آموزهٔ بیست‌ویکم

هدف‌های رفتاری را روی تخته بنویسید.

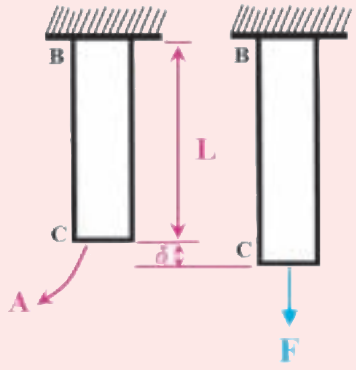
هدف‌های رفتاری : هنرجو با یادگیری این آموزه می‌تواند:

- مفهوم کرنش را شرح دهد.
- رابطهٔ کرنش را برای حل مسائل به کار ببرد.
- رابطهٔ بین تنش و کرنش را شرح دهد.
- مفهوم استحکام کششی را شرح دهد.
- تنش مجاز وضریب اطمینان را توضیح دهد.
- رابطهٔ بین تنش مجاز وضریب اطمینان را در حل مسائل به کار ببرد.

۱ــ۲۱ــ تغییر طول نسبی در کشش و فشار (کرنش)(۳ــ ۵ــ صفحهٔ ۹۰)

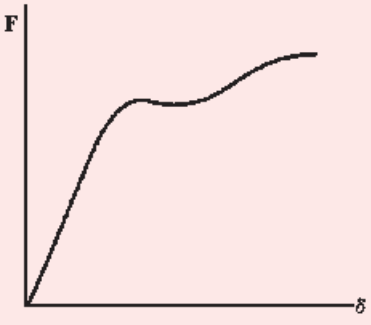
یادآوری برای هنرآموز

یکی از جنبه‌های مهم در تجزیه و تحلیل و طراحی سازه‌ها، تغییر شکل آن‌ها در اثر نیروهای وارد شده است. بدیهی است که در هر سازه باید از تغییر شکل بیش از حد جلوگیری کرد، زیرا تغییر شکل در یک سازه به کاهش کارایی لازم و دور شدن از هدف اصلی ساخت سازه می‌انجامد. میلهٔ فلزی به طول L و سطح مقطع یک‌نواخت A را در نظر می‌گیریم. میلهٔ مزبور از نقطهٔ B آویخته شده است. اگر نیرویی مثل F را از انتهای C اعمال کنیم، بلندی میله به اندازهٔ δ زیاد می‌شود.



شکل ۱ــ۲۱

با پیدا کردن تغییر شکل مربوطهٔ δ برای مقادیر مختلف نیروی F و رسم آن روی محورهای مختصات، منحنی تغییرات نیرو نسبت به تغییر شکل به دست خواهد آمد. این منحنی دارای اطلاعات مفیدی برای تجزیه و تحلیل میله مورد نظر است، لیکن نمی‌توان آن را برای پیش‌بینی تغییر شکل میلهٔ دیگری از جنس مشابه ولی با اندازهٔ دیگر به کار برد.



شکل ۲ــ۲۱

بررسی‌ها نشان می‌دهند که اگر در اثر نیروی F تغییر شکل δ در میله BC به‌وجود آید، در میلهٔ دیگری به طول L ولی با سطح مقطع ۲A

برای ایجاد همان تغییر شکل نیرویی برابر 2F لازم خواهد بود. از طرفی اعمال نیروی F به میله‌ای با سطح مقطع A و طول 2L باعث بوجود آمدن تغییر شکلی برابر 2δ در میله می‌شود. ولی نسبت اندازهٔ تغییر شکل بر طول یا کرنش ε در هر دو مورد برابر است. با یافتن نقاطی مربوط به تنش در مقابل کرنش بر روی محورهای مختصات، منحنی مشخصه‌ای برای ماده به دست می‌آید که شکل آن به ابعاد نمونه آزمایشی بستگی ندارد. این منحنی را نمودار **تنش ــ کرنش** می‌نامند.

به روش پرسش و پاسخ مطالب زیر را تدریس کنید.

پرسش: «اگر به میله‌ای فلزی نیروی کششی اعمال شود، آیا طول آن تغییر می‌کند؟ طول میله افزایش می‌یابد یا کم می‌شود؟»

پاسخ: «طول میله زیاد می‌شود».

پرسش: «مقدار افزایش طول با نیرو چه رابطه‌ای دارد»؟

پاسخ: «هر چه نیرو بیشتر باشد افزایش طول بیشتر است».

پرسش: «اگر به میله‌ای فلزی نیروی فشاری اعمال شود، آیا طول آن تغییر می‌کند؟ طول میله افزایش می‌یابد یا کم می‌شود؟»

پاسخ: «طول میله کم می‌شود».

پرسش: «آیا تغییر طول اجسام در اثر اعمال نیرو اهمیت دارد؟ با یک نمونه شرح دهید».

پاسخ : «این موضوع بسیار با اهمیت است. اگر تغییرات طول و ابعاد در قطعات یک مکانیزم، که در اثر اعمال نیرو اتفاق می‌افتد، بیش از حد باشد، آن مکانیزم کار نمی‌کند و یا کارایی‌اش کاهش می‌یابد».

بیان کنید: « مقدار افزایش طول به عوامل مختلفی مانند مقدار و جهت نیرو، جنس جسم و ابعاد جسم بستگی دارد. در محاسبات، به جای تغییر طول، از نسبت تغییر طول به طول اولیه استفاده می‌شود که به این نسبت «تغییر طول نسبی» یا *«کرنش»* می‌گویند و با حرف یونانی ε (اپسیلون) مشخص می‌شود». رابطهٔ زیر (رابطهٔ ۲ــ ۵) کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$\varepsilon = \frac{X}{l}$$

که در آن:

ε : تغییر طول نسبی یا کرنش (بدون یکا)

x : افزایش یا کاهش طول بر حسب متر (m)

l : طول اولیه بر حسب متر (m)

پرسش: «چرا کرنش بدون یکاست؟»

پاسخ: «همان‌طور که در رابطه مشاهده می‌شود، کرنش از تقسیم دو کمیتِ همانند که دارای یک واحدند به دست می‌آید. در تقسیم انجام شده واحدها از هم ساده شده و نتیجهٔ تقسیم که کرنش است بدون واحد خواهد شد».

بیان کنید: «اگر به جسم نیروی کششی اعمال شود و در آن افزایش طول داشته باشیم کرنش مثبت و اگر نیروی فشاری اعمال شود و در آن کاهش طول پدید آید، کرنش منفی خواهد شد».

مثال ۱ : به میله‌ای با مقطع مستطیلی به طول ۴۰ mm و عرض ۲۰ mm نیروی عمودی فشاری اعمال می‌شود. طول اولیهٔ میله ۲/۸ m است. پس از اعمال نیروی فشاری ۷۰ kN طول آن به ۱/۲ mm کاهش می‌یابد. کرنش در میله را حساب کنید.

پاسخ :

$l = ۲/۸\ m$

$x = -۱/۲\ mm$

$\varepsilon = ?$

$$\varepsilon = \frac{X}{l} = \frac{-۰/۰۰۱۲}{۲/۸} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = -۴/۲۹ \times ۱۰^{-۴}}$$

تمرین ۱ : به میله‌ای نیروی کششی به مقدار ۱۰۰ kN اعمال شده است. طول میله ۲/۳ mm افزایش پیدا کرده است. محاسبات نشان می‌دهد که کرنش پدید آمده در این میله ۵۶۱×۱۰^{-۶} است. طول اولیه میلهٔ را محاسبه کنید.

پاسخ :

$l = ?\ m$

$x = +۲/۳\ mm$

$\varepsilon = ۵۶۱ \times ۱۰^{-۶}$

$$\varepsilon = \frac{X}{l} \Rightarrow l = \frac{X}{\varepsilon} = \frac{۲/۳}{۵۶۱ \times ۱۰^{-۶}} \Rightarrow \boxed{l = ۴/۱ m}$$

کار در خانه (۱) : قطعه‌ای فلزی با طول اولیهٔ میله ۱/۶ m است. پس از اعمال نیروی کششی ۱۵۰ kN طول آن ۳/۲ میلی‌متر افزایش می‌یابد. کرنش در قطعه را حساب کنید.

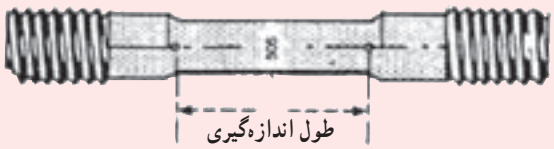
کار در خانه (۲) : به محوری فلزی نیروی فشاری به مقدار ۱۵۰ kN اعمال شده، به‌طوری که طول محور ۰/۳ mm کاهش پیدا کرده است. محاسبات نشان می‌دهد که کرنش پدید آمده در این میله ۸۱×۱۰^{-۶} است. طول نخستین محور را محاسبه کنید.

۲ــ۲۱ــ رابطهٔ بین تنش و تغییر طول نسبی (۴ــ ۵ــ صفحهٔ ۹۱)

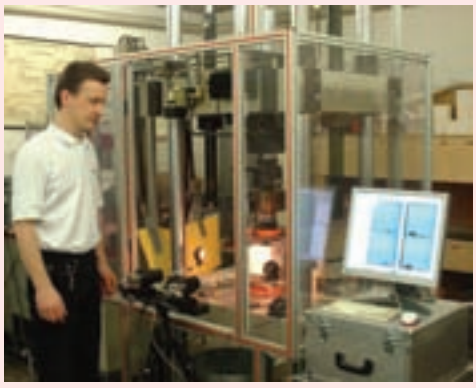
یادآوری برای هنرآموز

نمودار تنش و کرنش برای یک ماده ویژگی مهمی است. برای یافتن نمودار تنش ــ کرنش برای یک ماده، روی نمونه‌ای از آن ماده آزمون کشش انجام می‌شود. این آزمون روی یک نمونهٔ استوانه‌ای شکل، که سطح مقطع بخش میانی آن با دقت تعیین شده است، انجام می‌شود. روی این استوانه دو نشانهٔ اندازه‌گیری درج شده است که به آن طول اندازه‌گیری می‌گویند.

