر L است. حال دو شرط تعادل استاتیکی یعنی $\sum \vec{F}_i = 0$ و $\sum \vec{r}_i = 0$ را در هر مورد اعمال می کنیم.

در شکل (a) برای این دو شرط می توان نوشت:

$$F_1 + F_2 - 10 = 0 \quad -\frac{L}{4}F_1 + \frac{L}{4}F_2 = 0$$

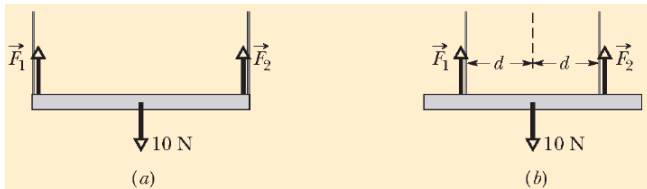
از این دستگاه دو معادله و دو مجهول می توان یافت: $F_1 = F_2 = 5 \text{ N}$

به همین ترتیب در شکل (b) برای دو شرط تعادل می توان نوشت:

$$F_1 + F_2 - 10 = 0 \quad -dF_1 + dF_2 = 0$$

از این دستگاه دو معادله و دو مجهول می توان یافت: $F_1 = F_2 = 5 \text{ N}$

پس این دو دستگاه معین هستند.



مثال هایی از سازه های نامعین

• به علاوه با استفاده از شروط تعادل در شکل (c) می توان نوشت:

$$F_1 + F_2 - 10 = 0 \quad -dF_1 + \frac{d}{2}F_2 = 0$$

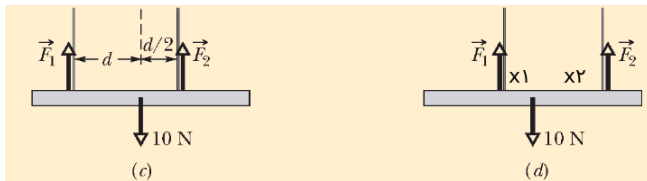
از این دستگاه دو معادله و دو مجهول می توان یافت: $F_1 = \frac{10}{3} \text{ N}$, $F_2 = \frac{20}{3} \text{ N}$
پس دستگاه (c) نیز معین است.

• حال فرض کنید در شکل (d) فاصله اعمال نیروی F_1 تا مرکز جرم میله برابر x_1 و فاصله اعمال نیروی F_2 تا مرکز جرم میله برابر x_2 باشد. در این صورت برای دو شرط تعادل می توان نوشت:

$$F_1 + F_2 - 10 = 0 \quad -x_1F_1 + x_2F_2 = 0$$

این یک دستگاه دو معادله و چهار مجهول است و بنابراین قابل حل نیست (حل یکتا ندارد)، مگر اینکه اطلاعات بیشتری به مساله اضافه شود.

دستگاه (d) را یک سازه نامعین می نامند.



مثال هایی از سازه های نامعین

فرض کنید که ماشینی داریم که توزیع جرم آن نامتقارن است. اگر بخواهیم نیروی وارده بر چهار چرخ این ماشین را بیابیم، آنگاه متوجه می شویم که چنین کاری (با اطلاعات موجود) ناممکن است چون سه معادله و چهار متغیر داریم. به صورت مشابه، حل مساله تعادل استاتیکی برای یک میز با سه پایه ممکن است؛ ولی مساله مشابه برای یک میز با چهار پایه را نمی توان حل کرد. همانطور که پیشتر گفته شد، چنین مسائلی که تعداد مجهولات آنها بیشتر از تعداد معلومات است را مسائل نامعین می گویند.



