فصل هفتم

مقاومت خمشی چوب

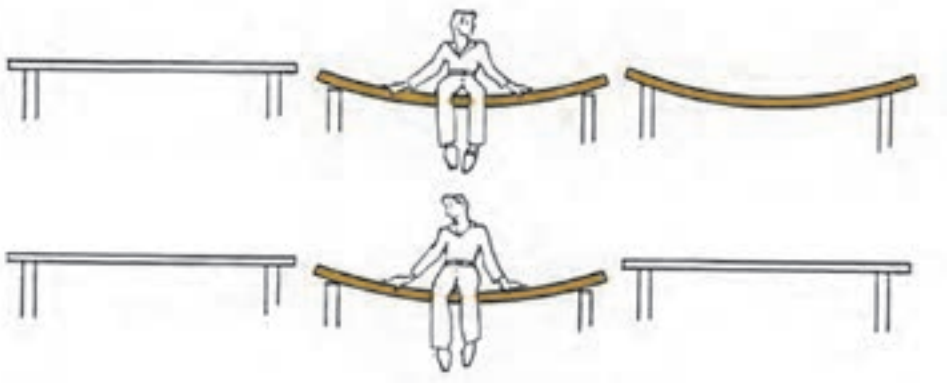
هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ مقاومت خمشی چوب را شرح دهد و آن را محاسبه کند.

۲ــ مدول الاستیسیته چوب را بداند و محاسبه کند.

۳ــ عوامل مؤثر بر مقاومت خمشی چوب را شرح دهد.

زمان تدریس: ۴ ساعت



۷ــ مقاومت خمشی چوب

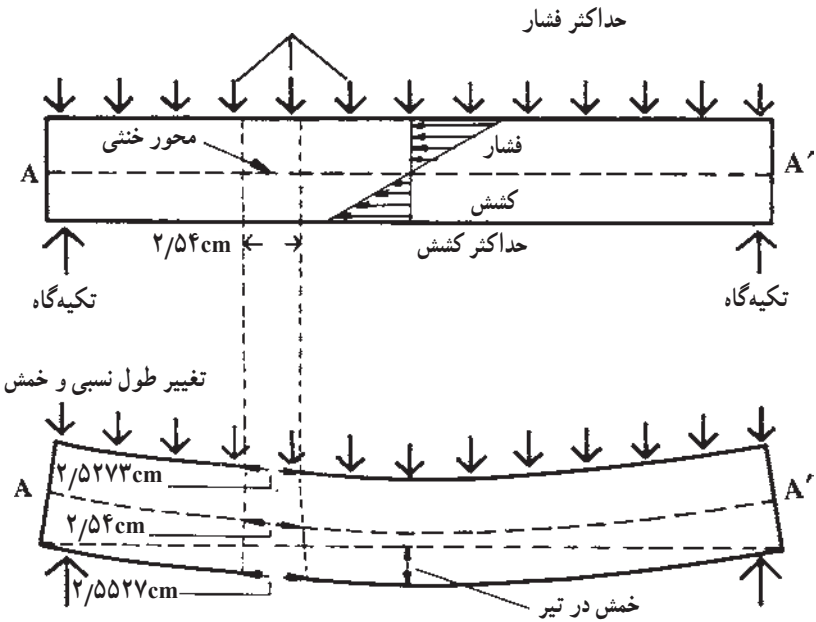
۱ــ۷ــ مفهوم مقاومت خمشی چوب

مقاومت خمشی تعیین کننده توانایی تحمل نیروی یک تیر چوبی یا یک قید چوبی است. اگر یک قطعه چوب به صورت قید در بین دو اتصال قرار گیرد (مانند صندلی) و نیرویی بر آن وارد گردد و یا بر یک تیر چوبی که در سقف یک ساختمان به کار رفته است نیرویی وارد گردد آن نیرو می‌تواند موجب تغییر شکل قید یا تیر چوبی شود و آن قطعه چوب تحت تأثیر نیرو خمیده گردد ؛ در این صورت گویند آن قطعه تیر چوبی یا قید چوبی تحت تأثیر «نیروی خمشی» قرار دارد.

مقاومت خمشی یکی از خواص بنیادی در استفاده از چوب در ساختمان سازی، معدن‌کاری و سازه‌های چوبی است. اگر چوب تحت تأثیر بار (نیرو) ساده یک محوری کشش یا فشار قرار گیرد، اصل «تنش ــ تغییر طول نسبی» خیلی ساده است، اما اگر یک قطعه چوب تحت تأثیر نیروهای خمشی قرار گیرد پدیده تنش ــتغییر طول نسبی خیلی پیچیده است ؛ همان‌گونه که از شکل(۱ ــ ۷) مشخص است،هر گاه یک تیر چوبی سقف یا کف ساختمان تحت تأثیر نیرویی که به طور یکنواخت بر روی آن پخش شده است، همچنین هر گاه بر یک قید چوبی نیروی متمرکز (نیرو در یک نقطه اعمال می‌شود) وارد گردد (نظیر موقعی که یک قطعه چوب بر روی دو تکیه‌گاه قرار گرفته و فردی در وسط آن ایستاده است.) نیمه‌ی بالایی تیر چوبی یا قید تحت تأثیر نیروی فشاری واقع شده و نیمه‌ی پایین تحت تأثیر نیروی کششی قرار می‌گیرد. در چنین حالتی فشردگی و کشیدگی حداکثر در سطح بالا و پایین قطعه چوبی به وجود می‌آید و به طور ساده می‌توان فرض کرد که تغییر در میزان نیروی فشاری یا کششی، از سطح بالا به سطح پایین به صورت خطی خواهد بود (به شکل ۱ــ۷ مراجعه کنید) ؛ یعنی حداکثر نیروی فشاری در سطح بالایی چوب و حداکثر نیروی کششی در سطح پایین چوب واقع شده و در قسمت وسط در حقیقت، هیچگونه نیروی کششی یا فشاری اعمال نشده و خط وسط موسوم به محور «خنثی» است. در این محور نیروی کششی یا فشاری بر چوب وارد نمی‌شود،زیرا چوب در این محور و دیگر محورهای طولی تحت تأثیر نیروی برشی[1] قرار دارد.

با توجه به این که در محور خنثی چوب هیچگونه نیروی فشاری یا کششی وجود ندارد، در این محور که در شکل (۱ــ۷) به صورت خط AA. نشان داده شده است، هیچ‌گونه تغییر طول در اثر

۱ــ در فصل دهم به توضیح این مطلب پرداخته شده است.



شکل۱ــ۷ــ خمش در یک تیر چوبی تحت تأثیر بار یکنواخت گسترده

نیروی خمشی به وجود نخواهد آمد.

در اثر نیروی اعمال شده، سطح بالایی چوب فشرده شده، سطح پایین آن کشیده و طول آن زیاد می‌شود و در اثر تغییر شکل «فشاری ــ کششی» در دو سطح قطعه چوب خمیده می‌شود.

مقدار خمش را در وسط قطعه چوب درصورتی‌که تکیه‌گاه در دو طرف آن قرار گیرد، «خمش حداکثر» گویند و معمولاً ابتدا خمش در این نقطه به وجود می‌آید. مقدار خمش متناسب است با :

ــ محل اعمال نیرو و مقدار نیروی اعمال شده :هر چه مقدار نیرو زیادتر باشد میزان خمش زیادتر است و یا اگر نیرو در وسط قطعه چوبی اعمال شود میزان خمش زیادتر است ؛

ــ فاصله بین دو تکیه‌گاه که چوب بر روی آن‌ها قرار گرفته و اندازه سطح مقطع چوب ؛

ــ میزان مدول الاستیسیته چوب : هر چه میزان مدول الاستیسیته یک چوب زیادتر باشد در یک اندازه معین، در اثر نیروی مشخصی مقدار خمش کمتر است.

مقاومت خمشی چوب و محصولات چوبی را معمولاً به صورت مدول گسیختگی و به صورت ساده شده «MOR[1]» بیان می‌کنند.

۱ــ Modulus of Rupture

مقاومت خمشی را با استفاده از میزان نیروی حداکثر اعمال شده تا نقطه شکست بر چوب (در آزمایش خمش) و اندازه ابعاد قطعه چوبی (فاصله بین دو تکیه‌گاه، پهنا و ضخامت) محاسبه می‌کنند.

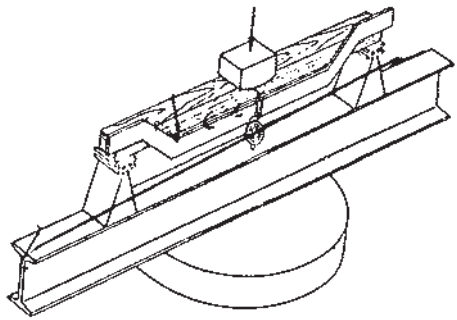
معمولاً از دو روش برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی چوب استفاده می‌گردد :

ــ در روش اول که طبق دستور العمل‌های ملی و بین‌المللی انجام می‌گیرد آزمایش بر روی یک قطعه کوچک و بدون عیب چوب انجام می‌گیرد و سپس بر طبق روش‌های متداول مقاومت محاسبه شده به قطعه چوب بزرگتر به اندازه نهایی تعمیم داده می‌شود. عوامل مؤثر در تبدیل مقاومت خمشی قطعه کوچک چوب به قطعه بزرگتر در فصل دوازدهم خلاصه شده است.

