

فصل ششم

ویژگی های

مقاومتی چوب



پیش‌آزمون



- ۱- به نظر شما ابعاد مقطع پایه یک صندلی براساس کدام یک از موارد زیر تعیین می‌گردد؟
(الف) زیبایی و مقاومت
(ب) قیمت مواد اولیه و مسائل اقتصادی
(پ) سلیقه شخصی طراح و مصرف کننده
(ت) تمام موارد
- ۲- کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح می‌باشد؟
(الف) مقاومت چوب در حالت فشار موازی الیاف بیشتر از عمود بر الیاف است.
(ب) مقاومت چوب در حالت فشار عمود بر الیاف بیشتر از موازی بر الیاف است.
(پ) مقاومت چوب در حالت‌های موازی و عمود بر الیاف برابر می‌باشد.
(ت) هنگامی که یک گلدان را بر روی صفحه میزی قرار می‌دهیم ...
- ۳- (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.
(ت) به نظر شما آیا جمله زیر صحیح است؟ توضیح دهید.
- ۴- «هنگامی که بر روی قطعه چوبی باری قرار داده می‌شود با توجه به ابعاد چوب، گونه 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 پایه ساخته شده از یک گونه چوبی به ابعاد $40 \times 4 \times 4$ سانتی متر و $80 \times 4 \times 4$ سانتی متر 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 پایه کوتاه‌تر دو برابر پایه بلندتر است.

ت) کاهش طول پایه بلندتر دو برابر پایه 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 و منحصر به همان ماده 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.

علم مکانیک

مکانیک علمی است که شرایط سکون یا حرکت اجسام تحت تأثیر نیروها^۱ را پیش‌بینی و توصیف می‌کند. بخشی از این علم در مورد اجسام صلب^۲ است؛ مکانیک چوب نیز بخشی از مکانیک اجسام صلب می‌باشد (مکانیک اجسام صلب به دو بخش استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شود که بخش استاتیک با اجسام ساکن سر و کار دارد و بخش دینامیک با اجسام در حال حرکت). مکانیک یک علم فیزیکی است زیرا با مطالعه پدیده‌های فیزیکی سروکار دارد. اما بعضی‌ها مکانیک را مربوط به ریاضیات می‌دانند، در حالی که خیلی‌ها از آن به عنوان موضوع هندسی یاد می‌کنند. مکانیک پایه اغلب علوم هندسی است و پیش‌نیاز گریز ناپذیر مطالعه آنهاست؛ فقط متکی به تجربه یا مشاهده نیست، به ریاضیات شبیه است ولی یک علم محض نیست بلکه یک علم کاربردی است.

۱- نیرو اثر یک جسم بر جسم دیگر است.

۲- اجسامی که فرض می‌کنیم در اثر وارد شدن نیرو تغییر شکلی در آنها ایجاد نمی‌شود. در طبیعت هیچ ماده صلب در صلبی وجود ندارد.

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 آن را با یک بردار نشان می‌دهند.



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



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 متحرک متناسب با مقدار نیرو و جرم آن می‌باشد.



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

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 اندازه ساخته و یا طراحی می‌کنند که تغییر شکل در اثر اعمال بار بسیار کوچک بوده و اثری بر تعادل سازه نداشته باشد.



شکل ۳-۶ (الف)



شکل ۳-۶ (ب)



شکل ۴-۶



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

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

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.

جزئی بودن تغییر شکل اجزای 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 است که هر عضو سازه قادر است در حالت‌های مختلف (کشش، خمش، فشار و ...) تحمل کند و همچنین مبنای تعیین ابعاد اعضای سازه می‌باشد.

منحنی نیرو و تغییر شکل در آزمایش چوب

فرض کنید که یک نمونه چوبی را تحت بارگذاری 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.^۱ 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.^۲

۱- برای درک بهتر مفهوم الاستیک دو انتهای قطعه چوبی از گونه‌ای سبک مانند نوئل یا صنوبر به طول حدود ۶۰ سانتی‌متر و مقطع ۱×۱ سانتی‌متر را با دو دست نگه داشته و دست‌ها 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).

۲- نمودار تنش-کرنش در صفحات بعدی توضیح داده شده است.

ناحیه اول نمودار شکل ۶-۷ (AB) به علت ردیف نبودن در دستگاه آزمایش و ناصافی سطح به وجود 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 ناحیه اول صرف نظر می‌گردد.