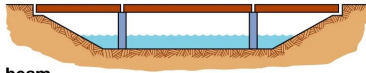
چطور سازه های نامعین را حل کنیم؟

- توجه کنید که مسائل نامعین در دنیای واقعی معین هستند! یعنی اگر ما چهار پایه میز را بر روی چهار ترازو قرار دهیم، هر کدام از ترازوها نیروی وارده از طرف چرخ به خود را نشان خواهند داد (مجموع این چهار نیرو برابر وزن میز است؛ چرا؟!).
- بنابراین به نظر می رسد که فیزیکی که تاکنون معرفی کرده ایم، قسمتی از اطلاعات مهم دنیای واقعی اطراف ما را در خود لحاظ نکرده است. در این جلسه می خواهیم این اطلاعات را، که مربوط به خواص مکانیکی مواد هستند، مطالعه کنیم.
- **چه اطلاعاتی باقی مانده است؟** در واقع تاکنون فرض کرده ایم که اجسام مورد مطالعه ما کاملاً صلب هستند. یعنی این اجسام تحت تاثیر نیروهای وارده هیچگونه تغییر شکل و یا اندازه ای نخواهند داشت.

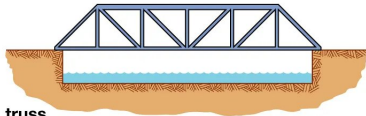


چطور سازه های نامعین را حل کنیم؟

- واقعیت فیزیکی: هیچ جسم کاملاً صلبی در دنیای ما وجود ندارد. تایر، میز، بتن، تیرآهن و ... همگی تحت تاثیر نیروها تغییر شکل می دهند.



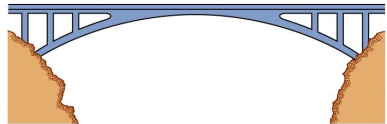
beam



truss



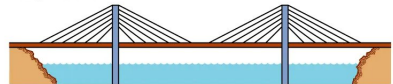
cantilever



arch



suspension



cable-stayed

© Encyclopædia Britannica, Inc.

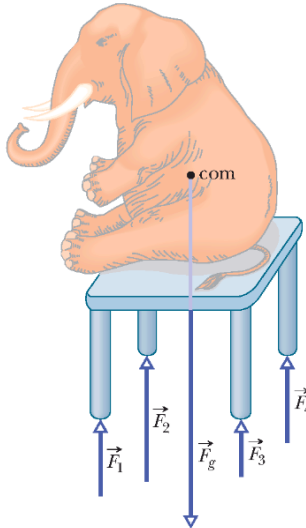
چطور سازه های نامعین را حل کنیم؟

- با کمی دقت در فیزیک سازه های موجود به راحتی متوجه می شویم که اکثر آنها سازه ای نامعین محسوب می شوند. بنابراین، دانستن خواص مکانیکی مواد (کشسانی) برای حل مسائل کاربردی اهمیت بنیادین دارد.
- مثال: الف) میزی با یک پایه ناتراز را در نظر بگیرید. با توجه به نکاتی که تاکنون آموخته ایم، توضیح دهید چرا چنین میزی تعادل ندارد.
ب) چنین میزهایی را معمولاً با قرار دادن مقوا و ... در زیر پایه کوتاهتر تنظیم می کنیم. توضیح دهید در این حالت چه اتفاقی می افتد و چرا میز متعادل می شود؟



wikiHow

چطور سازه های نامعین را حل کنیم؟



ولی فرض کنید فیلی را بر میز با یک پایه ناتراز قرار داده ایم. در این حالت هر چهار پایه با زمین برخورد می کنند، میز دیگر لق نمی زند و چهار نیروی متفاوت بر پایه های میز وارد می شوند. چرا؟! چون پایه ها فشرده شده اند (تغییر طول داده اند).

سوالی که ما در اینجا به آن می پردازیم این است که چطور می توان چهار نیروی وارده بر پایه ها را (با لحاظ کردن فشرده گی پایه ها) محاسبه کرد.

برای حل چنین مسائلی، از لحاظ ریاضیاتی، ما باید اطلاعات جدیدی (معادلات جدید) را به مساله اضافه کنیم. این اطلاعات را با مطالعه کشسانی به دست می آوریم.

