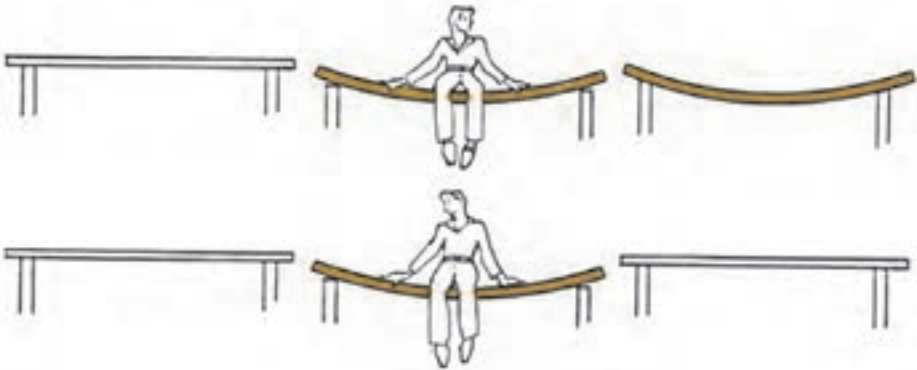


مقاومت خمشی چوب

- هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود:
- ۱- مقاومت خمشی چوب را شرح دهد و آن را محاسبه کند.
 - ۲- مدول الاستیسیته چوب را بداند و محاسبه کند.
 - ۳- عوامل مؤثر بر مقاومت خمشی چوب را شرح دهد.

زمان تدریس: ۴ ساعت



۷- مقاومت خمشی چوب

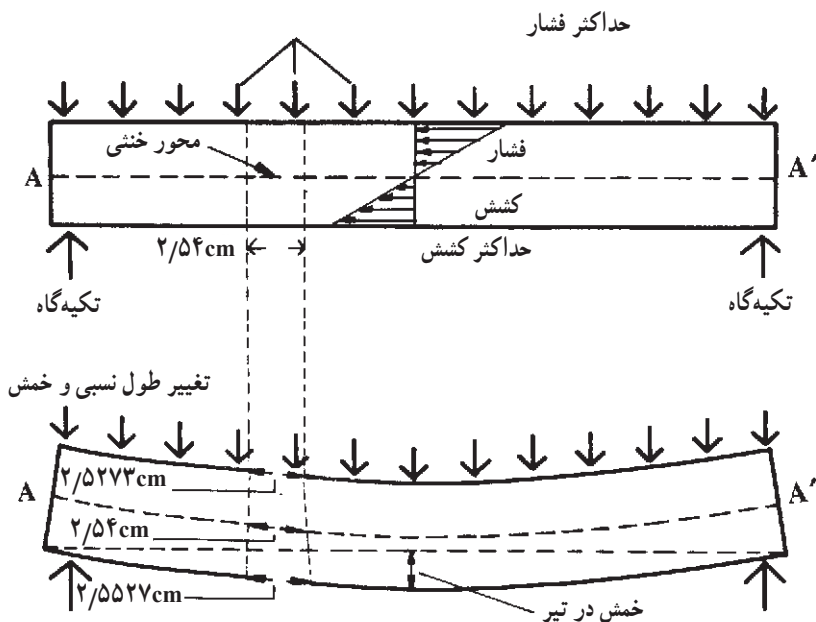
۷-۱- مفهوم مقاومت خمشی چوب

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 می تواند 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، معدن کاری و سازه های چوبی است. اگر چوب تحت تأثیر بار (نیرو) ساده یک محوری کشش یا فشار قرار گیرد، اصل «تنش - تغییر طول نسبی» خیلی ساده است، اما اگر یک قطعه چوب تحت تأثیر نیروهای خمشی قرار گیرد پدیده تنش - تغییر طول نسبی خیلی پیچیده است؛ همان گونه که از شکل (۱ - 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 می شود) وارد گردد (نظیر موقعی که یک قطعه چوب بر روی دو تکیه گاه قرار گرفته و فردی در وسط آن ایستاده است). نیمه ی بالایی تیر چوبی یا قید تحت تأثیر نیروی فشاری واقع شده و نیمه ی پایین تحت تأثیر نیروی کششی قرار می گیرد. در چنین حالتی فشردگی و کشیدگی حداکثر در سطح بالا و پایین قطعه چوبی به وجود می آید و به طور ساده می توان فرض کرد که تغییر در میزان نیروی فشاری یا کششی، از سطح بالا به سطح پایین به صورت خطی خواهد بود (به شکل ۱-۷ 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 نمی شود، زیرا چوب در این محور و دیگر محورهای طولی تحت تأثیر نیروی برشی^۱ قرار دارد.

با توجه به این که در محور خنثی چوب هیچگونه نیروی فشاری یا کششی وجود ندارد، در این محور که در شکل (۱-۷) به صورت خط AA نشان داده شده است، هیچگونه تغییر طول در اثر

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



شکل ۱-۷- 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 پایینی آن کشیده و طول آن زیاد می شود و در اثر تغییر شکل «فشاری - کششی» در دو سطح قطعه چوب خمیده می شود. مقدار خمش را در وسط قطعه چوب در صورتی که تکیه گاه در دو طرف آن قرار گیرد، «خمش حداکثر» گویند و معمولاً ابتدا خمش در این نقطه به وجود می آید. مقدار خمش متناسب است با:

- 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؛
- فاصله بین دو تکیه گاه که چوب بر روی آن ها قرار گرفته و اندازه سطح مقطع چوب؛
- 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» بیان می کنند.

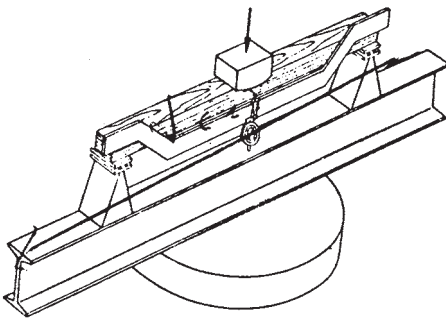
مقاومت خمشی را با استفاده از میزان نیروی حداکثر اعمال شده تا نقطه شکست بر چوب (در آزمایش خمش) و اندازه ابعاد قطعه چوبی (فاصله بین دو تکیه‌گاه، پهنا و ضخامت) محاسبه می‌کنند. معمولاً از دو روش برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی چوب استفاده می‌گردد:

– 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.