این نمونهٔ آزمایشی در دستگاه آزمون گذاشته می‌شود. دستگاه آزمون برای اعمال نیروهای محوری در اندازهٔ دل‌خواه ساخته شده است.



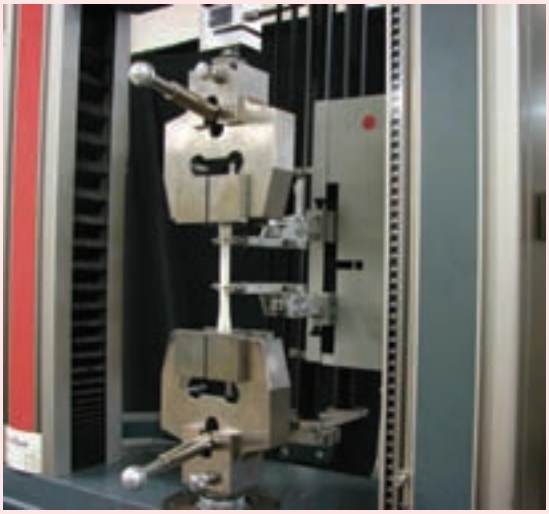
شکل۳ــ۲۱ــ نمونهٔ آزمایشی برای آزمون کشش



شکل۴ــ۲۱ــ دستگاه آزمون کشش

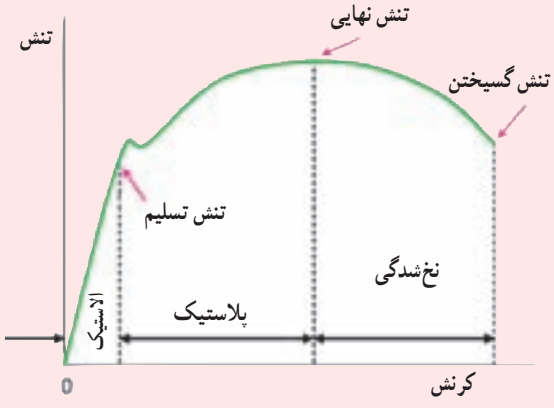
با افزایش بار، فاصلهٔ بین دو نشانه نیز زیاد می‌شود. ازدیاد طول به ازای نیروهای اعمال شده اندازه‌گیری و ثبت می‌شود.

به ازای هر سری از اندازه‌های به دست آمده برای نیرو و تغییر طول، مقدار تنش از تقسیم F بر سطح مقطع A و مقدار کرنش از تقسیم ازدیاد طول بر طول اولیه بین دو علامت محاسبه می‌گردند. سپس با قرار دادن مقادیر تنش و کرنش روی محورهای مختصات، **نمودار تنش ــ کرنش** به دست می‌آید.



شکل۵ــ۲۱

نمودارهای تنش ــ کرنش برای مواد مختلف بسیار گوناگون است. آزمون‌های متعدد کششی بر روی یک نوع ماده ممکن است ما را به نتایج متفاوتی برساند. وجود تفاوت و مقدار آن به دمای نمونهٔ آزمایشی و سرعت بارگذاری بستگی دارد.



شکل ۶ــ۲۱ــ نمودار تنش ــ کرنش یک فلز نرم

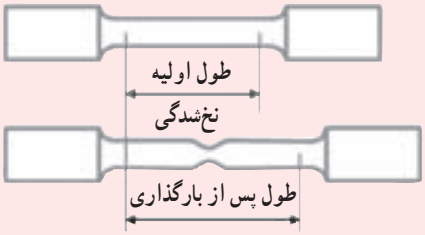
می‌توان برخی از ویژگی‌های مشترک بین نمودارهای مواد گوناگون را از هم جدا کرد. بر اساس این ویژگی‌ها، مواد در دو دستهٔ بزرگِ مواد نرم و مواد شکننده جای دارند. مواد نرم در برگیرندهٔ فولاد ساختمانی و آلیاژهایی است که از فلزات گوناگون ساخته می‌شوند. هنگامی که در دمای محیط نمونه‌ای از این مواد، زیر بار قرار می‌گیرند، با افزایش بار نخست، طول آن به طور خطی و با نرخ بسیار آهسته تغییر می‌کند.

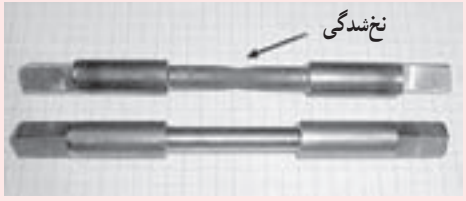
بنابراین اولین قسمت از نمودار تنش ــ کرنش یک خط مستقیم با شیب تند است. این وضعیت تا رسیدن

تنش به ***تنش تسلیم (تنش بحرانی)*** δ_y ادامه می‌یابد. اگر تا این مرحله اعمال نیرو قطع شود، ابعاد جسم به وضعیت قبل از اعمال نیرو برمی‌گردد. به این مرحله، که با اعمال نیرو تغییر دائمی در جسم ایجاد نمی‌شود، مرحله **الاستیک** می‌گویند.

نمونهٔ آزمایشی، پس از رسیدن به تنش تسلیم (تنش بحرانی) δ_y، به مرحله‌ای می‌رسد که با افزایش بار به اندازهٔ کم، تغییر شکل زیاد می‌شود. در نمودار تنش ــ کرنش دیده می‌شود که در بالای نقطهٔ تسلیم ازدیاد طول نمونهٔ آزمایشی ممکن است ۲۰۰ برابر بیشتر از مقدار آن قبل از رسیدن به نقطهٔ مزبور باشد. در مرحلهٔ جدید با اعمال نیرو در نمونه، افزایش دائمی طول ایجاد می‌شود. به این صورت که اگر اعمال نیرو قطع شود دیگر جسم به حالت اولیه برنمی‌گردد. به این مرحله **پلاستیک** می‌گویند.

پس از این که بار اعمال شده به بیشترین اندازه رسید قطر نمونهٔ آزمایشی در بخش میانی کاهش می‌یابد. این پدیده را اصطلاحاً **لاغر شدن** یا **نخ شدگی** می‌نامند. پس از آغاز مرحلهٔ نخ‌شدگی افزایش طول قطعهٔ آزمایشی، با نیروی کمتری ادامه می‌یابد و سرانجام نمونهٔ آزمایشی با اعمال نیرو از هم گسیخته می‌شود.





شکل۷ــ۲۱ــ نمونهٔ آزمایشی قبل از اعمال نیرو و پس از رسیدن به مرحلهٔ نخ‌شدگی

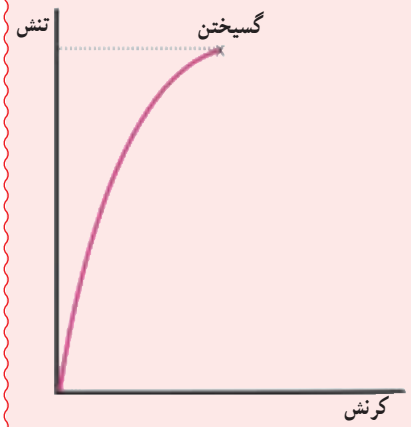
بر این اساس سه تنش زیر معرفی می‌شوند :

تنش تسلیم δ_y تنشی است که در آن مرحلهٔ تسلیم آغاز می‌شود.

تنش نهایی δ_u تنشی است که در اثر حداکثر بار اعمال شده بر نمونهٔ آزمایشی به وجود می‌آید.

تنش گسیختن δ_B تنشی است که در زمان گسیختن یا بریدن به‌وجود می‌آید.

مواد شکننده مثل چدن، شیشه و سنگ در برابر تحمل تنش ویژه‌اند. در این نوع مواد گسیختن بی‌خبر و بدون افزایش نرخ ازدیاد طول رخ می‌دهد. بنابراین در مواد شکننده، بین تنش نهایی و تنش گسیختن تفاوتی وجود ندارد و در مقایسه با مواد نرم، کشش و زمان گسیختن آنان نیز به مراتب کمتر است.



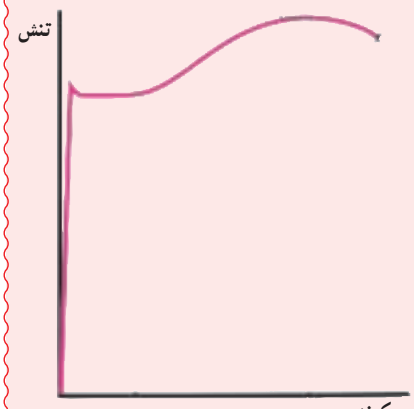
شکل۸ــ۲۱ــ نمودار تنش ــ کرنش یک ماده شکننده

بیشتر سازه‌های مهندسی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که تغییر شکل در آنان کم باشد. برای رسیدن به این هدف همواره بخش خطی نمودار تنش ــ کرنش در نظر گرفته می‌شود.

در بخش خطی از نمودار، تنش δ با کرنش ε نسبت مستقیم دارد پس می‌توان نوشت :

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

این رابطه به قانون هوک معروف است. ضریب E را **مدول الاستیسیته** برای یک ماده مورد نظر می‌نامند، که به مدول یانگ نیز معروف است. چون کرنش ε کمیتی بدون دیمانسیون است لذا مدول E نیز بر حسب واحد تنش یعنی پاسکال بیان می‌گردد. مدول یانگ در آزمایشگاه برای مواد گوناگون به دست می‌آید و در جدول‌های ویژه در دسترس است.