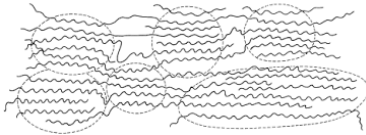
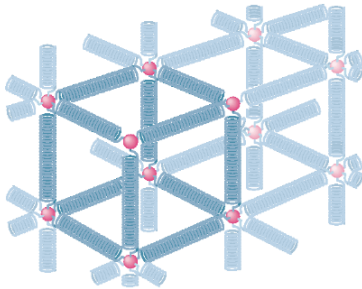
کشسانی شاخه ای از فیزیک و مهندسی است که تغییر شکل اجسام واقعی تحت تاثیر نیروها را بررسی می کند.

خواص مکانیکی مواد

- سوال اصلی: چطور می توانیم درباره استحکام چنین ساختارهایی مطمئن باشیم؟



کشسانی



در هنگام تشکیل یک جامد فلزی، معمولاً اتم ها به صورت منظم و تکراری در یک ساختار شبکه ای قرار می گیرند به طوری که فاصله هر اتم تا اتم های مجاور به خوبی معین است. با توجه به اینکه نیروهای بین اتمی در این حالت بسیار قوی هستند، ساختار شبکه فلز بسیار محکم است. این نیروها را معمولاً به شکل فنر مدلسازی می کنیم. به دلیل نیروهای بسیار قوی موجود در ساختار این نوع شبکه ها، اجسامی مانند نردبان فلزی، میز، قاشق و ... به نظر کاملاً صلب می آیند.

ولی ساختار برخی مواد دیگر منظم نیست. پلیمرها مثال بسیار مهمی از این مواد هستند. اجزای تشکیل دهنده این مواد ساختار منظم شبکه مانند ندارند بلکه مولکول های موجود، ساختارهای طولی زنجیر مانند می سازند که به راحتی جابجا می شوند؛ زیرا با نیروی اندکی به اجزای دیگر متصل هستند. به همین دلیل پلیمرها و مواد مشابه انعطاف بسیار بیشتری دارند.

توجه: هیچ جسمی کاملاً صلب نیست!



هیچ جسمی کاملاً صلب نیست و همه اجسام واقعی تا حدی خاصیت کشسانی دارند و در اثر نیروهای وارده تغییر شکل می دهند. حتی شیشه، فولاد و ... هم از این خاصیت مستثنی نیستند. مثلاً شیشه های نصب شده در پنجره های بسیار قدیمی در طی زمان، به دلیل وزن خود جریان پیدا می کنند. در واقع همین پدیده باعث اعوجاج شیشه در طی زمان می شود.



میلۀ ای به طول یک متر و قطر یک سانتی متر را در نظر بگیرید که به سقف آویزان شده و تکیه گاه آن محکم است. حال اگر ماشینی (در اندازه پراید) از چنین میلۀ ای آویزان شود، میلۀ تقریباً به اندازه 0.5 mm کشیده خواهد شد. البته اگر ماشین را از میلۀ جدا کنیم، میلۀ به طول اولیه خود باز می گردد. از لحاظ مولکولی، در این آزمایش ساختار شبکه ای فلز کمی جابجا شده و سپس به حالت اولیه خود بازگشته است.

اگر دو ماشین مشابه را به میلۀ آویزان کنیم، طول میلۀ برای همیشه کشیده شده و حتی با برداشتن بار، میلۀ به شکل اولیه باز نمی گردد. اگر سه ماشین را از این میلۀ آویزان کنید، میلۀ به نقطه شکست می رسد (دو نیم می شود). تغییر طول میلۀ در نقطه شکست در حدود 2% است.

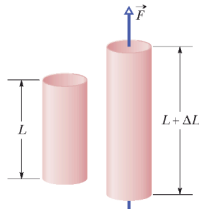
بررسی کشسانی مواد

- گرچه معمولاً تغییر طول و شکل مواد در اثر اعمال نیروها بسیار کوچک است، این تغییرات در فیزیک و مهندسی بسیار مهم هستند و می توانند طراحی و دامنه کارایی دستگاه ها (ماشین، هواپیما و ...) را به کلی عوض کنند. بنابراین ما باید این موارد را به دقت مطالعه کنیم.
- ما خواص مکانیکی مواد را تحت عنوان کلی کشسانی بررسی می کنیم. در این بین سه مورد برای ما اهمیت اساسی دارند.

