فصل ششم

ویـــــــژگی های مقاومتی چـــــــوب

پیش‌آزمون

۱- به نظر شما ابعاد مقطع پایه یک صندلی براساس کدام یک از موارد زیر تعیین می‌گردد؟

الف) زیبایی ب) مقاومت

پ) قیمت مواد اولیه و مسائل اقتصادی ت) سلیقه شخصی طراح

ث) سلیقه مصرف کننده و قد ج) تمام موارد

۲- کدام‌یک از گزینه‌های زیر صحیح می‌باشد؟

الف) مقاومت چوب در حالت موازی الیاف بیشتر از عمود بر الیاف است.

ب) مقاومت چوب در حالت عمود بر الیاف بیشتر از موازی بر الیاف است.

پ) مقاومت چوب در حالت‌های موازی و عمود بر الیاف برابر می‌باشد.

۳- هنگامی که یک گلدان را بر روی صفحه میزی قرار می‌دهیم ...

الف) طول پایه میز کاهش می‌یابد. ب)طول پایه میز تغییری نمی‌کند.

پ) طول پایه میز در حدی که با چشم غیر مسلح قابل تشخیص نیست کاهش یافته و در صورت برداشتن گلدان به طول (شکل) اولیه بر می‌گردد.

۴- به نظر شما آیا جمله زیر صحیح است؟ توضیح دهید.

"هنگامی که بر روی قطعه چوبی باری قرار داده می‌شود با توجه به ابعاد چوب، گونه‌ی چوبی، مقدار بار، رطوبت چوب و مدت زمانی که قرار است بار بر روی آن باشد در چوب تغییر شکل دائم و یا برگشت‌پذیر ایجاد می‌شود"

....

....

....

۵- به نظر شما حد مجاز بارگذاری بر یک قطعه چوب استفاده شده در یک سازه چه میزان می‌باشد؟

الف) بارگذاری تا آستانه شکست.

ب) بارگذاری برابر نیمی از باری که منجر به شکست می‌گردد.

پ) بارگذاری تا حد تناسب (اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاه).

ت) با توجه به حد تناسب، مدت زمان بارگذاری، مسائل ایمنی، رطوبت و دمای محیط تعیین می‌شود.

۶- تنش را تعریف کنید.

....

....

....

۷- کرنش را تعریف کنید.

....

....

....

۸-دو پایه‌ی ساخته شده از یک گونه چوبی به ابعاد ۴×۴×۴۰ سانتی‌متر و ۴×۴×۸۰ سانتی‌متر را در نظر بگیرید که به هر یک ۱۰۰ نیوتن بار در جهت طول (موازی الیاف) وارد شده است، به نظر شما ....

الف) کاهش طول هر دو پایه با یکدیگر برابر است.

ب) در طول پایه‌ها تغییری ایجاد نمی‌شود.

پ) کاهش طول پایه‌ی کوتاه‌تر دو برابر پایه‌ی بلندتر است.

ت) کاهش طول پایه‌ی بلندتر دو برابر پایه‌ی کوتاه‌تر است.

۹- نمودار تنش- کرنش نشان دهنده ...

الف) تغییر شکل ایجاد شده در یک ماده مشخص با توجه به مقدار تنش اعمال شده به آن می‌باشد.

ب) رابطه میان تنش و کرنش بوده و به نوع ماده بستگی ندارد.

پ) رابطه میان تغییر شکل در اثر بارگذاری و ابعاد بوده و به نوع ماده بستگی ندارد.

۱-۶ علم مکانیک

مکانیک را می‌شود به عنوان علمی تعریف کرد که شرایط سکون یا حرکت اجسام تحت تأثیر نیروها[1] را پیش‌بینی و توصیف می‌کند. بخشی از این علم در مورد اجسام صلب[2] است؛ مکانیک چوب نیز بخشی از مکانیک اجسام صلب می‌باشد (مکانیک اجسام صلب خود به دو بخش استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شود که اولی با اجسام ساکن سر و کار دارد و دومی با اجسام متحرک). مکانیک یک علم فیزیکی است زیرا با مطالعه‌ی پدیده‌های فیزیکی سروکار دارد. اما بعضی‌ها مکانیک را مربوط به ریاضیات می‌دانند، در حالی که خیلی ها از آن به عنوان موضوع هندسی یاد می کنند. مکانیک پایه‌ی اغلب علوم هندسی است و پیش‌نیاز گریز ناپذیر مطالعه‌ی آن هاست ؛ فقط متکی به تجربه یا مشاهده نیست، به ریاضیات شبیه است ولی یک علم محض نیست بلکه یک علم کاربردی است.

---

[1] – نیرو اثر یک جسم بر جسم دیگر است.

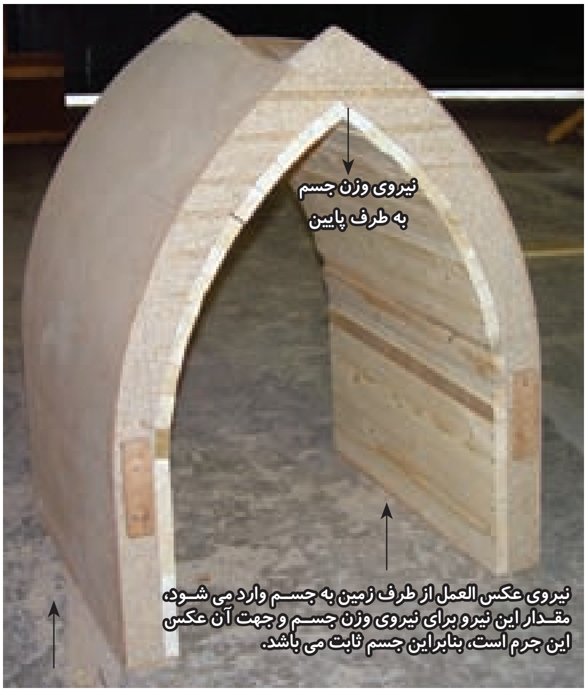
[2] – اجسامی که فرض می کنیم در اثر وارد شدن نیرو تغییر شکلی در آن ها ایجاد نمی شود ، در طبیعت هیچ ماده صد در صد صلبی وجود ندارد.

اگر چه مطالعه‌ی علم مکانیک به زمان ارسطو (۳۸۴ تا ۳۲۲ ق.م.) و ارشمیدس (۲۸۷ تا ۲۱۲ ق.م) بر می‌گردد، اما نیوتن بود (۱۷۲۷-۱۶۴۲م) که اصول بنیادی آنرا به نحو رضایت‌بخشی فرمول‌بندی کرد. این اصول را بعدها دالامبر، لاگرانژ و هامیلتون به صورت اصلاح شده بیان کردند.

اعتبار این اصول به قوت خود باقی بود تا اینکه اینشتین نظریه‌ی نسبیت خود را فرمول بندی کرد (۱۹۰۵). با آنکه محدودیت کاربرد فرمول‌های نیوتن حالا کاملاً محرز شده است اما مکانیک نیوتنی هنوز هم مبنای علوم مهندسی امروزی است.

مفاهیم بنیادی که در مکانیک به کار برده می‌شوند عبارتند از: فضا، زمان، جرم و نیرو. این مفاهیم را باید بر مبنای شهود و تجربه پذیرفت و به عنوان یک چارچوب مرجع برای مطالعه مکانیک به کار برد.

نیرو نمایاگر تأثیری است که یک جسم بر جسم دیگر می‌گذارد. نیروها ممکن است عملاً از راه تماس یا مثل نیروهای گرانشی و نیروهای مغناطیسی از راه دور اعمال شود. یک نیرو با نقطه اثر، بزرگی و جهت آن مشخص می‌شود و آنرا با یک بردار نشان می‌دهند.


نیروی وزن جسم
به طرف پایین
نیروی عکس العمل از طرف زمین به جسم وارد می شود، مقدار این نیرو برای نیروی وزن جسم و جهت آن عکس این جرم است، بنابراین جسم ثابت می باشد.

شکل ۱-۶، الف- نیرویی برابر وزن این مدل از طرف زمین به آن وارد می‌شود، بنابراین جسم ساکن می‌باشد.

شکل ۱-۶، ب- مانعی در مقابل این اسباب‌بازی وجود ندارد که سبب توقف آن شود. بنابراین در جهت نیروی دست حرکت کرده و شتاب می‌گیرد. شتاب جسم متحرکت متناسب با مقدار نیرو و جرم آن می‌باشد.

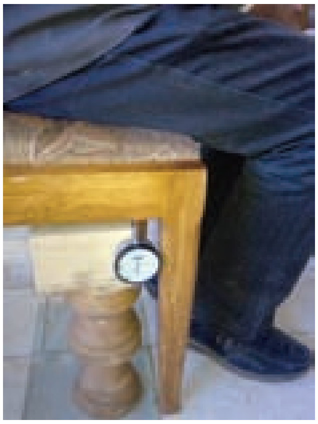
شکل ۲-۶- برای ساختن این سازه بصورت ایمن محاسبه کلیه‌ی نیروهای وارد شده به آن کاملاً ضروری است. این کار با استفاده از علم استاتیک که یکی از شاخه های علم مکانیک است انجام می‌پذیرد.