ــ روش دیگر، آزمایش نمونه‌ها در اندازه واقعی (کاربردی) است که با این آزمایش‌ها مشاهدات حاصل از آزمایش نمونه‌های کوچک اصلاح می‌شود.

۲ــ۷ــ محاسبه مقاومت خمشی قطعه کوچک

روش اول آزمایش مقاومت خمشی چوب بر طبق شکل (۲ــ۷ــ الف) انجام می‌گیرد. در این روش یک قطعه کوچک چوب بدون عیب بر روی دو تکیه‌گاه شکل (۲ــ۷ــ ب) قرار گرفته و از وسط

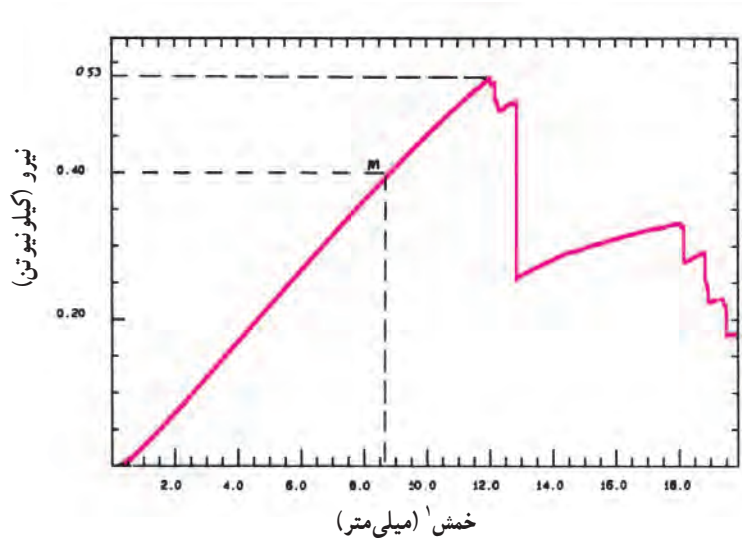


الف

ب

شکل ۲ــ۷ــ نمونه آزمایش خمشی چوب (الف) و دستگاه اندازه‌گیری نیروی خمشی (ب)

نیرویی بر آن اعمال می‌گردد. منحنی مقدار خمش در اثر نیروی وارد شده بر روی رسام دستگاه ترسیم شده و از روی این منحنی که در شکل ۳ــ۷ نشان داده شده است نیرو در نقطه شکست تعیین



شکل ۳ــ۷ــ منحنی نیرو ــ خمش یک قطعه چوب راش

می‌گردد. با در اختیار داشتن ابعاد مقطع عرضی نمونه چوب، فاصله بین دو تکیه‌گاه و نیروی لازم در نقطه شکست مقدار مقاومت خمشی (MOR) با استفاده از این فرمول محاسبه می‌گردد :[2]

$$MOR = \frac{۱/۵FL}{bd^{۲}}$$

MOR : مقاومت خمشی

F : نیرو در نقطه شکست به نیوتن

L : فاصله بین دو تکیه‌گاه به متر یا میلی‌متر

b : پهنای نمونه به متر یا میلی‌متر

d : ضخامت نمونه به متر یا میلی‌متر

این معادله فقط برای قطعه چوب با سطح مقطع مربع‌ــ مستطیل که آزادانه بر روی دو تکیه‌گاه قرار گرفته باشد و بار در وسط اعمال گردد، استفاده می‌شود.

۱ــ تغییر مکان فک متحرک دستگاه آزمایش خمشی

۲ــ استاندارد ملّی ایران به شماره ۱۱۲۱

مثال ۱: یک قطعه چوب راش با ابعاد سطح مقطع ۵۰×۵۰ میلی‌متر در یک ماشین آزمایش تحت تأثیر نیروی خمشی در وسط قرار گرفته و منحنی نیرو ــ تغییر شکل ۳ــ۷ به دست آمده است. اگر فاصله بین دو تکیه‌گاه ۷۰۰ میلی‌متر باشد، مقاومت خمشی نمونه را محاسبه کنید :

حل: بر طبق منحنی شکل ۳ــ۷ میزان نیروی لازم در نقطه شکست برابر ۵۳۰ نیوتن است. حال اگر مقدار نیروی اندازه‌گیری شده، ابعاد سطح مقطع و فاصله بین دو تکیه‌گاه را در معادله یک قرار دهیم :

$$F = ۵۳۰N \qquad MOR = \frac{۱/۵FL}{bd^۲}$$

$$L = ۷۰۰mm \qquad MOR = \frac{۱/۵ \times ۵۳۰(N) \times ۷۰۰(mm)}{۵۰(mm) \times ۵۰(mm)^۲}$$

$$b = ۵۰mm \qquad MOR = ۴/۴۵۲ N/mm^۲ \text{ یا } MPa$$

$$d = ۵۰mm$$

پس مقاومت خمشی نمونه چوب مورد آزمایش برابر ۴/۴۵۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع است.

تذکر: از سیستم‌های متفاوتی برای بیان ابعاد، نیروها، فشار و غیره استفاده می‌گردد. سیستم متداول و مورد قبول بین‌المللی سیستم SI است که در این سیستم واحد طول متر و واحد نیرو بر حسب نیوتن و واحد فشار پاسکال است. هر یک ۱ نیوتن بر میلی‌مترمربع برابر است با ۱۰۰۰۰۰۰ پاسکال.

مثال ۲: یک قطعه چوب بلوط به ابعاد سطح مقطع ۲۵×۲۵ میلی‌متر در یک ماشین آزمایش تحت نیروی خمشی قرار گرفته و منحنی نیرو ــ تغییر شکل[۱] در شکل ۴ــ۷ به دست آمده است. اگر فاصله بین دو تکیه‌گاه ۳۶۰ میلی‌متر باشد مقاومت خمشی نمونه چوب بلوط را محاسبه کنید :

حل: میزان نیروی لازم در نقطه شکست برابر ۴۴۶ نیوتن است. طبق معادله :

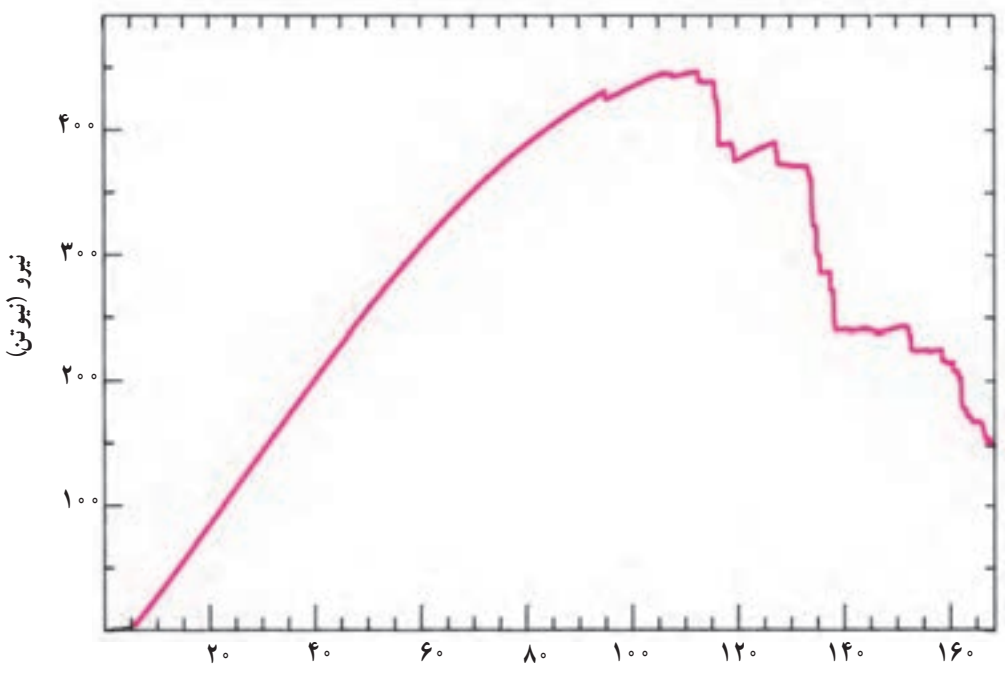
$$F = ۴۴۶N \qquad MOR = \frac{۱/۵FL}{bd^۲}$$

$$L = ۳۶۰mm \qquad MOR = \frac{۱/۵ \times ۴۴۶N \times ۰/۳۶m}{۰/۰۲۵m \times ۰/۰۰۰۶۲۵m}$$

$$b = d = ۲۵mm \qquad MOR = ۱۵/۴۱ \ Pa(N/m^۲)$$

مقاومت خمشی چوب بلوط مورد آزمایش برابر ۱۵/۴۱پاسکال است.