شکل۹ــ۲۱

توضیح دهید: «اگر به یک قطعه کِش نیروی کششی وارد شود، طول افزایش می‌یابد. این افزایش در مواد دیگر مانند فلزات نیز حاصل می‌شود، فلزات نیز در برابر نیروهای کششی افزایش طول و در برابر نیروهای فشاری کاهش طول دارند. البته در فلزات اندازهٔ تغییر طول بسیار کم است و با چشم تشخیص داده نمی‌شود. هنگامی که اثر نیروی کششی از روی کِش برداشته می‌شود کِش به طول پیشین برمی‌گردد ولی اگر نیروی کششی زیاد باشد، کِش تحمل نمی‌کند و پاره می‌شود. فلزات نیز نیروی کششی را تا حدی تحمل می‌کنند و پس از قطع نیرو، طول آن‌ها به حالت پیشین برمی‌گردد. به این حالت **قابلیت ارتجاعی** یا **الاستیسیته** گفته می‌شود. اگر اندازهٔ نیرو بیش از اندازه‌ای باشد که فلز تاب و توان آن را دارد، پس از برداشتن نیرو طول قطعه به اندازهٔ نخست بازنمی‌گردد و تغییر شکل دائمی پیدا می‌کند که به این **حالت پلاستیک** می‌گویند. دانستن مقدار نیرویی که جسم توان آن را دارد تا در حالت الاستیک بماند بسیار مهم است. زیرا اگر قطعات با اعمال نیرو تغییر طول بدهند دیگر برای انجام کاری که برای آن ساخته شده‌اند مناسب نخواهند بود. بنابراین طراحان این موضوع را در طراحی سازه در نظر می‌گیرند و کاربران نیز باید اندازهٔ بیشترین نیروی را که می‌توانند به اجسامی که با آن کار می‌کنند وارد کنند بدانند».

۳ــ۲۱ــ استحکام کششی(۵ــ۵ــ صفحهٔ ۹۳)

یادآوری برای هنرآموز

در طراحی و ساخت، رعایت موارد ایمنی از اهمیت زیادی برخوردار است. باید بدانیم که مصالح مورد نظر در بارگذاری چگونه عمل می‌کنند. این اطلاعات دربارهٔ مواد گوناگون از راه آزمون‌های ویژه روی نمونه‌های از قبل تعیین شده به دست می‌آید. مثلاً نمونه‌ای از فولاد مورد نظر در دستگاه آزمون تحت نیروی کششی قرار می‌گیرد. با افزایش نیروی وارد بر نمونهٔ آزمایشی تغییرات مختلف حاصل در آن مثل تغییر طول و قطر اندازه‌گیری می‌شوند. در نهایت، بزرگ‌ترین مقدار نیروی ممکن بر نمونه اعمال می‌شود. در این مرحله نمونه یا گسیخته می‌شود و یا شروع به تحمل بار کمتری می‌نماید. بزرگ‌ترین نیروی اعمال شده را **بار نهایی** می‌نامند و آن را با F_u نمایش می‌دهند. تنش نهایی در کشش یا تنش عمودی نهایی یا استحکام کششی نیز از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A}$$

بیان کنید: «اجسام با اعمال نیرویی بیش از اندازهٔ ویژه **تغییر طول دائمی** می‌دهند. اکنون اگر مقدار نیرو باز هم افزایش یابد قطعه به جایی می‌رسد که گسیخته شود و به بیان دیگر جسم از هم پاره می‌شود. این رویداد در برخی قطعات می‌تواند فاجعه آمیز باشد. برای جلوگیری از این رخداد، طراح و در برخی موارد کاربر باید بداند هر قطعه‌ای تا چه مقدار نیرو را می تواند تحمل کند. به این نیرو **بیشترین بار وارده** می‌گویند و آن را با F_u نشان می‌دهند. مقدار این نیرو در فلزات مختلف، متفاوت است برای نمونه اندازهٔ این نیرو در فولاد بسیار بیشتر از آلومینیوم است. هرچند آستانهٔ تحمل جسم به سطح مقطع آن نیز بستگی دارد و هر چه قطر جسم بیشتر باشد نیروی بیشتری را تحمل می‌کند. نسبت این نیرو به سطح مقطع، که همان تنش است، برای هر فلزی ثابت است. تنش به‌وجود آمده در جسم برای بیشترین بار وارده به جسم، بیشترین تنشی است که آن جسم (فلز) می‌تواند تحمل کند، پیش از این که گسیخته شود. به این تنش **استحکام کششی** یا **تنش نهایی** می‌گویند و آن را با σ_u نشان می‌دهند».

رابطهٔ ۴ــ ۵ کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید :

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A}$$

که در آن :

σ_u : استحکام کششی یا تنش نهایی بر حسب پاسکال(Pa)

F_u : بیشترین بار وارده بر حسب نیوتن (N)

A : سطح مقطع بر حسب مترمربع (m^2)

بیان کنید: «استحکام کششی تمام مواد در آزمایشگاه‌ها تعیین شده و اندازهٔ آن‌ها در جدول‌های مقاومت مصالح آمده است تا طراحان و تولیدکنندگان با توجه به آن‌ها جنس مطلوب را برای قطعاتی که می‌سازند برگزینند».

مثال ۲ : به قطعه‌ای فولادی با سطح مقطع ۲۰×۳۰ میلی‌متر مربع، حداکثر چه مقدار نیروی کششی می‌توان وارد کرد؟ استحکام کششی فولاد را ۴۲۰ MPa در نظر بگیرید.

پاسخ :

$A = ۳۰\times۲۰\ mm^2$

$\sigma_u = ۴۲۰\ MPa$

$F_u = ?$

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \Rightarrow F_u = \sigma_u \times A = (۴۲۰\times۱۰^۶)\times(۳۰\times۲۰\times۱۰^{-۶}) \Rightarrow$$

$$F_u = ۲۵۲۰۰۰N = ۲۵۲kN$$

تمرین ۲ : بیشترین نیروی کششی، که یک محور آلومینیومی به قطر ۵ سانتی‌متر تاب آن را دارد، چه اندازه است؟ استحکام کششی فولاد را ۱۰۰ MPa در نظر بگیرید.

پاسخ :

$d = ۵cm$

$\sigma_u = ۱۰۰\ MPa$

$F_u = ?$

$$A = \pi r^2 = ۳/۱۴ \times (۰/۰۲۵)^2 \Rightarrow A = ۱/۹۶\times۱۰^{-۳}m^2$$

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \Rightarrow F_u = \sigma_u \times A = (۱۰۰\times۱۰^۶)\times(۱/۹۶\times۱۰^{-۳}) \Rightarrow$$

$$\boxed{F_u = ۱۹۶۰۰۰N = ۱۹۶kN}$$

کار در خانه (۳) : کمترین قطر یک محور فولادی با استحکام کششی ۴۲۰ MPa چه اندازه باید باشد تا نیروی کششی ۳۰۰kN را تحمل کند؟

۴ــ ۲۱ــ تنش مجاز و ضریب اطمینان (۶ــ ۵ــ صفحهٔ ۹۳)

یادآوری برای هنرآموز

قطعات سازه یا ماشین باید به گونه‌ای طراحی شود که بار نهایی در آن‌ها به مراتب بیش از نیرویی باشد که در شرایط معمول کاری مجاز است. این نیروی کمتر به **بار مجاز**، **بار عملی** یا **بار طراحی** معروف است. بنابراین هنگامی که بار مجاز اعمال می‌شود تنها درصدی از ظرفیت مجاز تحمل بار در عضو به کار گرفته می‌شود. بخش باقی‌مانده از ظرفیت تحمل بار عضو برای ایمنی کار به نشانهٔ ضریب اطمینان حفظ می‌شود. نسبت بار نهایی به بار مجاز را **ضریب اطمینان** یا **ضریب ایمنی** می‌نامند.

$$S.F = \frac{F_u}{F_{al}}$$

چون تنش و بار رابطهٔ خطی دارند پس :

$$S.F. = \frac{\sigma_u}{\sigma_{al}}$$

گزینش ضریب ایمنی در طراحی بسیار مهم است. اگر ضریب ایمنی بیش از اندازه کوچک انتخاب شود امکان خرابی به حد غیر قابل قبولی بالا می‌رود و از سوی دیگر اگر بیش از اندازه بزرگ باشد فرآوردهٔ کار از نظر طراحی غیراقتصادی و غیرعملی خواهد بود. گزینش ضریب ایمنی به عوامل گوناگونی بستگی دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از :

- ✓ تغییراتی که در خواص و کیفیت مصالح رخ می‌دهد؛
- ✓ تعداد دفعات بارگذاری که در طول عمر مفید سازه یا ماشین پیش‌بینی می‌شود؛
- ✓ نوع و شرایط بارگذاری پیش‌بینی شده در طراحی یا شرایطی که امکان رخ دادن آن در آینده وجود خواهد داشت؛
- ✓ نوع خرابی و امکان آن؛
- ✓ تردید در مورد روش‌های تجزیه و تحلیل به کارگرفته شده؛
- ✓ فرسایش ممکن در آینده بر اثر نگه‌داری نشدن، تعمیرات صحیح نداشتن یا عوامل غیر قابل اجتناب طبیعی؛
- ✓ اهمیت دادن به یک عضو مشخص در هم‌بستگی کل ساختمان یا سازه.

برای بیشتر کاربردها، در کتابچه‌های طراحی که به‌وسیله مؤسسات معتبر تعیین شده‌اند، ضرایب ایمنی اعلام می‌شود.