۶-۲ تغییر شکل مواد جامد در اثر وارد شدن بار به آنها

در عمل هیچ ماده‌ای به طور کامل صلب نیست و بر اثر بارهایی که به آن وارد می‌شود تغییر شکل پیدا می‌کند. سازندگان و طراحان مصنوعات چوبی ابعاد اجزای سازه‌های خود را در اندازه‌ی ساخته و یا طراحی می‌کنند که تغییر شکل در اثر اعمال بار بسیار کوچک بوده و اثری بر تعادل سازه نداشته باشد.

هنگامی که یک فرد بالغ بر روی صندلی می‌نشیند (شکل ۳-۶ب) ارتفاع نشیمنگاه صندلی تا زمین حدود ۰/۰۳ میلی‌متر کاهش یافته و با برخاستن فرد به ارتفاع اولیه باز می‌گردد. (شکل۳-۶ الف) این کاهش طول تغییر شکلی الاستیک است.

شکل ۳-۶(الف)


شکل ۳-۶(ب)

در (شکل ۴-۶) پایه صندلی ساخته شده از چوب نوئل با ابعاد مقطع ۴×۴ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. از عمر این صندلی مدت ۴ سال گذشته و در این مدت از آن به‌طور مداوم استفاده شده ، پس از گذشت این زمان در ارتفاع صندلی تغییری ایجاد نگردیده است. این عدم تغییر بدین معنی است که هر بار فردی بر روی صندلی می‌نشیند کاهش ارتفاع ایجاد شده در محدوده تغییر شکل الاستیک (برگشت‌پذیر) است.

شکل ۴-۶

جزئی بودن تغییر شکل اجزا سازه در بعضی حالات بارگذاری در حدی است که شاید هیچ‌کس در طول عمر خود کاهش ارتفاع پایه‌های یک صندلی چوبی را هنگامی که شخصی بر روی آن می‌نشیند، ندیده باشد (بارگذاری در جهت موازی الیاف). افزایش تغییر شکل در هر حالتی از بارگذاری به شکست منجر می‌گردد.

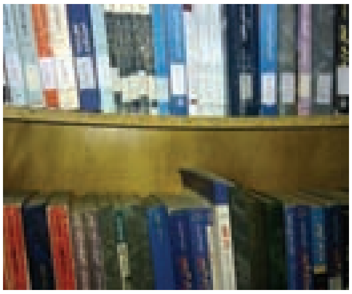
تغییر شکل ایجاد شده در اثر بارگذاری‌ها مبنای تعیین حداکثر باری که هر عضو سازه قادر است در حالت‌های مختلف (کشش، خمش، فشار و ...) تحمل کند و هم‌چنین مبنای تعیین ابعاد است.

۳–۶ منحنی نیرو تغییر شکل در آزمایش چوب

فرض کنید که یک نمونه چوبی را تحت بار فشاری، خمشی و یا برشی قرار می‌دهیم؛ بارگذاری از نقطه صفر شروع شده و به تدریج تا شکست نمونه افزایش می‌یابد، همزمان با افزایش نیرو قطعه چوب بارگذاری شده تغییر شکل می‌دهد، خم می‌شود، فشرده یا بریده می‌گردد.

مرحله اول بارگذاری و تغییر شکل از نقطه صفر تا حد معینی (حد تناسب) شامل محدوده الاستیک است. اگر در محدوده الاستیک بار از روی نمونه برداشته شود تغییر شکل ایجاد شده از بین رفته و قطعه چوب به شکل اول خود بر می‌گردد.[1] ولی اگر بارگذاری ادامه پیدا کرده و مقدار آن از محدوده الاستیک تجاوز کند دیگر پس از حذف بار نمونه به شکل اولیه بر نخواهد گشت زیرا نیرو و تغییر شکل وارد محدوده پلاستیک شده‌اند.

تعیین محدوده الاستیک و پلاستیک و همچنین حد تناسب با استفاده از منحنی "بار- تغییر شکل" و یا "تنش- کرنش" امکان‌پذیر است.[2]


شکل ۵–۶– طبقه قفسه کتاب پس از چیدن یک ردیف کتاب از حالت خط صاف به قوس تغییر شکل پیدا کرده است.

---

[1] برای درک بهتر مفهوم الاستیک دو انتهای قطعه چوبی از گونه‌ای سبک مانند نوئل یا صنوبر به طول حدود ۶۰ سانتی متر و مقطع ۱×۱ سانتی متر را با دو دست نگه داشته و دست ها را به هم نزدیک کنید تا چوب به مقدار کمی کمانی شود، سپس دست‌ها را آزاد کنید تا چوب به شکل اول خود بازگردد ، کمانی که ایجاد کرده اید تغییر شکل الاستیک بوده که پس از حذف نیرو به شکل اول برگشته است. اگر دست‌هایتان را به مقدار بیشتری به هم نزدیک کنید چوب دیگر به شکل اول خود بر نمی‌گردد که نشان‌دهنده تغییر شکل پلاستیک است؛ در صورت اعمال نیروی بیشتر ، چوب می‌شکند (البته ممکن است در این آزمایش قادر به ایجاد تغییر شکل پلاستیک نباشید).

[2] نمودار تنش–کرنش در صفحات بعدی توضیح داده شده است.

ناحیه اول نمودار شکل ۸-۶ (AB) به علت ردیف نبودن در دستگاه آزمایش و ناصافی سطح بوجود می‌آید. این ناحیه یک رویداد ناپایدار است و پس از مختصر افزایش بار و حذف ناصافی سطح (در اثر فشردگی) پایان می‌پذیرد و بعد از آن ناحیه نیرو تغییر شکل خطی (BC) شروع می‌شود. در تحلیل مشاهدات از ناحیه‌ی اول صرف نظر می‌گردد.

در منحنی‌های نیرو و تغییر شکل می‌توان خط مماسی بر ناحیه‌ی دوم (BC) رسم کرد. نقطه‌ای که در آن منحنی از خط مستقیم منحرف می‌شود به حد تناسب مرسوم است. نقطه D حداکثر نیرویی است که چوب قبل از شکست قادر به تحمل آن بوده است. از این نقطه به بعد با توجه به افزایش شکست ایجاد شده مقاومت نمونه نیز کاهش یافته و نمودار نزولی می‌شود. شکل نمودار پس از نقطه شکست با توجه به نوع آزمایش (فشار، کشش، خمش و برش) متفاوت است.

۴-۶ تغییر شکل الاستیک در چوب:

به تغییر شکلی گفته می‌شود که پس از برداشته شدن بار از بین رفته و چوب به حالت اولیه باز گردد. این ناحیه بین نقاط B و C در نمودار شکل ۹-۶ نشان داده شده است.

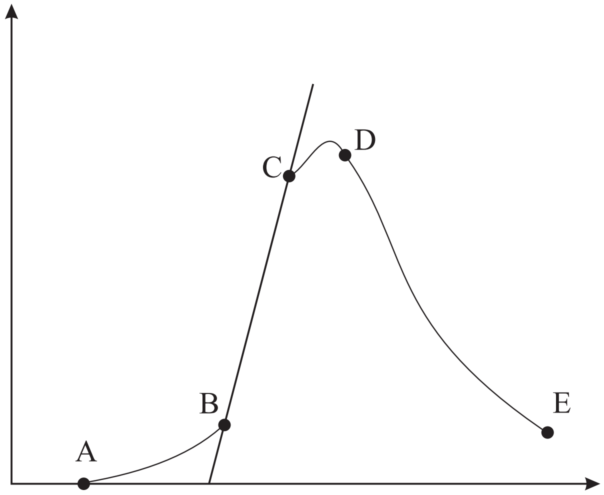
این حالت در مواقعی که بار اعمال شده کمتر از حد تناسب (نقطه C نمودار شکل ۹-۶) باشد اتفاق می‌افتد، عواملی چون جهت اعمال بار بر چوب (طولی، شعالی و مماسی)، مدت زمان اعمال بار، رطوبت و دمای محیط بر حد تناسب موثر و مقدار آنرا افزایش یا کاهش می‌دهد.

شکل ۶-۶- نمونه‌های چوبی شکسته شده در اثر بارهای فشاری و کششی

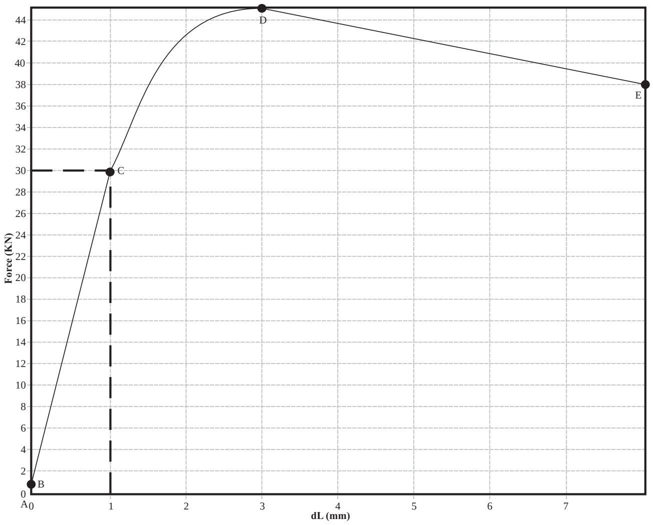
شکل ۷-۶(الف)

شکل ۷-۶-ب- فنر، الگوی رفتار یک جسم کاملاً الاستیک است که پس از حذف نیرو (در ین شکل کشش) به وضعیت اول باز می‌گردد.

