فصل یازدهم

سختی چوب

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ سختی چوب را شرح دهد.

۲ــ روش اندازه‌گیری سختی چوب را شرح دهد.

۳ــ عوامل مؤثر برسختی چوب را شرح دهد.

۴ــ مقاومت چوب را در برابر ساییده شدن شرح دهد.

زمان تدریس : ۴ ساعت

۱۱ــ سختی چوب

«سختی چوب» به صورت مقاومت آن در برابر نفوذ یک جسم جامد تعریف می‌گردد. جسم جامد باید به وسیله نیرویی سعی در نفوذ داشته باشد. سنجش سختی فلزات از طریق اثر یک ساچمه فولادی برسطح صاف، تقریباً در وسط جسم، تعیین می‌گردد. این روش موسوم به روش «برینل» است، اما برای چوب که یک ماده «ناهمگن» و آب‌دوست است تعیین مقدار سختی تا حدی مشکل است.

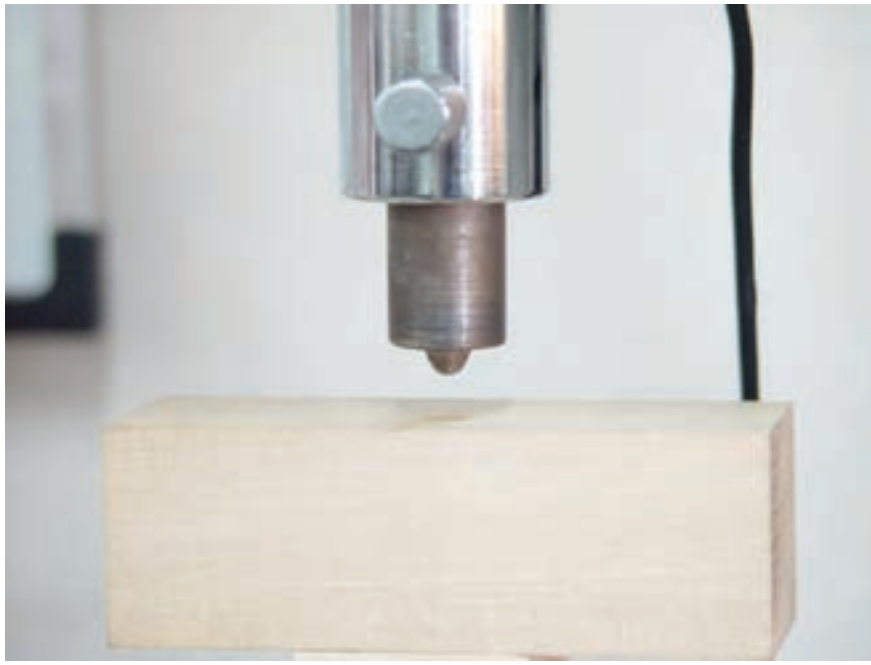
در حقیقت، سختی یک ویژگی بنیادی است که به نوع ابزار کار مورد استفاده بستگی دارد ؛ بنابراین، پیشنهاد شده است ارقام واقعی مورد نظر قرار نگرفته، بلکه مقدار سختی نسبی معقول‌تر است.

۱ــ۱۱ــ روش اندازه‌گیری سختی چوب

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری سختی مواد وجود دارند که عبارتند از برینل، راکول، ویکرز.

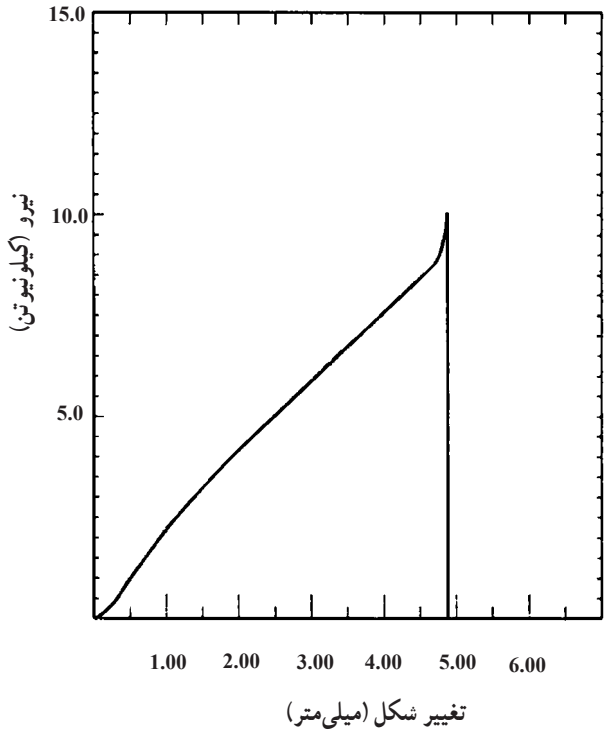
در یکی از این روش‌ها سعی در استفاده از سوزن فولادی و نفوذ آن تاعمق ۲میلی‌متری شده است. نیروی لازم برای نفوذ سوزن در چوب را «سختی» نامیده‌اند دراین روش اشتباه زیادی وجود دارد و به همین دلیل این روش هرگز مورد قبول قرار نگرفت.

روش متداول درحقیقت روش تغییر یافته «برینل» برای چوب است. در این روش نیروی لازم برای نفوذ کامل یک ساچمه فولادی به قطر ۱۱/۲۸ میلی‌متر (سطح یک سانتی‌متر مربع) به داخل چوب اندازه‌گیری می‌شود. از چوبی به ابعاد ۵×۵×۱۵ سانتی‌متر استفاده شده و نیمکره مطابق شکل ۱ــ۱۱در سطح شعاعی آن نفوذ می‌کند. نحوه قرار گرفتن نمونه در دستگاه آزمایش در شکل ۲ــ۱۱ نشان داده شده است. در اثر نفوذ نیمکره در چوب منحنی تغییرات نیروی لازم برای نفوذ ترسیم شده (شکل ۳ــ۱۱) و نیروی حداکثر تعیین می‌گردد.



شکل ۱ــ۱۱ــ شمای وسیله سنجش سختی چوب

شکل ۲ــ۱۱ــ نحوه آزمایش سختی در دستگاه



شکل ۳ــ۱۱ــ منحنی تغییرات نیرو در آزمایش سختی

اختلاف چندانی بین سختی سطوح جانبی (شعاعی و مماسی) وجود ندارد، اما سختی جانبی و انتهایی (مقاطع عرضی) متفاوت است.

سختی چوب‌های مختلف اندازه‌گیری شده و رابطه بین زیر سختی H و مقاومت در برابر فشار وجود دارد :

$$H_j = ۲F - ۵۰۰$$

F : مقاومت در برابر فشار برحسب نیوتن بر میلی‌متر یا متر مربع. که البته این فرمول جنبه تجربی دارد و تقریبی است.

۲ــ۱۱ــ عوامل مؤثر برسختی چوب

عوامل متعددی بر میزان سختی چوب تأثیر می‌گذارند که مهم‌ترین آن جرم مخصوص است.