بیان کنید : «اجسام با اعمال بیشترین بار وارده F_u گسیخته می‌شود ولی آیا قطعات باید طوری ساخته شوند که در شرایط اعمال این نیرو قرار بگیرند. به بیان دیگر، آیا در زمان طراحی یک قطعه برای تعیین جنس و سطح مقطع، اعمال بیشترین بار F_u به قطعه را در محاسبات مد نظر قرار می‌دهند؟ اگر این کار انجام می‌شد، برای نمونه شاسی یک گاوآهن چهار خیش طوری طراحی می‌شد که تحمل نیروی کششی گاوآهن در خاک را داشته باشد. در این صورت با برخورد خیش به یک مانع، که نیروی زیادتری را به شاسی اعمال می‌کند، شاسی می‌شکست. در طراحی تمام قطعات، نسبتی از استحکام کششی برگزیده می‌شود تا هنگام کار، تنش از تنشی که جسم می‌تواند تحمل کند کمتر باشد. به این تنش، **تنش مجاز** می‌گویند و آن را با σ_{al} نشان می‌دهند. برای به دست آوردن تنش مجاز، استحکام کششی فلز مورد نظر را به عددی تقسیم می‌کنند که به آن **ضریب اطمینان** گفته می‌شود و با $S.F$ مشخص می‌گردد». رابطهٔ

۵ــ۵ کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید:

$$\sigma_{al} = \frac{\sigma_u}{S.F}$$

که در آن:

σ_{al} : تنش مجاز بر حسب پاسکال (Pa)

σ_u : استحکام کششی یا تنش نهایی بر حسب پاسکال (Pa)

S.F. : ضریب اطمینان (بدون واحد)

بیان کنید: «با اعمال ضریب اطمینان هنگام طراحی و ساخت قطعات، استحکام آن‌ها در برابر نیروهای بیشتر و پیش‌بینی نشده حفظ می‌شود. اما مقدار ضریب اطمینان به موارد مختلفی مثل شرایط کار قطعه، دقت محاسبات، نوع و مرغوبیت مواد مورد استفاده بستگی دارد. برای نمونه، ضریب اطمینان به کار رفته در یک گاوآهن کمتر از ضریب اطمینان به کار رفته در قطعات یک هواپیما است، زیرا در هواپیما جان صدها مسافر، که در آسمان و در برخورد با شرایط پیش‌بینی نشده‌اند، به طراحی این قطعات بستگی دارد. هر چند اندازهٔ ضریب ایمنی برای شرایط گوناگون تعیین می‌شود و دارای استاندارد است».

مثال صفحهٔ ۹۴ کتاب را حل کنید و جدول **۲ــ ۵** کتاب را توضیح دهید.

تمرین ۳ : قطعه‌ای آلومینیومی با سطح مقطع ۲۰×۴۰ میلی‌متر مربع، تحت نیروی کششی قرار می‌گیرد. اگر استحکام کششی آلومینیوم مصرفی ۱۰۰ MPa و ضریب ایمنی ۲/۵ باشد، حداکثر نیروی مجاز را محاسبه کنید.

پاسخ:

$A = ۴۰ \times ۲۰\ mm^۲$

$\sigma_u = ۱۰۰\ Mpa$

$S.F. = ۲/۵$

$F_a = ?$

$$\sigma_{al} = \frac{\sigma_u}{S.F.} = \frac{۱۰۰}{۲/۵} \Rightarrow \sigma_{al} = ۴۰MPa$$

$$\sigma_a = \frac{Fa}{A} \Rightarrow F_a = \sigma_a \times A = (۴۰ \times ۱۰^۶) \times (۴۰ \times ۲۰ \times ۱۰^{-۶}) \Rightarrow$$

$$\boxed{F_a = ۳۲۰۰۰N = ۳۲kN}$$

کار در خانه (۴) : کمترین قطر یک محور فولادی با استحکام کششی ۴۲۰ MPa باید چقدر باشد تا در برابر نیروی کششی ۳۰۰kN ایستادگی کند؟ ضریب ایمنی را ۳ در نظر بگیرید.

آموزه بیست‌ودوم

هدف‌های رفتاری را روی تخته بنویسید.

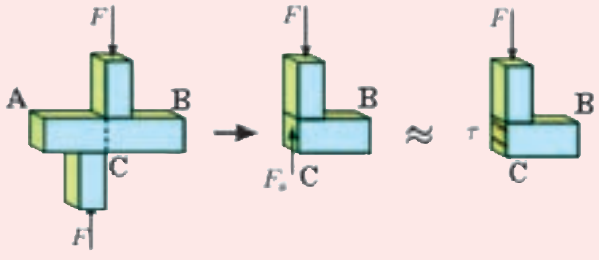
هدف‌های رفتاری: هنرجو با یادگیری این آموزه می‌تواند:

- تنش برشی را توضیح دهد.
- رابطهٔ تنش برشی را توضیح دهد و آن را در حل مسئله به کار برد.
- استحکام برشی را توضیح دهد.
- تنش برشی مجاز را توضیح دهد.
- رابطهٔ تنش برشی مجاز و استحکام برشی را در حل مسائل به کار برد.

۱ــ۲۲ــ تنش برشی (۷ــ ۵ــ صفحهٔ ۹۵)

یاد آوری برای هنرآموز

نیروهای داخلی مورد بحث در بخش‌های پیش و تنش‌های وابسته، همگی بر مقطع بخش عمود بودند، از این رو به تنش‌های کششی و فشاری «تنش عمودی» می‌گویند. اگر نیروی F به طور عرضی بر قطعه اعمال شود یک نوع تنش متفاوت به دست می‌آید. با برش دادن عضو از نقطهٔ C، بخش BC را از عضو AB (مانند شکل ۱ــ۲۲) جدا می‌کنیم.



شکل ۱ــ۲۲

قطعهٔ جدا شده چون در وضعیت تعادل است پس در سطح برش خوردهٔ نیروهای داخلی وجود دارند که مماس بر سطح هستند. برآیند این نیروها را با F_S نشان می‌دهیم. این نیروهای داخلی کوچک را **نیروهای برشی** (نیروهای مماسی) می‌نامند و برآیند آنان نیروی برشی مؤثر در آن مقطع است. از آنجایی که در این حالت نیروهای داخلی مماس بر سطح مقطع‌اند بنابراین به تنش به‌وجود آمده در این وضعیت «تنش مماسی» می‌گویند و چون با افزایش این تنش در

سطح مقطع برش ایجاد می‌شود به آن «تنش برشی» گفته می‌شود و با حرف یونانی τ نشان داده می‌شود. تنش برشی میانگین از رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد.

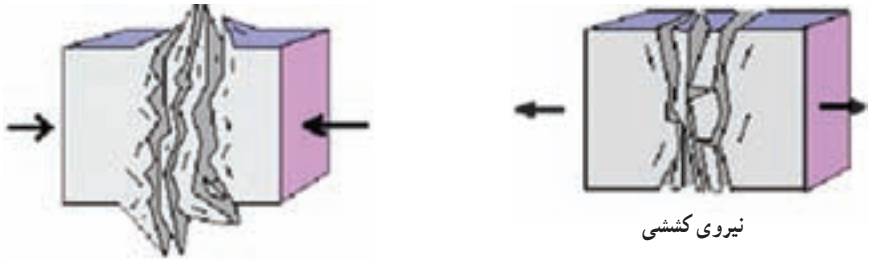
$$\tau_{ave} = \frac{F_S}{A}$$

تنش‌های برشی بیشتر در پیچ‌ها، پین‌ها و پرچ‌های مورد استفاده و در انواع عضوهای سازه‌ای و محورهای انتقال گشتاور چرخشی دیده می‌شوند. باید تأکید شود که اندازهٔ تنش برشی به دست آمده از رابطهٔ بالا، میانگین تنش برشی در کل مقطع در نظر گرفته شده است. بر عکس آنچه پیش‌تر درباره تنش‌های عمودی گفته شد، توزیع تنش‌های برشی در سطح مقطع را نمی‌توان یک‌نواخت فرض نمود. اندازهٔ واقعی تنش برشی بر روی سطح مقطع از صفر تا حداکثر τ_{MAX} تغییر می‌کند. حداکثر مقدار می‌تواند به مراتب بیشتر از مقدار میانگین τ_{ave} باشد.

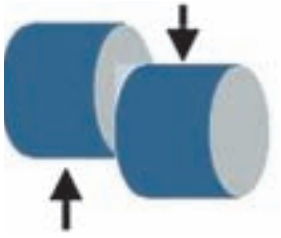
توضیح دهید: «پیش‌تر دیدید که اگر یک قطعه استوانه‌ای شکل را بین دو فک یک گیرهٔ آهنگری قرار دهیم و گیره را محکم کنیم، از طرف گیره نیروی فشاری به سطح مقطع استوانه اعمال می‌شود. این نیرو عمود بر سطح مقطع است. نیروی کششی نیز عمود بر سطح مقطع است». شکل‌های زیر را روی تخته رسم کنید و توضیح دهید که به این نیروها، **نیروهای عمودی** گفته می‌شود و تنشی که این نیروها ایجاد می‌کنند **تنش عمودی** است.

شکل۲ــ۲۲ــ نیروهای عمودی

طرحی از شکل‌های زیر را روی تخته رسم و سپس بیان کنید: « نیروی کششی و تنش ناشی از آن سرانجام به گسیختن یا پاره‌شدن قطعه می‌انجامد و نیروی فشاری و تنش ناشی از آن قطعه را خرد یا خم می‌کند».