شکل ۷-۶-پ- در این قطعه چوبی که مورد آزمایش مقاومت فشار موازی الیاف قرار گرفته تغییر شکل پلاستیک دائمی همراه با گسیختگی ین الیاف ایجاد شده است، اگر به این قطعه یش از محدوده الاستیک بار وارد نمی‌شد پس ز حذف بار به وضعیت اولیه خود بر می‌گشت.



شکل ۸-۶- نمودار ترسیم شده بار تغییر شکل حاصل از آزمایش خمش چوب صنوبر
نقطه C: حد تناسب
نقطه AB: ردیف شدن اولیه
نقطه BC: الاستیک خطی
نقطه CD: ناحیه‌ی پلاستیک
نقطه DE: بعد از شکست

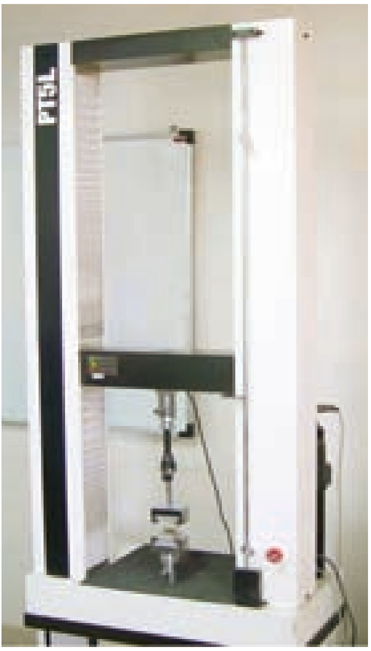


شکل ۹-۶ نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب راش
A: شروع منحنی
C حد تناسب (BC محدوده تناسب)
D: حداکثر مقاومت

۵-۶ تغییر شکل پلاستیک (دائم) در چوب:

شکل ۱۰-۶، تغییر شکل دائمی ایجاد شده در چوب راش پس از آزمایش فشار موازی الیاف

این نوع تغییر شکل هنگامی اتفاق می‌افتد که مقدار بار اعمال شده بیش از حد الاستیک باشد، ناحیه بین نقاط C و E در نمودار شکل ۹-۶ حد پلاستیک را نشان می‌دهد، در این حالت پس از حذف بار از قطعه‌ی چوبی چون تغییر شکل فراتر از حد الاستیک است به شکل اولیه برنگشته و به عبارت دیگر تغییر شکل دائم در چوب بوجود می‌آید؛ در نمودار شکل ۹-۶ کاهش طول نشان داده شده در محور طول تا حدود ۰/۹ میلی‌متر جزء محدوده الاستیک و پس از آن پلاستیک می‌باشد، در محدوده پایین‌تر از حد تناسب (نقطه C ۹-۶) در صورت حذف بار نمونه به حالت اول بر می‌گردد ولی در صورت بارگذاری بیش از این حد ، تغییر شکل پلاستیک ایجاد می‌گردد.



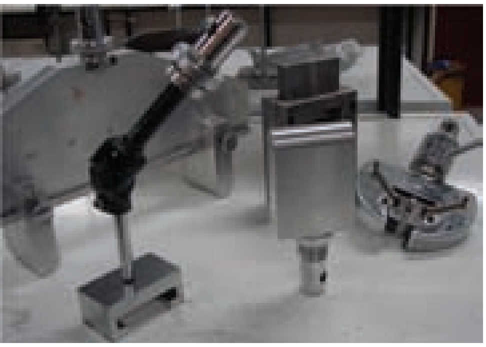
شکل ۱۱-۶، یک نمونه دستگاه مکانیکی کشش و فشار (تستینگ)، ظرفیت این دستگاه در حدود ۱ تُن و انتقال نیرو از موتور به بخش متحرک به وسیله میله مارپیچ می‌باشد.

بیش‌تر بدانیم

دستگاه‌های تعیین مقاومت چوب به کشش و فشار (تستینگ)

برای اندازه‌گیری مقاومت چوب، فلز و یا پلاستیک در برابر کشیده شدن، فشردگی، برش، خمش و غیره از دستگاه‌های کشش و فشار (تستینگ) استفاده می‌گردد.

بخش‌های اصلی این دستگاه‌ها عبارتند از: اسکلت، الکتروموتور، نیروسنج و جک هیدرولیک یا انواعی از میله‌های مارپیچ. عملکرد این دستگاه‌ها بدین ترتیب است که گیره مورد نظر با توجه به نوع آزمایش، توسط نیروی ایجاد شده بوسیله الکتروموتور، نمونه را در معرض کشش، فشار، خمش و برش قرار می‌دهد و همزمان با اعمال نیرو، نیروسنج دستگاه نیز که رابط میان گیره و بخش متحرک ماشین است مقاومت نمونه را اندازه‌گیری می‌نماید.


شکل ۱۲-۶، تعدادی از گیره‌های مورد استفاده برای آزمایش چوب و چند سازه‌های چوبی

شکل ۱۳-۶

(سیستم اندازه‌گیری وزن در ترازوهای دیجیتالی نمونه‌ی کوچکی از این نوع نیروسنج‌ها است). در انواع جدید ماشین‌های کشش و فشار همزمان با آزمایش، نمودار نیز توسط کامپیوتر جهت استخراج اطلاعات مورد نظر ترسیم می‌گردد.

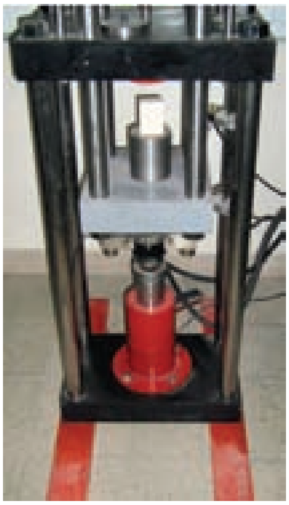
الکتروموتور دستگاه‌های مکانیکی با استفاده از کامپیوتر کنترل شده و توانایی حرکت با هر توانی را دارا می‌باشد (شکل ۱۳-۶).

در شکل ۱۶-۶ یک نوع ساده از جعبه کنترل دستگاه کشش و فشار (تستینگ) نشان داده شده است. فرمان‌های کاربر از طریق کامپیوتر به این جعبه ارسال شده و این جعبه براساس این فرمان‌ها دستگاه را کنترل می‌کند.

شکل ۱۷-۶ پمپ و جعبه روغن یک نوع دستگاه هیدرولیکی کشش و فشار با سیستم ساده را نشان می‌دهد.

شکل ۱۷-۶

شکل ۱۶-۶



شکل ۱۴-۶، دستگاه کشش و فشار هیدرولیکی، ظرفیت این دستگاه حدود ۱۵ تن بوده و حرکت آن بوسیله جک هیدرولیک ایجاد می‌شود بخش فوقانی جک هیدرولیک که با فلش نشان داده شده است نیروسنج می‌باشد.

شکل ۱۵-۶، دستگاه کشش و فشار با سیستم مکانیکی(انواع قدیمی‌تر) را نشان می‌دهد. ترسیم گراف و تنظیم دستگاه به وسیله ادوات مکانیکی و بدون استفاده از کامپیوتر است.

سؤال و تحقیق

۱- تغییر شکل الاستیک را با ذکر چند مثال تعریف کنید.

....

....

....

۲- تغییر شکل پلاستیک را با ذکر چند مثال تعریف کنید.

....

....

....

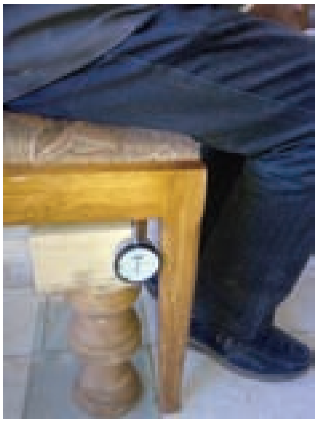
۳-در شیشه و سنگ نیز قبل از شکسته شدن تغییر شکل ایجاد می‌گردد؟(با راهنمایی معلم خود در خصوص پاسخ این سؤال تحقیق کنید و نتیجه را در صورت امکان همراه با عکس توضیح دهید)

....

....

....