الف) جرم مخصوص : سختی چوب متناسب با جرم مخصوص آن است و این نسبت طبق رابطه زیر است :

$$H_J = A.D^{\frac{۹}{۴}}$$

H = سختی بر حسب نیوتن برسانتیمتر مربع

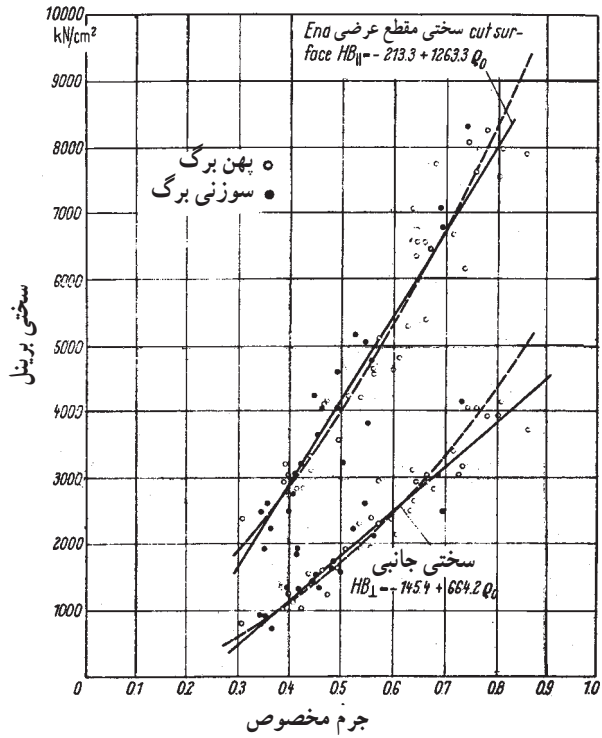
D = وزن مخصوص

A = ضریب ثابت

برای چوب خشک شده در هوای آزاد : سختی مقطع عرضی ۳۳۶۰ = A و سختی جانبی ۲۶۰۰۰ = A ؛برای چوب «تر» : سختی مقطع عرضی ۲۶۰ = A و سختی جانبی ۲۳۲ =A می‌باشد.

رابطه بین سختی و جرم مخصوص در شکل ۴ــ۱۱ نشان داده شده است. در این شکل منحنی‌های «الف» مربوط به سختی مقطع عرضی و منحنی‌های «ب» مربوط به سختی جانبی است. نقاط توخالی مربوط به چوب پهن برگان و نقاط پر مربوط به چوب سوزنی برگان است.

هم‌چنین میزان سختی چوب‌ها با جرم مخصوص متفاوت اندازه گیری شده و طبقه‌بندی چوب‌ها براساس «سختی» در جدول (۱ــ۱۱) خلاصه شده است.



شکل ۴ــ۱۱ــ اثر جرم مخصوص چوب برسختی برینل

جدول ۱ــ۱۱ــ رابطه وزن مخصوص و سختی چوب

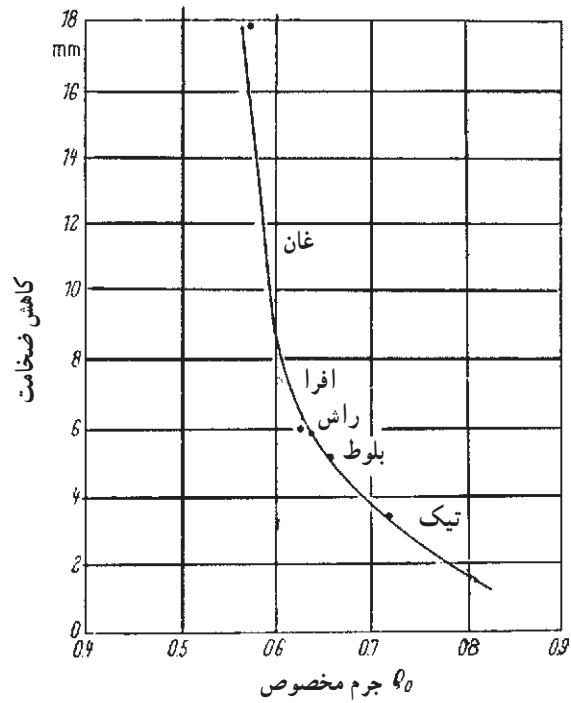
نام چوب	طبقه‌بندی سختی	مقدار HJ نیوتن بر سانتی‌مترمربع	جرم مخصوص (gr/cm^3)
بید صنوبر کاج سفید	خیلی نرم	کمتر از ۳۵۰۰	۰/۲ ــ ۰/۵۵
نوئل، کاج توسکا، غان	نرم	۳۵۰۰ ــ ۵۰۰۰	۰/۳۵ ــ ۰/۶۵
گردو گلابی بلوط، راش	کمی سخت	۵۰۰۰ ــ ۶۵۰۰	۰/۵ ــ ۰/۷۰
زبان گنجشک	نسبتاً سخت	۵۰۰۰ ــ ۶۵۰۰	۰/۶۰ ــ ۰/۸۰
ممرز	سخت	۶۵۰۰ ــ ۱۰۰۰۰	۰/۷۰ ــ ۰/۸۵
آل	خیلی سخت	۶۵۰۰ ــ ۱۰۰۰۰	۰/۸ ــ ۰/۹۲
شمشاد	به سختی استخوان	۱۰۰۰۰ ــ ۱۵۰۰۰	۰/۹ ــ ۱/۰۵
آبنوس	به سختی سنگ	بزرگتر از ۱۵۰۰۰	۱ ــ ۱/۴

۳ــ۱۱ــ مقاومت در برابر ساییده شدن چوب

مقاومت در برابر ساییده شدن یکی از خواص مکانیکی خیلی مهم برای کاربردهای متفاوتی نظیر استفاده از چوب در کف‌پوش، قطعات چوبی ماشین‌ها و غیره است. ساییده شدن به وسیله عوامل مختلفی نظیر راه رفتن، حمل کردن، اصطکاک، اثر شن و ماسه، مواد شیمیایی، رطوبت و تغییر درجه حرارت به‌وجود می‌آید.

مواد حفاظتی، شامل : روغن‌ها، لاک‌ها، و سیلرها می‌توانند موجب کاهش ساییدگی شوند. پدیده ساییده شدن خیلی پیچیده بوده، اندازه‌گیری آن آسان نیست ؛ بنابراین، فقط می‌توان نیروهایی که درحین مصرف برچوب وارد می‌شود را شبیه‌سازی کرد. پس نتیجه آزمایش مقاومت در برابر ساییده شدن مقایسه‌ای است. در این آزمایش می‌توان میزان کم‌شدن وزن یا ضخامت را اندازه‌گیری کرد. در این آزمایش از وسیله ساینده نظیر کاغذ سنباده و غیره استفاده می‌شود.

جرم مخصوص بر میزان ساییده شدن تأثیر دارد و هرچه جرم مخصوص بیشتر باشد میزان کاهش ضخامت چوب در آزمایش سائیدگی کمتر است. رابطه بین جرم مخصوص و میزان ساییده شدن درشکل ۵ــ۱۱ ترسیم شده است.



شکل ۵ــ۱۱ــ رابطه بین جرم مخصوص و میزان کم شدن ضخامت چوب

تمرین

۱ــ سختی چوب را تعریف کنید.

۲ــ روش متداول اندازه‌گیری سختی چوب را بیان کنید.

۳ــ مقاومت در برابر فشار عمود برالیاف یک قطعه چوب شمشاد ۷۵۰۰ نیوتن بر سانتی‌متر مربع است با استفاده از رابطه : $H = 2F - 500$ ، سختی این چوب را محاسبه کنید.

۴ــ رابطه بین جرم مخصوص و سختی چوب را بیان کنید.

۵ــ با استفاده از اطلاعات جدول ۱ــ۱۱، این چوب‌ها را از نظر سختی طبقه بندی کنید :

ــ صنوبر

ــ توسکا

ــ کاج

ــ بلوط

ــ ممرز

۶ــ تعدادی قطعه چوب از گونه‌های مختلف سبک و سنگین خشک تهیه نموده و با میخ چگونگی سختی آن‌ها را مشخص نمایید.

۷ــ بر روی نمونه چوب‌های ردیف ۶ با تخته ساده سنباده در زمان و تعداد رفت و برگشت و فشار برابر مقاوم به سایش را اندازه بگیرید.

۸ــ در صورتی‌که در محیط زندگی شما مکان‌هایی وجود دارد که در آن‌ها از چوب به عنوان کف‌پوش استفاده شده است، این مکان‌ها را بررسی و اثر رفت و آمد بر سطوح چوب‌ها را گزارش دهید.

فصل دوازدهم

تغییرات مقاومت‌های چوب

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ رابطه مقاومت چوب را با جرم مخصوص بداند.