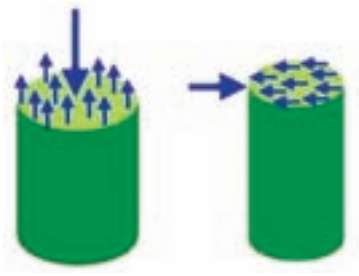
شکل۳ــ۲۲ــ گسیختن یا خرد شدن قطعه پس از اعمال حداکثر نیروهای عمودی



شکل۴ــ۲۲ــ اعمال نیروهای مماسی

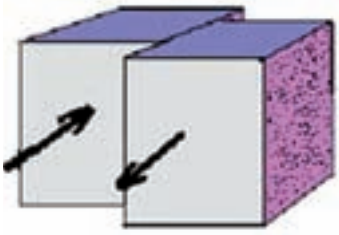
شکل ۴ــ۲۲ را روی تخته رسم کنید.

بیان کنید: «اگر همین استوانه را از گیره باز کنیم و بین دو لبهٔ قیچی آهن‌بُر قرار دهیم و بخواهیم با قیچی استوانه را ببریم، نیروهای داخلی چگونه خواهند بود؟»



شکل۵ــ۲۲ــ مقایسه نیروهای داخلی در دو حالت مماسی و عمودی

شکل ۵ــ۲۲ را روی تخته رسم کنید و توضیح دهید: «در این حالت نیروهای داخلی که در استوانه شکل می‌گیرد عمود بر سطح نخواهد بود بلکه بر سطح مماس‌اند».



شکل۶ــ ۲۲ــ برش قطعه در اثر نیروهای برشی

شکل ۶ــ۲۲ را رسم و سپس بیان کنید: «نیروهای داخلی مماسی باعث ایجاد **تنش برشی (تنش مماسی)** در جسم می‌شوند که اگر از حد مجاز بیشتر شوند جسم در سطح مقطعی که نیروها اعمال می‌شوند، بریده می‌شود. تنش برشی با حرف τ (تاو) نشان داده می‌شود».

بیان کنید: «تنش برشی بیشتر در پیچ‌ها، پین‌ها، پرچ‌ها و محورهای انتقال گشتاور چرخشی مانند محور گاردان ایجاد می‌گردد. اگر جنس و ابعاد این قطعات به‌درستی محاسبه و انتخاب نشوند، زیر بار بریده خواهند شد».

رابطهٔ ۶ــ ۵ کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

که در آن :

F : نیروی مماس بر سطح برش(نیروی برشی) بر حسب نیوتن (N)

A : سطح مقطعی که نیروی مماسی (نیروی برشی) بر آن اعمال می‌شود بر حسب متر مربع (m^2)

τ : تنش برشی بر حسب پاسکال (Pa)

مثال صفحهٔ ۹۶ را حل کنید.

تمرین ۱ : در یک دروگر بشقابی که در آن تیغه به وسیلهٔ یک پین به بشقاب در حال چرخش متصل شده، نیروی گریز از مرکزی که از تیغه به پین اعمال می‌گردد ۱۲۰۰ نیوتن است. اگر قطر پین ۱ سانتی‌متر باشد، تنش برشی در پین را محاسبه کنید.

پاسخ :

$d = ۱\ cm$

$F = ۱۲۰۰\ N$

$\tau = ?$

$$A = \pi r^2 = ۳/۱۴ \times (۰/۰۰۵)^2 \Rightarrow A = ۷/۸۵ \times ۱۰^{-۵}\ m^2$$

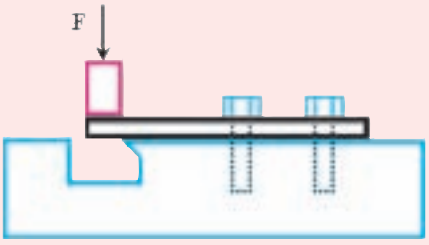
$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{۱۲۰۰}{۷/۸۵ \times ۱۰^{-۵}} \Rightarrow \boxed{\tau \approx ۱۵۳\ MPa}$$

کار در خانه (۱): اگر نیروی برشی بر پین شکل ۸ــ۵ کتاب برابر ۵۰۰ نیوتن باشد و تنش برشی مجاز پین ۳۸۰MPa باشد، قطر پین را حساب کنید.

۲ــ۲۲ــ استحکام برشی (۸ــ۵ــ صفحهٔ ۹۷)

یادآوری برای هنرآموز

برای تعیین **تنش برشی نهایی** یا **استحکام نهایی برشی یک ماده**، روش‌های آزمون متعددی وجود دارد. یک روش عبارت است از قفل کردن بخشی از میله آزمایشی با مقطع مستطیل یا دایره شکل از جنس دل‌خواه در دستگاه آزمون برش و اعمال نیروی F و افزایش آن تا اندازه‌ای که بار نهایی F_u برای برش به دست آید.



شکل۷ــ ۲۲ــ دستگاه آزمون استحکام کششی

اندازهٔ تنش‌های مجاز مواد گوناگون، که در طراحی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، در جداول مقاومت مصالح موجود است.

استحکام کششی و ارتباط آن با استحکام برشی را یادآوری کنید. سپس توضیح دهید: «مواد در مقابل نیروهای برشی، ایستادگی گوناگونی دارند. اگر به یک قطعه نیروی برشی اعمال شود و این نیرو افزایش پیدا کند، قطعه تا رسیدن نیرو به مقدار معینی که به آن **بار نهایی** می‌گویند، در برابر نیرو ایستادگی می‌کند. بار نهایی با F_U نشان داده می‌شود. اگر اندازهٔ نیرو بیش از بار نهایی افزایش یابد جسم برش می‌خورد. به تنش برشی که در اثر این بار در سطح مقطع ایجاد می‌شود **تنش برشی نهایی** یا **استحکام برشی** می‌گویند که با τ_u نشان داده می‌شود».

رابطه ۷ــ۵ کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$\tau_u = \frac{F_u}{A}$$

که در آن :

F_U : نیروی نهایی بر حسب نیوتن (N)

A : سطح مقطع بر حسب متر مربع (m^2)

τ_U : استحکام برشی بر حسب پاسکال (Pa)

بیان کنید: «استحکام برشی همهٔ فلزات و بیشتر مواد تعیین شده است و اندازهٔ آن در جدول‌های ویژه آمده است تا طراحان و تولیدکنندگان برپایهٔ این اندازه‌ها جنس دل‌خواه را برای قطعاتی که می‌سازند مشخص کنند».

جدول ۳ــ۵ کتاب را شرح دهید.

استحکام برشی چند فلز

فلز	استحکام برشی $\frac{MN}{m^2}$
فولاد نرم	۳۲۰ تا ۳۹۰
آهن چکش‌خوار	۳۰۰
چدن	۹۰ تا ۲۰۰
برنج	۱۵۰

بپرسید: «چرا نباید در محاسبات طراحی‌ها از استحکام برشی استفاده شود؟»

بیان کنید: باید تنشی به مراتب کمتر از حد تحمل قطعه را در نظر گرفت، که به آن **تنش برشی مجاز** گفته می‌شود و با τ_{al} نشان داده می‌شود. رابطهٔ زیر (رابطهٔ ۸ــ۵ کتاب) را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$\tau_{al} = \frac{\tau_u}{S.F.}$$

که در آن :

τ_{al} : تنش برشی مجاز بر حسب پاسکال (Pa)

τ_u : استحکام برشی بر حسب پاسکال (Pa)

$S.F.$: ضریب اطمینان (بدون یکا)

برای دریافت بهتر استحکام برشی می‌توانید موارد عملی مانند طول دستهٔ آچار را، که در کتاب گفته شد، در میان بگذارید و نیز دلیل کاربرد پین برشی را در ماشین‌های کشاورزی و به کار نبردن مواد محکم‌تر را به جای آن توضیح دهید.

مثال صفحهٔ ۹۷ را شرح دهید.

تمرین ۲ : در یک دروگر بشقابی که در آن تیغه به وسیلهٔ یک پین به بشقاب در حال چرخش بسته شده است نیروی گریز از مرکزی که از تیغه به پین اعمال می‌گردد ۱۵۰۰ نیوتن است. اگر پین از جنس برنج باشد، کمترین قطر مجاز پین را محاسبه کنید. ضریب ایمنی ۳ است.

راهنمایی: استحکام برشی برنج از جدول ۳ــ۵ کتاب به دست می‌آید.

پاسخ :

$F = ۱۵۰۰\ N$

$\tau_u = ۱۵۰\ MPa$

$S.F. = ۳$

$d = ?$

$$\tau_{al} = \frac{\tau_U}{S.F.} = \frac{۱۵۰}{۳} \Rightarrow \tau_{al} = ۵۰ MPa$$

$$\tau = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{F}{\tau} = \frac{۱۵۰۰}{۵۰ \times ۱۰^{۶}} \Rightarrow A = ۳ \times ۱۰^{-۵}\ m^2$$

$$A = \pi r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{۳ \times ۱۰^{-۵}}{۳/۱۴}} = ۳/۱ \times ۱۰^{-۳}\ m \Rightarrow \boxed{d = ۶/۲ mm}$$

کار در خانه (۲) : حداقل قطر پین شکل ۸ــ۵ کتاب با جنس فولاد نرم باید چقدر باشد تا نیروی برشی ۳۰۰kN را تحمل کند؟ ضریب ایمنی را ۲/۵ در نظر بگیرید.

کار در خانه (۳) : از هنرجویان بخواهید تمرین‌های آخر فصل را پاسخ دهند.

آموزهٔ بیست‌وسوم

تمرین‌های دوره‌ای

آموزهٔ بیست و چهارم

آزمون سوم

آموزهٔ بیست‌وپنجم

هدف‌های رفتاری را روی تخته بنویسید.