۴- از عمر صندلی چوبی شکل مقابل چندین سال می‌گذرد، هر بار فرد با لغی بر روی این صندلی می‌نشیند کرنش سنج یا ساعت اندازه‌گیر (ابزاری دقیق که قادر است تغییر



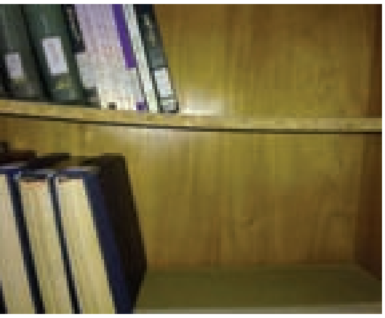
شکل اجسام را به دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه گیری نماید) کوتاه شدن ارتفاع نشیمنگاه صندلی را به اندازه ۰/۰۳ میلی‌متر نشان می‌دهد و پس از برخاستن فرد، عقربه کرنش سنج یا ساعت اندازه‌گیر به جای اول خود بر می‌گردد، کوتاه شدن نشیمنگاه صندلی چه نوع تغییر شکلی است؟ توضیح دهید.

....

....

....

....



۵- تغییر شکل ایجاد شده در این طبقه کتابخانه چه نوع تغییر شکلی است؟ توضیح دهید. (با فرض این که پس از برداشتن کتاب‌ها نیز طبقه به طور کامل به شکل اولیه برنگردد.)

....

....

....

۶- در سر آستین و کمر برخی از لباسهایی که می‌پوشیم از کش استفاده شد ه است که باعث چسبیدن لباس به بدن می‌گردد، دلیل چسبیدن مجدد کش به بدن انسان پس از هر بار پوشیدن لباس را با توجه به اینکه کش مدل یک جسم کاملاً الاستیک است توضیح دهید.

....

....

....

۷-فرض کنید در وسط طبقه‌ی کتابخانه گفته شده در سئوال ۵ در اثر چیدن کتاب ۶mm خیز ایجاد شده باشد و پس از برداشتن کتاب‌ها این خیز به ۳mm کاهش یابد، تغییر شکل حذف شده و باقیمانده را چگونه تحلیل می‌کنید.

....

....

....

....

۸- جنس تخته شیرجه از نوعی مواد پلیمری و در مدل‌های قدیمی چوب می‌باشد، دلیل نشکستن تخته شیرجه را با توجه به تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک توضیح دهید.

....

....

....

....

۹- چند تغییر شکل پلاستیک را که تا به حال با آنها برخورد داشته‌اید با ذکر جنس ماده نامبرده در مورد آنها توضیح دهید. در صورت امکان شکل آنها را رسم نمایید.

....

....

....

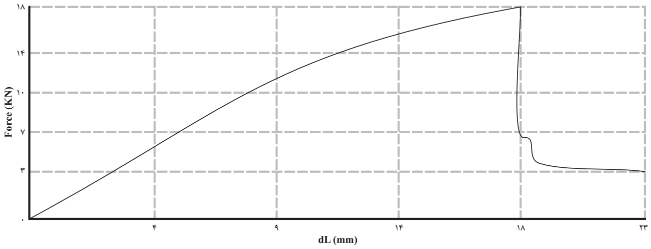
....

۱۰- الف) محدوده ردیف شدن اولیه، الاستیک، پلاستیک و پس از شکست را در نمودارهای داده شده مشخص نمایید.

ب) کاهش طول ایجاد شده در هر یک از نمونه‌ها در صورتی که بار در نقطه وسط ناحیه‌ی الاستیک از روی نمونه برداشته می‌شد از نمودار مربوط به آن استخراج نمایید.

ج) کاهش طول ایجاد شده در هر یک از نمونه‌ها را در صورتی‌که بار در نقطه وسط ناحیه‌ی پلاستیک از روی نمونه برداشته می‌شد با توجه به نمودار مربوطه تعیین نمایید.

الف) نمودار حاصل از آزمایش خمش چوب صنوبر



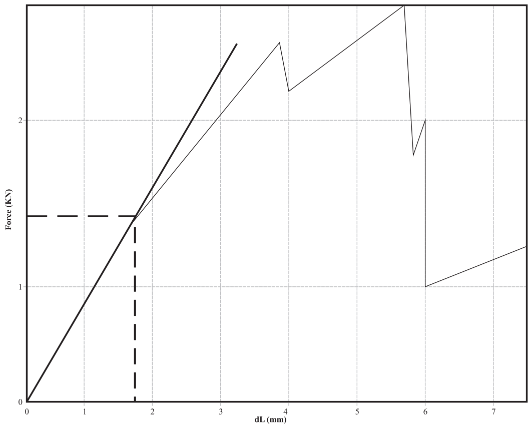
....

....

....

....

ب- نمودار حاصل از آزمایش کشش چوب نوئل



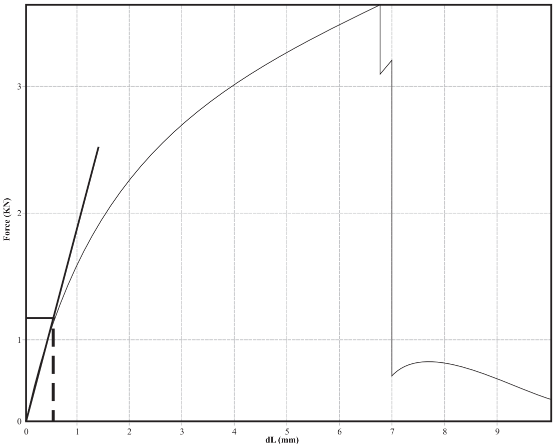
....

....

....

....

پ- نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب راش



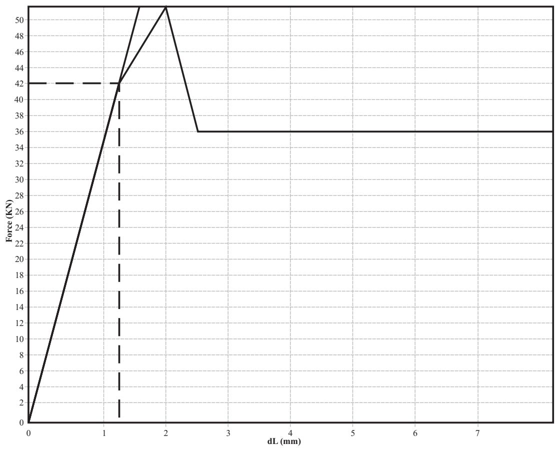
....

....

....

....

ت- نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب نوئل



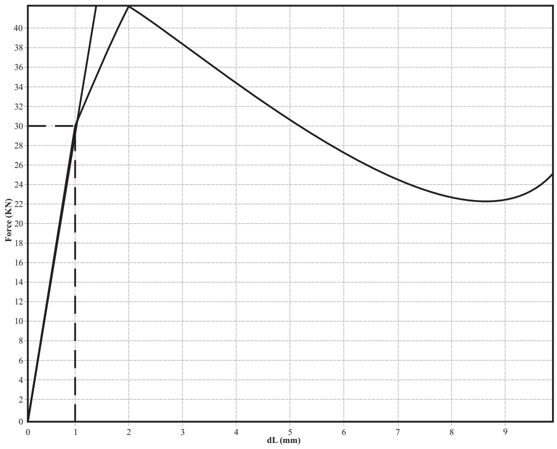
....

....

....

....

ث- نمودار حاصل از آزمایش فشار عمود بر الیاف چوب نراد



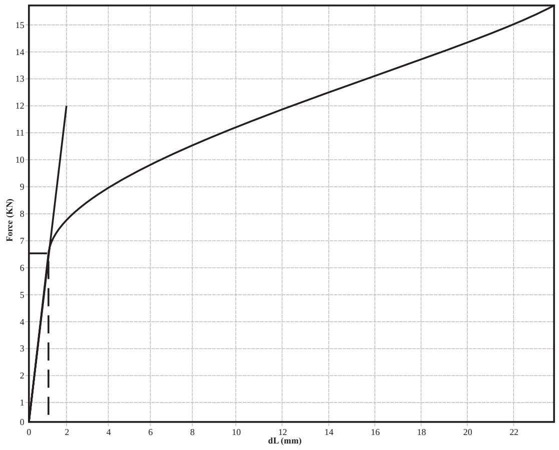
....

....

....

....

ج- نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب نراد



....

....

....

....

۶-۶ تعریف ویژگیهای مقاومتی یا استحکام:

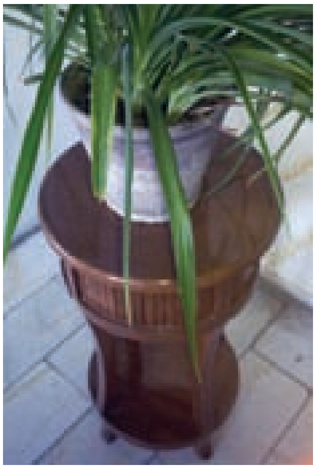
چوب نیز همانند هر ماده جامد دیگری در برابر بارهای وارد شده تغییر شکل می‌دهد. همان‌طور که در درس چوب‌شناسی خوانده‌اید چوب عمدتاً از عناصری دوکی شکل و توخالی به نام فیبر (پهن‌برگان) یا تراکئید (سوزنی‌برگان) تشکیل شده است؛ رفتار چوب در مقابل بارهای وارد شده نتیجه رفتار این عناصر در مقابل کشش، فشار، برش و ... متفاوت است.