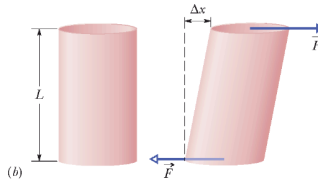


سه راه برای ایجاد تغییر اندازه در اجسام

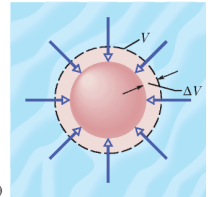
- یک استوانه را در نظر بگیرید. سه حالت برای تغییر شکل این استوانه را بررسی می کنیم. در شکل سمت چپ، استوانه در راستای محور اصلی اش کشیده و یا فشرده می شود و بنابراین تغییر طول میدهد. در شکل وسط، به استوانه در راستای عمود بر محور اصلی اش نیرو وارد می شود و بنابراین تغییر شکل میدهد. در شکل سمت راست، استوانه (و یا یک جامد کلی) در اثر فشار بسیار زیاد شاره در همه جهت ها فشرده می شود.
- این سه نوع تغییر شکل در اجسام نقاط مشترکی نیز با هم دارند. در همه موارد تنش ($stress$) (که همان نیروی وارده بر واحد مساحت F/A است، باعث یک کرنش (تغییر در واحد طول و یا حجم $strain$) می شود.
- حالت موجود در شکل سمت چپ را تنش کششی ($Tensile Stress$)، حالت موجود در شکل وسط را تنش برشی ($Shear Stress$) و حالت موجود در شکل سمت راست را تنش هیدرولیکی ($Hydraulic Stress$) و یا گاهی تنش حجمی $Volumetric Stress$ می نامند.



(a)

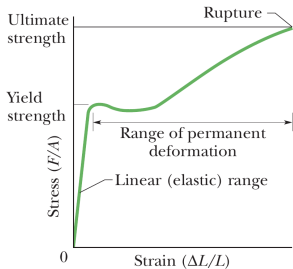


(b)



(c)

رابطه تنش و کرنش



تنش و کرنش می توانند به شکل های متفاوتی وارد شوند؛ ولی در اکثر مسائل مهندسی و فیزیک می توان فرض کرد که این دو با هم متناسب اند. ضریب تناسب را ضریب کشسانی (مدول کشسانی) می نامند:

$$\text{stress} = \text{modulus} \times \text{strain}$$

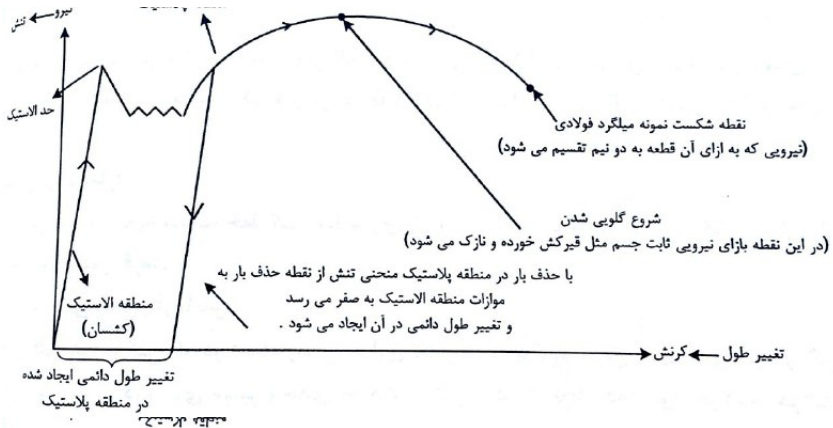
فرض کنید استوانه را تحت تاثیر کششی قرار داده ایم و مقدار تنش را به آرامی افزایش می دهیم. در این صورت تغییر طول کوچکی در استوانه مشاهده خواهد شد، ولی به محض برداشته شدن نیروی کششی، استوانه به طول اولیه خود برخواهد گشت. در این حالت می گوییم که در ناحیه الاستیک هستیم. نمودار مقابل را ببینید. در این ناحیه رابطه بالا برقرار است.