هدف‌های رفتاری: هنرجو با یادگیری این آموزه می‌تواند :

- توان را شرح دهد.
- تبدیل یکای توان را انجام دهد.
- رابطهٔ توان را در پاسخ به مسئله به کار برد.
- توان داخلی، توان مفید و توان مصرفی موتور را شرح دهد.
- توان داخلی موتور را در حل مسئله به کار برد.

در آغاز جلسه، پرسش‌های هنرجویان را دربارهٔ آزمون سوم پاسخ دهید.

۱ــ۲۵ــ توان (صفحهٔ ۱۰۰)

بیان کنید: «توانایی محاسبهٔ توان برای تکنسین ماشین‌های کشاورزی ارزش ویژه‌ای دارد. او باید بتواند با محاسبه، توان موردنیاز را برای انجام کارهای گوناگون برآورد کند تا منبع تولید توان مناسب برای آن را انتخاب کند. برای نمونه یک تکنسین ماشین‌های کشاورزی باید بتواند تراکتور مناسب برای کار هر ماشین کشاورزی را از نظر توان برگزیند یا موتوری را برای راه‌اندازی پمپ آب روی شاسی آن ببندد. اگر در این زمینه اشتباهی رخ دهد، یا کار انجام نمی‌شود یا به تراکتور و موتوری که منبع توان است و به ماشینی که برای انجام کار توان می‌گیرد، آسیب می‌رسد».

از هنرجویان تعریف توان را بپرسید. سپس تعریف زیر را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

«توان یا قدرت، سرعت انجام کار را نشان می‌دهد و عبارت است از کار انجام شده در یکای زمان.»

بیان کنید: «برای نمونه تراکتوری می‌تواند با بیشترین توانی که دارد با گاوآهنی ۱۰ هکتار زمین را در ۸ ساعت شخم بزند. می‌توان همان ۱۰ هکتار را در ۴ ساعت شخم زد اگر از تراکتوری که توان آن ۲ برابر توان تراکتور پیشین است و از گاوآهنی با عرض کار بیشتر استفاده کنیم. توان با حرف P نشان داده می‌شود و یکای آن در سیستم متریک وات (W) است».

رابطهٔ زیر (رابطهٔ ۲ــ۶ کتاب) را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$P = \frac{W}{t}$$

که در آن:

P : میانگین توان دستگاه بر حسب وات (W)

W : کار انجام شده بر حسب ژول (J)

t : زمان انجام کار بر حسب ثانیه (s)

مثال اول صفحهٔ ۱۰۱ را حل کنید.

تمرین ۱ : تراکتوری برای کشیدن جسمی روی سطح صاف به فاصلهٔ ۲ متر ۵ kW در مدت ۵ ثانیه نیرو صرف کرده است. نیرویی که از تراکتور به جسم اعمال شده چقدر است؟

پاسخ :

$P = ۵\,kW$

$t = ۵\,s$

$d = ۲\,m$

$F = ?\,N$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \times t = ۵۰۰۰ \times ۵ \Rightarrow \boxed{W = ۲۵۰۰۰J}$$

$$W = F \times d \Rightarrow F = \frac{W}{d} = \frac{۲۵۰۰۰}{۵} \Rightarrow \boxed{F = ۵۰۰۰N}$$

کار در خانه (۱): نیروی ۱۰/۵ kN از طرف تراکتوری برای کشیدن جسمی روی سطحی به فاصله ۵ متر در مدت ۸ ثانیه صرف شده است. توان مصرفی تراکتور برای انجام این کار را محاسبه کنید.

پرسش: «یک وات چه مقدار کار انجام می‌دهد؟»

پاسخ: یک وات توانی است که برای انجام ۱ ژول کار در مدت زمان ۱ ثانیه مورد نیاز است. اگر جسمی به وزن ۱ نیوتن، فاصله‌ای به طول ۱ متر جابه‌جا شود، در این حالت ۱ ژول کار انجام شده است.

روابط زیر را روی تخته بنویسید و آن را شرح دهید.

$$W = F.d \Rightarrow W = ۱N \times ۱m = ۱N.m = ۱j$$

بیان کنید : «اگر این ۱ ژول کار در ۱ ثانیه انجام شده باشد، ۱ وات توان صرف شده است».

رابطه روبه‌رو را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۱j}{۱s} = ۱W$$

۲ــ۲۵ــ تبدیل یکای توان

بیان کنید: «چون وات یکای کوچکی است برای توان‌های بیشتر یکای کیلو وات (kW) به کار می‌رود.»

رابطهٔ زیر را روی تخته بنویسید.

$$۱kW = ۱۰۰۰W$$

بیان کنید: «یکای دیگری که در سیستم متریک برای سنجش توان به کار می‌رود **اسب بخار** است که با hp مشخص می‌شود.»

رابطهٔ زیر را روی تخته بنویسید.

$$۱hp = ۷۴۶W \Rightarrow ۱hp = ۰/۷۴۶\,kW \Rightarrow ۱kW = ۱/۳۴۱hp$$

بیان کنید: «اسب بخار در سیستم انگلیسی نیز تعریف شده است که با Ps نشان داده می‌شود و اندازهٔ آن با اسب بخار متریک یکی نیست».

رابطهٔ زیر را روی تخته بنویسید.

$$۱Ps = ۷۳۶\,W \Rightarrow ۱Ps = ۰/۷۳۶kW \Rightarrow ۱kW = ۱/۳۶Ps$$

مثال صفحهٔ ۱۰۷ را حل کنید.

تمرین۲ : توان موتوری ۴۵ اسب بخار متریک است. توان این موتور را برحسب کیلووات حساب کنید.

پاسخ :

$P = ۴۵\ hp$ $\qquad ۴۵(\frac{hp}{۱}) \times ۷۳۶(\frac{W}{۱\ hp}) = ۳۳۱۲۰W$

$P = ?\ kW$ $\qquad ۳۳۱۲۰\frac{W}{۱} \times \frac{۱kW}{۱۰۰۰W} \Rightarrow \boxed{P = ۳۳/۱۲kW}$

کار در خانه (۲): توان یک الکتروموتور ۵۰ کیلوواتی چند اسب بخار است؟

بیان کنید: «برای محاسبهٔ توان می‌توان رابطهٔ سرعت خطی را نیز به کار برد. این رابطه از رابطهٔ قبلی به دست می‌آید».

روابط زیر را روی تخته بنویسید و آن‌ها را شرح دهید.

$$\left.\begin{array}{l} P = \frac{W}{t} \\ W = F \times d \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l} P = \frac{F \times d}{t} \\ V = \frac{d}{t} \end{array}\right\} \quad P = F \times V$$

که در آن :

P : توان متوسط دستگاه بر حسب وات (W)

F : نیروی وارد بر جسم بر حسب نیوتن (N)

V : سرعت جسم بر حسب متر بر ثانیه ($\frac{m}{s}$)

مثال دوم صفحهٔ ۱۰۱ را حل کنید.

تمرین۳ : یک گاوآهن با نیروی ۱۰۲۲ N و با سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت کشیده می‌شود. توان مورد نیاز را بر حسب اسب بخار برآورد کنید.

پاسخ :

$F = ۱۰۲۲\ N$

$V = ۴\ \frac{km}{h}$ $\qquad V = ۴\frac{\frac{km}{h}}{۱} \times \frac{۳/۶\frac{m}{s}}{۱\frac{km}{h}} = ۱۴/۴\frac{m}{s}$

$P = ?\ hp$ $\qquad P = F.V = ۱۰۲۲ \times ۱۴/۴ \Rightarrow \boxed{P = ۱۴۷۱۶/۸W}$

$P = ۱۴۷۱۶/۸\frac{W}{۱} \times \frac{۱hp}{۷۳۶W} \Rightarrow \boxed{P = ۲۰hp}$

کار در خانه (۳) : تراکتوری با نیروی ۱۵۰۰ N یک پی‌نورد را می‌کشد و برای این کار ۲۵ hp توان صرف می‌کند. سرعت تراکتور را محاسبه کنید.

بیان کنید: «ممکن است جسم دارای سرعت دورانی باشد. برای محاسبه توان در این حالت رابطه‌ای به کار گرفته می‌شود که سرعت بر حسب سرعت دورانی باشد».

روابط زیر را روی تخته بنویسید و آن‌ها را شرح دهید.

$$\left.\begin{array}{l} P = F \times V \\ V = \pi \times d \times n \end{array}\right\} \quad P = F \times \pi \times d \times n$$

که در آن :

P : توان متوسط دستگاه بر حسب وات (W)

d : قطر دایره مسیر دوران بر حسب متر (m)

n : سرعت دورانی جسم بر حسب دور در ثانیه

مثال دوم صفحهٔ ۱۰۲ را حل کنید.

تمرین۴ : در یک نقالهٔ پیاله‌ای، ۱۵۰ پیاله هر کدام با جرم تقریبی ۲Kg از پایین به بالا منتقل می‌شود. اگر قطر چرخ تسمهٔ محرک ۷۵ سانتی‌متر و سرعت دورانی آن ۶۰ rpm باشد، با چشم‌پوشی از وزن تسمه و پولی‌ها، کمترین توان مورد نیاز را برای الکتروموتوری که چرخ‌تسمهٔ محرک را به حرکت می‌اندازد محاسبه کنید.