۲ــ تأثیر رطوبت چوب را بر مقاومت‌های آن بداند.

۳ــ تأثیر عمر مصرف چوب را برمقاومت‌های آن بداند.

۴ــ تأثیر درجه حرارت را بر مقاومت‌های چوب بداند.

۵ــ در الوار چوبی عوامل مؤثر بر مقاومت را بداند.

زمان تدریس : ۶ ساعت

۱۲ــ تغییرات در مقاومت‌های چوب

تغییرات خیلی زیادی در مقاومت چوب بین درختان یک گونه چوبی و بین گونه‌های چوبی مشاهده می‌گردد ؛ به گونه‌ای که چوب‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی برگ در یک محدوده مقاومت اغلب اشتراک داشته مقاومت‌های یکسانی را نشان می‌دهند. مقاومت چوب‌های تجارتی مختلف در جدول (۱ــ۱۲) خلاصه شده است. ارقام جدول (۱ــ۱۲) برای چوب‌های به اندازه مصرف (بزرگ)

جدول ۱ــ۱۲ــ مقاومت‌های مکانیکی و جرم مخصوص مهم‌ترین چوب‌های تجارتی[1]

نام چوب	جرم مخصوص گرم بر سانتی‌متر مکعب		خمش نیوتن بر مترمربع		مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف	مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف نیوتن	مقاومت در برابر ضربه
	d_0[2]	d_{12}[3]	مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته	نیوتن بر مترمربع	بر متر مربع	$N.m/cm^2$
افرای چناروش	۰/۶۲	۰/۶۶	۱۳۷×۱۰^۶	۱۱۳۰×۱۰^۶	۶۲×۱۰^۶	۱۰۰×۱۰^۶	۶/۵
اقاقیا	۰/۷۲	۰/۷۶	۱۳۶/۱×۱۰^۶	۱۱۲۷×۱۰^۶	۷۳×۱۰^۶	۱۳۶×۱۰^۶	۱۳/۵
اوکالیپتوس	۰/۵۵	۰/۵۸	۷۵/۷۵×۱۰^۶	ــ	۳۷۳۰×۱۰^۶	ــ	۶/۸
تبریزی	۰/۴۱	۰/۴۵	۶۵×۱۰^۶	۸۸۰۰×۱۰^۶	۳۵×۱۰^۶	۷۷×۱۰^۶	۵
توسکای قشلاقی	۰/۴۹	۰/۵۳	۸۵×۱۰^۶	۷۷۰۰×۱۰^۶	۴۷×۱۰^۶	ــ	۵
راش	۰/۶۳	۰/۶۶	۸۷×۱۰^۶	۱۲۵۰۰×۱۰^۶	۶۴۴۰×۱۰^۶	ــ	۹/۲
زبان گنجشک	۰/۶۵	۰/۶۹	۱۲۰×۱۰^۶	۱۳۴۰۰×۱۰^۶	۵۲×۱۰^۶	۱۶۵×۱۰^۶	۶/۵
گردوی ایرانی	۰/۶۴	۰/۶۸	۱۴۷×۱۰^۶	۱۲۵۰۰×۱۰^۶	۷۲×۱۰^۶	۱۰۰×۱۰^۶	۹/۵
ملج	۰/۶۴	۰/۶۸	۸۹×۱۰^۶	۱۱۰۰۰×۱۰^۶	۵۶×۱۰^۶	۸۰×۱۰^۶	۶
ممرز	۰/۷۹	۰/۸۳	۱۶۰×۱۰^۶	۱۶۲۰۰×۱۰^۶	۸۲×۱۰^۶	۱۳۵×۱۰^۶	۸
نمدار	۰/۴۹	۰/۵۳	۱۰۶×۱۰^۶	۷۴۰۰×۱۰^۶	۵۲×۱۰^۶	۸۵×۱۰^۶	۵
نراد (آبیس)	۰/۴۱	۰/۴۵	۷۳×۱۰^۶	۱۱۰۰۰×۱۰^۶	۴۷×۱۰^۶	۸۴×۱۰^۶	۴/۲
نوئل (پیسه آ)	۰/۴۳	۰/۴۷	۷۸×۱۰^۶	۱۱۰۰۰×۱۰^۶	۵۵×۱۰^۶	۹۰×۱۰^۶	۴/۶
کاج الدار (تهران)	۰/۳۹	۰/۴۲	۶۱/۷×۱۰^۶	ــ	۳۳۵۰×۱۰^۶	ــ	ــ
کاج جنگلی	۰/۴۹	۰/۵۲	۱۰۰×۱۰^۶	۱۲۰۰۰×۱۰^۶	۵۵×۱۰^۶	۱۰۴×۱۰^۶	۴

۱ــ مأخذ : پارسا پژوه، داود. تکنولوژی چوب

۲ــ d_0 = جرم مخصوص در صفر درصد رطوبت

۳ــ d_{12} = جرم مخصوص در ۱۲ درصد رطوبت

بوده، معمولاً در آزمایش اندازه‌گیری مقاومت‌ها از چوب اندازه استاندارد (کوچک) استفاده می‌گردد که این چوب‌ها را عاری از هرگونه عیب ظاهری نظیر گره، تَرَک، پوسیدگی و غیره انتخاب می‌کنند.

تغییرات در مقاومت‌های چوب عاری از معایب ظاهری یک گونه چوبی معین به دلیل تغییرات طبیعی در جرم مخصوص و رابطه بین جرم مخصوص و مقاومت آن است.

۱ــ۱۲ــ رابطه مقاومت با جرم مخصوص

مقاومت‌های چوب رابطه نزدیکی با جرم مخصوص دارند ؛ به طوری که با یک تقریب پذیرفتنی، حتی بدون دانستن نام چوب می‌توان مقاومت چوب را براساس جرم مخصوص برآورد کرد ؛ هم‌چنین درمواردی که دانش کافی و استاندارد مورد لزوم برای درجه‌بندی چوب وجود ندارد و اغلب از گونه‌های مختلف برای مصارف متعدد استفاده می‌شود، درجه‌بندی چوب‌ها عملاً براساس جرم مخصوص است.

رابطه تمام خواص مکانیکی با جرم مخصوص یکسان نیست. بعضی از خواص مقاومتی مانند مدول الاستیسیته در حالت خمش و حداکثر فشار موازی با الیاف رابطه خطی با جرم مخصوص داشته و زیاد شدن این مقاومت‌ها در اثر زیاد شدن جرم مخصوص خطی است، اما رابطه جرم مخصوص با دیگر مقاومت‌ها به صورت توانی بوده، با زیاد شدن مقاومت در اثر جرم مخصوص خیلی شدید است. رابطه بین جرم مخصوص و مقاومت‌های چوب را می‌توان به صورت رابطه زیر نشان داد :

$$P = KD^n$$

P = مقاومت

D = جرم مخصوص

K = ضریب ثابت معادله که با توجه به مقاومت مورد نظر تغییر می‌کند.

مقدار n برای تغییرات بین گونه‌ها بین ۱ تا ۲/۲۵ و برای تغییرات داخل گونه بین ۱/۲۵ تا ۲/۵ است ؛ در صورتی که مقدار n بیش از یک باشد عواملی غیر از جرم مخصوص بر آن مقاومت تأثیر دارد، که یک مورد آن می‌تواند اختلاف در ضخامت دیواره سلول باشد.

در جدول (۲ــ۱۲) تأثیر جرم مخصوص بر مقاومت‌های مختلف نشان داده شده است (تذکر : به‌دلیل تأثیر رطوبت چوب بر مقاومت آن به‌ناچار معمولاً مقاومت‌های چوب را در رطوبت ۱۲ درصد مقایسه می‌کنند).