ولی با افزایش مقدار تنش، به نقطه ای می رسیم که استوانه برای همیشه تغییر شکل خواهد داد. این نقطه را استحکام تسلیم (Yield Strength) یا تنش تسلیم (Yield Stress) می نامند. اگر همچنان تنش را افزایش دهیم، استوانه بالاخره به دو نیم تقسیم خواهد شد.

فیلم را ببینید.

دوباره فیزیک فنر!

● قانون هوک یک حالت بسیار خاص از این وضعیت است.



شکل از کتاب آزمایشگاه فیزیک مکانیک، نوشته آقای محمد حقیقی.

مدل سازی خواص مکانیکی مواد

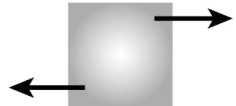
- حالا می خواهیم چند مدل ساده برای خواص مکانیکی مواد، شامل تنش های کششی-فشاری، تنش برشی و تنش هیدرولیکی ارائه دهیم.



Compressive Force



Tensile Force



Shear Force

تنش های عمودی (نرمال): تنش کششی و تنش فشاری

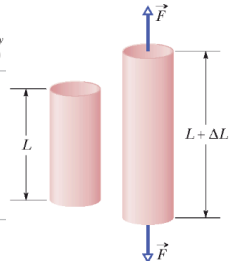
- در تنش کششی و تنش فشاری، نیرو بر صفحه اعمال آن عمود است. این نوع تنش ها در موارد ساده و غیر پیچیده توسط رابطه زیر به کرنش مربوط می شوند:

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

- ضریب E را مدول یانگ (*Young's modulus*) می نامند. توجه کنید که کرنش بدون بعد است و بنابراین ابعاد مدول یانگ و تنش یکسان هستند.

- مدول های یانگ برای تنش کششی و تنش فشاری معمولا به هم نزدیک اند؛ هرچند برای برخی مواد (مثلا بتن) این دو تفاوت معناداری با هم دارند. جدول زیر را برای برخی مقادیر مربوط ببینید.

Material	Density ρ (kg/m ³)	Young's Modulus E (10 ⁹ N/m ²)	Ultimate Strength S_u (10 ⁶ N/m ²)	Yield Strength S_y (10 ⁶ N/m ²)
Steel ^a	7860	200	400	250
Aluminum	2710	70	110	95
Glass	2190	65	50 ^b	—
Concrete ^c	2320	30	40 ^b	—
Wood ^d	525	13	50 ^b	—
Bone	1900	9 ^b	170 ^b	—
Polystyrene	1050	3	48	—

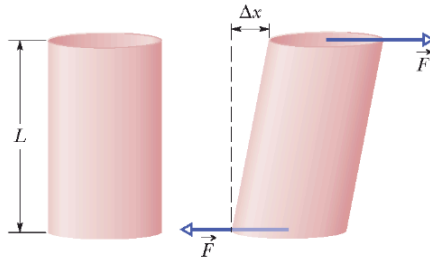
^aStructural steel (ASTM-A36).^bIn compression.^cHigh strength^dDouglas fir.

تنش برشی

- در تنش برشی، نیرو در صفحه اعمال آن قرار دارد (مقایسه کنید با تنش های عمودی: تنش کششی و فشاری). تنش برشی هم در موارد ساده و غیر پیچیده توسط رابطه زیر به کرنش مربوط می شوند:

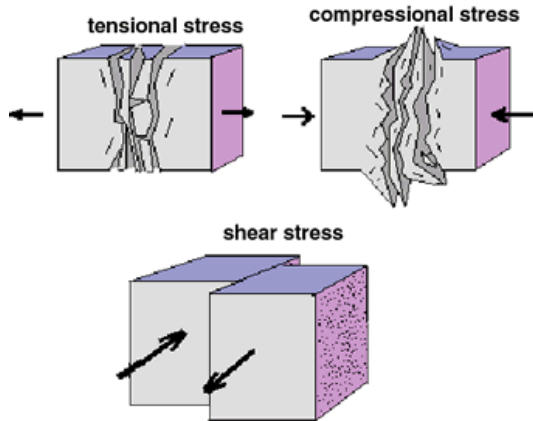
$$\frac{F}{A} = G \frac{\Delta x}{L}$$

- ضریب G را مدول برش (*Shearing modulus*) می نامند. توجه کنید که کرنش بدون بعد است و بنابراین ابعاد مدول برش و تنش یکسان هستند.