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

۷-۲- محاسبه مقاومت خمشی قطعه کوچک

روش اول آزمایش مقاومت خمشی چوب بر طبق شکل (۷-۲-الف) انجام می‌گیرد. در این روش یک قطعه کوچک چوب بدون عیب بر روی دو تکیه‌گاه شکل (۷-۲-ب) قرار گرفته و از وسط



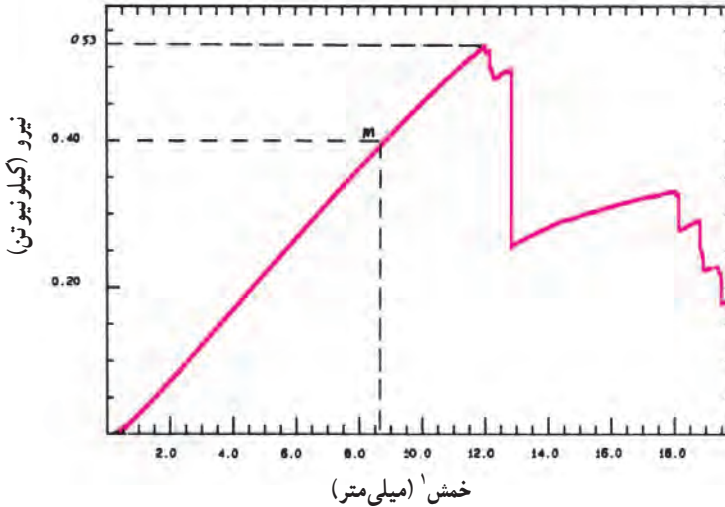
الف



ب

شکل ۷-۲- نمونه آزمایش خمشی چوب (الف) و دستگاه اندازه‌گیری نیروی خمشی (ب)

نیروی 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 ۳-۷ نشان داده شده است نیرو در نقطه شکست تعیین



شکل ۳-۷- منحنی نیرو - 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:^۲

$$MOR = \frac{1/5FL}{bd^2}$$

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 مربع- مستطیل که آزادانه بر روی دو تکیه‌گاه قرار گرفته باشد و بار در وسط اعمال گردد، استفاده می‌شود.

۱- تغییر مکان فک متحرک دستگاه آزمایش خمشی

۲- استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۲۱

مثال ۱: یک قطعه چوب راش با ابعاد سطح مقطع 50×50 میلی متر در یک ماشین آزمایش تحت تأثیر نیروی خمشی در وسط قرار گرفته و منحنی نیرو - تغییر شکل ۳-۷ به دست آمده است. اگر فاصله بین دو تکیه گاه 700 میلی متر باشد، مقاومت خمشی نمونه را محاسبه کنید:

حل: بر طبق منحنی شکل ۳-۷ میزان نیروی لازم در نقطه شکست برابر 530 نیوتن است. حال اگر مقدار نیروی اندازه گیری شده، ابعاد سطح مقطع و فاصله بین دو تکیه گاه را در معادله یک قرار دهیم:

$$F = 530 \text{ N} \quad \text{MOR} = \frac{1/5 FL}{bd^2}$$

$$L = 700 \text{ mm} \quad \text{MOR} = \frac{1/5 \times 530 \text{ (N)} \times 700 \text{ (mm)}}{50 \text{ (mm)} \times 50 \text{ (mm)}^2}$$

$$b = 50 \text{ mm} \quad \text{MOR} = 4 / 452 \text{ N/mm}^2 \text{ یا } \text{MPa}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

پس مقاومت خمشی نمونه چوب مورد آزمایش برابر $4/452$ نیوتن بر میلی متر مربع است. تذکر: از سیستم های متفاوتی برای بیان ابعاد، نیروها، فشار و غیره استفاده می گردد. سیستم متداول و مورد قبول بین المللی سیستم SI است که در این سیستم واحد طول متر و واحد نیرو بر حسب نیوتن و واحد فشار پاسکال است. هر یک 1 نیوتن بر میلی متر مربع برابر است با 1000000 پاسکال.

مثال ۲: یک قطعه چوب بلوط به ابعاد سطح مقطع 25×25 میلی متر در یک ماشین آزمایش تحت نیروی خمشی قرار گرفته و منحنی نیرو - تغییر شکل^۱ در شکل ۴-۷ به دست آمده است. اگر فاصله بین دو تکیه گاه 360 میلی متر باشد مقاومت خمشی نمونه چوب بلوط را محاسبه کنید:

حل: میزان نیروی لازم در نقطه شکست برابر 446 نیوتن است. طبق معادله:

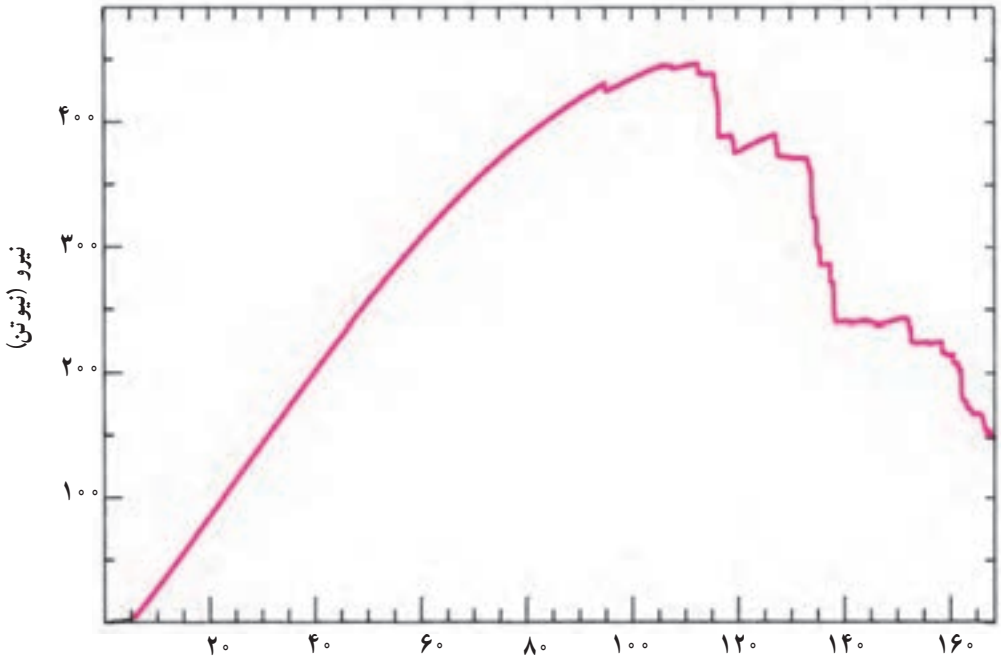
$$F = 446 \text{ N} \quad \text{MOR} = \frac{1/5 FL}{bd^2}$$

$$L = 360 \text{ mm} \quad \text{MOR} = \frac{1/5 \times 446 \text{ N} \times 360 \text{ mm}}{25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}^2}$$

$$b = d = 25 \text{ mm} \quad \text{MOR} = 15 / 41 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

مقاومت خمشی چوب بلوط مورد آزمایش برابر $15/41$ پاسکال است.