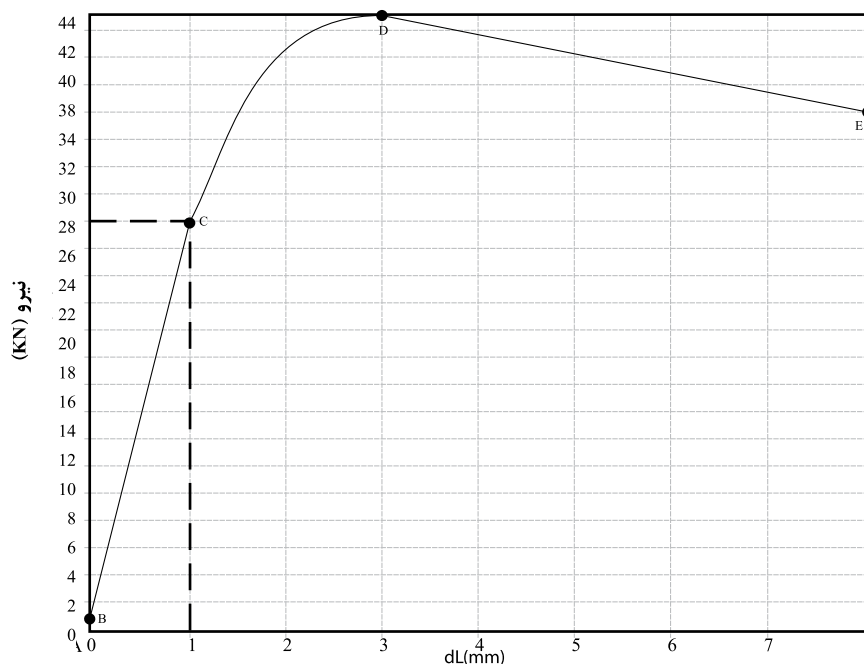
در منحنی‌های نیرو و تغییر شکل می‌توان خط مماسی بر ناحیه دوم (BC) رسم کرد. نقطه‌ای که در آن منحنی از خط مستقیم منحرف می‌شود به حد تناسب مرسوم است. نقطه D حداکثر نیرویی است که چوب قبل از شکست قادر به تحمل آن بوده است. از این نقطه به بعد با توجه به افزایش شکست ایجاد شده مقاومت نمونه نیز کاهش یافته و نمودار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



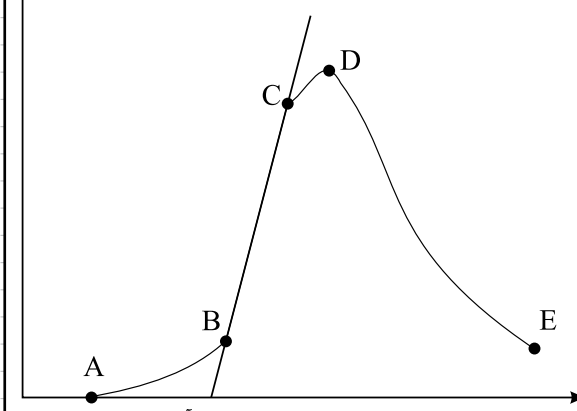
شکل ۶-۶- نمونه چوبی شکسته شده در اثر بار کششی

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 ۶-۸ نشان داده شده است. این حالت در مواقعی که بار اعمال شده کمتر از حد تناسب (نقطه C نمودار شکل ۶-۸) باشد اتفاق می‌افتد، عواملی چون جهت اعمال بار بر چوب (طولی، شعاعی و مماسی)، مدت زمان اعمال بار، رطوبت و دمای محیط بر حد تناسب مؤثر و مقدار آن را افزایش یا کاهش می‌دهد.



شکل ۶-۸ نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب راش
A: شروع منحنی
C: حد تناسب (BC محدوده تناسب)
D: حداکثر مقاومت
dl: تغییر شکل طولی (deformation lexthy)



شکل ۶-۷ نمودار ترسیم شده بار تغییر شکل حاصل از آزمایش خمش چوب صنوبر
نقطه C: حد تناسب (PL)
نقطه AB: ردیف شدن اولیه
نقطه BC: الاستیک خطی
نقطه CD: ناحیه پلاستیک
نقطه DE: بعد از شکست
نقطه D: حداکثر مقاومت (u)



شکل ۹-۶ (الف)

شکل ۹-۶ الف- فنر، الگوی رفتار یک جسم کاملاً الاستیک است که پس از حذف نیرو (در این شکل کشش) به وضعیت اول باز می‌گردد.



شکل ۹-۶ ب- در این قطعه چوبی که مورد آزمایش مقاومت فشار موازی الیاف قرار گرفته تغییر شکل پلاستیک دائمی همراه با گسیختگی بین الیاف ایجاد شده است، اگر به این قطعه بیش از محدوده الاستیک بار وارد نمی‌شد پس از حذف بار به وضعیت اولیه خود بر می‌گشت.