هنگامی که چوب تحت بارگذاری فشاری، کششی، خمشی و یا ... قرار می‌گیرد با توجه به دما و رطوبت، سرعتی که بار (نیرو) وارد می شود و این که نیرو در جهت موازی با الیاف، شعاعی و یا مماسی اعمال شده است، افزایش یا کاهش طول پیدا کرده، خمیده و یا در معرض برش قرار می‌گیرد؛ با افزایش بار، تغییر شکل ایجاد شده افزایش یافته و سرانجام

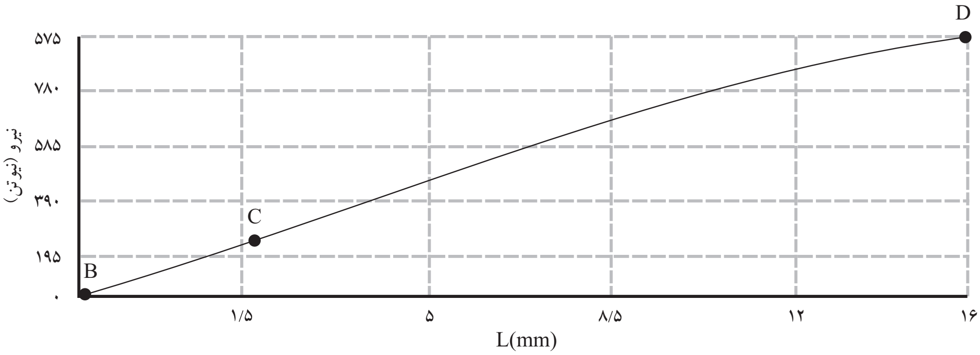
شکست واقع می‌گردد.

شکل ۱۸-۶- نمودار بار تغییر شکل حاصل از آزمایش خمش چوب صنوبر می‌باشد، ناحیه‌ی قبل از شکست این نمودار از دو بخش خطی (BC) و غیرخطی (CD) تشکیل شده که ناحیه‌ی خطی به عنوان محدوده‌ی الاستیک در نظر گرفته می‌شود (در محدوده الاستیک نیز در صورت طولانی شدن مدت بارگذاری تغییر شکل دائم بوجود می‌آید).

تعریف ویژگی‌های مقاومتی یا استحکام چوب براساس نمودار بار تغییر شکل ۱۸-۶ امکان‌پذیر است، در عمل با توجه به مواردی همچون تعداد دفعات بارگذاری، ایمنی، رطوبت، دما، مدت زمان بارگذاری و ... استحکامی که برای چوب در نظر می‌گیرند درصدی از مقدار باری که چوب در محدوده الاستیک تحمل کرده می‌باشد (قبل از حد تناسب).



شکل ۱۹-۶- پایه‌های این گلدان بر زمین عمود می‌باشد.



نمودا ر۱۸-۶

۷-۶- تنش :

مقاومت‌های چوب در گونه‌های یکسان با توجه به ابعاد متفاوت است؛ به عنوان مثال اگر فرض کنید مقاومت فشار موازی الیاف نمونه چوبی از گونه راش به ابعاد ۲×۲×۵ سانتی‌متر ۱۰۰ نیوتن باشد نمی‌توان آن را برای تمام قطعات چوب راش تعمیم داد، زیرا چنان‌چه ابعاد همین چوب به ۳×۳×۱۵ سانتی‌متر تغییر یابد مقاومت آن نیز متفاوت خواهد بود.

بنابراین مقاومت‌های برشی، کششی، فشاری و ... برای انواع مصالح ساختمانی از طریق واحد تنش بیان می‌گردد. تنش عبارت است از مقدار نیرو بر سطح مقطع که با محاسبه آن مقاومت واحد سطح (مانند متر مربع، اینچ مربع، ...) نسبت به بار وارد شده به دست می‌آید و می‌توان مقاومت هر سطح دیگر از همان گونه را نیز محاسبه نمود. مثلاً وقتی در منابع مقاومت فشار موازی الیاف یک گونه چوبی سوزنی برگ ۵۰ مگاپاسکال ذکر می‌شود به این معنی است که می‌توان بر قطعه ای از این چوب به ابعاد سطح مقطع یک متر مربع، ۵۰ میلیون نیوتن بار وارد کرد، حال با محاسبه‌ای ساده می‌توان این مقاومت را برای سایر

قطعات این چوب، با ابعاد مختلف، به دست آورد.

۷-۶-۱ تنش عمودی:

چهار پایه‌ای را در نظر بگیرید که گلدانی روی آن قرار داده شده است (شکل ۱۹-۶). اگر جرم گلدان ۴ کیلوگرم باشد، ۴ کیلوگرم نیرو یا ۴۰ نیوتن نیرو از طرف گلدان بر پایه‌های چهار پایه وارد می‌گردد.[1]

با فرض اینکه بر هر یک از پایه‌ها یک چهارم نیروی مذکور وارد می‌گردد پس بر هر پایه ۱۰ نیوتن نیرو وارد می‌شود. در این حالت می‌گوییم که پایه تحت اثر بارگذاری محوری است. برای محاسبه تنش (مقاومت)، نیروی وارد شده را بر سطح مقطع پایه تقسیم می کنیم، به دلیل عمود بودن سطح مقطع پایه بر جهت نیرو، تنش محاسبه شده را "تنش عمودی" می‌نامند. تنش عمودی با علامت s (سیگما) نشان داده شده و با استفاده از فرمول ذیل محاسبه می گردد:

$$\boxed{s = \frac{P}{A}}$$

(سطح مقطع)/(نیرو)=(سیگما)

P: نیروی وارد بر جسم بر حسب نیوتن

A: سطح مقطع بر حسب متر مربع (یا سایر واحدهای سطح مثل اینچ مربع، میلی متر مربع و ...)

این فرمول نشان دهنده میانگین تنش در سطح مقطع است نه تنش در نقطه خاصی از آن، واحد تنش نیوتن بر متر مربع (پاسکال) می‌باشد، بنابراین هر یک پاسکال برابر یک نیوتن بر متر مربع است.

مثال

در شکل مقابل یک قطعه چوب راش به طول ۲۰ سانتی‌متر و سطح مقطع ۲۵ سانتی‌متر مربع تحت تأثیر نیرویی برابر ۴۰ کیلو نیوتن قرار گرفته است، تنش عمودی در این قطعه چوب برابر است با:

$$\boxed{s = \frac{F}{A}}$$

$$\boxed{\sigma = \frac{۴۰N}{۰/۰۰۲۵m^۲} = ۱۶۰۰۰pa\left(۱۶۰۰۰N/m^۲\right)}$$

---

[1] – فرمول وزن w=mg است که wوزن، m جرم و g ثابت عمودی یا ثابت گرانش می‌باشد. مقدار g با دو رقم اعشار ۹/۸۱ است که معمولاً آن را ۱۰ در نظر می‌گیرند؛ بنابراین نیروی وارد شده از طرف گلدان که ناشی از وزن آن می‌باشد برابر است با $w = ۴\times۱۰ = ۴۰N$، مقدار g به ارتفاع جرم مورد نظر و همچنین عرض جغرافیایی بستگی دارد، اما وقتی که جسم عملاً بر روی سطح زمین باقی بماند اغلب محاسبات مهندسی را می‌شود با فرض g برابر ۹/۸۱ و یا ۱۰ با دقت کافی انجام داد.

مسئله

۱-بر چوب راشی به ابعاد مقطع ۵×۵ سانتی‌متر ۸۶KN باردر جهت موازی الیاف وارد می شود ، تنش عمودی در این چوب برابر است با:

$p = ۸۶۰۰۰\text{N}$

$A = ۰/۰۵\text{m} \times ۰/۰۵\text{m} = ۰/۰۰۲۵\text{m}^۲$

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad \sigma = \frac{۸۶۰۰۰N}{۰/۰۰۲۵m^۲}$$

$$\sigma = ۳۴/۴ \times ۱۰^۶\, pa\left(N/m^۲\right) = ۳۴/۴\ \text{Mpa}$$

۲- به چوب چناری ۵۰KN بار وارد شده است، تنش عمودی در این چوب را محاسبه نمایید، ابعاد مقطع ۳×۱۵ سانتی‌متر.

....

....

....

....

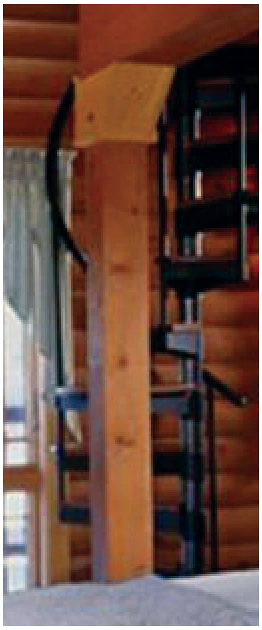
۳- تنش عمودی در یک قطعه چوب ممرز به ابعاد ۲/۵×۲/۵×۱۰ سانتی‌متر ۵۰۰۰Kpa است، مقدار نیروی ایجاد کننده این تنش را محاسبه نمایید.