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



تغییر شکل (میلی متر)

شکل ۴-۷- منحنی نیرو - خمش یک قطعه چوب بلوط

۷-۳- محاسبه مدول الاستیسیته

برای اندازه گیری مدول الاستیسیته در حالت خمش نیز از آزمایش خمشی نمونه چوب استفاده می گردد. در این حالت مطابق شکل ۲-۷ در یک دستگاه آزمایش نیرویی بر نمونه چوب وارد می شود و منحنی شکل ۳-۷ یا شکل ۴-۷ ترسیم می گردد. (دقت کنید که نیروی اعمال شده و مقدار خمش به وجود آمده در اثر نیرو، به طور همزمان تعیین می گردد.) از طریق اندازه گیری میزان خمش قبل از رسیدن به محدوده پلاستیکی شدن (محدوده A - B در شکل ۳-۶)، نیروی لازم برای به وجود آوردن میزان خمش اندازه گیری شده، ابعاد سطح مقطع و فاصله بین دو تکیه گاه، مدول الاستیسیته طبق این رابطه محاسبه می شود:

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

_ Modulus of Elasticity

MOE: مدول الاستیسیته (نیوتن بر میلی متر مربع یا مگاپاسکال)

F: مقدار نیرو در نقطه ای در محدوده A-B که در آن نقطه مقدار خمش اندازه گیری شده است. (نیوتن)

D: مقدار خمش در نیروی F (میلی متر)

L: فاصله بین دو تکیه گاه (میلی متر)

b: پهنای نمونه (میلی متر)

d: ضخامت نمونه (میلی متر)

مثال ۳: به مثال ۱ و شکل ۳-۷ مراجعه کنید. مدول الاستیسیته چوب راش مورد آزمایش را محاسبه کنید.

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

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

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

$$D = 0.087 \text{ m} \quad MOE = 63708 \text{ N/mm}^2 \text{ یا } \text{MPa}^1$$

$$b = d = 0.05 \text{ m} = 50\text{mm}$$

$$L = 0.7 \text{ m} = 700\text{mm}$$

مدول الاستیسیته چوب راش مورد آزمایش برابر ۶۳۰۸۰۰۰۰ پاسکال است.

چند نکته مهم را باید متذکر شویم:

— معمولاً مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چوب های صنعتی تعیین شده و به صورت جدول هایی وجود دارد. در جدول ۱-۷ مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چند نوع چوب صنعتی مهم آورده شده است.

— با در اختیار داشتن مقاومت خمشی چوب می توان تحمل نیروی یک قطعه چوب را به ابعاد معین محاسبه کرد.

$$1 \text{ N/mm}^2 = 1000000 \text{ N/m}^2 (\text{Pa}) = 1 \text{ MPa}$$

مثال ۴: طبق جدول ۱-۷ مقاومت خمشی چوب راش برابر ۸۷×۱۰^۶ نیوتن بر متر مربع است. تحمل نیروی متمرکز F در وسط یک الوار چوب راش به پهنای ۴ سانتی متر و ضخامت ۸ سانتی متر که بین دو تکیه‌گاه به فاصله ۲ متر قرار گرفته است محاسبه کنید (فرض کنید چوب بدون عیب است).

جدول ۱-۷- 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)
ملج	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
نوبل	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

$$\text{MOR} = \frac{1/5FL}{bd^2} \quad \text{حل: طبق رابطه:}$$

$$\text{MOR} = ۸۷ \times ۱۰^۶ \frac{N}{m^2} \quad \text{که در این معادله: (نیوتن بر مترمربع)}$$

$$L = ۲۰۰ \text{ متر سانتی}$$

$$b = ۴ \text{ cm (پهنا)}$$

$$d = ۸ \text{ cm (ضخامت)}$$

با قرار دادن ارقام داده‌ها در فرمول مربوطه:

$$۸۷ \times ۱۰^۶ = \frac{1/5(F)(۲۰۰)}{(۰/۰۴) \times (۰/۰۸)^2}$$

$$۸۷ \times ۱۰^۶ = \frac{۳۰۰F}{۲۵۶ \times ۱۰^{-۶}}$$

$$F = ۷۴/۲۴N$$

۱- مأخذ: پارساژوه، داود. ۱۳۶۷ - تکنولوژی چوب

– اگر مدول الاستیسیته چوب مشخص باشد به سادگی می توان 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 500 نیوتن چوب به چه اندازه خمیده می شود:

حل: مدول الاستیسیته چوب راش طبق جدول ۱-۷ برابر 12500×10^6 نیوتن بر مترمربع است. اگر اطلاعات مربوط به قطعه چوب راش مثال ۴ را در رابطه (صفحه ۸۳) قرار دهیم:

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

$$F = 500 \text{ N (نیوتن)}$$

$$L = 2 \text{ m (متر)}$$

$$b = 0.04 \text{ m (متر)}$$

$$d = 0.08 \text{ m (متر)}$$

$$D = ?$$

$$12500 \times 10^6 = \frac{500 \times (2)^3}{4(0.04)(0.08)^3 D}$$

$$12500 \times 10^6 = \frac{500 \times 8}{8192 \times 10^{-6} D}$$

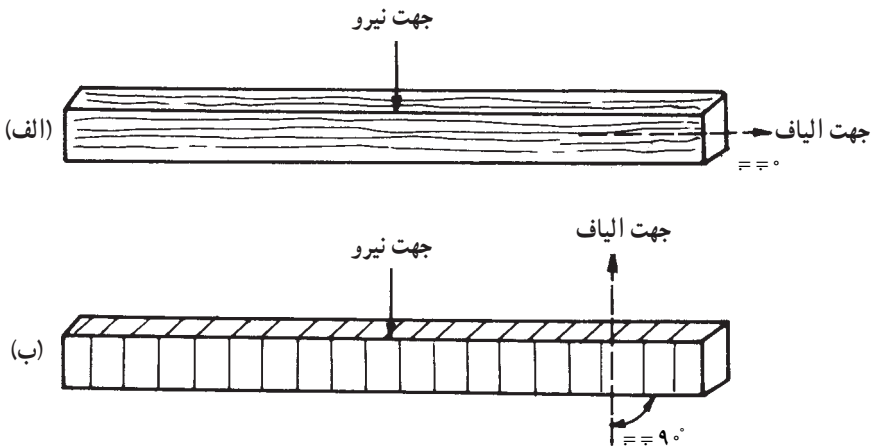
$$D = \frac{4000}{1024000}$$

$$D = 0.0039 \text{ m} = 3.9 \text{ mm}$$

۴-۷- عوامل مؤثر بر مقاومت خمشی چوب

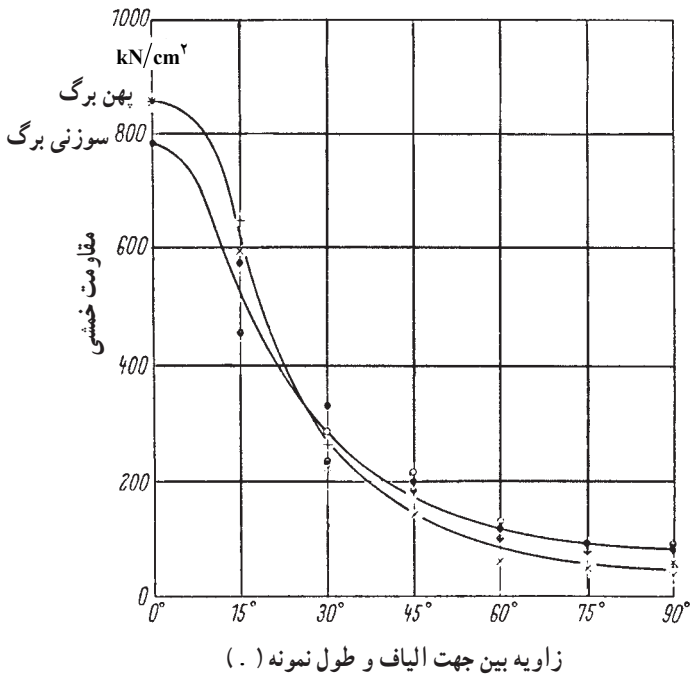
عوامل متعددی بر مقاومت خمشی چوب تأثیر می گذارند. بعضی از این عوامل باعث زیاد شدن مقاومت خمشی و دیگر عوامل به کم شدن آن کمک می کند. در این فصل تأثیر این عوامل، به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفته، جهت مطالعه بیشتر به فصل دوازدهم که به طور جامع عوامل مؤثر بر ویژگی های مقاومتی چوب را مورد بحث قرار می دهد 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 ۷-۵ 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 90° درجه فرض می‌کنیم.



شکل ۷-۵- تأثیر زاویه شیب الیاف بر مقاومت خمشی چوب

با زیاد شدن زاویه جهت اعمال نیرو بر چوب مقاومت خمشی مطابق شکل ۶-۷ کم می‌شود. به طوری که می‌توان گفت نسبت مقاومت خمشی زاویه صفر به زاویه 90° 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 ۶-۷- منحنی تغییرات مقاومت خمشی در اثر تغییر زاویه. (مربوط به دو گونه سوزنی برگ و پهن برگ)

ج) **رطوبت چوب:** در اثر زیاد شدن رطوبت مقدار مقاومت خمشی کم می شود، زیرا چوب در اثر جذب آب واکنشیده و نرم می شود. به همین دلیل است که برای خم کردن چوب در تولیدات قوس دار، ابتدا آن را برای مدتی خیس می کنند (شکل ۷-۷).



شکل ۷-۷- 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 می شود.
 (ه) گره: به دلایل زیر وجود گره در چوب باعث کم شدن مقاومت های چوب می شود:
 - در اطراف گره الیاف به صورت پیچیده و درهم قرار می گیرد.
 - جهت الیاف در گره تقریباً عمود بر جهت الیاف در چوب است.
 - در اطراف گره اغلب بریدگی و ترک وجود دارد.
 در شکل ۸-۷ 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 می شود؛ (بخصوص در مواقعی که گره مرده باشد) بنابراین، محل قرار گرفتن گره در چوب تعیین کننده میزان کم شدن مقاومت خمشی است.



گره مرده: گره های مرده معمولاً تیره رنگ هستند و به قسمت های مجاور خود متصل نیستند و شبیه یک جسم خارجی به شکل میله ای در تنه درخت فرو رفته اند.

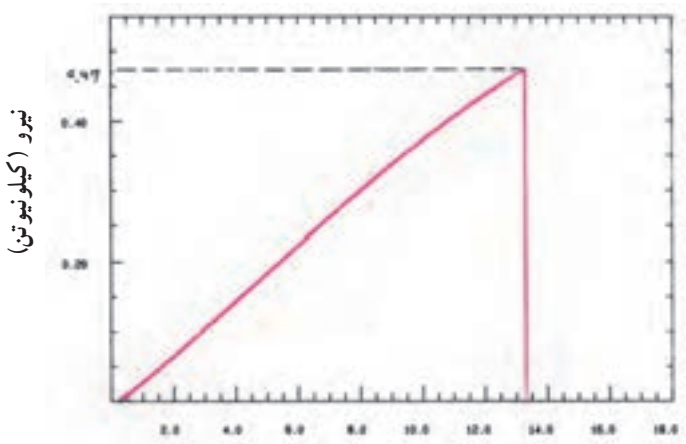


شکل ۸-۷- شکل دو گره در چوب که نشان دهنده پیچیدگی الیاف و بریدگی و ترک در اطراف آن است.

گره زنده: گره های زنده تقریباً هم رنگ چوب هستند و به قسمت های مجاور خود متصل اند.

تمرین

- ۱- یک قطعه چوب افرا به ابعاد سطح مقطع 5×5 سانتی متر مورد آزمایش خمشی قرار گرفته و منحنی نیرو- تغییر شکل ۹-۷ ترسیم شده است. اگر فاصله بین دو تکیه گاه برابر 7° سانتی متر باشد محاسبه کنید: ۱- مقاومت خمشی، ۲- مدول الاستیسیته.
- ۲- قدرت تحمل نیروی متمرکز را در وسط یک قطعه چوب ممرز، به پهنای ۵ سانتی متر و ضخامت ۶ سانتی متر که بر روی دو تکیه گاه به فاصله 15° سانتی متر قرار گرفته است، محاسبه کنید. (برای حل این تمرین به جدول ۱-۷ باید مراجعه کنید.)