۱ــ منظور از تغییر شکل در آزمایش خمش، میزان بخش متحرک دستگاه است.



شکل ۴ــ۷ــ منحنی نیرو ــ خمش یک قطعه چوب بلوط

۳ــ۷ــ محاسبه مدول الاستیسیته

برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته در حالت خمش نیز از آزمایش خمشی نمونه چوب استفاده می‌گردد. در این حالت مطابق شکل ۲ــ۷ در یک دستگاه آزمایش نیرویی بر نمونه چوب وارد می‌شود و منحنی شکل۳ــ۷ یا شکل ۴ــ۷ ترسیم می‌گردد. (دقت کنید که نیروی اعمال شده و مقدار خمش به وجود آمده در اثر نیرو، به طور همزمان تعیین می‌گردد.) از طریق اندازه‌گیری میزان خمش قبل از رسیدن به محدوده پلاستیکی شدن (محدوده A ــ B در شکل ۳ــ۶)، نیروی لازم برای به وجود آوردن میزان خمش اندازه‌گیری شده، ابعاد سطح مقطع و فاصله بین دو تکیه‌گاه، مدول الاستیسیته طبق این رابطه محاسبه می‌شود :

$$MOE = \frac{FL^3}{4bd^3D}$$ [1]

۱ــ Modulus of Elasticity

MOE : مدول الاستیسیته (نیوتن بر میلی‌متر مربع یا مگاپاسکال)

F : مقدار نیرو در نقطه‌ای در محدوده A ــ B که درآن نقطه مقدار خمش اندازه‌گیری شده است. (نیوتن)

D : مقدار خمش در نیروی F (میلی‌متر)

L : فاصله بین دو تکیه‌گاه (میلی‌متر)

b : پهنای نمونه (میلی‌متر)

d : ضخامت نمونه (میلی‌متر)

مثال ۳: به مثال ۱ و شکل ۳ــ۷ مراجعه کنید. مدول الاستیسیته چوب راش مورد آزمایش را محاسبه کنید.

حل: مطابق شکل ۳ــ ۷ مقدار خمش در نیروی اعمال شده ۴۰۰ نیوتن در نقطه دلخواه M برابر ۸۷ میلی‌متر است. اگر اطلاعات مربوط به ابعاد نمونه و فاصله دو تکیه‌گاه (طبق مثال ۱)، نیرو و خمش را در معادله قرار دهیم :

$$MOE = \frac{FL^3}{4bd^3D}$$

$F = 400\ N$ $\qquad$ $MOE = \frac{400(N)\times(700mm)^3}{4(50mm)(50mm)^3 87mm}$

$D = 0/087\ m$ $\qquad$ $MOE = 63/08\ \ N/mm^2$ یا MPa[1]

$b = d = 0/05\ \ m = 50mm$

$L = 0/7\ \ m = 700mm$

مدول الاستیسیته چوب راش مورد آزمایش برابر ۶۳۰۸۰۰۰۰ پاسکال است.

چند نکته مهم را باید متذکر شویم :

ــ معمولاً مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چوب‌های صنعتی تعیین شده و به صورت جدول‌هایی وجود دارد. در جدول ۱ــ۷ مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چند نوع چوب صنعتی مهم آورده شده است.

ــ با در اختیار داشتن مقاومت خمشی چوب می‌توان تحمل نیروی یک قطعه چوب را به ابعاد معین محاسبه کرد.

۱ــ $1\ N/mm^2 = 1000000\ N/m^2(Pa) = 1\ MPa$

مثال ۴: طبق جدول ۱ــ۷ مقاومت خمشی چوب راش برابر ۸۷×۱۰^{۶} نیوتن برمتر مربع است. تحمل نیروی متمرکز F در وسط یک الوار چوب راش به پهنای ۴ سانتی‌متر و ضخامت ۸ سانتی‌متر که بین دو تکیه‌گاه به فاصله ۲ متر قرار گرفته است محاسبه کنید (فرض کنید چوب بدون عیب است).

جدول ۱ــ۷ــ مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چند چوب مهم[۱]

نام چوب	مقاومت خمشی نیوتن بر مترمربع (پاسکال)	مدول الاستیسیته نیوتن بر مترمربع (پاسکال)	نام چوب	مقاومت خمشی نیوتن بر مترمربع (پاسکال)	مدول الاستیسیته نیوتن بر مترمربع (پاسکال)
ملچ	۸۹×۱۰^{۶}	۱۱۰۰۰×۱۰^{۶}	افرا چناروش	۱۳۷×۱۰^{۶}	۱۱۳۰۰×۱۰^{۶}
ممرز	۱۶۰×۱۰^{۶}	۱۶۲۰۰×۱۰^{۶}	بلوط (بلند بازو)	۱۱۰×۱۰^{۶}	۱۱۷۰×۱۰^{۶}
نمدار	۱۰۶×۱۰^{۶}	۷۴۰۰×۱۰^{۶}	تبریزی (شالک)	۳۷×۱۰^{۶}	۷۲۰۰۰×۱۰^{۶}
نراد	۷۳×۱۰^{۶}	۱۱۰۰۰×۱۰^{۶}	توسکا قشلاقی	۸۵×۱۰^{۶}	۷۷۰۰۰×۱۰^{۶}
نوئل	۷۸×۱۰^{۶}	۱۱۰۰۰×۱۰^{۶}	راش	۸۷×۱۰^{۶}	۱۲۵۰۰×۱۰^{۶}
کاج جنگلی	۱۰۰×۱۰^{۶}	۱۲۰۰۰×۱۰^{۶}	زبان گنجشک	۱۲۰×۱۰^{۶}	۱۳۴۰۰×۱۰^{۶}
			گردو ایرانی	۱۴۷×۱۰^{۶}	۱۲۵۰۰×۱۰^{۶}

حل: طبق رابطه :

$$MOR = \frac{۱/۵FL}{bd^{۲}}$$

که در این معادله : (نیوتن برمترمربع) $MOR = ۸۷\times۱۰^{۶}\ \frac{N}{m^{۲}}$

$L = ۲۰۰$ سانتی‌متر

$b = ۴cm$ (پهنا)

$d = ۸cm$ (ضخامت)

با قرار دادن ارقام داده‌ها در فرمول مربوطه :

$$۸۷\times۱۰^{۶} = \frac{۱/۵(F)(۲۰۰)}{(۰/۰۴)\times(۰/۰۸)^{۲}}$$

$$۸۷\times۱۰^{۶} = \frac{۳۰۰F}{۲۵۶\times۱۰^{-۶}}$$

$$F = ۷۴/۲۴N$$

۱ــ مأخذ : پارساپژوه، داود. ۱۳۶۷ ــ تکنولوژی چوب

ـ اگر مدول الاستیسیته چوب مشخص باشد به‌سادگی می‌توان مقدار خمش را در اثر بار متمرکز یک نمونه چوب محاسبه کرد.

مثال ۵: قطعه چوب راش مثال ۴ را در نظر بگیرید. تحت تأثیر نیروی برابر ۵۰۰ نیوتن چوب به چه اندازه خمیده می‌شود :

حل: مدول الاستیسیته چوب راش طبق جدول ۱ـ۷ برابر ۱۲۵۰۰×۱۰^{۶} نیوتن بر مترمربع است. اگر اطلاعات مربوط به قطعه چوب مثال ۴ را در رابطه (صفحه۸۳) قرار دهیم :

$$MOE=\frac{FL^{۳}}{۴bd^{۳}D}$$

$$F=۵۰۰N \quad (\text{نیوتن})$$

$$L=۲m \quad (\text{متر})$$

$$b=۰/۰۴m \quad (\text{متر})$$

$$d=۰/۰۸m \quad (\text{متر})$$

$$D=?$$

$$۱۲۵۰۰\times۱۰^{۶}=\frac{۵۰۰\times(۲)^{۳}}{۴(۰/۰۴)(۰/۰۸)^{۳}D}$$

$$۱۲۵۰۰\times۱۰^{۶}=\frac{۵۰۰\times۸}{۸۱/۹۲\times۱۰^{-۶}D}$$

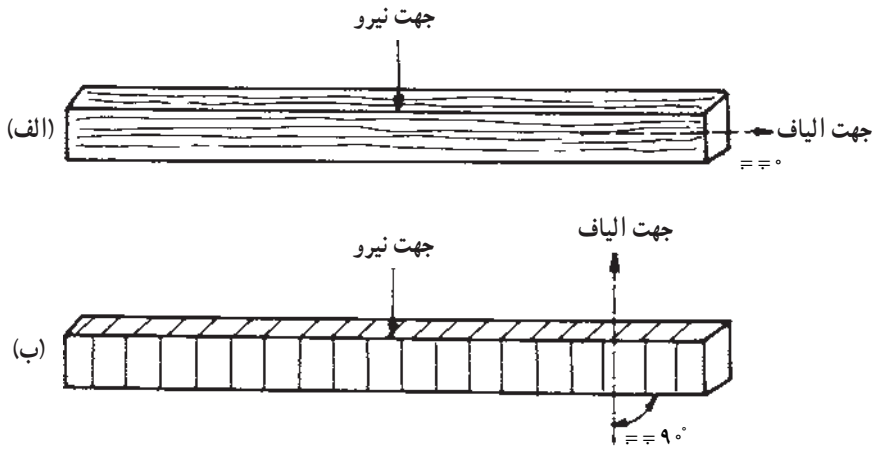
$$D=\frac{۴۰۰۰}{۱۰۲۴۰۰۰}$$

$$D=۰/۰۰۳۹m=۳/۹mm$$

۴ـ۷ـ عوامل مؤثر بر مقاومت خمشی چوب

عوامل متعددی بر مقاومت خمشی چوب تأثیر می‌گذارند. بعضی از این عوامل باعث زیاد شدن مقاومت خمشی و دیگر عوامل به کم شدن آن کمک می‌کند. در این فصل تأثیر این عوامل، به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفته، جهت مطالعه بیشتر به فصل دوازدهم که به طور جامع عوامل مؤثر بر ویژگی‌های مقاومتی چوب را مورد بحث قرار می‌دهد مراجعه شود. عوامل مؤثر بر مقاومت خمشی چوب عبارتند از :