شکل ۹-۱۰، تغییر شکل دائمی ایجاد شده در چوب راش پس از آزمایش فشار موازی الیاف



شکل ۹-۱۱، یک نمونه دستگاه مکانیکی کشش و فشار (تستینگ)، ظرفیت این دستگاه در حدود یک تن و انتقال نیرو از موتور به بخش متحرک به وسیله میله مارپیچ می‌باشد.



شکل ۹-۱۲- تعدادی از گیره‌های مورد استفاده برای آزمایش چوب و چند سازه‌های چوبی

تغییر شکل پلاستیک (دائم) در چوب

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 قطعه چوبی چون تغییر شکل فراتر از حد الاستیک است به شکل اولیه برنگشته و به عبارت دیگر تغییر شکل دائم در چوب به وجود 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.

بیشتر بدانیم



دستگاه‌های تعیین مقاومت چوب تحت کشش و فشار (دستگاه 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 به وسیله 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.

(سیستم اندازه‌گیری وزن در ترازوهای

دیجیتالی نمونه کوچکی از این نیروسنج 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).



شکل ۹-۱۳

در شکل ۶-۱۶ 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 ۶-۱۷ پمپ و جعبه روغن یک نوع دستگاه هیدرولیکی کشش و فشار با سیستم ساده را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۶



شکل ۶-۱۷



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



شکل ۶-۱۵- 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 صفحه بعد چندین سال می‌گذرد، هر بار فرد بالغی بر روی این صندلی می‌نشیند کرنش سنج یا ساعت اندازه‌گیر (ابزاری دقیق که قادر است تغییر



شکل اجسام را به دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری 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 برمی‌گردد، 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 اینکه 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 شده 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 را توضیح دهید.

.....

.....

.....

۷- فرض کنید در وسط طبقه کتابخانه گفته شده در سؤال 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.

.....

.....

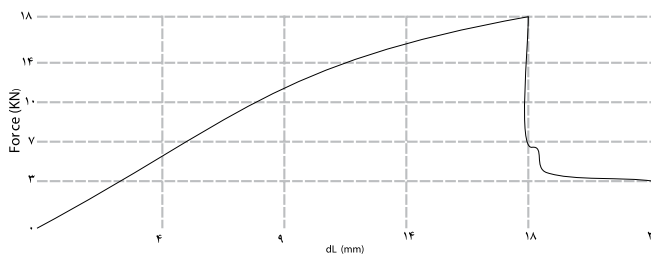
.....

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 ناحیه 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 صورتی که بار در نقطه وسط ناحیه پلاستیک از روی نمونه برداشته می‌شد با توجه به نمودار مربوطه تعیین نمایید.

الف) نمودار حاصل از آزمایش خمش چوب صنوبر



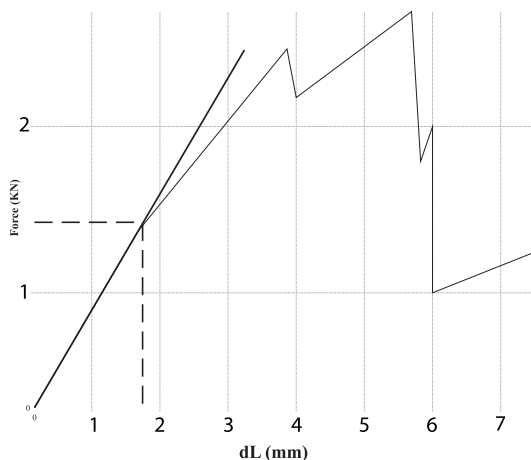
.....

.....

.....

.....

ب) نمودار حاصل از آزمایش کشش چوب نوئل



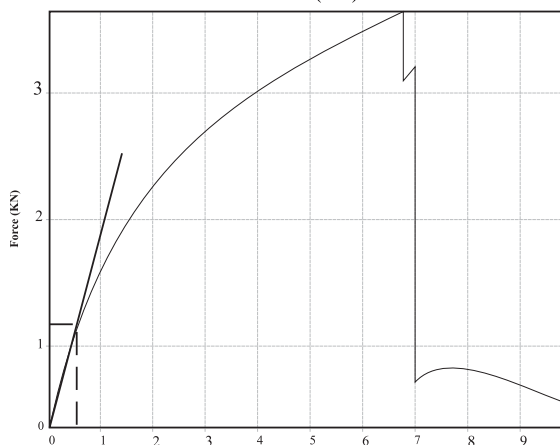
.....

.....

.....

.....