خیز یا تغییر شکل (میلی متر)

شکل ۹-۷- منحنی نیرو - خمش یک قطعه چوب افرا

- ۳- اگر مدول الاستیسیته یک چوب زیادتر باشد در اثر نیروی مشخصی مقدار خمش (تغییر طول) آن ... است (کم تر یا بیشتر)
- ۴- در رابطه زیر مفهوم هر حرف مشخص شده را بنویسید:

$$MOR = \frac{1/5 F L}{bd^2}$$

- ۵- برای خم کردن آسان چوب ابتدا باید آن را مرطوب کرد. چرا؟
- ۶- قطعه چوبی به طول 3° الی 5° سانتی متر تهیه شود و با اره در دو طرف تخته شیارهایی ایجاد شود تعدادی میخ در داخل شیار قرار گیرد با اعمال نیرو (خم کردن تخته) چه اتفاقی خواهد افتاد؟
- ۷- با توجه به نمودار (شکل ۶-۷) مقاومت خمشی چوب تحت زاویه الیاف 3° درجه را با زاویه 6° درجه مقایسه کنید.

مقاومت چوب در برابر کشش

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

- ۱- مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب را، شرح دهد.
- ۲- مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب را، شرح دهد.
- ۳- مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف و عمود بر الیاف را، محاسبه کند.
- ۴- عوامل مؤثر بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف را، شرح دهد.

زمان تدریس: ۴ ساعت

۸- 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:

- مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف یا مقاومت به کشش جهت الیاف؛
- مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف.

۸-۱- 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 ۸-۱ مقایسه‌ای از مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب با فلزات و بعضی از مواد دیگر ارائه شده است.

جدول ۸-۱- مقایسه مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب با دیگر مواد

مقاومت در برابر کشش (نیوتن بر مترمربع)	ماده
3200×10^6	سیم فولادی (حداکثر)
$550 \times 10^6 - 840 \times 10^6$	سیم آهن
$520 \times 10^6 - 820 \times 10^6$	فولاد ساختمانی
$420 \times 10^6 - 490 \times 10^6$	سیم مسی
350×10^6	الیاف ابریشم
$280 \times 10^6 - 800 \times 10^6$	الیاف پنبه
$50 \times 10^6 - 150 \times 10^6$	چوب سوزنی برگان
$20 \times 10^6 - 260 \times 10^6$	چوب پهن برگان

مأخذ: پارسا پژوه - تکنولوژی چوب

همان گونه که از جدول ۸-۱ مشخص می گردد مقاومت در برابر کشش 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 می گردد؛ 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 ۸-۲ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف تعدادی از چوب های پهن برگ خلاصه شده است.

جدول ۸-۲- جدول مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف^۱ چندگونه چوبی پهن برگ

مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف (نیوتن بر مترمربع)	نوع چوب
100×10^6	افرا
64×10^6	بید
77×10^6	تبریزی
135×10^6	راش (اروپا)
165×10^6	زبان گنجشک
100×10^6	گردوی ایرانی
80×10^6	ملج (ملج)
135×10^6	ممرز
85×10^6	نمدار

مأخذ: پارسا پژوه - تکنولوژی چوب

۱- این مقاومت همان تنش کششی بوده که با (سیگما) نیز نشان داده می شود.

مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب (در ۱۲ درصد رطوبت) شاید به حداکثر $10^6 \times 300$ نیوتن بر متر مربع نیز برسد. همان گونه که از جدول ۱-۸ مشخص می‌گردد مقاومت در برابر کشش الیاف پنبه بین $10^6 \times 280$ تا $10^6 \times 800$ نیوتن بر متر مربع 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 از مقاومت کششی زیاد اعضای چوبی نمی‌توان در ساختمان بهره‌گیری نمود. این دلایل عبارتند از:

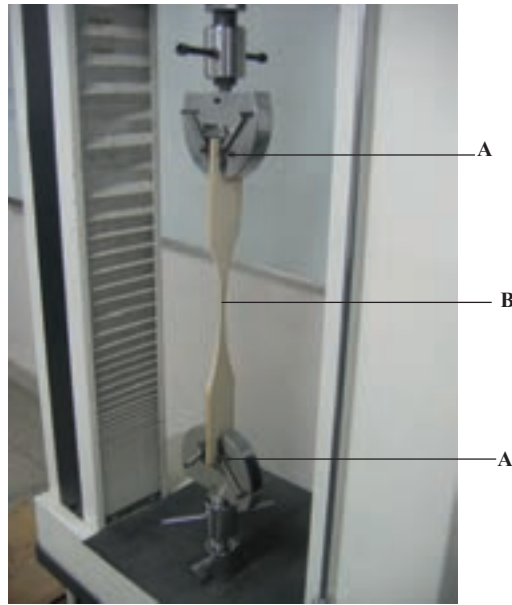
— مقاومت برشی چوب در جهت الیاف در مقایسه با مقاومت کششی آن در همین جهت بسیار کم است (فقط ۶ تا ۱۰ درصد) و به همین علت چوب در محل اتصالات خیلی زود شکاف برمی‌دارد. — معایب چوب از قبیل گره، الیاف مورب و غیره مقاومت کششی چوب را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند.

— انجام دادن 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

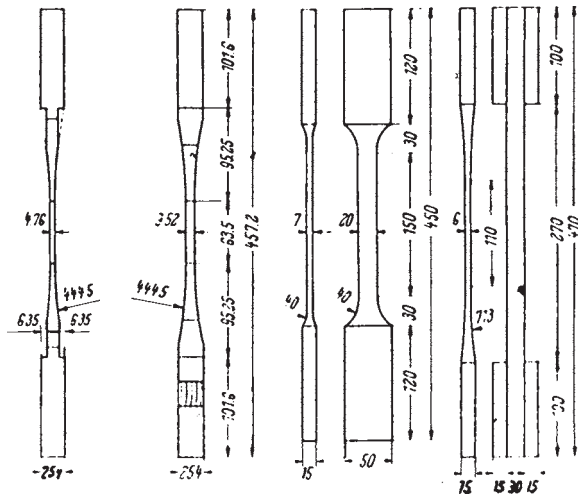
۱-۱-۸ — اندازه‌گیری مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف: مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب به مراتب بیش از مقاومت به فشار عمود بر الیاف و مقاومت برشی است. هنگامی که برای اندازه‌گیری نیروی لازم برای شکستن نمونه در حالت کشش، نمونه در داخل گیره‌ها قرار گیرد، گیره‌ها بر چوب نیروی فشاری عمود بر الیاف 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 ۱-۸ 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 ۲-۸ چند نمونه استاندارد آزمایش مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف

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

چوب نشان داده شده است.