جدول ۲ــ۱۲ــ رابطه بین مقاومت‌های مکانیکی و جرم مخصوص در رطوبت ۱۲ درصد

مقاومت	رابطه با جرم مخصوص (K: ضریب ثابت)[1]
مقاومت خمشی (MOR)	$K \times D^{1/25}$
مدول الاستیسیته (MOE) درحالت خمش	$K \times D$
مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف	$K \times D$
مقاومت در برابر فشار عمود بر الیاف	$K \times D^{2/25}$
سختی جانبی	$K \times D^{2/25}$

اگر چه برآورد مقاومت چوب با دانستن جرم مخصوص چوب امکان‌پذیر است، اما اطلاعات دقیق فقط از طریق آزمایش جداگانه چوب‌ها میسر است.

برای نشان دادن اثر جرم مخصوص و مقاومت‌های چوب در استفاده از آن به ذکر دو مثال می‌پردازیم.

مثال ۱: یک کارخانه مبل سازی برای ساخت قطعات کوچک داخل مبل از چوب نمدار استفاده می‌کند. این کارخانه سعی دارد از چوب راش درجه مشابه به‌جای نمدار استفاده کند. آیا راش از مقاومت لازم برخوردار است؟

حل : در این مورد مقاومت خمشی (MOR) و قدرت نگهداری پیچ تعیین کننده است ؛ بنابراین، برای حل این مسأله اطلاعات موردنیاز در جدول ۳ــ۱۲ خلاصه شده است.

جدول ۳ــ۱۲ــ مقایسه مقاومت خمشی و وزن مخصوص دو چوب نمدار و راش

نام چوب	جرم مخصوص g/cm^3	MOR N/cm^2
راش	۰/۶۶	۱۳۷۰۰
نمدار	۰/۵۳	۱۰۶۰۰

مقاومت خمشی راش درحدود ۳۰ درصد بیش از چوب نمدار است ؛ بنابراین، در مورد این مقاومت با مشکلی مواجه نخواهیم بود. قدرت نگهداری پیچ چوب رابطه مستقیمی با جرم مخصوص دارد و به دلیل این که چوب راش حدود ۲۰ درصد سنگین‌تر از نمدار است ؛ ازاین‌رو به‌آسانی

۱ــ مقدار K در مقاومت‌های مختلف متفاوت است.

می‌توان از چوب راش به جای نمدار استفاده کرد.

مثال ۲ : یک کارخانه سازنده میزهای ورزشی مخصوص که باید بتوانند نیروی زیادی را تحمل کنند از چوب یک نوع کاج برای ساختن اسکلت میزاستفاده می‌کند. این کارخانه سعی می‌کند از چوب نوئل استفاده کند. آیا چنین کاری امکان‌پذیر است؟

حل: در ساخت اسکلت این نوع میزها، مدول الاستیسیته در حالت خمش (MOE) و فشار عمود بر الیاف مهم هستند. این مقاومت‌ها و جرم مخصوص دو نوع چوب موردنظر در جدول ۴ــ۱۲ خلاصه شده است.

جدول ۴ــ۱۲ــ مقاومت‌ها و جرم مخصوص دو چوب کاج و نوئل

نام چوب	جرم مخصوص مرطوب	MOE در ۱۲٪ رطوبت	فشار عمود بر الیاف در ۱۲ درصد رطوبت
کاج	۰/۴۲	$۱/۴۸\times۱۰^{۶}$ Pa	۸۳۰ Pa
نوئل	۰/۳۵	$۱/۴۵\times۱۰^{۶}$ Pa	۵۰۰ Pa

مدول الاستیسیته هر دو چوب یکسان است ؛ بنابراین، درمورد این مقاومت با مشکلی مواجه نخواهیم بود. اما فشار عمود بر الیاف چوب نوئل کمتر از چوب کاج است ؛ از این‌رو، اگر این مقاومت بحرانی و تعیین‌کننده است پس چوب نوئل مناسب نیست.

در دو مثال فوق سعی شد به‌طور ساده نقش مقاومت چوب در استفاده از آن بیان گردد، اما در عمل مواجه با مسائل بیشتری هستیم که باید به‌دقت مورد ارزیابی قرارگیرند.

۲ ــ۱۲ــ عوامل مؤثر برمقاومت‌های چوب

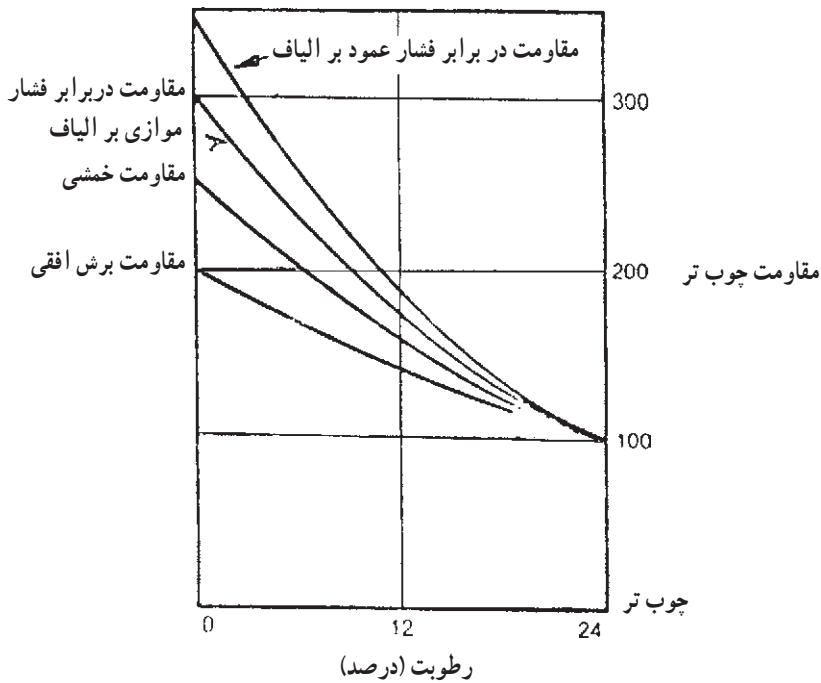
تأثیر جرم مخصوص بر مقاومت چوب به‌طور جداگانه مورد بحث قرار گرفت. در این قسمت، تأثیر عواملی که بر مقاومت چوب بدون عیب ظاهری که برچوب به اندازه مصرف نیز تأثیر می‌گذارند مورد توجه قرار می‌گیرد.

۱ــ۲ــ۱۲ــ رطوبت چوب: چوب دارای خاصیت جذب آب است ؛ یعنی اگر چوب در محیطی قرار گیرد با زیاد شدن رطوبت محیط رطوبت چوب زیاد خواهد شد. وقتی رطوبت چوب به حدود ۲۵ درصد برسد به این مقدار رطوبت «رطوبت نقطه اشباع الیاف» گویند که مقدار آن بین ۲۵ تا ۳۰ درصد است.

اگر چوب را از رطوبت حدود ۲۵ درصد خشک کنیم اغلب مقاومت‌ها و خواص الاستیکی آن زیاد می‌شود.

رابطه بین رطوبت و مقاومت چوب زبان گنجشک سفید در مقایسه با چوب کاملاً خیس در شکل ۱ــ۱۲ آورده شده است. در این شکل مقاومت چوب را در رطوبت بیش از ۲۴ درصد، ۱۰۰ فرض کرده، زیاد شدن مقاومت‌ها را در اثر خشک شدن به‌صورت درصدی از آن مقاومت (دررطوبت ۲۴درصد) بیان کرده‌ایم.