پ) نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب راش

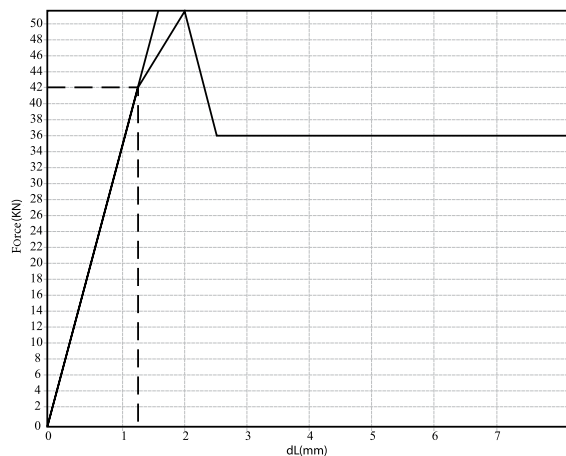


.....

.....

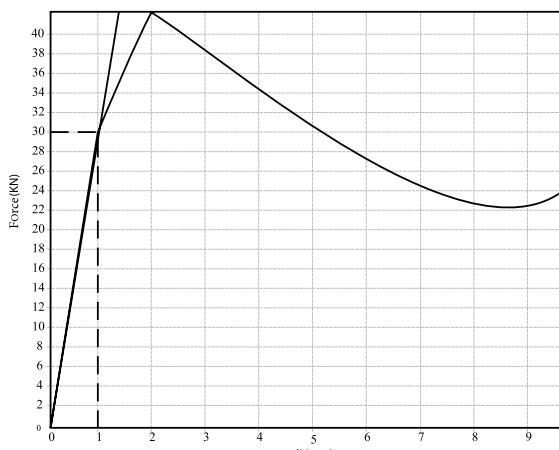
.....

.....



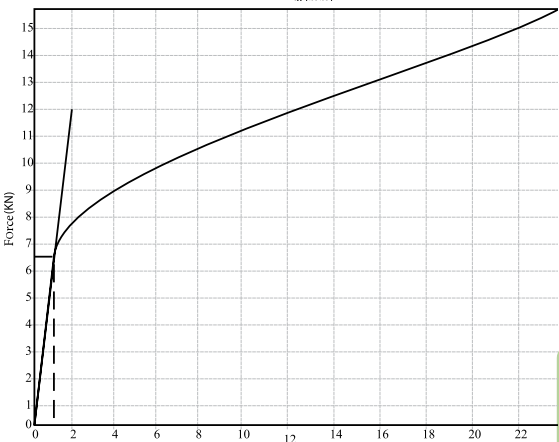
ت) نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب نوئل

.....



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

.....



ج) نمودار حاصل از آزمایش فشار موازی الیاف چوب نراد

.....

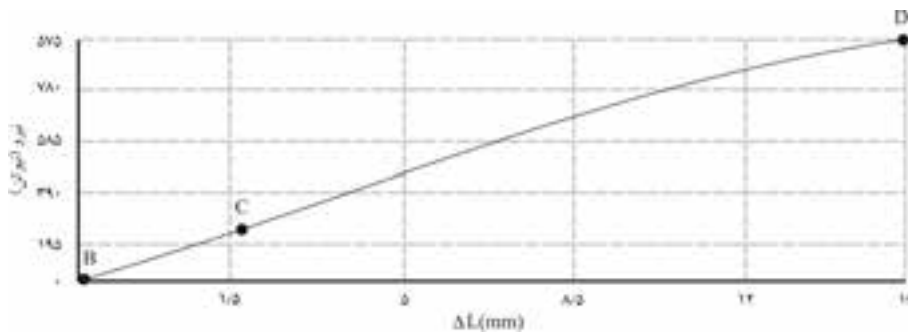
تعریف ویژگی‌های مقاومتی یا استحکام

چوب نیز همانند هر ماده جامد دیگری در برابر بارهای وارد شده تغییر شکل می‌دهد. همان‌طور که در بخش اول کتاب خوانده‌اید چوب عمدتاً از عناصری دوکی شکل و توخالی به نام آوند و فیبر (پهن‌برگان) یا تراکنید (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 می‌شود و این که نیرو در جهت موازی با الیاف، یا عمود بر الیاف 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، ناحیه قبل از شکست این نمودار از دو بخش خطی (BC) و غیرخطی (CD) تشکیل شده که ناحیه خطی به عنوان محدوده الاستیک در نظر گرفته می‌شود (در محدوده الاستیک نیز در صورت طولانی شدن مدت بارگذاری تغییر شکل دائم به وجود 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).