تفاوت تاثیر تنش های فشاری، کششی و برشی

- تفاوت تاثیر تنش های فشاری، کششی و برشی را در شکل زیر ببینید.



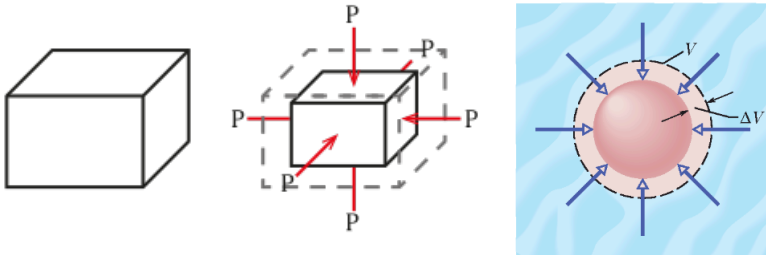
- تمرین: تاثیر تنش های فشاری، کششی و برشی را در تصاویر ساختمان ها و تصاویر ژئوفیزیکی جستجو و مطالعه کنید.

تنش هیدرولیکی

- در تنش هیدرولیکی، تنش عبارت است از نیرو بر واحد سطح و یا همان فشار سیال. از طرف دیگر، کرنش به صورت تغییر نسبی در حجم $\Delta V/V$ تعریف می شود. ضریب تناسب در این مورد را مدول حجمی (*Bulk modulus*) می نامند.

$$p = B \frac{\Delta V}{V}$$

توجه کنید که کرنش بدون بعد است و بنابراین ابعاد مدول حجمی و فشار یکسان است.



مثال

یک انتهای میله فولادی (steel) به شعاع $R = 9.5 \text{ mm}$ و طول $L = 81 \text{ cm}$ در یک گیره ثابت شده است. حال نیرویی به اندازه $F = 62 \text{ kN}$ به صورت عمودی به میله وارد شده و آن را می کشد. تنش، تغییر طول و کرنش فولاد چقدرند؟

پاسخ: با توجه به اینکه نیرو به صورت عمودی و در جهت طولی به فولاد وارد می شود، در اینجا با تنش کششی سر و کار داریم. برای پیدا کردن تنش داریم:

$$\text{stress} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi R^2} = \frac{62 \times 10^3 \text{ N}}{\pi (9.5 \times 10^{-3})^2} = 2.2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

بنا به جدول بالا، استحکام (تنش) تسلیم فولاد برابر است با $2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ؛ بنابراین میله در نزدیکی استحکام تسلیم قرار دارد.

همچنین، با توجه به مقدار مدول یا ننگ فولاد در جدول می توان تغییر طول فولاد را اندازه گرفت:

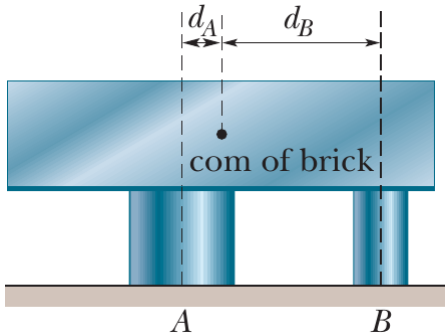
$$\Delta L = \frac{FL}{AE} = 0.89 \text{ mm}$$

در نتیجه کرنش این میله برابر است با

$$\frac{\Delta L}{L} = 0.11 \times 10^{-3} \approx 0.11 \%$$



مثال



در شکل مقابل قطعه ای به صورت افقی بر روی دو استوانه A و B قرار گرفته است. مساحت های این دو استوانه با رابطه $A_A = 2A_B$ به هم مربوط اند و مدول یانگ این دو استوانه نیز رابطه $E_A = 2E_B$ دارند. همچنین، طول استوانه ها پیش از قرار دادن قطعه بر روی آنها برابر است.