$A = ۰/۰۲۵ \times ۰/۰۲۵ = ۰/۰۰۰۶۲۵m^۲ \qquad \sigma = \dfrac{p}{A}$

$p = ?$

$\sigma = ۵۰۰۰۰۰۰pa$

$$۵۰۰۰۰۰۰ = \frac{p}{۰/۰۰۰۶۲۵} \qquad p = ۳۱۲۵N = ۳/۱KN$$



۴- ستون شکل مقابل حداکثر قادر به تحمل تنش معادل ۴۰۰ Mpaاست، محاسبه کنید که وارد شدن ۳۰KN بار به این ستون موجب شکست آن می‌گردد یا خیر؟ ابعاد مقطع ستون ۱۰×۱۰ cm.

$\sigma = ۴۰۰ \times ۱۰^۶\, pa$

$A = ۰/۱ \times ۰/۱ = ۰/۰۱\text{m}^۲$

$p = ?$ نیرویی که تیر قادر به تحمل آن است.

$$\sigma = \frac{p}{A}$$

$$۴۰۰ \times ۱۰^۶ = \frac{p}{۰/۰۱}$$

$p = ۴ \times ۱۰^۶\,\text{N} > ۳۰۰۰۰\text{N}$ چون تحمل تیر از نیروی وارد شده به آن بیشتر است شکستی اتفاق نمی افتد.

۵-قصد داریم چهار پایه‌ای مطابق شکل مقابل را از چوب صنوبر بسازیم، اگر این چوب قادر به تحمل حداکثر ۳۰_{Kpa} تنش عمودی باشد مساحت هر پایه آن را برحسب متر مربع محاسبه کنید. قرار است به این چهار پایه ۲۰۰_N بار وارد شود.

$$p=\frac{۲۰۰}{۴}=۵۰N$$ ($\frac{۱}{۴}$ نیرو به هر پایه وارد می شود.)

$$\sigma=۳۰۰۰۰pa$$

$$۳۰۰۰۰=\frac{۵۰}{A}$$

$$A=۰/۰۰۱۶m^۲$$

۶- مسئله قبل را برای حالتی که از چوب راش با تحمل حداکثر تنش $۷۰Kpa$ استفاده کنیم ، محاسبه نمایید.

....

....

....

....

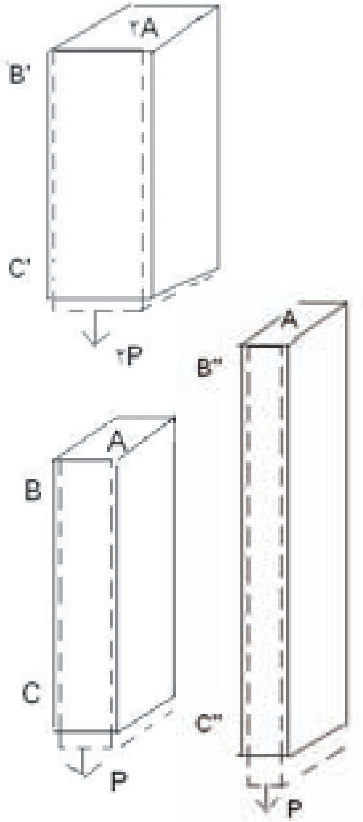
۸-۶ تنش و کرنش، بارگذاری محوری

سازه باید طوری طراحی شود که در اثر بارهای وارده تغییر شکلی محسوس در آن حادث نگردد، از تحلیل تغییر شکل‌ها در تعیین حداکثر تنشی که می‌توان بر هر عضو سازه وارد ساخت استفاده می‌شود.

۸-۶-۱ کرنش عمودی تحت بار محوری

قطعه چوب BC به طول L و سطح مقطع یکنواخت A را در نظر می‌گیریم که در نقطه B ثابت شده است. اگر باری مانند P را به انتهای C وارد کنیم طول نمونه زیاد می‌شود (شکل ۲۰-۶) با رسم منحنی مقدار P نسبت به تغییر شکل δ (حرف یونانی دلتا) نمودار مشخصی برای بار – تغییر شکل به دست می‌آوریم (شکل ۲۱-۶).

با اینکه این نمودار شامل اطلاعاتی مفید برای تحلیل میله مورد بررسی است، از آن نمی‌توان مستقیماً برای پیش‌بینی تغییر شکل میله‌ی دیگری با همان جنس ولی با ابعاد دیگر، استفاده کرد. در حقیقت مشاهده می‌کنیم که هرگاه تغییر شکل d ایجاد شده در میله‌ی BC بر اثر بار P باشد، در میله‌ی $B'C'$ به طول L و سطح مقطع دو برابر، ۲p بار



شکل ۲۰-۶- خط پیوسته وضعیت اولیه میله و خط چین پس از کشیده شدن را نشان می‌دهد. طول میله قرار گرفته در معرض بار کشش افزایش یافته و عرض آن کاهش می‌یابد.

لازم اســت تا همان ازدیاد طول ایجاد شود. یادآور می‌شویم که در هر دو حالت، مقدار تنش برابر با $\sigma = P/A$ است. از طرف دیگر، بار P وارد شده بر میله‌ی $B''C''$ با همان مساحت سطح مقطع میله BC ولی با طول دو برابر، باعث تغییر شکل ۲δ می‌شود.

یعنی اگر طول میله دو برابر شـود، افزایش طول ایجاد شــده در اثر همان مقدار بار قبلی دو برابر خواهد شــد، ولی در هر دو حالت نسـبت تغییر شکل بر طول میله برابر است با $\frac{\delta}{L}$.

اکنون می‌توانیم مفهوم کرنش را معرفی کنیم:

کرنش عمودی در یک میله‌ی تحت بارگذاری محوری را با تغییر شکل در طول واحد آن میله تعریف می‌کنیم. با نشان دادن کرنش عمودی با ε (حرف یونانی اپسیلون) می‌نویسیم:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{\delta}{L}}$$

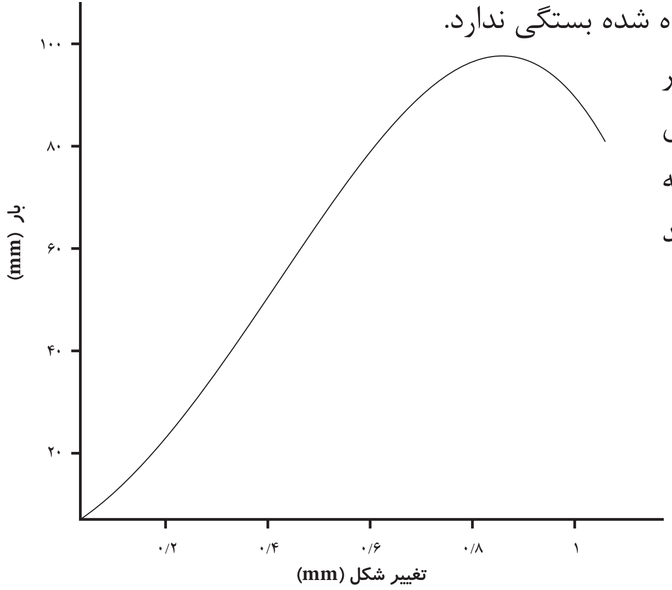
δ: افزایش یا کاهش بوجود آمده در اثر اعمال نیرو

L: طول اولیه نمونه

ε: فاقد واحد و علامت (قدر مطلق آن در نظر گرفته می شود) است ولی واحد L و d را می بایست یکسان در نظر گرفت.

نمودار تنش $\sigma = \frac{P}{A}$ نسـبت به کرنش $\varepsilon = \frac{\delta}{L}$ برای هر ماده مشخصه‌ای انحصاری خواص ماده بوده و به ابعاد نمونه به کار برده شده بستگی ندارد.

همان‌طور که گفته شد چون تغییر شکل و طول برحسب یکای همانندی بیان می‌شـوند، کرنش عمودی ε که از تقسـیم d بر L به دسـت می‌آید کمیتی بدون واحد است.



شکل ۲۱-۶

مثال

طول پایه‌ی یک صندلی به طول ۴۰ سـانتی‌متر پس از نشستن یک فرد بالغ بر روی آن ۰/۰۲ میلی‌متر کاهش می‌یابد، کرنش پایه عبارت است از:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{\delta}{L}}$$

$$\boxed{\varepsilon = \frac{۰/۰۲}{۴۰۰} = ۰/۰۰۰۰۵ = ۵\times۱۰^{-۵}}$$

مسئله

۱-طول یک ستون چوبی به ابعاد ۱۰×۱۰×۲۸۰ سانتی متر پس از نصب سقف ساختمان ۵ میلی‌متر کاهش یافته است، کرنش بوجود آمده در این ستون را محاسبه نمایید.

$\delta = ۵mm$

$L = ۲۸۰۰mm$

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

$$\varepsilon = \frac{۵}{۲۸۰۰} \qquad \varepsilon = ۰/۰۰۱۸ = ۱۸ \times ۱۰^{-۴}$$

۲- کرنش نمونه‌های ب، پ و ت سؤال ۱۰ صفحه ۸۴ را در نقطه وارد شدن حداکثر نیرو محاسبه نمایید.