در اثر خشک شدن چوب از رطوبت ۲۴ درصد تا رطوبت صفر درصد (کاملاً خشک) درشکل ۱ــ۱۲ :



شکل ۱ــ۱۲ــ رابطه بین رطوبت چوب زبان گنجشک و مقاومت‌های آن

ــ مقاومت برشی دو برابر می‌شود ؛

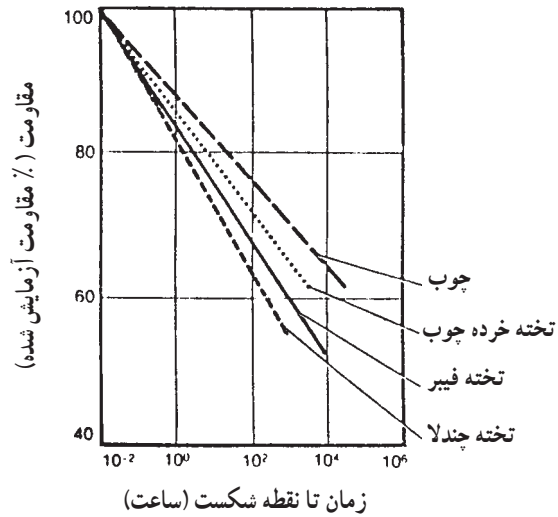
ــ مقاومت خمشی ۲/۵ برابر می‌شود ؛

ــ مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف ۳ برابر می‌شود ؛

ــ مقاومت به فشار عمود برالیاف ۳/۵ برابر می‌شود.

۲ــ۲ــ۱۲ــ عمر مصرف چوب: استفاده طولانی از چوب، بدون وجود عوامل مخرب نظیر میکرو اورگانیسم‌ها، درجه حرارت بالا یا نیروی مداوم ــ برمقاومت‌های آن، تأثیری اندک دارد. البته بعد از قرن‌ها تغییراتی به‌وجود آمده که معمولاً در اثر عوامل محیطی است.

اگر بر چوب، در طی مصرف نیرویی دایمی اعمال گردد، مقاومت آن کاهش می‌یابد ؛ به گونه‌ای که اگر برای مدت طولانی نیرویی وارد شود بعضی از خواص مکانیکی آن کم می‌شود و هر چه زمان تحمل نیرو طولانی‌تر باشد چوب قادر به تحمل نیروی کمتراست. رابطه بین مقدار فشار و زمان تحمل نیرو تا نقطه شکست برای چوب و مواد مرکب چوبی در شکل۲ــ۱۲ آورده شده است.



شکل ۲ــ۱۲ــ رابطه بین مقاومت و زمان تحمل نیرو تا نقطه شکست

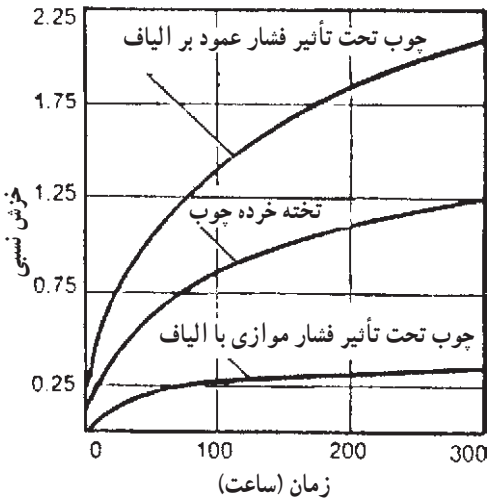
اگر نیروی کمی بر یک قطعه چوب وارد شود چوب نمی‌شکند، بلکه آن قطعه چوب خمیده شده یا به‌تدریج تغییر شکل می‌یابد. مثال واضح خمیده شدن تدریجی طبقات کتابخانه پراز کتاب است که به این پدیده «خزش» (Creep) گویند ؛ بنابراین، خزش یک پدیده وابسته به زمان است که در اثر ساختمان ریز سلول‌های چوب بوده، مقدار آن در اثر زیاد شدن رطوبت زیاد می‌شود ؛ به‌طوری که در چوب خشک میزان خزش کم است.

خزش اغلب به صورت خمیده شدن چوب پس از سالیان متمادی تحت تأثیر نیرو ظاهر می‌شود. شایان ذکر است که میزان خزش دراثر رطوبت دادن تکراری شدت می‌یابد و اگر چوب در محیط با رطوبت ثابت قرار گرفته باشد مقدار آن کمتر است.

در تیرهای بلند سقف یا سر در خزش مسأله‌ساز است. هم‌چنین اگر از تخته خرده چوب یا تخته فیبر برای طبقات کتابخانه استفاده شود، خزش بسیار پدید می‌آید.

برای جلوگیری از خزش در چوب می‌توان از نیروی بیش از حد اجتناب کرده از چوب کاملاً خشک استفاده کرد و با عمل پرداخت‌ها و پوشش‌های سطحی از تغییر رطوبت آن جلوگیری کرد.

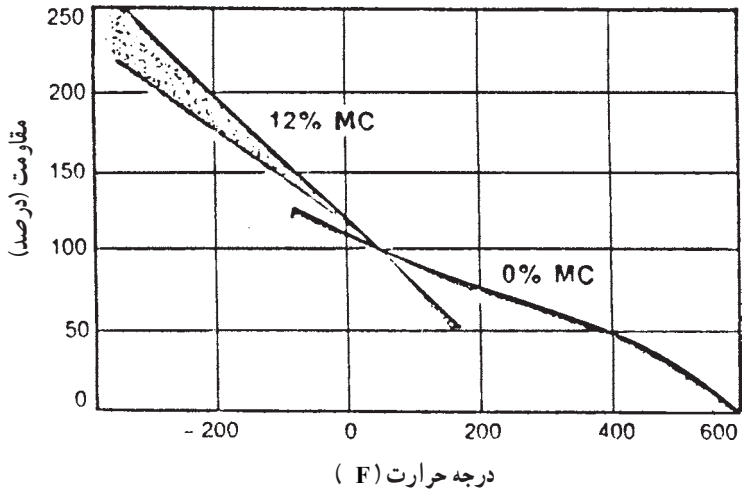
در شکل ۳ــ۱۲نتایج تحقیقاتی در مقایسه بین سرعت خزش در تخته خرده چوب و چوب نشان داده شده است. در مورد چوب، فشار در جهت الیاف و عمود بر جهت الیاف بوده است.



شکل ۳ــ۱۲ــ خزش نسبی در سه حالت متفاوت

۳ــ۲ــ۱۲ــ درجه حرارت: اگر چوب را حرارت دهیم اغلب مقاومت‌های مکانیکی آن کم شده، برعکس در اثرخنک شدن مقاومت‌های چوب زیاد می‌شود. اثر حرارت دادن بر مقاومت‌های چوب کاملاً خشک و چوب با ۱۲ درصد رطوبت درشکل ۴ــ۱۲ ترسیم شده است. اگر درجه حرارت کمتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس باشد افت دایمی کمی در مقاومت چوب مشاهده می‌گردد، اما اگر چوب در معرض درجه حرارت بالا برای مدت طولانی قرار گیرد افت دایمی مقاومت به‌وجود می‌آید.

اگر رطوبت چوب زیاد باشد حساسیت چوب به درجه حرارت زیاد، بیشتراست.



شکل ۴ــ۱۲ــ اثر فوری درجه حرارت بر مقاومت‌های چوب

۳ــ۱۲ــ عوامل مؤثر بر مقاومت الوار چوبی

مقاومت چوب به‌طور پیوسته در رطوبت کمتر از حدود ۲۵ درصد تغییر می‌کند ؛ بنابراین، در نظر گرفتن رطوبت‌های متغیر در طراحی با چوب و اعمال تغییرات به‌وجود آمده در مقاومت چوب در طراحی سازه‌های چوبی بسیار مشکل است. برای اجتناب از این پیچیدگی، معمولاً فشارهای مجاز را در رطوبت ثابت تنظیم می‌کنند ؛ بنابراین، فشارها یا مقاومت‌های مجاز الوار، تیرهای چوبی و تخته چندلا را در کمتر از رطوبت مشخص ثابت در نظر می‌گیرند. این رطوبت مشخص (رطوبت حداکثر) برای سوزنی برگان ۱۹ درصد و برای تخته چند لا ۱۶ درصد است.