نمودار ۱۸-۶

تنش

مقاومت‌های چوب در گونه‌های یکسان با توجه به ابعاد متفاوت است؛ به عنوان مثال اگر فرض کنید میزان فشاری که در جهت موازی الیاف بر نمونه چوبی از گونه راش به ابعاد $5 \times 2 \times 2$ سانتی‌متر 100 نیوتن باشد نمی‌توان آن را برای تمام قطعات چوب راش در نظر گرفت، زیرا چنانچه ابعاد همین چوب به $15 \times 3 \times 3$ 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 50 مگاپاسکال ذکر می‌شود به این معنی است که می‌توان بر قطعه‌ای 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 فشاری (عمودی):

چهار پایه‌ای را در نظر بگیرید که گلدانی روی آن قرار داده شده است (شکل ۱۹-۶). اگر جرم گلدان ۴ کیلوگرم باشد، نیرویی معادل ۴ کیلوگرم نیرو یا ۴۰ نیوتن از طرف گلدان بر پایه‌های چهار پایه وارد می‌گردد.^۱

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 می‌کنیم، به دلیل عمود بودن سطح مقطع پایه بر جهت نیرو، تنش محاسبه شده را «تنش عمودی» می‌نامند. تنش عمودی با علامت σ (سیگما) نشان داده شده و با استفاده از فرمول ذیل محاسبه می‌گردد:

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

(سطح مقطع) ÷ (نیرو) = (سیگما، تنش یا فشار)

^۲F: نیروی وارد بر جسم بر حسب نیوتن

^۳A: 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 سانتی متر و سطح مقطع ۲۵ سانتی متر مربع تحت تأثیر نیرویی برابر ۴۰ نیوتن قرار گرفته است. تنش عمودی در این قطعه چوب برابر است با:

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

$$\sigma = \frac{40 \text{ N}}{0.0025 \text{ m}^2} = 16000 \text{ KPa} (16 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 16 \text{ MPa})$$

۱- فرمول وزن $w=mg$ است که w وزن، 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 $40 \text{ N} = 4 \times 10 = 40 \text{ N}$ ، 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.

۳-A: مخفف Area به معنای مساحت است.

۲-F: مخفف کلمه force است.

مسئله



۱- به یک قطعه چوب راش به ابعاد مقطع 5×5 سانتی متر 86 KN باری در جهت موازی الیاف وارد می شود، تنش عمودی در این چوب برابر است با:

$$F = 86000 \text{ N}$$

$$A = 0.05 \text{ m} \times 0.05 \text{ m} = 0.0025 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \sigma = \frac{86000 \text{ N}}{0.0025 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 34400 \times 10^6 \text{ Pa (N/m}^2\text{)} = 34.4 \text{ MPa}$$

۲- به چوب چناری 50 KN بار وارد شده است، تنش عمودی در این چوب را محاسبه نمایید. ابعاد نمونه $3 \times 3 \times 15$ سانتی متر.

.....

.....

.....

۳- تنش عمودی در یک قطعه چوب ممرز به ابعاد $2/5 \times 2/5 \times 10$ سانتی متر 5000 KPa است، مقدار نیروی ایجاد کننده این تنش را محاسبه نمایید.

$$A = 0.025 \text{ m} \times 0.025 \text{ m} = 0.000625 \text{ m}^2 \quad \sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = ?$$

$$\sigma = 5000000 \text{ Pa} \quad 5000000 = \frac{F}{0.000625} \quad F = 3125 \text{ N} = 3.1 \text{ KN}$$



۴- ستون شکل مقابل حداکثر قادر به تحمل تنش معادل 400 KPa است، محاسبه کنید که وارد شدن 20 KN بار به این ستون موجب شکست آن می گردد یا خیر؟ (ابعاد مقطع ستون $10 \times 10 \text{ cm}$).

$$\sigma = 400 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$A = 0.1 \times 0.1 = 0.01 \text{ m}^2$$

$$F = ? \quad \text{نیرویی که تیر قادر به تحمل آن است.}$$

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

$$400 \times 10^6 = \frac{F}{0.01}$$

چون تحمل تیر از نیروی وارد شده به آن بیشتر است شکستی اتفاق نمی افتد.

$$F = 4 \times 10^6 \text{ N} > 300000 \text{ N}$$



۵- قصد داریم چهار پایه‌ای مطابق شکل مقابل را از چوب صنوبر بسازیم، اگر این چوب قادر به تحمل حداکثر 30 Kpa تنش عمودی باشد مساحت هر پایه آن را بر حسب متر مربع محاسبه کنید. قرار است به این چهار پایه 200 N بار وارد شود.

$$F = \frac{200}{4} = 50 \text{ N} \quad \left(\frac{1}{4} \text{ نیرو به هر پایه وارد می شود.} \right)$$

$$\sigma = 30000 \text{ Pa}$$

$$30000 = \frac{50}{A}$$

$$A = 0.0016 \text{ m}^2$$

۶- مسئله قبل را برای حالتی که از چوب راش با تحمل حداکثر تنش 70 Kpa استفاده کنیم را محاسبه نمایید.

.....