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

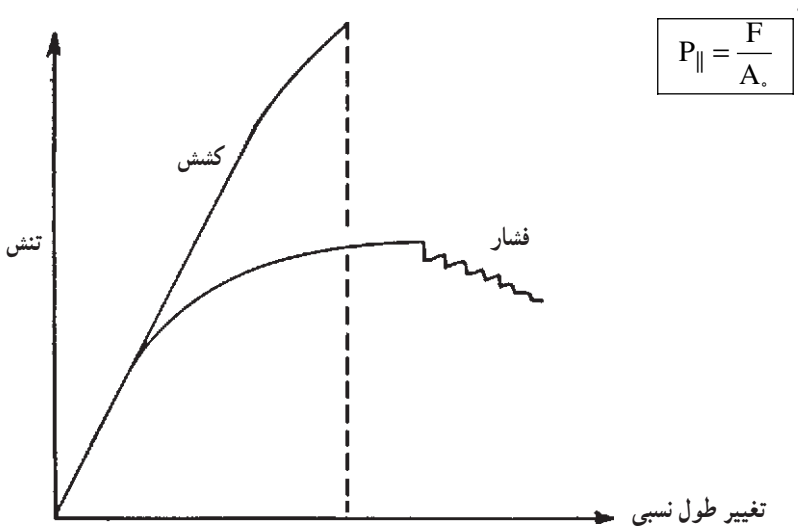


شکل ۲-۸- چند نمونه استاندارد برای تعیین مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب



شکل ۳-۸- 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 ۳-۸ نشان داده شده است استفاده می‌گردد. مطابق شکل ۱-۸ 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 «نیرو-تغییر شکل» و یا «تنش-تغییر طول نسبی» را به همراه سایر نتایج در حین و پس از پایان آزمایش، در اختیار کاربر قرار دهند (شکل ۴-۸). پس از اندازه‌گیری نیروی اعمال شده در نقطه شکست و سطح مقطع محل شکست مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب از طریق تقسیم نیرو بر سطح مقطع با استفاده از این رابطه توسط دستگاه و یا کاربر محاسبه می‌شود:



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

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

که در آن :

$P_{||}$ - مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف (نیوتن بر میلی متر مربع یا کیلوگرم نیرو بر سانتی متر مربع)

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

A - سطح مقطع وسط نمونه (میلی متر مربع یا متر مربع)

مثال ۱: مطابق جدول ۲-۸ مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب زبان گنجشک برابر 165×10^6 نیوتن بر متر مربع است. تحمل نیرو (بار) در حالت کشش یک قطعه از این چوب به ابعاد سطح مقطع 5×5 سانتی متر را محاسبه کنید.

حل: سطح مقطع چوب برابر 25 cm^2 متر مربع است. اگر مقدار مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف این چوب، یعنی 165×10^6 نیوتن بر متر مربع را در معادله قرار دهیم :

$$P_{||} = \frac{F}{A} \quad F = P_{||} \times A.$$

$$(F \text{ نیوتن}) = (165 \times 10^6 \text{ نیوتن بر متر مربع}) \times (25 \times 10^{-4} \text{ متر مربع})$$

$$F = 412500 \text{ نیوتن}$$

تحمل نیروی این قطعه چوب در برابر کشش موازی با الیاف برابر 412500 نیوتن است.

۲-۸- مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف

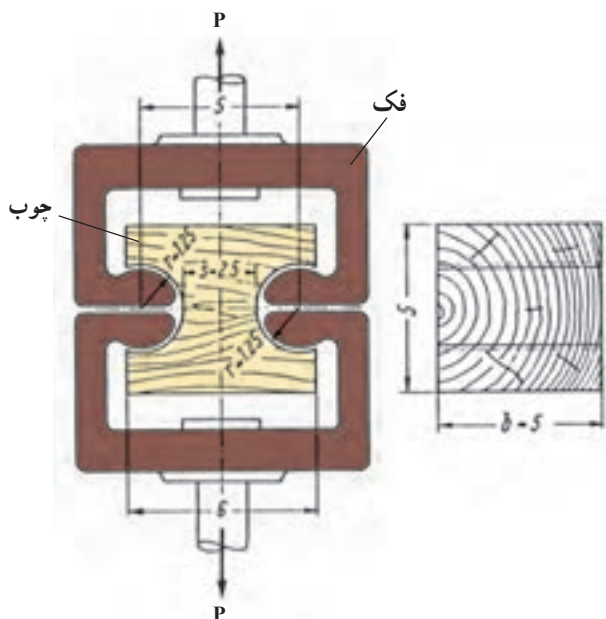
مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف نشان دهنده میزان چسبندگی عرضی بین الیاف یا به عبارت دیگر، چسبندگی جانبی الیاف در چوب است.

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 دقت‌ناداشتن اعداد اندازه‌گیری شده ضرورتی به اندازه‌گیری این ویژگی نیست، اما برای تکمیل اطلاعات و نیاز احتمالی

۱- 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 ۸-۵ آورده شده است.



شکل ۵-۸- 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 ۸-۶ 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 ۶-۸- 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 ۷-۸ ترسیم شده است. اگر ابعاد سطح مقطع تحت نیروی کشش برابر ۲/۵ و ۵ سانتی متر باشد مقاومت^۱ در برابر کشش عمود بر الیاف چوب بلوط را محاسبه کنید.

حل: نیروی حداکثر در نقطه شکست طبق منحنی شکل ۷-۸ برابر $F = 7640$ نیوتن است.

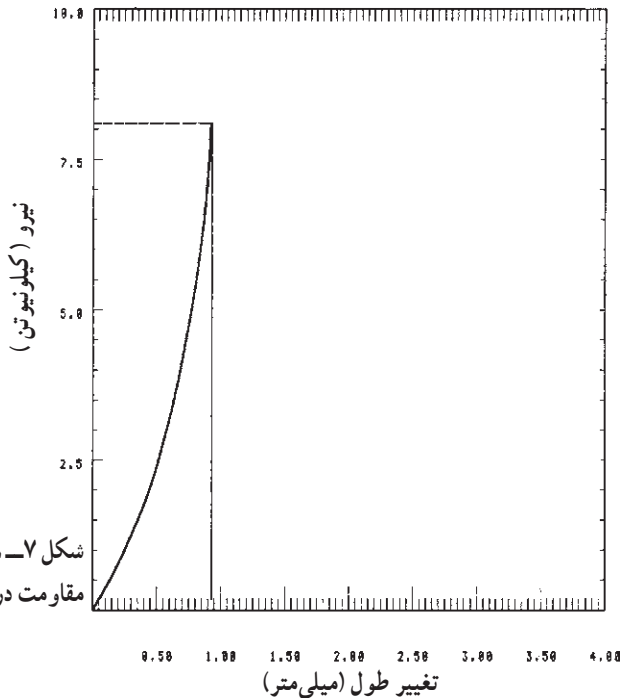
$$A = 5 \times 2/5 = 12/5 \text{ سانتی متر مربع}$$

$$A = 1250 \text{ میلی متر مربع}$$

$$P_{\perp} = \frac{F \text{ (نیوتن)}}{A_0 \text{ (میلی متر مربع)}}$$

$$P_{\perp} = \frac{7640 \text{ (نیوتن)}}{1250 \text{ (میلی متر مربع)}}$$

$$P_{\perp} = 6/11 \text{ (نیوتن بر میلی متر مربع)}$$



شکل ۷-۸- منحنی نیرو- تغییر شکل در آزمایش مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب بلوط

۱- در مقاطع تحصیلی بالاتر به جای F (مقاومت) از تنش (سیگما)، برای نشان دادن نیرو تقسیم بر واحد سطح، استفاده

تذکر: به علت استفاده از چوب عاری از عیب در آزمایش فوق به مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف بالاتری رسیده ایم، 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 - تغییر شکل ۸-۸ ترسیم شده است. اگر سطح مقطع نمونه $5 \times 2/5$ سانتی متر باشد مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف این قطعه چوب راش را محاسبه کنید.