پاسخ :

$m = ۲\ kg \times ۱۵۰ = ۳۰۰ kg$　　$F = m \times g = ۳۰۰ \times ۹/۸۱ = ۲۹۴۳N$

$d = ۰/۷۵\ m$

$n = ۶۰\ rpm$

$P = ? W$

$$P = F \times \pi \times d \times n = ۲۹۴۳ \times ۳/۱۴ \times ۰/۷۵ \times \frac{۶۰}{۶۰} \Rightarrow \boxed{P = ۶۹۳۱W}$$

۳ــ۲۵ــ توان موتور(۱ــ۶ــ صفحهٔ ۱۰۲)

نکته : در این بخش، هنرجویان روابط زیاد و کم و بیش پیچیده‌ای را برای محاسبهٔ توان موتور می‌خوانند. هدف از آوردن این روابط در کتاب آشنایی هنرجویان با کمیّت‌ها و پارامترهای مؤثر در توان موتور است و نباید از آنان کاربرد این روابط را در مسائل خواست.

بیان کنید: «موتور احتراقی دستگاهی است که با استفاده از آن انرژی حاصل از احتراق مخلوط سوخت شیمیایی و هوا به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود. انرژی مکانیکی به دست آمده از موتور به صورت کارهای مکانیکی در ماشین‌های مختلف به کار برده می‌شود. بیشترین انرژی مکانیکی، که در موتورهای مختلف تولید می‌شود، یا اندازهٔ کاری را که در واحد زمان انجام می‌دهد، توان آن موتور می‌نامند.

توان موتور با تغییر دور میل‌لنگ، تغییر می‌کند. از این‌رو توان موتور را در یک دور ویژه اندازه‌گیری می‌کنند.

تمام انرژی حاصل از سوخت موتور به کار مکانیکی تبدیل نمی‌شود. بنابراین توان‌های مختلفی برای موتور تعریف شده است. برای نمونه، مقدار انرژی حاصل از انفجار سوخت در سیلندر، که باعث حرکت پیستون‌ها می‌گردد، **توان داخلی موتور** است. توانی که از محور میل‌لنگ دریافت می‌شود که **توان خروجی موتور** است، **توان مفید** نیز است. توان مفید همیشه از توان داخلی موتور کمتر است».

پرسش: چرا توان خروجی موتور همیشه از توان داخلی کمتر است؟

پاسخ: توان مفید از توان داخلی موتور کمتر است زیرا برای غلبه بر نیروهای اعمال شده به اجزای داخلی موتور، مانند نیروی اصطکاک بین قطعات، مقداری از توان صرف می‌شود که به آن **توان مصرفی** می‌گویند.

توضیح دهید: برای اندازه‌گیری توان مصرفی موتور، موتور را در حالت خاموش با دور ثابت به حرکت در می‌آورند. مقدار توان مورد نیاز برای این کار توان مصرفی تراکتور است.

پرسش: چرا سفارش می‌شود که برای راه‌اندازی و کار با ماشین‌های مختلف کشاورزی و دنباله‌بندها تراکتور باید در دور

ویژه کار کند؟

پاسخ : چون ماشین‌های مختلف کشاورزی برای کار در دور ویژه و توان مشخص شده در این دور طراحی می‌شوند و در این دور بهترین راندمان را دارند.

بخش مطالعهٔ آزاد کتاب

اگر بخواهید مطالعه آزاد را تدریس کنید روش کار به شرح زیر خواهد بود.

بیان کنید: «توان یک موتور به عوامل گوناگونی بستگی دارد که یکی از آن‌ها حجم مخلوط هوا و سوختی است که در سیلندر محترق می‌شود و نیروی مورد نیاز را فراهم می‌کند. برای محاسبهٔ حجم، نخست باید سطح دهانهٔ سیلندر را اندازه‌گیری کرد.

رابطهٔ ۴ــ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$A = \frac{d^2 \times \pi}{4}$$

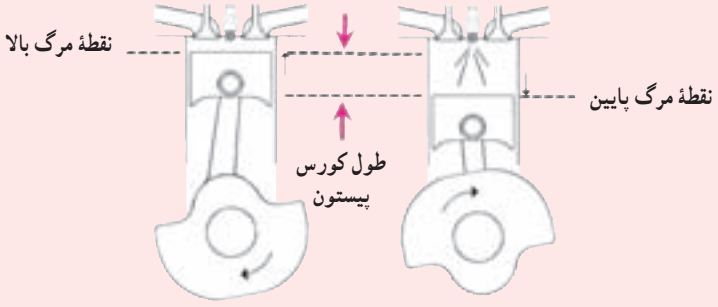
که در آن :

A : سطح دهانهٔ سیلندر بر حسب سانتی‌متر مربع (cm^2)

d : قطر دهانهٔ سیلندر بر حسب سانتی‌متر (cm)

بیان کنید: «برای محاسبهٔ حجم جابه‌جایی یا مفید سیلندر، که پیستون در آن جابه‌جا می‌شود، سطح دهانهٔ سیلندر را در کورس پیستون یعنی فاصله بین نقطهٔ مرگ بالا و پایین ضرب می‌کنند».

طرح ساده‌ای از شکل ۱ــ۲۵ را روی تخته رسم کنید و آن را شرح دهید.



شکل ۱ــ۲۵

رابطهٔ ۵ــ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و آن را شرح دهید.

$$V_h = A \times S$$

که در آن :

V_h : حجم مفید یک سیلندر برحسب سانتی‌متر مکعب (cm^3)

A : سطح دهانهٔ سیلندر برحسب سانتی‌متر مربع (cm^2)

S : کورس پیستون برحسب سانتی‌متر (cm)

بیان کنید: «یکاهایی که در سیستم متریک برای اندازه‌گیری حجم کاربرد دارند مترمکعب و لیتر است ولی چون این یکاها برای سنجش حجم موتور، بزرگ‌اند یکای کوچک‌تر سانتی‌متر مکعب یا سی‌سی به‌کار برده می‌شود».

بیان کنید: «موتور ممکن است یک تا چند سیلندر داشته باشد. برای محاسبهٔ حجم مفید سیلندرهای یک موتور, باید حجم مفید یک سیلندر را در تعداد سیلندرهای موتور ضرب کرد».

رابطه ۶ــ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و آن‌را شرح دهید.

$$V_H = V_h \times k$$

که در آن :

V_H : حجم مفید سیلندرهای یک موتور بر حسب سانتی‌مترمکعب (cm^3)

V_h : حجم مفید یک سیلندر بر حسب سانتی‌مترمکعب (cm^3)

k : تعداد سیلندرهای موتور

شکل۲ــ۲۵

بیان کنید: «چون در مراحل مختلف کار موتور، فشار داخلی آن یکسان نیست برای محاسبات میانگین، فشار داخلی موتور به کار گرفته می‌شود که با P_m نشان داده می‌شود با این فرض که فشار داخل سیلندر در کورس پیستون ثابت است. **طرح ساده‌ای شبیه شکل روبه‌رو را روی تخته رسم کنید و موارد فوق را به کمک آن شرح دهید.**

شکل۳ــ۲۵

فشار میانگین با اعمال نیرو بر سطح پیستون، آن را به سمت نقطهٔ مرگ پایین می‌راند. به این نیرو، نیروی مؤثر احتراق روی پیستون می‌گویند». **طرح ساده‌ای شبیه شکل روبه‌رو را روی تخته رسم کنید و شرح دهید.**

رابطهٔ ۷ــ ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و آن را روی شکل ۳ــ۲۲ شرح دهید.

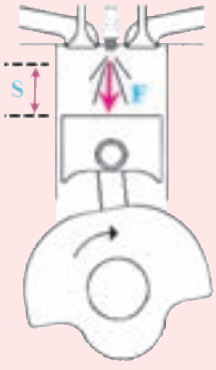
$$F = A \times P_m$$

که در آن :

F : نیروی مؤثر احتراق روی پیستون بر حسب نیوتن (N)

P_m : فشار متوسط احتراق روی پیستون برحسب نیوتن بر سانتی‌مترمربع $(\frac{N}{cm^2})$

A : سطح دهانهٔ سیلندر بر حسب سانتی‌متر مربع (cm^2)



شکل۴ــ۲۵

بیان کنید: «با جابه‌جایی پیستون به سمت نقطهٔ مرگ پایین، که در اثر نیروی مؤثر انجام می‌شود، کاری انجام می‌گردد که به آن **کار پیستون** می‌گویند. برای محاسبهٔ کار پیستون، اندازهٔ نیروی مؤثر احتراق در جابه‌جایی پیستون، که کورس پیستون است، ضرب می‌گردد». **طرح ساده‌ای شبیه شکل روبه‌رو را روی تخته رسم کنید و آن را شرح دهید.**

رابطهٔ ۸ــ ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و با استفاده از شکل ۴ــ۲۵ آن را شرح دهید.

$$W = F \times S$$

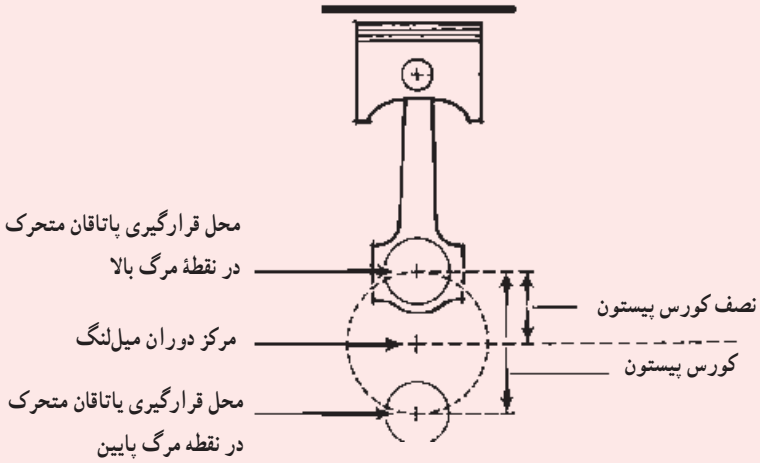
W : کار پیستون بر حسب ژول (J)

F : نیروی مؤثر احتراق روی پیستون بر حسب نیوتن (N)

S : کورس پیستون بر حسب سانتی‌متر (cm)

بیان کنید: «برای به دست آوردن سرعت خطی یک جسم دوّار باید سرعت دَوَرانی را در محیط دوران ضرب کرد. در موتور برای به دست آوردن سرعت محیطی میل‌لنگ، سرعت خطی یاتاقان متحرک در نظر گرفته شده است، یعنی سرعت محیطی میل‌لنگ، سرعت خطی یاتاقان متحرک است. برای محاسبهٔ این سرعت، نخست باید محیطی را که یاتاقان متحرک دوران می‌کند محاسبه نمود. قطر دایره‌ای که یاتاقان متحرک در آن دوران می‌کند با کورس پیستون برابر است».