الف) چه نسبتی از وزن قطعه بر روی استوانه A و چه نسبتی بر روی استوانه B تحمل می شود؟ به فواصل d_A و d_B در شکل دقت کنید.

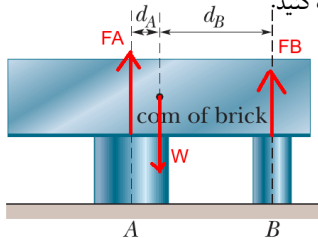
ب) نسبت d_A/d_B را بیابید.

راهنمایی: هر دو استوانه در اثر وزن قطعه به اندازه ΔL فشرده شده اند.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

مثال

- قطعه ای به صورت افقی بر روی دو استوانه A و B قرار گرفته است. مساحت های این دو استوانه با رابطه $A_A = 2A_B$ به هم مربوط اند و مدول یانگ این دو استوانه نیز رابطه $E_A = 2E_B$ دارند. همچنین، طول استوانه ها پیش از قرار دادن قطعه بر روی آنها برابر است. (الف) چه نسبتی از وزن قطعه بر روی استوانه A و چه نسبتی بر روی استوانه B تحمل می شود؟ به فواصل d_A و d_B در شکل دقت کنید.



پاسخ: نمودار جسم آزاد قطعه افقی را رسم می کنیم. سپس از روابط تنش-کرنش برای دو استوانه داریم:

$$\frac{F_A}{A_A} = E_A \frac{\Delta L}{L} \quad \frac{F_B}{A_B} = E_B \frac{\Delta L}{L}$$

از این دو رابطه می توان نتیجه گرفت:

$$\frac{F_A}{F_B} = \frac{A_A E_A}{A_B E_B} = 4$$

از طرفی بنا به تعادل نیروها در جهت عمودی داریم

$$\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow F_A + F_B - W = 0 \Rightarrow F_A = 4W/5, \quad F_B = W/5$$

(ب) نسبت d_A/d_B را بیابید. پاسخ: از تعادل گشتاورها داریم:

$$\sum \vec{\tau}_i = 0 \Rightarrow -d_A F_A + d_B F_B = 0 \Rightarrow \frac{d_A}{d_B} = \frac{F_B}{F_A} = \frac{1}{4}$$

نکات مهم این درس

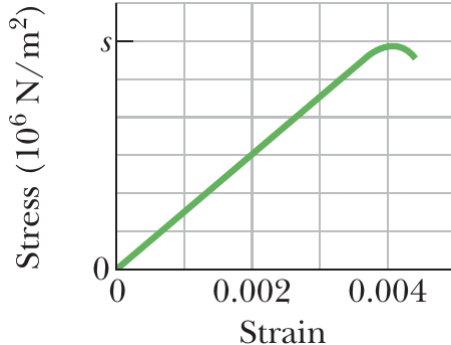
انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی کشسانی و خواص مکانیکی مواد را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ منظور از سازه های نامعین چیست؟
 - ۲ توضیح دهید که چرا شناخت خواص مکانیکی مواد برای حل سازه های نامعین لازم است.
 - ۳ فیزیک پدیده کشسانی چه ربطی به ساختار ریزمقیاس (اتمی-مولکولی) ماده دارد؟
 - ۴ منظور از تنش کششی و فشاری چیست؟ رابطه اصلی توصیف کننده این نوع تنش را بنویسید و آن را شرح دهید.
 - ۵ منظور از تنش برشی چیست؟ رابطه اصلی توصیف کننده این نوع تنش را بنویسید و آن را شرح دهید.
 - ۶ منظور از تنش هیدرولیکی چیست؟ رابطه اصلی توصیف کننده این نوع تنش را بنویسید و آن را شرح دهید.
- اگر درباره هرکدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراموش نکنیم که بهترین راه برای درک و ”درونی سازی“ مفاهیم ریاضی و فیزیک، حل مساله است. به همین دلیل سعی کنید دانسته های خود را با حل سوالات زیر محک زده و تقویت کنید.