حل: طبق منحنی شکل (۸-۸):

$$F = 6700 \text{ نیوتن}$$

$$A_0 = 25 \times 5 = 1250 \text{ میلی متر مربع}$$

$$A_0 = 1250$$

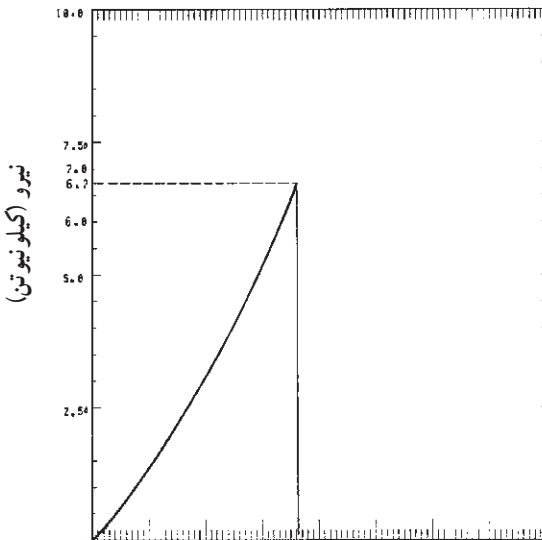
$$P_{\perp} = \frac{F}{A_0}$$

$$P_{\perp} = \frac{6700 \text{ (نیوتن)}}{1250 \text{ (میلی متر مربع)}}$$

$$P_{\perp} = 5/36 \text{ نیوتن بر میلی متر مربع}$$

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

رابطه به این صورت است:



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

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

P_{\perp} - مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف (نیوتن بر سانتی متر مربع)^۱

D - جرم مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)

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

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

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

$$P_{\perp} = 600 \times 0/36$$

$$P_{\perp} = 216 \text{ نیوتن بر سانتی متر مربع}$$

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

جدول ۳-۸ - مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف، جرم مخصوص گونه‌های مهم تجارتي^۲

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

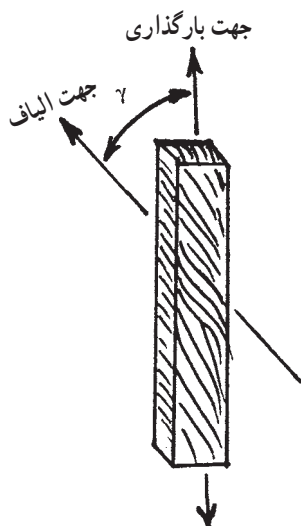
$$۱ - \frac{N}{cm^2} = 10000 \cdot \frac{N}{m^2} = 0/01 \frac{N}{mm^2}$$

۲- مأخذ: پارسا پژوه، تکنولوژی چوب

۳-۸- عوامل مؤثر بر مقاومت در برابر 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 فوق العاده کم است. اگر زاویه جهت بارگذاری با جهت الیاف را . فرض کنیم رابطه زیر بین زاویه . و مقاومت در برابر کشش وجود دارد :

$$P_{\parallel} = \frac{P_{\parallel} \cdot P_{\perp}}{P_{\parallel} \sin^n + P_{\perp} \cos^n}$$



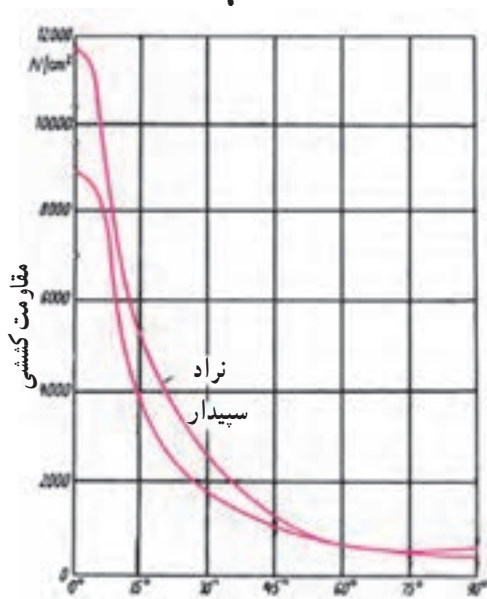
P_{\parallel} : مقاومت در برابر کشش در زاویه .

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

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

n : بین ۱/۵ تا ۲

شکل ۹-۸- زاویه . در یک قطعه چوب



در شکل ۱۰-۸ منحنی تغییرات مقاومت

در برابر کشش موازی با الیاف در اثر تغییر زاویه .

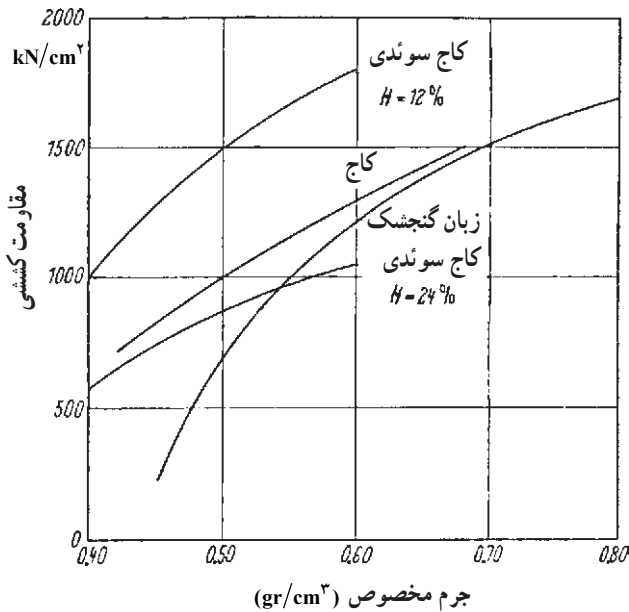
نشان داده شده است.