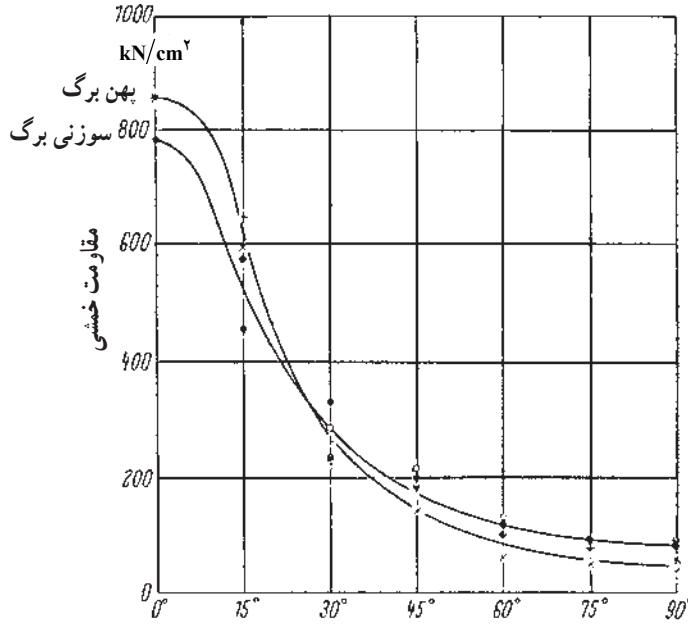
الف) زاویه الیاف: در استفاده از چوب در حالتی که تحت تأثیر نیروهای خمشی قرار دارد سعی می‌شود طول چوب (بزرگترین بُعد) در جهت الیاف باشد، زیرا مقاومت خمشی چوب در این حالت زیادتر است. به شکل ۵ــ۷ توجه کنید. دو حالت اعمال نیروی خمشی نشان داده شده است. واضح است که در حالت «ب» تحمل نیروی چوب کمتر است. برعکس، در حالت «الف» تحمل نیروی چوب زیاد است. در حالت «الف» طول نمونه در جهت موازی با الیاف انتخاب شده و زاویه شیب الیاف (.) را «صفر» فرض می‌کنیم. در حالت «ب»، طول نمونه در جهت عمود بر الیاف است و زاویه شیب الیاف را ۹۰ درجه فرض می‌کنیم.



شکل ۵ــ۷ــ تأثیر زاویه شیب الیاف بر مقاومت خمشی چوب

با زیاد شدن زاویه جهت اعمال نیرو بر چوب مقاومت خمشی مطابق شکل ۶ ــ ۷ کم می‌شود. به طوری که می‌توان گفت نسبت مقاومت خمشی زاویه صفر به زاویه ۹۰ درجه تقریباً ۸ به یک است.

ب) جرم مخصوص چوب: رابطه‌ی بین جرم مخصوص و مقاومت خمشی چوب تقریباً خطی است. یعنی با زیاد شدن جرم مخصوص چوب مقاومت خمشی افزایش می‌یابد.



شکل ۶ ــ۷ــ منحنی تغییرات مقاومت خمشی در اثر تغییر زاویه. . (مربوط به دو گونه سوزنی‌برگ و پهن‌برگ)

ج) رطوبت چوب: در اثر زیاد شدن رطوبت مقدار مقاومت خمشی کم می‌شود، زیرا چوب در اثر جذب آب واکشیده و نرم می‌شود. به همین دلیل است که برای خم کردن چوب در تولیدات قوس‌دار، ابتدا آن را برای مدتی خیس می‌کنند(شکل۷ــ۷).

شکل ۷ــ۷ــ برای خم کردن چوب باید آن را مرطوب کرد.مقاومت خمشی چوب مرطوب کم است.

د) دمای چوب: با زیاد شدن دمای چوب مقاومت خمشی آن کم می‌شود.

هـ) گره: به دلایل زیر وجود گره در چوب باعث کم شدن مقاومت‌های چوب می‌شود :

ــ در اطراف گره الیاف به صورت پیچیده و درهم قرار می‌گیرد.

ــ جهت الیاف در گره تقریباً عمود بر جهت الیاف در چوب است.

ــ در اطراف گره اغلب بریدگی و ترک وجود دارد.

در شکل ۸ــ۷ نکات فوق قابل رؤیت است.

اگر گره در قسمت تحت تأثیر نیروی کششی قرار گرفته باشد باعث کم شدن خیلی زیاد مقاومت خمشی و ایجاد شکستگی در چوب می‌شود ؛ (بخصوص در مواقعی که گره مرده باشد) بنابراین، محل قرار گرفتن گره در چوب تعیین کننده میزان کم شدن مقاومت خمشی است.

گره مرده: گره‌های مرده معمولاً تیره رنگ هستند و به قسمت‌های مجاور خود متصل نیستند و شبیه یک جسم خارجی به شکل میله ای در تنه درخت فرو رفته‌اند.

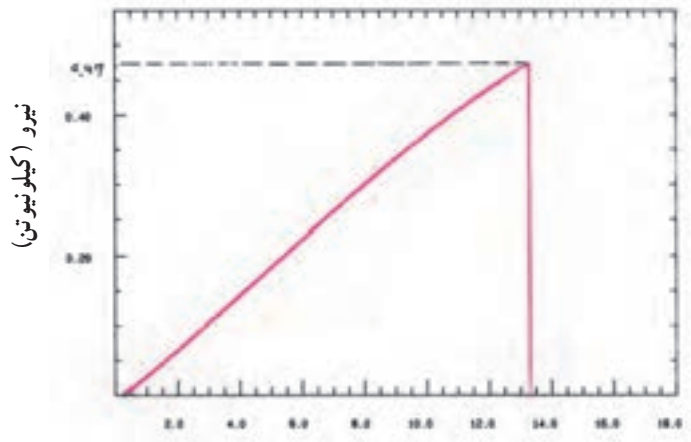
شکل ۸ــ۷ــ شکل دو گره درچوب که نشان دهنده پیچیدگی الیاف و بریدگی و ترک در اطراف آن است.

گره زنده: گره‌های زنده تقریباً هم رنگ چوب هستند و به قسمت‌های مجاور خود متصل‌اند.

تمرین

۱ــ یک قطعه چوب افرا به ابعاد سطح مقطع ۵×۵ سانتی‌متر مورد آزمایش خمشی قرار گرفته و منحنی نیروــ تغییر شکل ۹ــ۷ ترسیم شده است. اگرفاصله بین دو تکیه‌گاه برابر ۷۰ سانتی‌متر باشد محاسبه کنید :۱ــ مقاومت خمشی، ۲ــ مدول الاستیسیته.

۲ــ قدرت تحمل نیروی متمرکز را در وسط یک قطعه چوب ممرز، به پهنای ۵ سانتی‌متر و ضخامت ۶ سانتی‌متر که بر روی دو تکیه‌گاه به فاصله ۱۵۰ سانتی‌متر قرار گرفته است، محاسبه کنید. (برای حل این تمرین به جدول ۱ــ ۷ باید مراجعه کنید.)



شکل ۹ــ۷ــ منحنی نیرو ــ خمش یک قطعه چوب افرا

۳ــ اگر مدول الاستیسیته یک چوب زیادتر باشد در اثر نیروی مشخصی مقدار خمش (تغییر طول) آن ... است (کم‌تر یا بیش‌تر)

۴ــ در رابطه زیر مفهوم هر حرف مشخص شده را بنویسید :

$$MOR = \frac{۱/۵F\ L}{bd^۲}$$

۵ ــ برای خم کردن آسان چوب ابتدا باید آن را مرطوب کرد. چرا؟

۶ــ قطعه چوبی به طول ۳۰ الی ۵۰ سانتی‌متر تهیه شود و با اره در دو طرف تخته شیارهایی ایجاد شود تعدادی میخ در داخل شیار قرار گیرد با اعمال نیرو (خم‌کردن تخته) چه اتفاقی خواهد افتاد؟

۷ــ با توجه به نمودار (شکل ۶ــ۷) مقاومت خمشی چوب تحت زاویه الیاف ۳۰ درجه را با زاویه ۶۰ درجه مقایسه کنید.