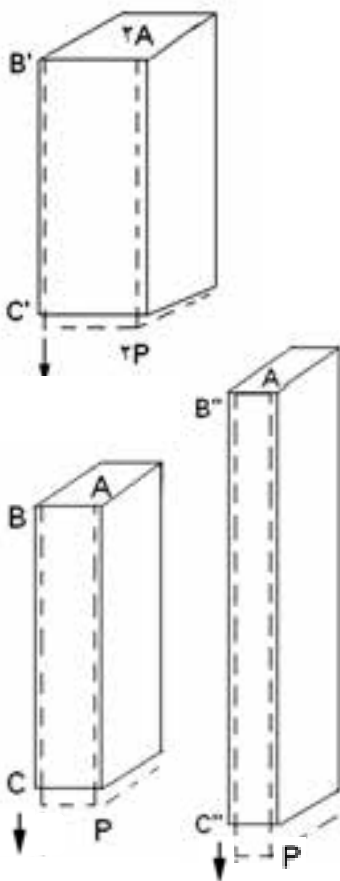
تنش و کرنش، بارگذاری محوری

کلیه سازه‌های چوبی بایستی طوری طراحی شوند که در اثر بارهای وارده تغییر شکل محسوسی در آنها ایجاد نگردد، بنابراین 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 F را به انتهای C وارد کنیم طول نمونه زیاد می‌شود (شکل ۶-۲۰) با رسم منحنی مقدار F نسبت به تغییر شکل ΔL (حرف یونانی دلتا) نمودار مشخصی برای بار- تغییر شکل به دست می‌آوریم (شکل ۶-۲۱).

با اینکه این نمودار شامل اطلاعاتی مفید برای تحلیل میله مورد بررسی است، از آن نمی‌توان مستقیماً برای پیش‌بینی تغییر شکل میله دیگری با همان جنس ولی با ابعاد دیگر، استفاده کرد. در حقیقت مشاهده می‌کنیم که هرگاه تغییر شکل (ΔL) ایجاد شده در میله BC بر اثر بار F باشد، در میله $B'C'$ به طول L و سطح مقطع دو برابر $2F$ بار



شکل ۶-۲۰- 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 است تا همان ازدیاد طول ایجاد شود. یادآور می‌شویم که در هر دو حالت، مقدار تنش برابر با $\sigma = \frac{F}{A}$ است. از طرف دیگر، بار F وارد شده بر میله $B''C''$ با همان مساحت سطح مقطع میله BC ولی با طول دو برابر، باعث تغییر شکل ΔL می‌شود.

یعنی اگر طول میله دو برابر شود، افزایش طول ایجاد شده در اثر همان مقدار بار قبلی دو برابر خواهد شد، ولی در هر دو حالت نسبت تغییر شکل بر طول میله برابر است با $\frac{\Delta L}{L}$. اکنون می‌توانیم مفهوم کرنش را معرفی کنیم:

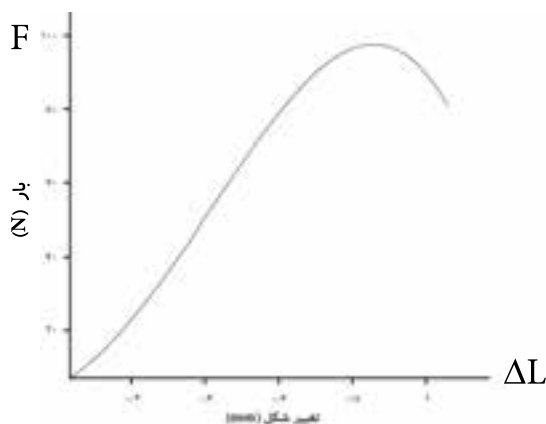
کرنش عمودی در یک میله تحت بارگذاری محوری را با تغییر شکل در طول واحد آن میله تعریف می‌کنیم. با نشان دادن کرنش عمودی با ϵ (حرف یونانی اپسیلون) می‌نویسیم:

$\frac{\Delta L}{L}$: افزایش یا کاهش به‌وجود آمده در اثر اعمال نیرو
 L : طول اولیه نمونه

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

ϵ : فاقد واحد و علامت (قدر مطلق آن در نظر گرفته می‌شود) است ولی واحد L و ΔL را می‌بایست یکسان در نظر گرفت.

نمودار تنش $\sigma = \frac{F}{A}$ نسبت به کرنش $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ برای هر ماده مشخصه‌ای انحصاری خواص ماده بوده و به ابعاد نمونه به کار برده شده بستگی ندارد.



شکل ۶-۲۱

همان‌طور که گفته شد چون تغییر شکل و طول برحسب یکای همانندی بیان می‌شوند، کرنش عمودی ϵ که از تقسیم ΔL بر L به دست می‌آید کمیتی بدون واحد است.