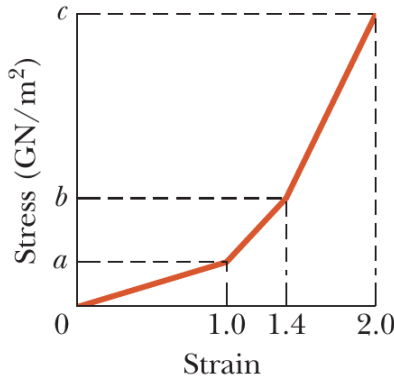
تمرین



شکل مقابل نمودار تنش-کرنش یک ماده را نشان می دهد. در این شکل داریم $s = 300$ و واحد محور عمودی N/m^2 است. (الف) مدول یانگ این ماده را بیابید. (ب) مقدار تقریبی استحکام تسلیم ماده را گزارش کنید.

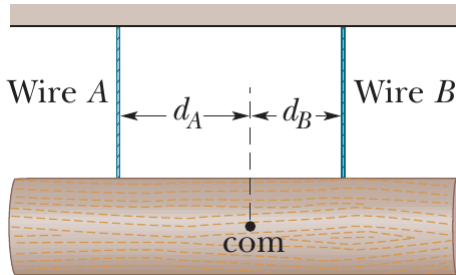
شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

تمرین



شکل ۱۲-۵۷ نمودار تقریبی تغییرات تنش برحسب کرنش مربوط به یک تار عنکبوت را نشان می دهد که تا نقطه ی گسیختگی به ازای کرنش $2/00$ ادامه یافته است. مقیاس محور قائم شکل با مقادیر $a = 0.12 \text{ GN/m}^2$, $b = 0.30 \text{ GN/m}^2$ و $c = 0.80 \text{ GN/m}^2$ مشخص شده است. فرض کنید طول آغازی تار عنکبوت 0.80 cm ، مساحت مقطع آغازی آن $8 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ و حجم تار (در حین کشیده شدن) ثابت است. هم چنین، فرض کنید که وقتی یک تار حشره ای در حال پرواز را به دام می اندازد انرژی جنبشی حشره به کشیده شدن تار تبدیل می شود. (الف) چقدر انرژی جنبشی می تواند این تار را در آستانه ی پاره شدن قرار دهد؟ انرژی جنبشی مربوط به می شود حجم آن ثابت می ماند. اگر وزن حشره بتواند تار را در آستانه ی پاره شدن قرار دهد، جرم حشره چقدر است؟ (ساختار تار عنکبوت به گونه ای است که اگر حشره ای مانند زنبور عسل در آن گیر بیفتد، پاره می شود).

تمرین



در شکل مقابل یک کنده درخت به جرم 103 kg توسط دو کابل فولادی A و B (هر دو به شعاع $1/2 \text{ mm}$) آویزان شده است. طول اولیه کابل A برابر $2/5$ متر است که البته دو میلی متر کوتاهتر از طول اولیه کابل B است.

حالا کنده درخت به صورت افقی قرار گرفته است. الف) اندازه نیروهای وارد شده به کابل های A و B چقدر است؟

ب) تغییر طول کابل ها چقدر است؟

پ) نسبت d_A/d_B را بیابید.

شکل از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

گرانش نیوتنی

- در چند جلسه بعد نظریه گرانش نیوتنی را به صورت مقدماتی بحث خواهیم کرد.



مراجع

- ❶ Halliday, David, Robert Resnick, and Jearl Walker; Fundamentals of physics, 10th edn. John Wiley & Sons, 2014.
- ❷ Halliday, D., R. Resnick, and K. S. Krane. "Physics, 5th edn." (2002).
- ❸ Ohanian, Hans C., and John T. Markert. Physics for engineers and scientists, 3th edn. 2007.
- ❹ Young, Hugh D., Roger A. Freedman, and Albert Lewis Ford. Sears and Zeman-sky's university physics, 13th edn. Pearson education, 2006.

با سپاس از توجه شما