طول اولیه نمونه نمودار ب: ۶۵ سانتی‌متر

طول اولیه نمونه نمودار پ: ۲۲/۵ سانتی‌متر

طول اولیه نمونه نمودار ت: ۲۲/۵ سانتی‌متر

نمودار ب:

$\delta = ۵/۸mm$ در نقطه حداکثر نیرو

$L = ۶۵cm = ۶۵۰mm$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{\mathrm{L}}$$

$$\varepsilon = \frac{۵/۸۰}{۶۵۰} \simeq /۰۰۹ = ۹ \times ۱۰^{-۳}$$

نمودار پ:

$\delta = ۶/۹mm$ در نقطه حداکثر نیرو

$L = ۲۲/۵cm = ۲۲۵mm$

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

$$\varepsilon = \frac{۶/۹}{۲۲۵} = ۰/۰۳$$

نمودار ت:

در نقطه حداکثر نیرو $\delta = ۲mm$

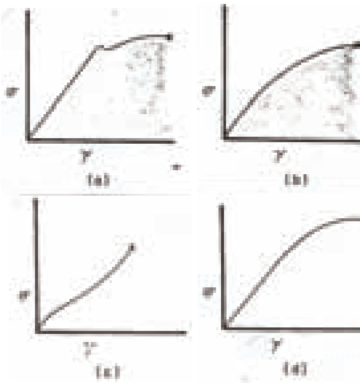
$L = ۲۲/۵cm = ۲۲۵mm$

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

$$\varepsilon = \frac{۲}{۲۲۵} = ۰/۰۰۸۹ = ۸۹ \times ۱۰^{-۴}$$

شـکل ۲۲-۶ میله گرد فولادی گسیخته شده پس از انجام آزمایش کشش

۹-۶ نمودار تنش- کرنش



شـکل ۲۳-۶، نمونه منحنی‌های تنـش و تغییر طول نسبی چهار نوع مصالح

a: فولاد ساختمانی b: چدن c: لاستیک d: چوب

منحنی نشان دهنده رابطه‌ی بین تنش و کرنش در یک ماده معین مشخصه مهمی برای آن ماده اسـت (شـکل ۳۲-۶). برای بدسـت آوردن این منحنی معمولاً روی ماده مورد نظر آزمون کشش انجام می‌دهند (شکل ۲۲-۶ و ۲۴-۶).

ملاحظه می‌شود که هر نوع ماده دارای منحنی تنش - تغییر طول نسبی خاصی است.

برای ترسـیم نمودار تنش- کرنش (تغییر طول نسبی)، نمونه ماده مورد نظر را در داخل گیره‌های دستگاه کشش و فشار محکم می‌کنند.

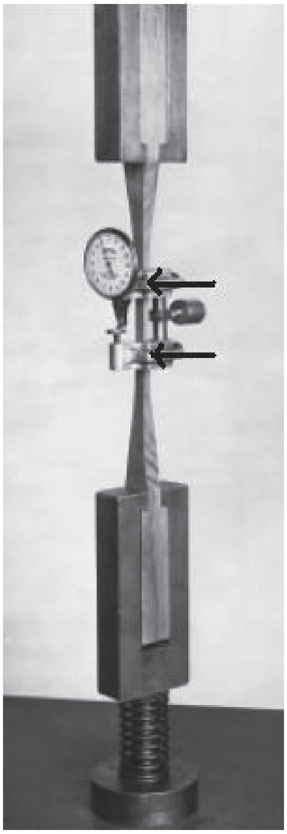
با اعمال و افزایش بار کششی، فاصله علامت گذاری شده بین دو علامت معیار (فلشها در شکل ۲۴-۶) برای اندازه‌گیری تغییر طول افزایش می‌یابد، این فاصله به وسیله اندازه‌گیر عقربه‌ای (سـاعت اندازه‌گیر) اندازه‌گیری و افزایش طول $\delta = L - L_0$ به ازای هر مقدار P ثبت می‌شود.

تنش s از تقسـیم بار بر مساحت سطح مقطع اولیه A_0 نمونه، و کرنش از تقسیم افزایش طول d بر طول معیار اولیه L_0 محاسبه می‌شود. سپس می‌توان منحنی نمودار تنش- کرنش را با ترسـیم eها (کرنش ها) روی محور طول بر s ها (تنش ها) روی محور عرضی دسـتگاه مختصات به دست آورد.

در میان نمودارهای تنش- کرنش مواد مختلف می‌توان مشـخصه‌هایی را تشخیص داد و براساس این مشخصه‌ها مواد را به دو گروه اصلی شکل‌پذیر و شکننده تقسیم‌بندی کرد.

در مواد شـکل‌پذیر مانند فولاد سـاختمانی وقتی بار وارد شده به نمونه به مقدار حداکثر می‌رسـد قطر قسمتی از نمونه شروع به کاهش می‌کند، این پدیده را باریک شدن می‌نامند. پس از باریک شـدن کافی است بارهای کوچکی به نمونه وارد شود تا افزایش طول بیشتری ایجاد شده و در نهایت نمونه گسیخته می‌شود (شکل ۲۲-۶).

در مواد شکننده که چدن، شیشه و سنگ را شامل می‌شوند باریک شدن وجود نداشته و گسـیختگی در سطحی عمود بر بار اتفاق می‌افتد. رفتار چوب و چند سازه‌های چوبی نیز در مقابل کشیده شدن شبیه به مواد شکننده است.



شـکل ۲۴-۶، کرنش سـنج نصب شده به نمونه چوبی در حال کشیده شدن

رابطه بین نیرو و تغییر شکل چوب در تمام موارد متأثر از تغییرات طول مدت بارگذاری، دما و رطوبت است بطوریکه تقریباً تمام خواص مکانیکی با افزایش طول مدت بارگذاری، دما و رطوبت کاهش می یابند، همچنین متأثر از توجیه محورهای تقارن، سرعت بارگذاری و مقدار تغییر شکل نیز می‌باشد.

در عمل، هنگام انجام آزمایش، تنش و تغییر طول نسبی اندازه‌گیری نمی‌شود بلکه نیرو و تغییر مکان متناظر اندازه‌گیری می‌گردند. در برخی دستگاه‌های مجهز به کامپیوتر نرم‌افزار مربوطه قادر به تبدیل نیرو و تغییر شکل به تنش و تغییر طول نسبی است بنابراین منحنی پیوسته تنش و تغییر طول نسبی توسط دستگاه رسم می‌شود و در غیر این صورت مقدار نیرو و تغییر شکل به طور همزمان یادداشت می‌شود. از منحنی نیرو و تغییر شکل می‌توان با استفاده از فرمول زیر برای محاسبه مدول الاستیسیته استفاده کرد و نیازی به تبدیل و رسم منحنی تنش و تغییر طول نسبی نخواهد بود.

$$\boxed{E=\frac{P_p\mathbf{L}}{A.\delta_{pl}}}$$

E: مدول الاستیسیته

P_{pl} : نیرو در حد تناسب

L: طول اولیه

δ_{pl} : تغییر طول ایجاد شده در اثر وارد شدن نیرو (در حد تناسب)

A: سطح مقطع اولیه نمونه

۱۰–۶ الاستیسیته

الاستیسیته به این معنی است که تغییر طول نسبی (کرنش) یا تغییر شکل حاصل از وارد شدن تنش به یک جسم جامد پس از حذف آن به طور کامل ترمیم می‌شود (جسم به حالت اول بر می‌گردد). خواص الاستیک از ویژگی‌های خاص هر جسم جامد است، بدین معنی که فنر به عنوان مدلی از یک جسم کاملاً الاستیک بوده که پس از حذف نیروی وارد شده بر آن به وضعیت اول خود بر می‌گردد.

هر نوع ماده جامدی در یک حدمعین از تنش دارای خاصیت الاستیک بوده و افزایش تنش بیش از این حد موجب تغییر شکل پلاستیک (دائمی) و در نهایت شکست جسم می‌گردد.

حد الاستیک مانند سایر ویژگی‌های چوب در گونه‌های مختلف متفاوت است. در یک گونه مشخص نیز این فاکتور مانند سایر ویژگیها با توجه به این‌که نمونه از شاخه، تنه و یا ریشه درخت استحصال شده باشد و هم‌چنین با توجه به شرایط رویش تغییر می‌کند.

حد الاستیک با افزایش رطوبت تا نقطه اشباع الیاف کاهش می‌یابد، همچنین تغییر شکل الاستیک حتی به مقدار کم ممکن است در اثر گذشت زمان (طولانی شدن مدت زمان بارگذاری)به تغییر شکل پلاستیک تبدیل گردد.

سئوال

به نظر شما تبدیل تغییر شکل الاستیک در اثر گذشت زمان به تغییر شکل پلاستیک به چه معناست؟ توضیح دهید.

....

....

....

....

