

# فصل هفتم مقاومت خمشی چوب





## فصل هفتم: مقاومت خمشی چوب

### مقدمه:

مقاومت خمشی مقدار باری که می‌توان بر یک تیر چوبی<sup>۱</sup> سقف (شکل ۷-۱)، یک قید صندلی و یا یک قید میز ناهارخوری (شکل ۷-۲) وارد کرد را مشخص می‌سازد.

در طول تیر چوبی سقف ساختمان که در دو انتها بر روی دیوارها و یا ستون‌ها استقرار یافته است وزن مصالح سقف و برقید یک میز ناهارخوری وزن صفحه میز و اجسامی که روی آن قرار دارد، وارد می‌شود (شکل ۷-۳) این نیروهای گسترده موجب خمیده شدن تیر، قید یا ... می‌گردند. بنابراین قطعه چوب مورد نظر تحت تأثیر نیروی خمشی قرار دارد. خمیده شدن تخته چوبی در اثر ایستادن فردی بر وسط آن نمونه‌ای از ایجاد خمش در اثر نیروی متمرکز است.

مقاومت خمشی یکی از خواص بنیادی در استفاده از چوب در انواع سازه‌های چوبی (مبل، طبقات کتابخانه، خانه‌های چوبی و ...) است.

تنش و تغییر طول نسبی در حالت خمش مانند کشش و فشار ساده و از طریق تقسیم نیرو بر سطح مقطع و تغییر طول بر طول اولیه، امکان پذیر نمی‌باشد. مقاومت خمشی (MOR) و مدول الاستیسیته در حالت خمش (MOE) از طریق فرمول‌هایی که گفته خواهد شد محاسبه می‌گردد. قطعه چوب قرار گرفته تحت بار خمشی در بالای سطح خنثی فشرده و در پایین سطح خنثی کشیده می‌شود. انجام آزمایش شماره ۱ به درک بهتر شما از این پدیده، کمک می‌کند.

در آزمایش شماره ۲ سعی شده اثر افزایش نیرو بر مقدار خمش، تفاوت گونه‌های چوبی مختلف از نظر خمش ایجاد شده در آنها در اثر اعمال نیرویی برابر و همچنین تغییر شکل الاستیک و پلاستیک نشان داده شود.

در آزمایش شماره ۳ اثر طول نمونه بر خمش ایجاد شده (تغییر طول دهانه) و اثر تغییر محل بار متمرکز از وسط دهانه به کناره، بر خمش ایجاد شده، نشان داده شده است.

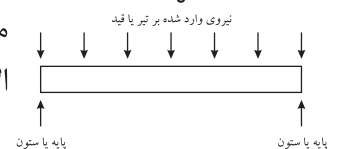
هدف از انجام آزمایش‌های شماره ۵ و ۶ بررسی اثر زاویه الیاف و محل گره بر مقاومت خمشی است.



شکل ۷-۱



شکل ۷-۲



شکل ۷-۳

۱- تیر عضوی است که طول آن نسبت به سایر ابعادهای بسیار بزرگ است و بارگذاری به صورت عرضی بر روی آن انجام می‌شود.



## پیش آزمون

۱- کدام یک از قطعات چوبی زیر در معرض بار خمشی قرار ندارند؟

الف) قید نشیمنگاه صندلی      ب) پایه صندلی

ج) قید تکیه‌گاه صندلی      د) طبقه کتابخانه

۲- سطح خنثی را در چوبی که تحت بار خمشی قرار گرفته است تعریف کنید و آن را با استفاده از شکل نشان دهید.

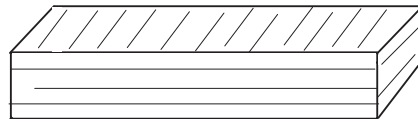
.....  
.....  
.....

۳- نواحی قرار گرفته در بالا و پایین سطح خنثی تحت نیروی کششی هستند یا فشاری؟ با استفاده از شکل توضیح دهید.