فصل هشتم

مقاومت چوب در برابر کشش

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :
۱ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب را، شرح دهد.
۲ــ مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب را،شرح دهد.
۳ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف و عمود بر الیاف را، محاسبه کند.
۴ــ عوامل مؤثر بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف را، شرح دهد.

زمان تدریس: ۴ ساعت

۸ ــ مقاومت چوب در برابر کشش

مقاومت کششی یا مقاومت چوب در برابر نیروهایی که سعی در کشیده کردن چوب دارند را می‌توان در دو حالت ذیل، مطرح و اندازه‌گیری کرد :

ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف یا مقاومت به کشش جهت الیاف ؛

ــ مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف.

۱ــ ۸ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف

مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب فوق‌العاده زیاد بوده و در عمل همواره از مقدار مورد نیاز در طراحی زیادتر است. مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب قابل مقایسه با سایر مواد ساختمانی می‌باشد. در جدول ۱ــ ۸ مقایسه‌ای از مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب با فلزات و بعضی از مواد دیگر ارائه شده است.

جدول ۱ــ۸ــ مقایسه مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب با دیگر مواد

ماده	مقاومت در برابر کشش (نیوتن بر مترمربع)
سیم فولادی (حداکثر)	۳۲۰۰×۱۰^{۶}
سیم آهن	$۵۵۰\times۱۰^{۶} - ۸۴۰\times۱۰^{۶}$
فولاد ساختمانی	$۵۲۰\times۱۰^{۶} - ۸۲۰\times۱۰^{۶}$
سیم مسی	$۴۲۰\times۱۰^{۶} - ۴۹۰\times۱۰^{۶}$
الیاف ابریشم	۳۵۰×۱۰^{۶}
الیاف پنبه	$۲۸۰\times۱۰^{۶} - ۸۰۰\times۱۰^{۶}$
چوب سوزنی برگان	$۵۰\times۱۰^{۶} - ۱۵۰\times۱۰^{۶}$
چوب پهن برگان	$۲۰\times۱۰^{۶} - ۲۶۰\times۱۰^{۶}$

مأخذ : پارسا پژوه ــ تکنولوژی چوب

همان‌گونه که از جدول ۱ــ۸ مشخص می‌گردد مقاومت در برابرکشش موازی با الیاف چوب در حدود ۲۰ درصد فولاد ساختمانی است ؛ همچنین تغییرات نسبتاً زیادی در مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب مشاهده می‌گردد ؛ به طوری که بالاترین مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب پهن برگان بالغ بر سیزده برابر کمترین مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف است.

در جدول ۲ــ۸ مقاومت در برابرکشش موازی با الیاف تعدادی از چوب‌های پهن‌برگ خلاصه شده است.

جدول ۲ــ۸ــ جدول مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف[1] چندگونه چوبی پهن‌برگ

نوع چوب	مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف (نیوتن بر مترمربع)
افرا	۱۰۰×۱۰^{۶}
بید	۶۴×۱۰^{۶}
تبریزی	۷۷×۱۰^{۶}
راش (اروپا)	۱۳۵×۱۰^{۶}
زبان گنجشک	۱۶۵×۱۰^{۶}
گردوی ایرانی	۱۰۰×۱۰^{۶}
ملچ (ملج)	۸۰×۱۰^{۶}
ممرز	۱۳۵×۱۰^{۶}
نمدار	۸۵×۱۰^{۶}

مأخذ : پارسا پژوه ــ تکنولوژی چوب

۱ــ این مقاومت همان تنش کششی بوده که با (سیگما) نیز نشان داده می‌شود.

مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب (در ۱۲ درصد رطوبت) شاید به حداکثر ۳۰۰×۱۰^{۶} نیوتن بر مترمربع نیز برسد. همان‌گونه که از جدول ۱ــ۸ مشخص می‌گردد مقاومت در برابر کشش الیاف پنبه بین ۲۸۰×۱۰^{۶} تا ۸۰۰×۱۰^{۶} نیوتن بر مترمربع متغیر است. دقت کنید که ساختمان شیمیایی الیاف چوب سوزنی‌برگان و پهن‌برگان مشابه الیاف پنبه است، اما درجه سازمان‌یافتگی الیاف پنبه بیشتر است و به این دلیل مقاومت در برابر کشش آن نیز بالاتر است.

متأسفانه به چند دلیل ازمقاومت کششی زیاد اعضای چوبی نمی‌توان در ساختمان بهره‌گیری نمود. این دلایل عبارتند از :

ــ مقاومت برشی چوب درجهت الیاف در مقایسه با مقاومت کششی آن درهمین جهت بسیار کم است (فقط ۶ تا ۱۰ درصد) و به همین علت چوب در محل اتصالات خیلی زود شکاف برمی‌دارد.

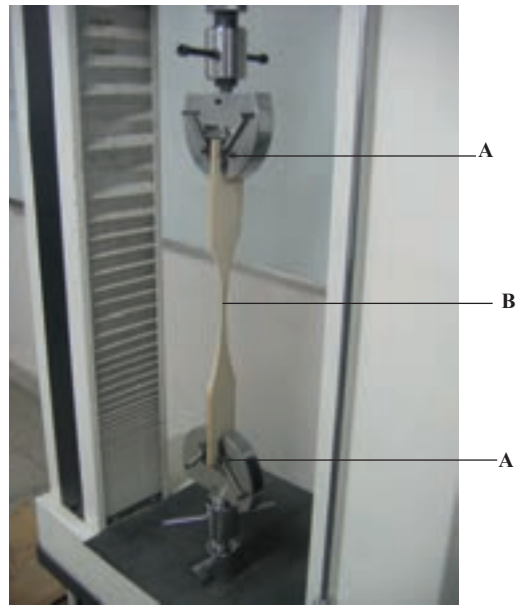
ــ معایب چوب از قبیل گره، الیاف مورب و غیره مقاومت کششی چوب را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند.

ــ انجام‌دادن آزمایش کششی موازی الیاف روی چوب مشکل می‌باشد، زیرا برای تهیه نمونه مربوطه به وجود کارگر ماهر نیاز است و احتمال توسعه تنش عمود بر الیاف و یا اعمال نیروی چرخشی به نمونه در محل گیره‌های اتصال دستگاه خیلی زیاد است.[۱]

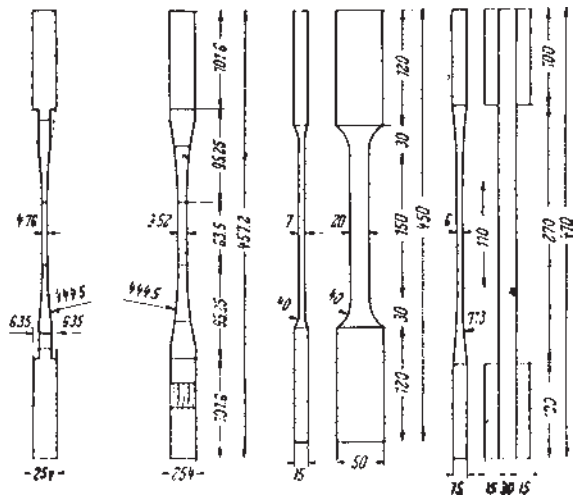
۱ــ۱ــ۸ــ اندازه‌گیری مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف : مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب به‌مراتب بیش از مقاومت به فشار عمود بر الیاف و مقاومت برشی است. هنگامی که برای اندازه‌گیری نیروی لازم برای شکستن نمونه در حالت کشش، نمونه در داخل گیره‌ها قرار گیرد، گیره‌ها بر چوب نیروی فشاری عمود بر الیاف وارد کرده، احتمال لهیده شدن چوب در داخل گیره وجود دارد ؛ بنابراین، اندازه و شکل نمونه چوب باید به طریقی انتخاب گردد که نیروی لازم برای شکستن نمونه در حالت کشش کمتر از مقاومت در برابر فشار عمود بر الیاف و مقاومت برشی چوب باشد. در شکل ۱ــ۸ یک قطعه چوب تحت نیروی کشش موازی با الیاف دیده می‌شود. در نقطه B نمونه تحت تأثیر نیروی کششی و در نقطه A تحت تأثیر نیروی فشار عمود بر الیاف است. برای اطمینان از شکستن چوب در نقطه مورد نظر نمونه چوب را به شکل دمبل (سطح مقطع در قسمت وسط کم) تهیه می‌کنند. این روش را برای اندازه‌گیری دقیق مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب انتخاب می‌کنند، اما در استفاده چوب لازم است سطح مقطع چوب در تمام طول آن یکسان باشد. در شکل ۲ــ۸ چند نمونه استاندارد آزمایش مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف

۱ــ مأخذ : ابراهیمی، قنبر. ۱۳۷۶ــ مقاومت‌های مکانیکی چوب و عناصر آن و تحلیل تاب اوراق مرکب چوبی

چوب نشان داده شده است.