Robert Hooke (۱۶۳۵-۱۷۰۳) ایده الاستیک مدرن را پی‌ریزی کرد. او در سال ۱۶۷۸ قانون معروف تناسب نیرو و تغییر مکان را بیان داشت: «قدرت هر فنر با کشش مربوط متناسب است»

بسیاری از مواد جامد از خود رفتار الاستیک نشان می‌دهند، باید دانست که شرط اساسی رفتار الاستیک لحظه‌ای و قابل برگشت بودن تغییر شکل به طور کامل در اثر برداشتن بار است.

با وجودی که هیچ ماده‌ای حتی به ازای تغییر شکل کوچک الاستیک کامل نیست از مدل فنری که از لحاظ فیزیکی دارای رفتار الاستیک کامل می‌باشد جهت تقریب خواص بسیاری از مواد استفاده می‌گردد.

از رسم مشاهدات تجربی تنش و تغییر طول نسبی- چنانچه تغییر طول نسبی کوچک باشد- خط مستقیمی به دست می‌آید که شیب آن ثابتی از تناسب بین تنش و تغییر طول (شکل) نسبی است. این ثابت مدول الاستیسیته یا مدول یانگ نام دارد و با E نشان داده می‌شود:

$$\boxed{E = \frac{s}{\varepsilon}}$$

s سیگما تنش است اما e اپسیلون واحد ندارد لذا واحد E با تنش یکی است.

در سیستم متریک (SI)، واحد تنش پاسکال می‌باشد.

$$\boxed{\left(۱pa = ۱N/m^{۲}\right)}$$

مسئله

۱- تنش، کرنش و مدل الاستیسیته نمونه‌های ب، پ و ت سؤال ۱۰ صفحه ۸۴ را براساس بار وارد شده و تغییر شکل متناظر نقطه حدتناسب (نقطه‌ای که منحنی از خط مستقیم منحرف می‌گردد) محاسبه نمایید.

الف) ابعاد اولیه نمونه مربوط به نمودار ب: ۶۰×۲×۲ cm

ب) ابعاد اولیه نمونه مربوط به نمودار پ: ۲۰×۲×۲ cm

پ) ابعاد اولیه نمونه مربوط به نمودار ت: ۲۰×۲×۲ cm

پاسخ الف)تنش بر اساس نمودار ب (نقطه حد تناسب):

$$\mathrm{S}_{(\text{حد تناسب})} = \frac{P}{A}$$

(حد تناسب)

$$\mathrm{p} = ۱/۶\mathrm{KN} = ۱۶۰۰\mathrm{N}$$

$$\mathrm{A} = ۰/۰۲\mathrm{m} \times ۰/۰۲\mathrm{m} = ۰/۰۰۰۴\mathrm{m}^{۲} = ۴\times۱۰^{-۴}\mathrm{m}^{۲}$$

$$\mathrm{S}_{(\text{حد تناسب})} = \frac{۱۶۰۰\mathrm{N}}{۰/۰۰۰۴m}$$

$$\mathrm{S}_{(\text{حد تناسب})} = ۴۰۰۰۰۰۰pa = ۴Mpa$$

کرنش بر اساس نمودار ب (نقطه حد تناسب):

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

$$L = ۶۰cm = ۶۰۰mm$$

$$\delta = ۱/۶mm$$

$$\varepsilon = \frac{۱/۶}{۶۰۰}$$

$$\varepsilon = ۰/۰۰۲۶۶۶۷ = ۲۷\times۱۰^{-۴}$$

مدول الاستیسیته بر اساس نمودار ب (نقطه حد تناسب):

روش اول

$$E = \frac{\mathrm{S}}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{۴\times۱۰^{۶}\,pa}{۰/۰۰۲۶۶۶۷} = ۱۴۹۹۹۹۸۱۲۵ = ۱۵۰\times۱۰^{۹}\,pa \simeq ۱/۵Gpa$$

روش دوم

$$\delta = \frac{pL}{EA}$$

$$۰/۰۰۱۶m = \frac{۱۶۰۰N\times۰/۶m}{E\times۰/۰۰۰۴m^{۲}}$$

$$E = ۶۴\times۱۰^{-۸} = ۹۶۰$$

$$E = \frac{۹۶۰}{۶۴\times۱۰^{-۸}} = ۱۵۰۰\times۱۰^{۶}\,pa = ۱۵۰۰\mathrm{Mpa} = ۱/۵\mathrm{Gpa}$$

....

....

....

....

....

....

....

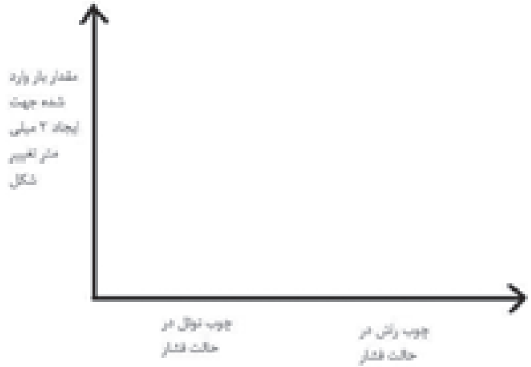
۲- الف: مقدار بار وارد شــده به نمونه‌های ب، پ و ت سؤال ۱۰ صفحه ۸۴ برای ایجاد ۲ میلی‌متر تغییر شــکل در هر یک از این نمونه‌ها، براساس منحنی موجود، چند نیوتن است؟

....

....

....

ب- با اســتفاده از پاســخ بخش الف نمودار ستونی زیر را برای نمودارهای پ و ت ترسیم نمایید.



پ- براســاس نمودار فوق دلیل اختلاف بار اعمال شــده به نمونه‌های چوبی برای ایجاد تغییر شکل مساوی را توضیح دهید.

....

....

....

....

....

....

۳- در شکل‌های زیر الف: لایه‌های چوب بهاره و تابستانه را مشخص کنید.

ب: با توجه به شــکل دلیل تفاوت کیفیت ســنباده خوری ســطوح شــعاعی و مماسی را

توضیح دهید.

....

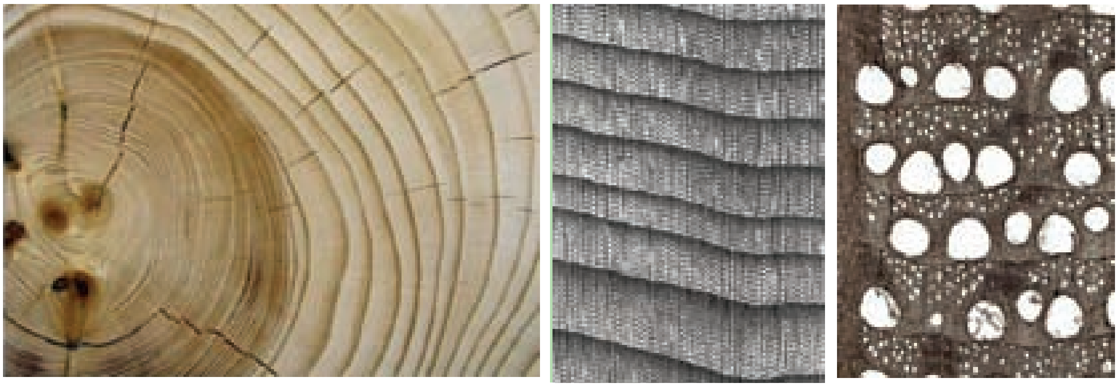
....

....

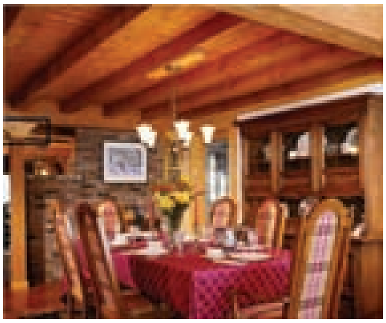
....

....

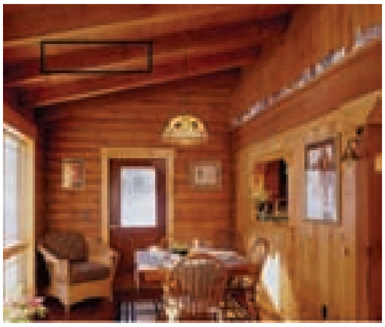
....



۴- ویژگی مقاومتی نشان داده شده در داخل کادر هر یک از اشکال را در زیر آن نوشته و یک شکل دیگر که نشان دهنده همان خاصیت مقاومتی باشد با راهنمایی معلم خود در کادر مربوطه ترسیم نمایید.



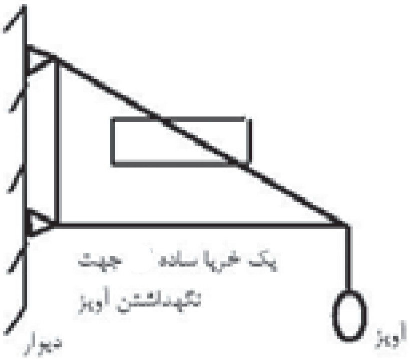
....



....

....

....


یک خرپا ساده جهت
نگهداشتن آویز
دیوار
آویز

....

....