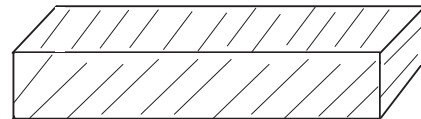
.....  
.....  
.....

۴- با توجه به شکل زیر اثر زاویه الیاف (زاویه بین الیاف و جهت طولی چوب قرار گرفته تحت بار خمشی) بر مقاومت خمشی چگونه می‌باشد؟ (جهت الیاف نسبت به جهت طولی نمونه در اشکال ۷-۵۱ و ۷-۶۱ نیز نشان داده شده‌اند) .....

.....  
.....  
.....



جهت الیاف موازی جهت طولی نمونه



نمونه دارای الیاف مورب  
(زاویه دار نسبت به جهت طولی نمونه)

۵- اثر گره را با توجه به اینکه در بالای سطح خنثی قرار داشته باشد یا پایین، بر مقاومت خمشی چوب توضیح دهید.

.....  
.....  
.....



# پرسش

در تصاویر ۷-۵ تا ۷-۹ قطعاتی تحت تأثیر نیروی گسترده یا متمرکز خمشی می‌باشند. این قطعات را همراه با ذکر نوع بار (گسترده یا متمرکز) ، در هر شکل مشخص سازید.



شکل ۷-۶

.....  
.....  
.....



شکل ۷-۵

.....  
.....  
.....



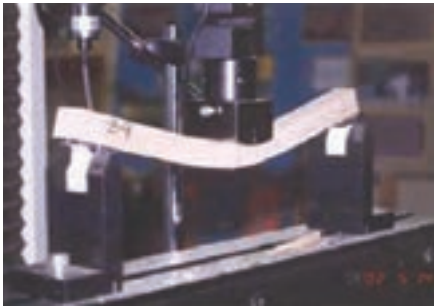
شکل ۷-۸

.....  
.....  
.....



شکل ۷-۷

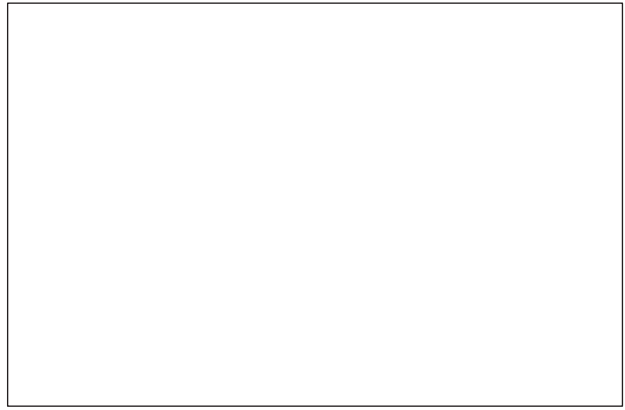
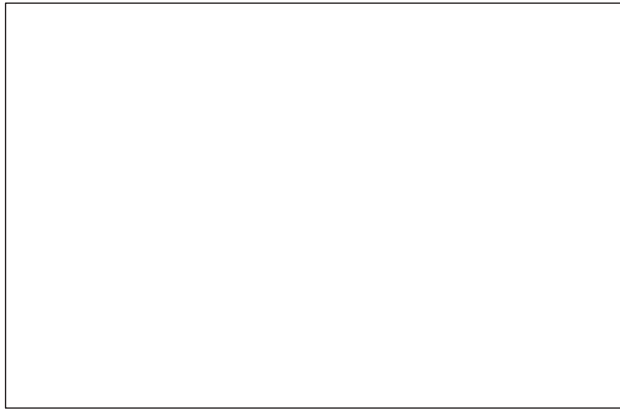
.....  
.....  
.....



شکل ۷-۹

.....  
.....  
.....