شکل ۵ــ۲۵ را روی تخته رسم کنید و موارد بالا را روی شکل شرح دهید.



شکل۵ــ۲۵

بیان کنید: «بنابراین با داشتن کورس پیستون می‌توان محیط یک دور گردش یاتاقان متحرک را به‌آسانی محاسبه کرد». **رابطهٔ ۹ــ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و آن را روی شکل ۵ــ۲۵ شرح دهید.**

$$U = D \times \pi$$

که در آن :

U : محیط مسیر دوران یاتاقان متحرک بر حسب متر

D : قطر محیط مسیر دوران یاتاقان متحرک برابر با کورس پیستون بر حسب متر

رابطهٔ سرعت محیطی را یادآوری کنید. سپس بیان کنید که با داشتن محیط یک دور گردش یاتاقان متحرک، سرعت محیطی میل‌لنگ محاسبه می‌شود. رابطهٔ زیر (رابطهٔ ۱۰ــ۶ کتاب) را روی تخته بنویسید و آن را شرح دهید.

$$V = \frac{D \times \pi \times n}{60}$$

که در آن :

V : سرعت محیطی میل‌لنگ بر حسب متر بر ثانیه $(\frac{m}{s})$

D : قطر محیط مسیر دوران یاتاقان متحرک برابر با کورس پیستون بر حسب متر (m)

n : سرعت دورانی میل‌لنگ بر حسب دور در دقیقه (rpm)

۴ــ۲۵ــ سرعت متوسط پیستون (۱۱ــ۱ــ۶ــ صفحهٔ ۱۰۵)

شکل زیر را روی تخته رسم کنید.

شکل۶ــ ۲۵

روی شکل رسم شده توضیح دهید: «سرعت پیستون در نقاط مختلف کورسِ آن، یک‌سان نیست، به گونه‌ای که در ابتدای کورس سرعت صفر است و به‌تدریج این سرعت تا به وسط کورس افزایش می‌یابد. در این نقطه سرعت پیستون به حداکثر می‌رسد، سپس سرعت آن کاهش می‌یابد که در انتهای کورس سرعت آن صفر می‌شود. برای انجام محاسبات مربوط به موتور، برای پیستون یک سرعت متوسط تعریف می‌شود. این سرعت با استفاده از سرعت دوران میل‌لنگ در دور ثابت محاسبه می‌شود».

رابطه ۱۱ــ ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و آن را شرح دهید.

$$V_m = \frac{۲S \times n}{۶۰} = \frac{S \times n}{۳۰}$$

که در آن :

V_m : سرعت متوسط پیستون بر حسب متر بر ثانیه $(\frac{m}{s})$

S : کورس پیستون بر حسب متر (m)

n : سرعت دورانی میل‌لنگ بر حسب دور در دقیقه (rpm)

۵ــ۲۵ــ محاسبهٔ توان داخلی (۱۲ــ ۱ــ ۶ــ صفحهٔ ۱۰۶)

رابطهٔ توان را روی تخته بنویسید و اجزای آن را یادآوری کنید.

$$P = F \times V$$

بیان کنید: «در یک موتور یک سیلندر چهار زمانه، تنها در یک مرحله از چهار مرحلهٔ حرکت پیستون که مرحلهٔ انفجار است و پیستون با اعمال نیرو به سمت نقطهٔ مرگ پایین حرکت می‌کند، کار مفید انجام می‌شود و توان تولید می‌گردد. بنابراین اگر در رابطهٔ نوشته شده، F نیروی مؤثر احتراق روی پیستون و V سرعت متوسط پیستون باشد و کل رابطه را بر عدد ۴ تقسیم کنیم، توان مؤثر در

یک چرخه کامل از حرکت پیستون در یک موتور چهار زمانه به دست می‌آید».

رابطهٔ ۱۲ــ ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$P_i = \frac{F \times V_m}{۴}$$

P_i : توان داخلی موتور بر حسب وات (W)

F : نیروی مؤثر احتراق بر پیستون بر حسب نیوتن (N)

V_m : سرعت متوسط پیستون بر حسب متر بر ثانیه $(\frac{m}{s})$

بیان کنید: «اگر تعداد پیستون‌های یک موتور بیش از یک عدد باشد با ضرب تعداد سیلندرها در رابطه نوشته شده، توان تولید شده کل موتور به دست می‌آید.»

رابطهٔ ۱۳ــ ۶ کتاب را روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$P_i = \frac{F \times V_m \times k}{۴}$$

k : شمار سیلندرهای موتور

بیان کنید: «در رابطهٔ به دست آمده به‌جای F و V_m اندازه‌های به دست آمده از روابط پیشین را قرار می‌دهیم تا رابطهٔ جدیدی به دست آید».

روابط زیر را روی تخته بنویسید و آن‌ها را شرح دهید.

$$\left.\begin{aligned} F &= A \times P_m \\ V_m &= \frac{S \times n}{۳۰} \\ P_i &= \frac{F \times V_m \times k}{۴} \end{aligned}\right\} \quad P_i = \frac{P_m \times S \times A \times n \times k}{۳۰ \times ۴}$$

رابطهٔ توان داخلی برحسب حجم و فشار داخلی موتور

P_i : توان داخلی موتور بر حسب وات (W)

S : کورس پیستون بر حسب متر (m)

A : سطح دهانه سیلندر بر حسب سانتی‌متر مربع $(cm^۲)$

n : سرعت دورانی جسم بر حسب دور در دقیقه (rpm)

k : تعداد سیلندرهای موتور

P_m :فشار متوسط احتراق روی پیستون بر حسب نیوتن بر سانتی‌متر مربع $(\frac{N}{cm^۲})$

در رابطهٔ توان داخلی یکای کورس (S) را از متر به سانتی‌متر تبدیل کنید و مطابق روابط زیر روی تخته بنویسید. در این مرحله جلوی هر کمیت یکای آن را بنویسید تا هنرجویان مراحل تبدیل یکاها را متوجه شوند.

$$P_i(W) = \frac{P_m(\frac{N}{cm^۲}) \times S(m \times \frac{۱۰۰cm}{۱m}) \times A(cm^۲) \times n(rpm) \times k}{۴ \times ۳۰}$$

$$\Rightarrow P_i(W) = \frac{P_m(\frac{N}{cm^۲}) \times S(cm \times A(cm^۲) \times k \times n(rpm) \times ۱۰۰}{۱۲۰}$$

رابطهٔ فوق را با رابطهٔ حجم مفید سیلندرهای یک موتور (V_H) و رابطهٔ تبدیل لیتر را به سانتی‌متر مکعب ترکیب کنید و روی تخته بنویسید و آن‌ها را شرح دهید.

بنویسید و شرح دهید: با در نظر گرفتن سه رابطه زیر می‌توان رابطه مناسبی به دست آورد.

$$P_i(W) = \frac{P_m(\frac{N}{cm^2}).S(cm).A(cm^2).k.n(rpm)\times ۱۰۰}{۱۲۰}$$

$$V_H(cm^3) = A(cm^2) \times S(cm) \times k$$

$$۱lit = ۱۰۰۰\ cm^3$$

$$\Rightarrow P_i(W) = \frac{P_m(\frac{N}{cm^2}) \times V_H(cm^3 \times \frac{۱lit}{۱۰۰۰cm^3}) \times n(rpm) \times k \times ۱۰۰}{۱۲۰}$$

رابطهٔ بالا را ساده کنید. سپس یکای فشار متوسط احتراق روی پیستون (P_m) را از نیوتن بر سانتی‌متر مربع به بار (bar) تبدیل کنید و به صورت زیر روی تخته بنویسید و آن‌ها را شرح دهید.

$$\left.\begin{aligned} P_i(W) &= \frac{P_m(\frac{N}{cm^2}) \times V_H(lit) \times n(rpm) \times k}{۱۲۰۰} \\ ۱bar &= ۱۰\frac{N}{cm^2} \end{aligned}\right\} \quad P_i(W) = \frac{P_m(\frac{\cancel{N}}{\cancel{cm^2}} \times \frac{۱bar}{۱۰\frac{N}{\cancel{cm^2}}}) \times V_H(lit) \times n(rpm)}{۱۲۰۰}$$

$$\Rightarrow P_i(W) = \frac{P_m(bar) \times V_H(lit) \times n(rpm)}{۱۲۰۰۰}$$

در رابطهٔ بالا یکای توان داخلی موتور (Pi) را به کیلووات (kW) تبدیل کنید و به صورت زیر روی تخته بنویسید و شرح دهید.

$$P_i = \frac{P_m \times V_H \times n}{۱۲}$$

که در آن :

P_i : توان داخلی موتور بر حسب کیلووات (kW)

P_m : فشار متوسط احتراق روی پیستون بر حسب بار (bar)

V_H : حجم مفید سیلندرهای موتور بر حسب لیتر (Lit)

n : سرعت دورانی جسم بر حسب دور در دقیقه (rpm)