در رطوبت بالاتر از مقدار تعیین شده، فشار مجاز کمتر می‌شود. مقدار این کم شدن بین ۳ تا ۴۰ درصد است. عوامل دیگر که بر مقاومت چوب کوچک عاری از عیب تأثیر می‌گذارند خصوصیات رویشی است.

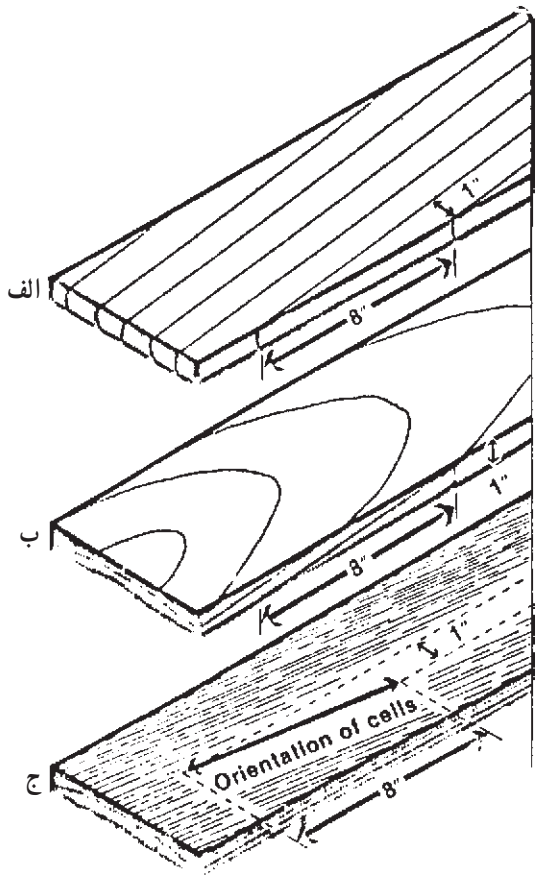
۱ــ۳ــ۱۲ــ گره ها: گره‌ها متداول‌ترین عیبی است که مقاومت الوار را کم می‌کند. در مواردی بسیار می‌توان اثر گره را معادل یک سوراخ دانست. البته در موارد دیگر، اثر گره شدیدتر از وجود یک سوراخ است، زیرا دراطراف گره پیچیدگی الیاف وجود دارد.

مقدار کاهش مقاومت چوب در اثر گره به اندازه گره و موقعیت آن در الوار بستگی دارد. اگر یک گره در لبه پایین یا بالای چوب قرار داشته باشد اثر تخریبی آن کمتر از وجود گره در وسط است. هم‌چنین اگر گره در لبه پایین قرار داشته باشد اثر آن در کم کردن مقاومت شدیدتر از وجود گره در لبه

بالا است ؛ بنابراین، باید سعی شود در همه حال گره در لبه بالا قرار گیرد.

۲ــ۳ــ۱۲ــ کج تاری (الیاف مورّب): کج تاری یا شیب الیاف به صورت طول قطعه چوب ــ که درآن الیاف به اندازه ۲/۵ سانتی‌متر کج شده‌اند ــ تعیین می‌گردد. در شکل ۵ــ۱۲سه حالت متفاوت از شیب الیاف نشان داده شده است. در دو حالت «الف» و «ب» شیب الیاف یا کج‌تاری در اثر برش الوار از گرده بینه است، اما کج تاری می‌تواند در اثر وجود الیاف مارپیچی باشد. در این حالت اگر چه دایره‌های رویش، موازی لبه‌ها به نظر می‌رسد، ولی کج تاری شدید وجود دارد.

اگر شیب الیاف بیش از $\frac{۱}{۲۰}$ باشد، مقاومت چوب بسیار کم می‌شود. مقاومت در برابر کشش به مقدار زیادی در اثر کج تاری کم می‌شود، اما تأثیر کج تاری بر مقاومت خمشی و مقاومت در برابر فشار کمتر است.



شکل ۵ــ۱۲ــ سه حالت شیب الیاف در چوب (درهر سه حالت شیب یک هشتم است).

تمرین

۱ــ وزن مخصوص چوب‌های خشک زیر را درجدول ۱ــ۱۲پیدا کنید.

ــ زبان گنجشک

ــ تبریزی

ــ ملج

ــ کاج الدار

۲ــ مقاومت خمشی چوب‌های زیر را از جدول ۱ــ۱۲تعیین کنید.

ــ اقاقیا

ــ توسکا قشلاقی

ــ گردوی ایرانی

ــ نمدار

۳ــ مقاومت چوب‌های زیر را در برابر فشار موازی با الیاف در جدول ۱ــ۱۲پیدا کنید.

ــ راش

ــ نراد

ــ کاج جنگلی

ــ اوکالیپتوس

۴ــ مقاومت چوب‌های زیر را در برابر ضربه درجدول ۱ــ۱۲پیدا کنید.

ــنوئل «پیسه آ»

ــ افرای چناروش

ــ راش

ــ ممرز

۵ــ در اثر زیاد شدن جرم مخصوص، مقاومت‌های چوب کم می‌شود یا زیاد؟

۶ــ با افزایش رطوبت چوب مقاومت آن زیاد می‌شود یا کم؟

۷ــ اگر بر یک قطعه چوب نیروی کمی به مدت طولانی وارد شود آیا مقاومت چوب کم می‌شود یا تغییر نمی‌کند؟

۸ــ مقاومت یک قطعه چوب کوچک بدون عیب زیادتراست یا یک قطعه الوار؟

۹ــ اگر یک قطعه چوب دارای کج تاری باشد مقاومت آن کم می‌شود یا تغییرنمی‌کند؟

۱۰ــ اگر در یک قطعه چوب به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر یک گره به قطر ۵ سانتی‌متر وجود داشته باشد و در یک قطعه چوب دیگر به همان ضخامت یک گره به قطر ۲ سانتی‌متر وجود داشته باشد مقاومت کدام یک کمتراست؟

منابع مورد استفاده

۱ــ پارسا پژوه، داود. ۱۳۶۳. تکنولوژی چوب، بخش دوم انتشارات دانشگاه تهران ــ تهران.

۲ــ Haygreen, J.G, J.L. Bowyer. 1982. Forest Products 8 Wood Science. An Introduction, Chapter. 10. the Iowa State University Press - Ames.

۳ــ Kollman, F.F.P. , W.A. Cote. 1968. Principles of Wood Science 8 Technology. Chapter 9. Springer - Verlag, Berlin.

۴ــ Schniewind, A.P. , 1981. Mechanical Behavior and Properties of Wood. In Wood: Its Structure and Properties. F.F. Wangaard Ed. The Pennsylvania State University. University Park.

نمونه سؤال‌های آزمونی

سؤال‌های فصل اول

۱ــ سه قسمت قابل رؤیت برش عرضی تنه درخت را نام ببرید.

۲ــ چرا رنگ درون چوب تیره‌تر از رنگ برون چوب است؟

۳ــ پره‌های چوبی را تعریف کنید.

۴ــ اختلاف چوب بهاره و چوب تابستانه را شرح دهید.

۵ــ دو اختلاف بین سوزنی برگان و پهن برگان را بنویسید.

۶ــ سه مقطع چوب را نام ببرید که اغلب در مطالعات مرتبط به خواص چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷ــ چوب فشاری در چه قسمت از درخت به وجود می‌آید؟

۸ــ چوب کششی اغلب درقسمت .....تنه خمیده و شاخه‌های درختان .....برگ تشکیل می‌شود.

۹ــ لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی پوست درخت را نام ببرید.

۱۰ــ وظیفه کامبیوم در درختان زنده چیست؟

سؤال‌های فصل دوم

۱ــ رنگ چوب‌های صنوبر، شمشاد، گردو و آبنوس را مشخص کنید.