شما نیز از بخش‌هایی از مصنوعات چوبی یا غیر چوبی قرار گرفته در وضعیتی مشابه عکس گرفته و یا در اینترنت با استفاده از زبان فارسی و یا انگلیسی (با کلید واژه **wood bending**، خمش چوب) جست‌وجو کرده و پرینت عکس‌هایی را که با دوربین و یا از اینترنت گرفته‌اید در جای مربوطه بچسبانید؛ اگر عکس گرفتن با جست‌وجوی اینترنتی برای شما مقدور نیست تصاویر مورد نظر را ترسیم نمایید.



## آزمایش شماره ۱



شکل ۱۰-۷ (الف) - میخ‌های قرار داده شده در داخل شکافهای تخته



شکل ۱۰-۷ (ب) - تخته آماده شده برای آزمایش



شکل ۱۰-۷ (ج) - مرحله اول آزمایش



شکل ۱۰-۷ (د) - مرحله دوم آزمایش

۱- در قطعه چوبی از گونه‌های سبک مانند صنوبر و یا نوئل به ابعاد  $40 \times 2 \times 2$  سانتی‌متر از هر انتها به ترتیب به فاصله ۷ سانتی‌متر ۲ علامت و سپس به فاصله ۱۲ سانتی‌متر ۲ علامت دیگر با مداد کشیده و مشابه (شکل ۱۰-۷ الف)) چهار شیار به ضخامت  $1/5$  میلی‌متر و عمق ۱ سانتی‌متر ایجاد کنید.

۲- ۴ عدد میخ با قطر حدود ۲ میلی‌متر را به صورت ایستاده در داخل شیارها مستقر کرده و چوب را به صورتی که میخ‌ها در سطح فوقانی باشند روی پایه‌ها قرار دهید (شکل ۱۰-۷ ب)).  
۳- وزنه‌ای به جرم حدود ۷ کیلوگرم بر روی چوب گذاشته و میخ‌های فوقانی را با دست از شیارها خارج کنید (شکل ۱۰-۷ ج)).

۴- چوب را بچرخانید به صورتی که میخ‌ها در سطح زیرین باشند (شکل ۱۰-۷ د))، مجدداً وزنه را روی چوب قرار داده و میخ‌ها را با دست از شیار بیرون بکشید.

این آزمایش را با معلم درس انجام داده و گزارش آن را با ذکر **اختلاف** نیروی لازم برای بیرون آوردن میخ‌های قرار گرفته در سطح فوقانی با نیروی لازم برای بیرون آوردن میخ‌های قرار گرفته در سطح تحتانی قطعه چوب، همچنین توضیح در خصوص علت این **اختلاف**، در زیر بنویسید.

### گزارش آزمایش:

.....  
.....  
.....  
.....



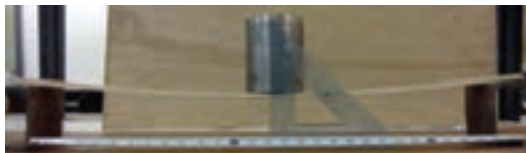
## آزمایش شماره ۲

سه قطعه چوب به ابعاد  $70 \times 8 \times 0.8$  سانتی متر از گونه‌های مختلف چوبی مانند راش، صنوبر، ممرز و... را با نظارت معلم خود در کارگاه آماده کنید.

سپس وزنه‌هایی به جرم ۷، ۱۲، ۱۷ کیلوگرم بر روی آنها قرار داده پس از ثبت خمش (خیز یا کاهش ارتفاع نمونه در وسط دهانه) در قالب جدول ۱-۷، از روی نمونه بر دارید (شکل ۱۱-۷).

جدول ۱-۷		
گونه چوبی	جرم وزنه قرار داده شده (بار گذاری متمرکز)	خمش (خیز) نمونه
راش	۷	
	۱۲	
	۱۷	
صنوبر	۷	
	۱۲	
	۱۷	
ممرز	۷	
	۱۲	
	۱۷	

گزارش این آزمایش را به همراه توضیح در خصوص رابطه میان «مقدار بار» اعمال شده و «گونه چوبی» نمونه با «خمش حاصل»، همچنین مقایسه گونه‌های مختلف از نظر خمش (خیز) ایجاد شده در آنها در اثر بار گذاری مساوی و تفسیر تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک به وجود آمده، با کمک معلم خود، در زیر بنویسید.