مثال

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

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

$$\epsilon = \frac{0/02}{400} = 0/00005 = 5 \times 10^{-5}$$

مسئله



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

$$\begin{aligned} \Delta L &= 5 \text{ mm} \\ L &= 2800 \text{ mm} \\ \varepsilon &= \frac{\Delta L}{L} \\ \varepsilon &= \frac{5}{2800} \quad \varepsilon = 0.0018 = 18 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

۲- کرنش نمونه‌های ب، پ و ت سؤال ۱۰ صفحه ۸۶ 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:

$$\begin{aligned} \Delta L &= 5/8 \text{ mm} \quad \text{در نقطه حداکثر نیرو} \\ L &= 65 \text{ cm} = 650 \text{ mm} \\ \varepsilon &= \frac{\Delta L}{L} \\ \varepsilon &= \frac{5/8}{650} = 0.009 = 9 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

نمودار پ:

$$\begin{aligned} \Delta L &= 6/9 \text{ mm} \quad \text{در نقطه حداکثر نیرو} \\ L &= 22/5 \text{ cm} = 225 \text{ mm} \\ \varepsilon &= \frac{\Delta L}{L} \\ \varepsilon &= \frac{6/9}{225} = 0.03 \end{aligned}$$

نمودار ت:

$\Delta L = 2 \text{ mm}$ در نقطه حداکثر نیرو

$$L = 22/5 \text{ cm} = 225 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon = \frac{2}{225} = 0.0089 = 89 \times 10^{-4}$$



شکل ۶-۲۲ میلۀ گرد فولادی گسیخته شده پس از انجام آزمایش کشش

نمودار تنش- کرنش

منحنی نشان دهنده رابطه بین تنش و کرنش در یک ماده معین مشخصه مهمی برای آن ماده است (شکل ۶-۲۳). برای به دست آوردن این منحنی معمولاً روی ماده مورد نظر آزمون کشش انجام می دهند (شکل ۶-۲۲ و ۶-۲۴).

ملاحظه می شود که هر نوع ماده دارای منحنی تنش - تغییر طول نسبی خاصی است. برای ترسیم نمودار تنش- کرنش (تغییر طول نسبی)، نمونه ماده مورد نظر را در داخل گیره های دستگاه کشش و فشار محکم می کنند.

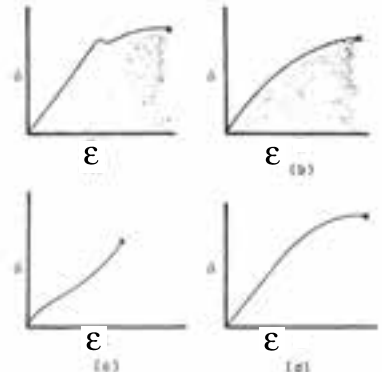
با اعمال و افزایش بار کششی، فاصله علامت گذاری شده بین دو علامت معیار (فلش ها در شکل ۶-۲۴) برای اندازه گیری تغییر طول افزایش می یابد. این فاصله به وسیله اندازه گیر عقربه ای (ساعت اندازه گیر) اندازه گیری و افزایش طول $L_1 - L_0 = \Delta L$ به ازای هر مقدار F ثبت می شود.

تنش σ از تقسیم بار بر مساحت سطح مقطع اولیه L_0 نمونه، و کرنش از تقسیم افزایش طول ΔL بر طول معیار اولیه L_0 محاسبه می شود. سپس می توان منحنی نمودار تنش- کرنش را با ترسیم ε ها (کرنش ها) روی محور طول (افقی) بر σ ها (تنش ها) روی محور عرضی دستگاه مختصات به دست آورد.

در میان نمودارهای تنش- کرنش مواد مختلف می توان مشخصه هایی را تشخیص داد و براساس این مشخصه ها مواد را به دو گروه اصلی شکل پذیر و شکننده تقسیم بندی کرد.

در مواد شکل پذیر مانند فولاد ساختمانی وقتی بار وارد شده به نمونه به مقدار حداکثر می رسد قطر قسمتی از نمونه شروع به کاهش می کند، این پدیده را باریک شدن می نامند. پس از باریک شدن کافی است بارهای کوچکی به نمونه وارد شود تا افزایش طول بیشتری ایجاد شده و در نهایت نمونه گسیخته می شود (شکل ۶-۲۲).

در مواد شکننده که چدن، شیشه و سنگ را شامل می شوند باریک شدن وجود نداشته و گسیختگی در سطحی عمود بر بار اتفاق می افتد. رفتار چوب و چند سازه های چوبی نیز در مقابل کشیده شدن شبیه به مواد شکننده است.