۲ــ چرا چوب‌های تیره رنگ بادوام‌تر هستند؟

۳ــ دلیل اختلاف رنگ در گونه‌های مختلف چوب چیست؟

۴ــ چرا رنگ بعضی چوب‌ها پس از مدتی که در هوای آزاد قرار می‌گیرند تغییر می‌کند؟

۵ــ چرا به بعضی از چوب‌ها بخار می‌دهند؟

۶ــ چرا تشخیص و شناسایی ظاهری کلیه‌ی چوب‌ها از روی رنگ آن‌ها امکان‌پذیر نیست؟

۷ــ چرا بعضی از چوب‌ها بوی مخصوصی دارند؟

۸ــ چند نوع چوب نام ببرید که بوی مطبوع دارند.

۹ــ دو مورد استفاده از چوب‌های بی بو را نام ببرید.

۱۰ــ چرا حشرات از بعضی از چوب‌ها گریزان هستند؟

سؤال‌های فصل سوم

۱ــ رطوبت چوب را تعریف کنید.
۲ــ درصد رطوبت چوب چگونه محاسبه می‌شود؟
۳ــ آب به چند صورت در چوب وجود دارد؟
۴ــ آب آزاد یعنی چه؟
۵ــ نقطه اشباع الیاف راتعریف کنید.
۶ــ آیا مقدار همکشیدگی یا واکشیدگی در جهات مختلف یکسان است؟
۷ــ میزان همکشیدگی را چگونه نشان می‌دهند؟
۸ــ اختلاف همکشیدگی در جهت شعاعی و مماسی در چیست؟
۹ــ دو روش پیشگیری از همکشیدگی و واکشیدگی چوب را نام ببرید.
۱۰ــ کدام یک از روش‌های تعیین رطوبت چوب متداول‌تر است. مراحل مختلف آن را نام ببرید.

سؤال‌های فصل چهارم

۱ــ جرم مخصوص «دانسیته» را تعریف کنید.
۲ــ جرم یک قطعه چوب مکعبی به ابعاد ۴ × ۴× ۴ سانتی‌متر برابر ۲۵۰ گرم است. جرم مخصوص این قطعه چوب را محاسبه کنید.
۳ــ جرم ویژه نسبی را تعریف کنید.
۴ــ چرا جرم ویژه نسبی فاقد واحد است؟
۵ــ چرا جرم مخصوص چوب‌های مختلف با هم فرق دارد؟
۶ــ اهمیت جرم ویژه نسبی در چیست؟
۷ــ یک روش اندازه‌گیری جرم ویژه نسبی رانام ببرید.
۸ــ مقدار رطوبت چه تأثیری روی جرم مخصوص دارد؟
۹ــ چوب صنوبر سبک‌تر است یا چوب بلوط، چرا؟
۱۰ــ معمولاً جرم ویژه نسبی ماده تشکیل دهنده چوب چقدر است؟

سؤال‌های فصل پنجم

۱ــ مقاومت ویژه الکتریکی را تعریف کنید.

۲ــ چرا چوب کاملاً خشک، عایق الکتریسیته است؟

۳ــ مقاومت الکتریکی چوب به چه عواملی بستگی دارد ؟ نام ببرید.

۴ــ ضریب دی‌الکتریک چوب را تعریف کنید.

۵ــ گرمای ویژه چوب را تعریف کنید.

۶ــ ضریب ظرفیت حرارتی چوب را تعریف کنید.

۷ــ ضریب هدایت حرارتی چوب را چگونه محاسبه می‌کنند؟

۸ــ قدرت گرمادهی یا گرمازایی چوب یعنی چه؟

۹ــ ارزش حرارتی چوب در سیستم متریک چقدر است؟

۱۰ــ ارزش حرارتی چوب بیشتر است یا زغال سنگ؟

۱۱ــ سرعت انتشار صوت به چه عواملی بستگی دارد؟

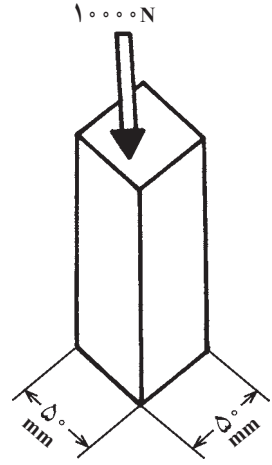
۱۲ــ در چوب، سرعت انتشار صوت را چگونه محاسبه می‌کنند؟

سؤال‌های فصل ششم

۱ــ حالت الاستیکی را تعریف کنید.

۲ــ حالت پلاستیکی را تعریف کنید.

۳ــ بر قطعه چوب شکل زیر، نیرویی برابر ۱۰۰۰۰ نیوتن وارد شده است. اگرسطح مقطع آن ۲۵۰۰ میلی‌مترمربع باشد، فشار را محاسبه کنید.



۴ــ جهت محوری یا طولی چوب را شرح دهید.
۵ــ جهت مماسی چوب را شرح دهید.
۶ــ جهت شعاعی چوب را شرح دهید.
۷ــ ماده‌ای که در جهت‌های مختلف دارای خواص مکانیکی یکسان باشد، چه نام دارد؟
۸ــ ماده‌ای نظیر چوب که در جهت‌های مختلف دارای خواص مکانیکی متفاوت باشد، چه نام دارد؟
۹ــ مقاومت چوب در جهت موازی با الیاف زیادتر است یا در جهت عمود بر الیاف؟
۱۰ــ مدول الاستیسیته تعیین‌کننده مقاومت چوب در برابر چه نیرویی است؟

سؤال‌های فصل هفتم

۱ــ وقتی یک الوار چوبی بر روی دو تکیه‌گاه قرار بگیرد و یک نفر در وسط بر روی آن بایستد، این الوار تحت تأثیر چه نیرویی قرار دارد؟
۲ــ مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) چوب را تعریف کنید.
۳ــ یک قطعه چوب راش به ابعاد مقطع ۵×۵ سانتی‌متر و طول ۸۰ سانتی‌متر تحت تأثیر نیروی خمشی برابر ۶۰۰ نیوتن شکسته شده است. اگر فاصله بین دو تکیه گاه ۷۰ سانتی‌متر باشد، با استفاده از فرمول $MOR = \frac{۱/۵FL}{bd^۲}$ مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) این چوب را محاسبه کنید.
۴ــ یک قطعه چوب بلوط به ابعاد سطح مقطع ۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر و طول ۴۰ سانتی‌متر تحت تأثیر نیروی خمشی برابر ۵۰۰ نیوتن شکسته شده است. اگر فاصله بین دو تکیه‌گاه ۳۵ سانتی‌متر باشد، با استفاده از فرمول $MOR = \frac{۱/۵FL}{bd^۲}$ مقاومت خمشی (MOR) این چوب را محاسبه کنید.
۵ــ مقاومت فشاری چوب درکدام حالت بیشتراست : در جهت الیاف یا عمود بر الیاف؟
۶ــ جرم مخصوص چوب بلوط زیادتر از جرم مخصوص چوب کاج است. مقاومت خمشی کدام چوب زیادتر است؟
۷ــ جرم مخصوص چوب صنوبر کمتر از چوب افرا است. مقاومت خمشی کدام چوب زیادتر است؟
۸ــ اگر یک قطعه چوب را خیس کنیم مقاومت خمشی آن «کم می‌شود» یا «تغییر نمی‌کند»؟
۹ــ در اثر زیاد شدن درجه حرارت مقاومت خمشی چوب «کم می‌شود » یا «زیاد می‌شود» ؟
۱۰ــ خم کردن چوب خشک آسان‌تر است یا خم کردن چوب مرطوب؟

سؤال‌های فصل هشتم

۱ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب زیادتر است یا مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف؟

۲ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب گره‌دار زیادتر است یا مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب بدون گره ؟

۳ــ یک قطعه چوب زبان گنجشک که به شکل دمبل ساخته شده است تحت تأثیر نیروی کشش موازی با الیاف ۳۰۰۰ نیوتن شکسته شده است. اگر سطح مقطع قسمت وسط چوب ۲ سانتی‌متر مربع باشد، با استفاده از رابطه : $P_{\parallel} = \frac{F}{A_{\circ}}$ ، مقاومت چوب زبان گنجشک را در برابر کشش موازی با الیاف تعیین کنید.