شکل ۱۰-۸- 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 سوزنی برگان وجود دارد، اما در مورد چوب پهن برگان این رابطه به صورت خط مستقیم نبوده، تأثیر جرم مخصوص بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف به صورت منحنی است. در شکل ۸-۱۱ رابطه بین جرم مخصوص و مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب کاج و زبان گنجشک ارائه شده است.



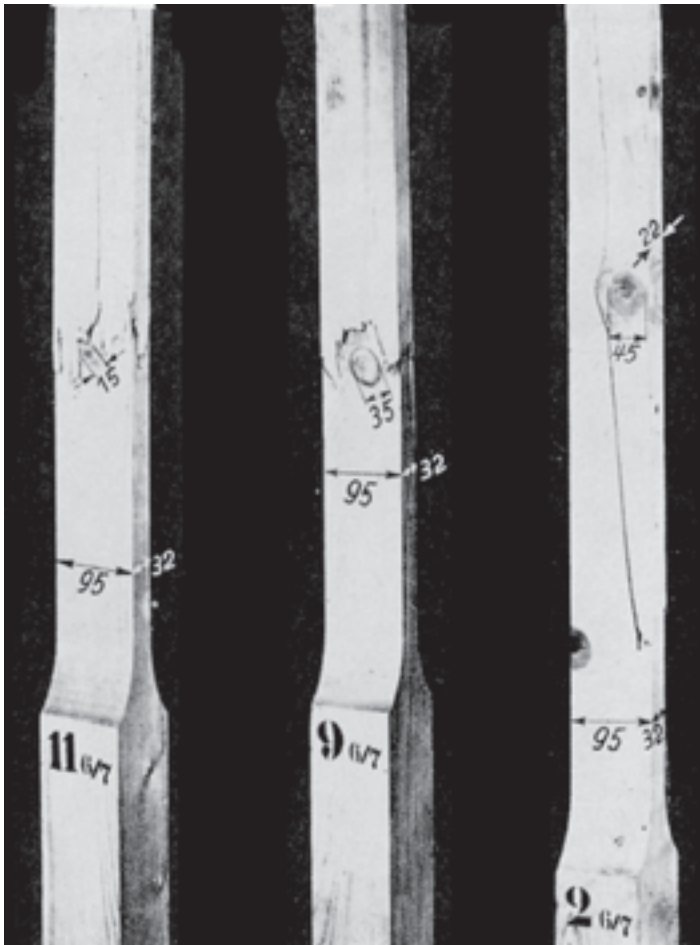
شکل ۸-۱۱- منحنی تأثیر جرم مخصوص بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب

ج) رطوبت چوب: در اثر زیاد شدن رطوبت مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف چوب کم می شود؛ 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 می شود و بعد از این مقدار رطوبت، مقاومت تقریباً ثابت می ماند. حداکثر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف در ۸ تا ۱۰ درصد رطوبت به دست می آید.

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

ه) گره: وجود گره به کم شدن مقاومت های چوب می انجامد. این تأثیر در مورد مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف خیلی شدیدتر از دیگر مقاومت های چوب است.

به شکل ۱۲-۸ دقت کنید. اندازه گره به ترتیب از نمونه «الف» به «ج» بزرگتر می شود. مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف نمونه چوب «الف» که در آن گره‌ای به قطر ۱۵ میلی متر وجود دارد فقط ۵۰ درصد چوب بدون گره است. (ابعاد سطح مقطع نمونه چوب ۳۲×۹۵ میلی متر است). در دو نمونه چوب دیگر کم شدن مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف زیادتر است.



الف ب ج

شکل ۱۲-۸- اندازه گره در سه قطعه چوب از یک گونه چوبی

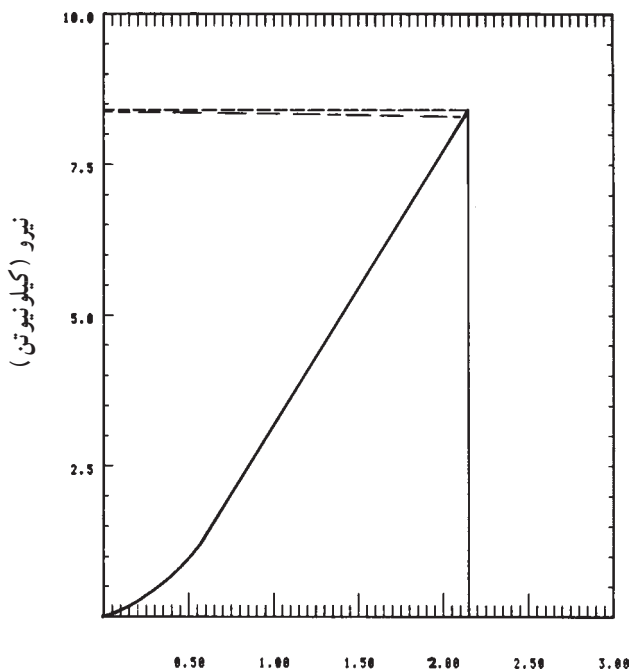
چرا گره تأثیر زیادی بر مقاومت در برابر کشش موازی با الیاف دارد؟
زیرا:

- الیاف چوب در اطراف گره دارای انحراف می شوند.

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

تمرین

۱- از یک قطعه چوب «افرا» نمونه آزمایش مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف تهیه شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. منحنی نیرو - تغییر شکل این نمونه مطابق شکل ۱۳-۸ می‌باشد. اگر ابعاد سطح تحت نیروی کشش برابر $5/5 \times 2/5$ سانتی متر باشد، مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف این قطعه چوب را محاسبه کنید.



تغییر شکل (میلی متر)

شکل ۱۳-۸ منحنی «نیرو - تغییر شکل» یک نمونه چوب افرا که در خصوص مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف، آزمایش شده است.

۲- جرم مخصوص چوب راش برابر $69/^\circ$ گرم بر سانتی متر مکعب است. به طور تقریبی با استفاده از معادله $P_{\perp} = 6 \cdot D^2$ مقاومت در برابر کشش عمود بر الیاف چوب راش را محاسبه و با ارقام جدول ۳-۸ مقایسه کنید.

۳- فرض کنید یک قطعه چوب ممرز باید نیرویی برابر 135° نیوتن را در حالت کشش موازی با الیاف تحمل کند. سطح مقطع چوبی که باید، مورد استفاده قرار گیرد، محاسبه کنید.

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

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

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

$$P_{\parallel}(?) = \frac{F(N)}{A_0(\text{cm}^2)}$$

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

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