شکل ۶-۲۳ نمونه منحنی های تنش و تغییر طول نسبی چهار نوع مصالح
a: فولاد ساختمانی b: چدن c: لاستیک d: چوب



شکل ۶-۲۴ کرنش سنج 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 به طوری که تقریباً تمام خواص مکانیکی با افزایش طول مدت بارگذاری، دما و رطوبت کاهش می‌یابند، همچنین متأثر از جهت اعمال بار (موازی با الیاف یا عمود بر الیاف)، سرعت بارگذاری و مقدار تغییر شکل نیز می‌باشد.

در عمل (هنگام انجام آزمایش) تنش و تغییر طول نسبی اندازه‌گیری نمی‌شود بلکه نیرو و تغییر شکل اندازه‌گیری می‌گردند. در برخی دستگاه‌های مجهز به کامپیوتر، نرم‌افزار مربوطه قادر به تبدیل نیرو و تغییر شکل به تنش و تغییر طول نسبی (کرنش) 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.

$$E = \frac{F_{pl} L}{A \Delta L_{pl}}$$

E: مدول الاستیسیته

F_{pl} : نیرو در حد تناسب

L: طول اولیه

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

A: سطح مقطع اولیه نمونه

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 منجر به 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 این که 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.

سؤال



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:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

σ سیگما تنش است اما ϵ اپسیلون واحد ندارد لذا واحد E با واحد تنش یکی است. در سیستم متریک (SI)، واحد تنش پاسکال می‌باشد.

$$(1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2)$$

مسئله



۱- تنش، کرنش و مدل الاستیسیته نمونه‌های ب، پ و ت سؤال ۱۰ صفحه ۸۶ 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: $60 \times 2 \times 2 \text{ cm}$

ب) ابعاد اولیه نمونه مربوط به نمودار پ: $20 \times 2 \times 2 \text{ cm}$

پ) ابعاد اولیه نمونه مربوط به نمودار ت: $20 \times 2 \times 2 \text{ cm}$

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

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{حد تناسب})$$

$$F = 1/6 \text{ KN} = 1600 \text{ N} \quad (\text{حد تناسب})$$

$$A = 0.02 \text{ m} \times 0.02 \text{ m} = 0.0004 \text{ m}^2 = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{1600 \text{ N}}{0.0004 \text{ m}} \quad (\text{حد تناسب})$$

$$\sigma = 4000000 \text{ Pa} = 4 \text{ MPa} \quad (\text{حد تناسب})$$

کرنش بر اساس نمودار ب (نقطه حد تناسب):

$$L = 60 \text{ cm} = 600 \text{ mm} \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta L = 1/6 \text{ mm}$$

$$\epsilon = \frac{1/6}{600}$$

$$\epsilon = 0.00266667 = 27 \times 10^{-4}$$

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

روش اول

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad E = \frac{4 \times 10^6 \text{ Pa}}{0.0026667} = 1499998125 = 1/5 \times 10^9 \text{ Pa} \cong 1/5 \text{ GPa}$$

روش دوم

$$\Delta L = \frac{F}{EA}$$

$$E = 64 \times 10^8 = 640$$

$$0.0016 \text{ m} = \frac{1600 \text{ N} \times 0.02 \text{ m}}{E \times 0.0004 \text{ m}^2} \quad E = \frac{960}{64 \times 10^8} = 1500 \times 10^6 \text{ Pa} = 1500 \text{ Mpa} = 1/5 \text{ GPa}$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

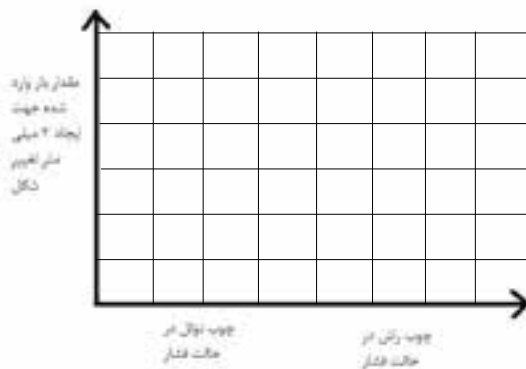
۲- الف: مقدار بار وارد شده به نمونه‌های ب، پ و ت سؤال ۱۰ صفحه ۸۶ برای ایجاد ۲ میلی‌متر تغییر شکل در هر یک از این نمونه‌ها، براساس منحنی موجود، چند نیوتن است؟

.....

.....

.....

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



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

.....

.....

.....

.....

.....

۳- در شکل‌های صفحه بعد الف: لایه‌های چوب بهاره و تابستانه را مشخص کنید.
ب: با توجه به شکل دلیل تفاوت کیفیت سنباده خوری سطوح شعاعی 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.