۴ــ برای تعیین مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب بلوط، یک قطعه از این چوب تحت تأثیر نیروی کشش عمود بر الیاف قرارگرفته و در اثر نیروی ۸۰۰۰ نیوتن شکسته شده است. اگر سطح مقطع نمونه ۱۲۵۰ میلی‌مترمربع باشد با استفاده از رابطه : $P_{\perp} = \frac{F}{A_{\circ}}$ ، مقاومت این چوب را در برابر کشش عمود بر الیاف محاسبه کنید.

۵ــ جرم مخصوص چوب توسکا برابر ۰/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. با استفاده از فرمول : $P_{\perp} = ۶۰D^{۲}$ مقاومت چوب توسکا را در برابر کشش عمود بر الیاف محاسبه کنید.

۶ــ جرم مخصوص چوب کاج زیادتر از چوب نوئل است. مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف کدام یک از این دو چوب زیادتر است؟

۷ــ از دو قطعه چوب راش، یک قطعه آن کاملاً خشک است و قطعه دیگر دارای ۱۵٪ رطوبت است، مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف کدام چوب زیادتر است؟

۸ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب گره‌دار زیادتر است یا چوب بدون گره؟

۹ــ دو قطعه چوب افرا به ابعاد سطح مقطع ۵۰×۵۰ میلی‌متر دارای گره هستند. قطر گره در یک قطعه برابر ۳۰ میلی‌متر و قطر گره در قطعه دیگر برابر ۲۰ میلی‌متر است. مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف کدام یک زیادتر است؟

۱۰ــ چرا گره تأثیر خیلی زیادی بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب دارد؟

سؤال‌های فصل نهم

۱ــ وقتی یک نفر بر روی چهارپایه چوبی نشسته است، در این حالت پایه‌ها تحت تأثیر چه نیروی قرار دارند؟

۲ــ یک مخزن آب بر روی یک اسکلت چوبی نصب شده است. پایه‌های چوبی این اسکلت تحت تأثیر چه نیرویی قرار دارند؟

۳ــ مقاومت چوب در برابر فشار موازی با الیاف کمتر است یا مقاومت چوب در برابر کشش عمود بر الیاف؟

۴ــ یک قطعه چوب راش به ابعاد سطح مقطع ۵۰×۵۰ میلی‌متر تحت تأثیر نیروی فشار موازی با الیاف قرارگرفته و توانسته است نیروی ۹۰ کیلونیوتن را تحمل کند. با استفاده از رابطه : $P_{c\parallel} = \frac{F}{A_\circ}$ ، مقاومت چوب راش را در برابر فشار موازی با الیاف محاسبه کنید.

۵ــ در تراورس راه‌آهن مقاومت در برابر فشار عمود بر الیاف چوب مهم‌تر است یا مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف؟

۶ــ یک قطعه چوب افرا به ابعاد سطح مقطع ۵×۵ سانتی‌متر تحت تأثیر نیروی فشارعمود بر الیاف قرار گرفته و نیرویی برابر ۳۵۰۰۰ نیوتن را تحمل کرده است. با استفاده از رابطه : $P_{c\perp} = \frac{F}{A_\circ}$ مقاومت چوب افرا را در برابر فشار عمود بر الیاف محاسبه کنید.

۷ــ مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف زیادتر است یا مقاومت در برابر فشار عمود بر الیاف؟

۸ــ چوب افرا سنگین‌تر از چوب توسکا است. مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف کدام یک زیادتر است؟

۹ــ اگر در رابطه $P_{\parallel} = I \times D$ مقدار I برابر ۱۲۵۰ و جرم مخصوص چوب ۰/۵ باشد، مقاومت چوب را در برابر فشار موازی با الیاف محاسبه کنید.

۱۰ــ مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف چوب راش خشک کمتراست یا چوب راش با رطوبت ۱۵٪ ؟

۱۱ــ مقاومت در برابر فشار موازی با الیاف چوب افرا بدون گره بیشتر است یا چوب افرا گره‌دار؟

سؤال‌های فصل دهم

۱ــ مقاومت برشی موازی با الیاف چوب کمتر است یا مقاومت برشی عمود برالیاف چوب؟

۲ــ وقتی یک تیرچوبی تحت تأثیر نیروی خمشی قرار می‌گیرد، در چه قسمت آن نیروی برشی افقی وجود دارد؟

۳ــ یک قطعه چوب راش تحت تأثیر نیروی برشی برابر ۴۰ کیلونیوتن شکسته شده است. اگر سطح مقطع تحت تأثیر نیروی برشی ۲۵۰۰ میلی‌مترمربع باشد با استفاده از رابطه $P = \frac{F}{A_{\circ}}$ ، مقاومت برشی چوب راش را محاسبه کنید.

۴ــ وقتی با یک چکش با دسته چوبی ضربه سنگینی بر یک میخ وارد می‌کنیم، دسته چکش تحت تأثیر چه نیرویی قرار می‌گیرد؟

۵ــ مقاومت در برابر ضربه چوب پوسیده زیادتر است یا چوب سالم؟

سؤال‌های فصل یازدهم

۱ــ جرم مخصوص چوب بلوط زیادتر از چوب صنوبر است. سختی کدام یک زیادتراست؟

۲ــ چوب راش سنگین‌تر از چوب کاج است. سختی کدام یک کمتر است؟

۳ــ چوب آزاد سنگین‌تر از چوب توسکا است. کدام یک آسان‌تر سنباده‌زنی می‌شوند؟

۴ــ اگر مقاومت در برابر فشار عمود بر الیاف یک قطعه چوب آزاد ۷۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع باشد با استفاده از رابطه : $H = ۲F - ۵۰۰$ سختی چوب آزاد را محاسبه کنید.

۵ــ چوب افرا سخت‌تر از چوب توسکا است. کدام یک آسان‌تر رنده می‌شود؟

سؤال‌های فصل دوازدهم

۱ــ آیا با زیاد شدن جرم مخصوص چوب مقاومت‌های آن زیاد می‌شود یا کم می‌شود؟

۲ــ جرم مخصوص چوب گردوی ایرانی برابر ۰/۶۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جرم مخصوص چوب نمدار ۰/۴۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. مدول الاستیسیته در حالت خمش کدام‌یک زیادتر است؟

۳ــ جرم مخصوص چوب افرای چناروش زیادتر از جرم مخصوص نمدار است. قدرت نگهداری پیچ کدام یک زیادتر است؟

۴ــ مقاومت‌های چوب تر زیادتر است یا چوب خشک؟

۵ــ اگر یک قطعه چوب به صورت تیر در یک ساختمان قرار گرفته، سقف بر روی آن قرار گیرد. آیا مقاومت آن به مرور زمان کم می‌شود یا این که ثابت می‌ماند؟

۶ــ از یک قطعه تخته خرده چوب (نئوپان) یک طبقه کتابخانه ساخته شده است و تعدادی کتاب بر روی آن قرار داده‌اند، پس از مدتی قطعه نئوپان خمیده شده است. چرا؟

۷ــ اگر یک قطعه چوب را حرارت دهیم، مقاومت‌های آن کم می‌شود و یا زیاد می‌شود؟

۸ــ مقاومت‌های یک قطعه چوب با الیاف مورّب زیادتر است یا یک قطعه چوب با الیاف راست؟

۹ــ مقاومت یک قطعه چوب با طول ۵۰ سانتی‌متر و ابعاد سطع مقطع ۲×۲ زیادتر است یا مقاومت یک الوار با طول ۲/۵ متر و ابعاد سطح مقطع ۱۵×۲۵ سانتی‌متر؟

۱۰ــ مقاومت یک الوار راش با گره‌های متعدد و بزرگ زیادتر است یا مقاومت یک الوار راش با گره‌های کوچک و تعداد کم؟