شکل ۱ــ ۸ــ طرز قرار گرفتن نمونه آزمایش کشش چوب در گیره

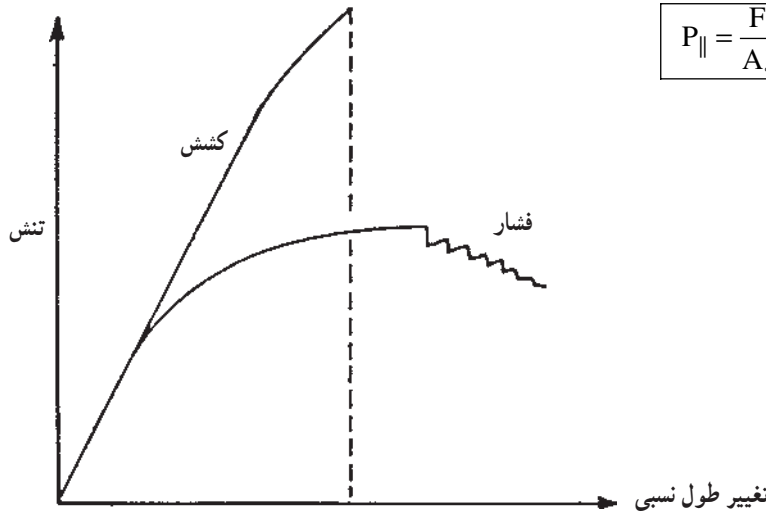


شکل۲ــ۸ــ چند نمونه استاندارد برای تعیین مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب

شکل ۳ــ ۸ــ دستگاه آزمایش برای اندازه‌گیری مقاومت در برابر کشش

برای محاسبه مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب لازم است نیروی لازم برای شکستن چوب در حالت کشیده شدن اندازه‌گیری شود. برای این منظور از دستگاه آزمایش چوب که در شکل ۳ ــ ۸ نشان داده شده است استفاده می‌گردد. مطابق شکل ۱ــ۸ نمونه چوب در داخل گیره‌های دستگاه قرار گرفته و نیرویی در حالت کشش بر آن وارد می‌گردد. دستگاه‌های کشش و فشار امروزی مجهز به رایانه و نرم‌افزارهای ویژه‌ای بوده که قادر می‌باشند منحنی «نیروــتغییر شکل» و یا «تنش ــ تغییر طول نسبی» را به همراه سایر نتایج در حین و پس از پایان آزمایش، در اختیار کاربر قرار دهند (شکل۴ــ۸). پس از اندازه‌گیری نیروی اعمال شده در نقطه شکست و سطح مقطع محل شکست مقاومت دربرابر کشش موازی با الیاف چوب از طریق تقسیم نیرو بر سطح مقطع با استفاده از این رابطه توسط دستگاه و یا کاربر محاسبه می‌شود :

$$P_{\parallel} = \frac{F}{A_{\circ}}$$ [1]



شکل ۴ــ ۸ــ منحنی تنش ــ تغییر طول نسبی چوب در حالت فشار و یا کشش موازی با الیاف

۱ــ P در این فرمول و سایر فرمول‌های مشابه این فصل و فصل بعد، نشان‌دهنده تنش (: سیگما) می‌باشد.

که در آن :

$P_{\parallel}$ ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف (نیوتن بر میلی‌متر مربع یا کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع)

F ــ نیروی لازم برای شکستن نمونه (نیوتن یا کیلوگرم نیرو)

A ــ سطح مقطع وسط نمونه (میلی‌متر مربع یا متر مربع)

مثال ۱: مطابق جدول ۲ــ۸ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب زبان گنجشک برابر ۱۶۵×۱۰^{۶} نیوتن بر مترمربع است. تحمل نیرو (بار) در حالت کشش یک قطعه از این چوب به ابعاد سطح مقطع ۵×۵ سانتی‌متر را محاسبه کنید.

حل: سطح مقطع چوب برابر ۰/۰۰۲۵ متر مربع است. اگر مقدار مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف این چوب، یعنی ۱۶۵×۱۰^{۶}نیوتن بر متر مربع را در معادله قرار دهیم :

$$P_{\parallel}=\frac{F}{A_{\circ}}. \quad F=P_{\parallel}\times A_{\circ}$$

$$(F\ \text{نیوتن}) = (۱۶۵\times۱۰^{۶}\ \text{نیوتن بر متر مربع}) \times (۲۵\times۱۰^{-۴}\ \text{مترمربع})$$

$$F = ۴۱۲۵۰۰\ \text{نیوتن}$$

تحمل نیروی این قطعه چوب در برابر کشش موازی با الیاف برابر ۴۱۲۵۰۰ نیوتن است.

۲ــ۸ــ مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف

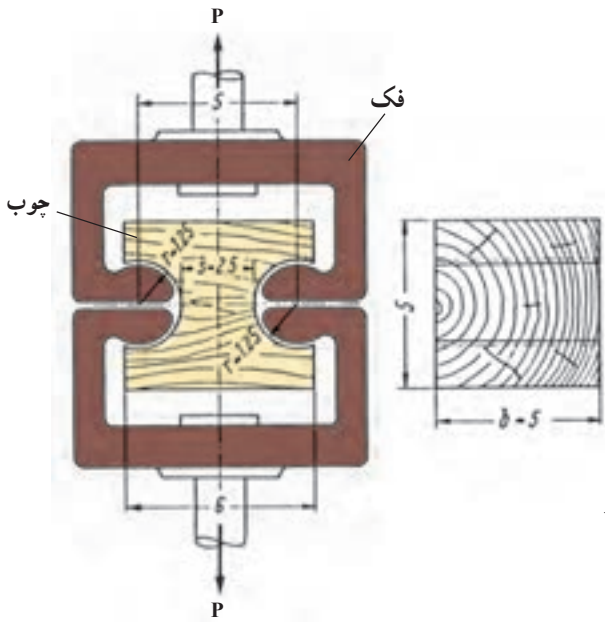
مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف نشان دهنده میزان چسبندگی عرضی بین الیاف یا به عبارت دیگر، چسبندگی جانبی الیاف در چوب است.

در طراحی محصولات چوبی مخصوصاً در سازه‌های چوبی ساختمانی سعی می‌گردد چوب در معرض نیروی کشش عمود بر الیاف واقع نگردد، زیرا مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب خیلی کم است[۱] ؛ همچنین در اثر ترک‌هایی که در چوب وجود دارند (در طی خشک کردن چوب در اثر پدیده همکشیدگی ترک‌های سطحی و داخلی در چوب به وجود می‌آیند.) مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف کم می‌شود.

در عمل به علت کم بودن مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب دقت‌نداشتن اعداد اندازه‌گیری‌شده ضرورتی به اندازه‌گیری این ویژگی نیست، اما برای تکمیل اطلاعات و نیاز احتمالی

۱ــ شکاف خوردن آسان چوب در جهت موازی الیاف مؤید همین مطلب است.

جهت اندازه‌گیری این ویژگی نمونه‌های مختلفی طراحی شده‌اند که یک نمونه آن در شکل ۵ــ۸ آورده شده است.



شکل ۵ــ۸ــ نمونه آزمایش مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب

برای تعیین مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف یک قطعه چوب، ابتدا سطح مقطع تحت تأثیر نیروی کشش عمود بر الیاف نمونه را اندازه‌گیری کرده، پس از قرار دادن در دستگاه آزمایش مطابق شکل ۶ــ۸ و شکستن نمونه در جهت عمود بر الیاف، نیروی لازم اندازه‌گیری می‌گردد. از تقسیم نیرو بر سطح مقطع با استفاده از رابطه قبل مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب محاسبه می‌شود.

شکل ۶ــ۸ــ روش اندازه‌گیری مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب

مثال ۲: نمونه آزمایش تعیین مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف از چوب بلوط تهیه شده و در دستگاه آزمایش چوب مورد آزمایش قرار گرفته است. منحنی شکل ۷ــ ۸ ترسیم شده است.

اگر ابعاد سطح مقطع تحت نیروی کشش برابر ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر باشد مقاومت[1] در برابر کشش عمود بر الیاف چوب بلوط را محاسبه کنید.

حل: نیروی حداکثر در نقطه شکست طبق منحنی شکل ۷ــ۸ برابر $F = ۷۶۴۰$ نیوتن است.

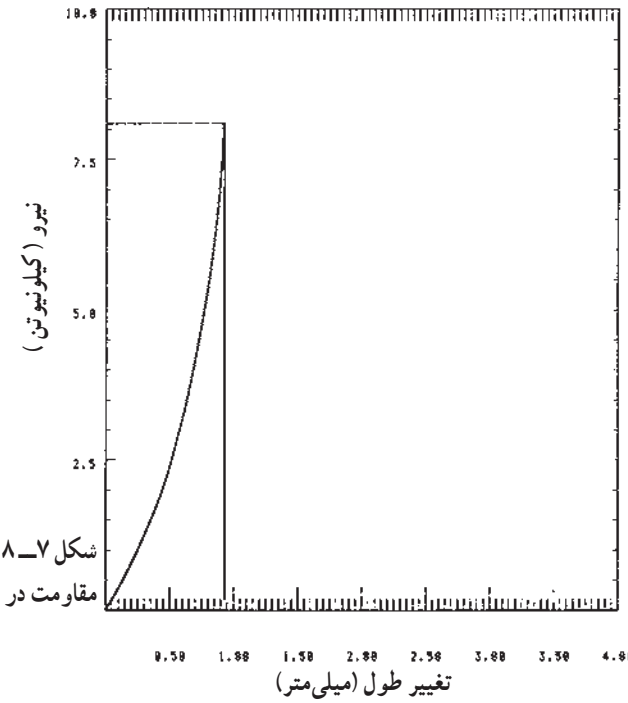
$$A = ۵ \times ۲/۵ = ۱۲/۵$$ سانتی‌متر مربع

$$A = ۱۲۵۰$$ میلی‌متر مربع

$$P_{\perp} = \frac{F\,(\text{نیوتن})}{A_{\circ}\,(\text{میلی‌مترمربع})}$$

$$P_{\perp} = \frac{۷۶۴۰\,(\text{نیوتن})}{۱۲۵۰\,(\text{میلی‌مترمربع})}$$

$$P_{\perp} = ۶/۱۱$$ (نیوتن بر میلی‌مترمربع)



شکل ۷ــ۸ــ منحنی نیرو ــ تغییر شکل در آزمایش مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب بلوط

۱ــ درمقاطع تحصیلی بالاتر به‌جای F (مقاومت) از تنش (: سیگما)، برای نشان دادن نیرو تقسیم بر واحد سطح، استفاده می‌گردد.

تذکر: به علت استفاده از چوب عاری از عیب در آزمایش فوق به مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف بالاتری رسیده‌ایم، اما مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب کمتر از این مقدار است.

مثال ۳: یک قطعه چوب راش مورد آزمایش مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف قرار گرفته و منحنی نیرو ــ تغییر شکل ۸ ــ ۸ ترسیم شده است. اگر سطح مقطع نمونه ۲/۵×۵ سانتی‌متر باشد مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف این قطعه چوب راش را محاسبه کنید.

حل: طبق منحنی شکل (۸ــ۸) :

$F = ۶۷۰۰$ نیوتن

$A_{\circ} = ۲۵ \times ۵۰ = ۱۲۵۰$ میلی‌متر مربع

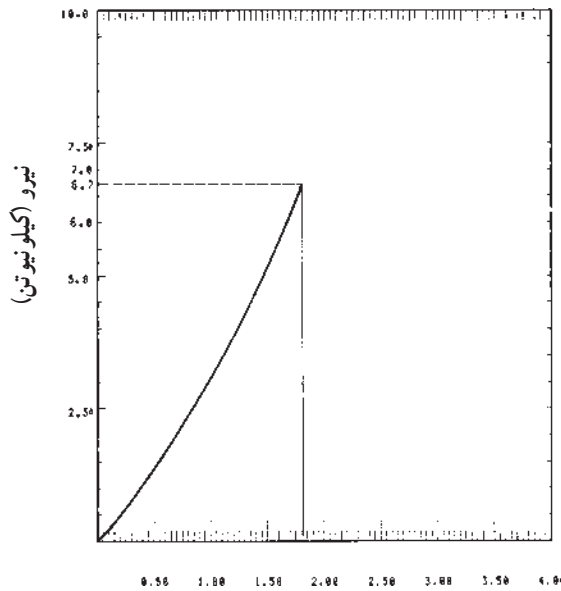
$A_{\circ} = ۱۲۵۰$

$$P_{\perp} = \frac{F}{A_{\circ}}$$

$$P_{\perp} = \frac{۶۷۰۰ \text{ (نیوتن)}}{۱۲۵۰ \text{ (میلی‌متر مربع)}}$$

$P_{\perp} = ۵/۳۶$ نیوتن بر میلی‌مترمربع

رابطه نزدیکی بین مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف با جرم ویژه چوب وجود دارد. این رابطه به این صورت است :



شکل ۸ ــ ۸ ــ منحنی نیرو ــ تغییر شکل چوب راش تحت نیروی کشش عمود بر الیاف

$$P_{\perp} = 600D^{2}$$

$P_{\perp}$ ــ مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف (نیوتن بر سانتی‌متر مربع)[1]

D ــ جرم مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

مثال ۴: جرم مخصوص چوب گردو برابر ۰/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. با توجه به معادله فوق مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف این چوب را به طور تقریبی محاسبه کنید.

حل:

$$P_{\perp} = 600D^{2} \qquad P_{\perp} = 600 \times (0/6)^{2}$$

$$P_{\perp} = 600 \times 0/36 \qquad P_{\perp} = 216$$ نیوتن بر سانتی‌مترمربع

دقت کنید که مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب گردو محاسبه شده از معادله فوق با مقدار واقعی دارای اختلاف بوده که نشان دهنده تقریبی بودن مقدار به دست آمده از معادله فوق است.

در جدول ۳ــ ۸، مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف و جرم مخصوص گونه‌های مهم تجارتی مورد استفاده متداول، آمده است.

جدول ۳ــ ۸ــ مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف، جرم مخصوص گونه‌های مهم تجارتی[2]

ویژگی / گونه	مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف N/cm^2	جرم مخصوص g/cm^3	کیفیت	کاربرد
بلوط	۲۶۰/۳	۰/۶۶	متوسط	مصارف معمولی
راش	۳۱۰/۱	۰/۶۹	متوسط	مصارف معمولی
ممرز	۳۰۰/۲	۰/۷۷	متوسط	مصارف معمولی
زبان گنجشک	۳۰۰/۶	۰/۷۶	متوسط	مصارف معمولی
گردو	۲۹۰/۷	۰/۶	خوب	برای کارهای با استحکام
توسکا	۲۵۰/۹	۰/۵۵	خوب	برای کارهای با استحکام
کاج	۱۷۰/۴	۰/۵۵	متوسط	

۱ــ $1\frac{N}{cm^2} = 10000\frac{N}{m^2} = 0/01\frac{N}{mm^2}$

۲ــ مأخذ : پارسا پژوه، تکنولوژی چوب

۳ــ۸ــ عوامل مؤثر بر مقاومت دربرابر کشش موازی با الیاف

الف) زاویه الیاف: همان گونه که گفته شد مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب خیلی زیاد بوده بر عکس، مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب فوق‌العاده کم است. اگر زاویه جهت بارگذاری با جهت الیاف را . فرض کنیم رابطه زیر بین زاویه . و مقاومت در برابر کشش وجود دارد :

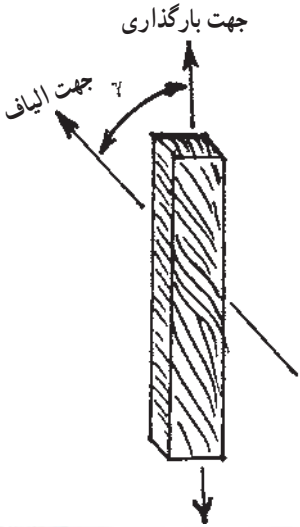
$$P_{.} = \frac{P_{\parallel}.P_{\perp}}{P_{\parallel}.\sin^{n}.. \; P_{\perp}\cos^{n}.}$$

$P_{.}$: مقاومت در برابر کشش در زاویه .

$P_{\parallel}$: مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف

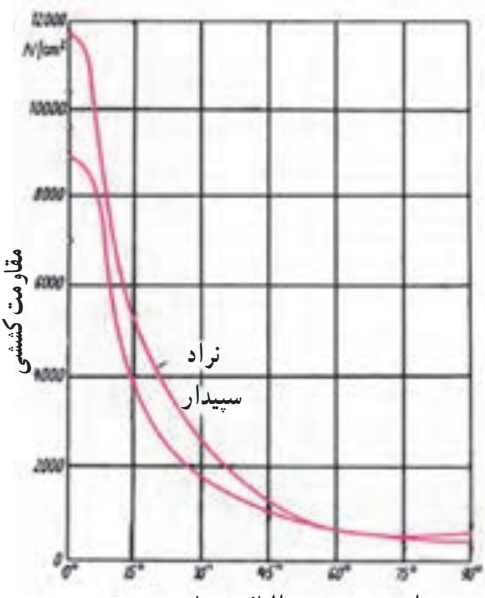
$P_{\perp}$: مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف

n : بین ۱/۵تا ۲



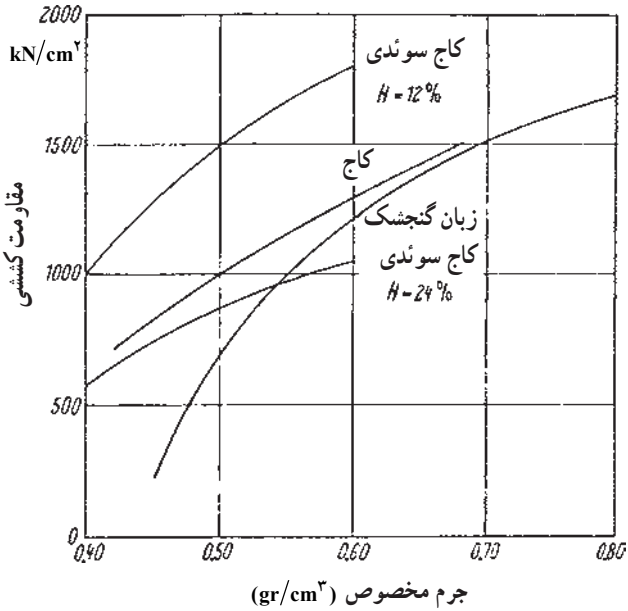
شکل ۹ــ۸ــ زاویه . در یک قطعه چوب

در شکل ۱۰ــ ۸ منحنی تغییرات مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف در اثر تغییر زاویه . نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ ۸ــ منحنی تأثیر زاویه الیاف بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف در دو گونه سوزنی برگ و پهن برگ

ب) جرم مخصوص: رابطه خطی بین جرم مخصوص و مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب سوزنی‌برگان وجود دارد، اما در مورد چوب پهن‌برگان این رابطه به‌صورت خط مستقیم نبوده، تأثیر جرم مخصوص بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف به صورت منحنی است. در شکل ۱۱ــ ۸ رابطه بین جرم مخصوص و مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب کاج و زبان‌گنجشک ارائه شده است.



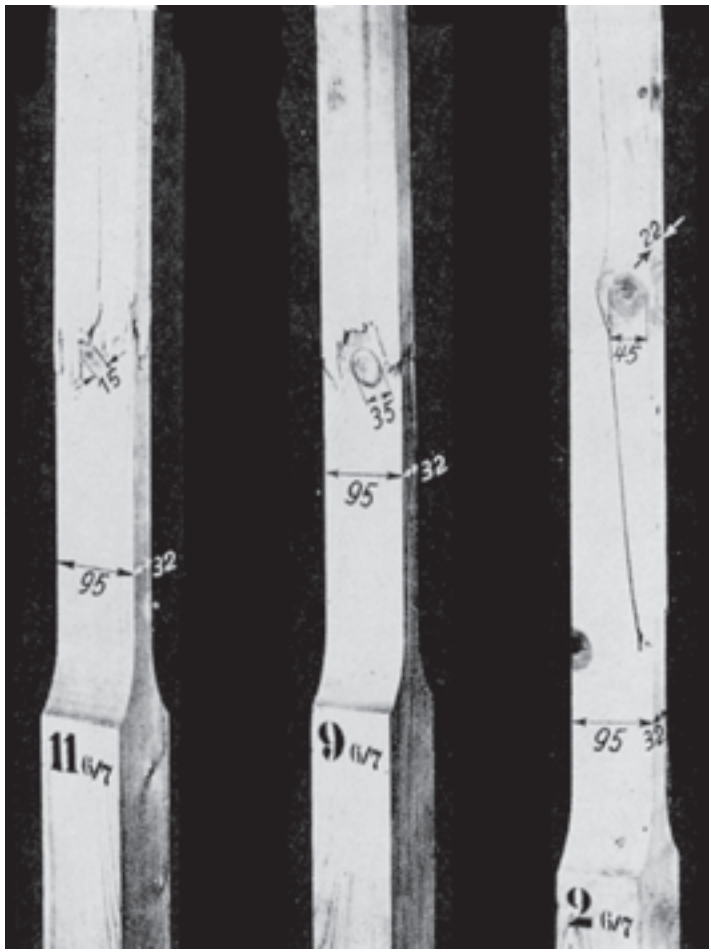
شکل ۱۱ــ۸ــ منحنی تأثیر جرم مخصوص بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب

ج) رطوبت چوب: در اثر زیاد شدن رطوبت مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب کم می‌شود ؛ یعنی اگر چوب از حالت کاملاً خشک، رطوبت را جذب کند تا مقدار رطوبت حدود ۳۰ درصد مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف آن کم می‌شود و بعد از این مقدار رطوبت، مقاومت تقریباً ثابت می‌ماند. حداکثر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف در ۸ تا ۱۰ درصد رطوبت به‌دست می‌آید.

د) درجه حرارت محیط: تأثیر درجه حرارت بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب، به شدت دیگر مقاومت‌های چوب نیست.

هـ) گره: وجود گره به کم شدن مقاومت‌های چوب می‌انجامد. این تأثیر در مورد مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف خیلی شدیدتر از دیگر مقاومت‌های چوب است.

به شکل ۱۲ــ۸ دقت کنید. اندازه گره به ترتیب از نمونه «الف» به «ج» بزرگتر می‌شود. مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف نمونه چوب «الف» که در آن گره‌ای به قطر ۱۵ میلی‌متر وجود دارد فقط ۵۰ درصد چوب بدون گره است. (ابعاد سطح مقطع نمونه چوب ۳۲×۹۵ میلی‌متر است). در دو نمونه چوب دیگر کم شدن مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف زیادتر است.



الف ب ج

شکل ۱۲ــ۸ــ اندازه گره در سه قطعه چوب از یک گونه چوبی

چرا گره تأثیر زیادی بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف دارد؟

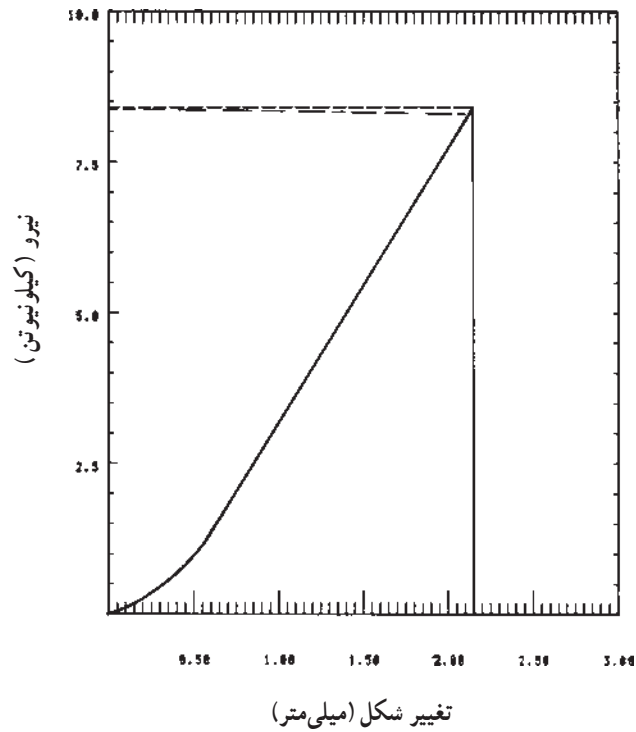
زیرا :

ــ الیاف چوب در اطراف گره دارای انحراف می شوند.

ــ فیبرهای گره بر فیبرهای چوب عمودند.
ــ اغلب گره‌های خشک ترک دارند.
ــ موجب کاهش سطح مقطع چوب تحت تأثیر نیروی کششی می‌شود.

تمرین

۱ــ از یک قطعه چوب «افرا» نمونه آزمایش مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف تهیه شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. منحنی نیرو ــ تغییر شکل این نمونه مطابق شکل ۱۳ــ۸ می‌باشد. اگر ابعاد سطح تحت نیروی کشش برابر ۲/۵ × ۵ سانتی‌متر باشد، مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف این قطعه چوب را محاسبه کنید.



شکل ۱۳ــ۸ــ منحنی « نیرو ــ تغییر شکل » یک نمونه چوب افرا که در خصوص مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف، آزمایش‌شده است.

۲ــ جرم مخصوص چوب راش برابر ۰/۶۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. به طور تقریبی با استفاده از معادله $P_{\perp} = ۶۰D^{۲}$ مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب راش را محاسبه و با ارقام جدول ۳ــ ۸ مقایسه کنید.

۳ ــ فرض کنید یک قطعه چوب ممرز باید نیرویی برابر ۱۳۵۰۰ نیوتن را در حالت کشش موازی با الیاف تحمل کند. سطح مقطع چوبی که باید، مورد استفاده قرار گیرد، محاسبه کنید.

۴ ــ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب ..... از مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب است.

۵ ــ چرا برای تعیین مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف، چوب نمونه را به شکل «دمبل» می‌سازند.

۶ ــ در فرمول زیر جای علامت ؟ را پر کنید.

$$P_{\parallel}(?) = \frac{F(N)}{A_{\circ}(cm^{۲})}$$

۷ــ اگر جرم مخصوص یک چوب زیاد شود مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف آن ... می‌شود.

۸ ــ قطعه چوب‌هایی به ابعاد همانند شکل ۱۲ــ۸ را طوری تهیه نمایید که گره در قسمت‌های مختلف آن قرار گیرد و تأثیر ابعاد گره و محل قرارگرفتن آن را در کلاس درس به‌صورت مشاهده‌ای و مشورتی تعیین کنید.