شکل ۱۱-۷

### گزارش آزمایش:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



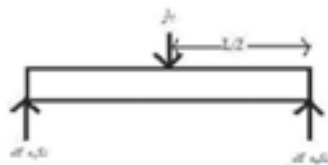
### آزمایش شماره ۳

نمونه‌ای از چوب صنوبر و یا نوئل با ابعاد  $۸۰ \times ۶ \times ۰/۸$  سانتی‌متر را با راهنمایی معلم درس در کارگاه آماده کنید. سپس وزنه‌ای به جرم  $۱۰$  کیلو گرم را وسط دهانه (بارگذاری متمرکز) قرار داده فاصله دو تکیه‌گاه را به ترتیب  $۷۰$ ،  $۶۰$  و  $۵۰$  سانتی‌متر تنظیم و خمش هر حالت را ثبت نمایید.

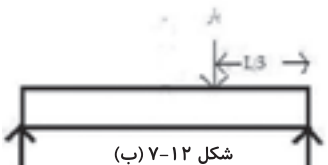
گزارش این آزمایش را به همراه تفسیر رابطه میان طول دهانه و خمش ایجاد شده در زیر بنویسید. این آزمایش را می‌توانید با راهنمایی معلم خود با استفاده از روش بارگذاری گسترده نیز انجام دهید.

برای ثبت خمش (خیز) می‌بایست کاهش ارتفاع نمونه در وسط دهانه را پس از بارگذاری با استفاده از وسایل ساده‌ای مانند خط‌کش (شکل ۷-۱۱) و یا کرنش‌سنج (ساعت اندازه‌گیر) اندازه‌گیری کرد.

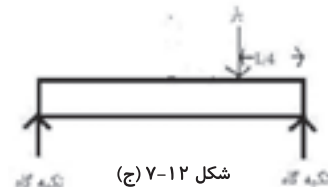
آزمایش دیگری که با همین وسایل قابل انجام است اثر تغییر محل بارگذاری متمرکز از وسط دهانه به کناره‌ها است (شکل ۷-۱۲ الف، ب و ج). محل وزنه را مطابق شکل تغییر دهید و خمش‌های ایجاد شده را با یکدیگر مقایسه و گزارش نمایید.



شکل ۷-۱۲ (الف)



شکل ۷-۱۲ (ب)



شکل ۷-۱۲ (ج)

### گزارش آزمایش:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





به نظر شما افزایش و کاهش سطح مقطع چه اثری بر مقاومت خمشی دارد؟  
این سؤال را می‌توانید با انجام آزمایش زیر پاسخ دهید:  
چند قطعه چوب از یک گونه با مقطع مربع و طول یکسان ولی ابعاد متفاوت را با راهنمایی معلم خود آماده کنید (شکل ۱۳-۷). چوب‌ها را بر روی تکیه‌گاه قرار داده و خمش حاصل از بار مساوی را برای هر یک از نمونه‌ها یادداشت نمایید؛ حال سؤال فوق را در قالب گزارش این آزمایش پاسخ دهید.



شکل ۱۴-۷

شکل ۱۴-۷ آزمایش مقاومت خمشی قطعات چوبی در

اندازه سرویس را نشان می‌دهد. حسن این روش به دست آوردن شکل ۱۳-۷، مقدار خمش (خیز) ایجاد شده را می‌توان با استفاده از کرنش سنج مقاومت‌هایی صحیح‌تر نسبت به اندازه‌گیری‌های حاصل از (ساعت اندازه‌گیر) اندازه‌گیری کرد. امروزه این وسیله در انواع عقربه‌ای و دیجیتال موجود می‌باشد.

آزمایش نمونه‌های کوچک است و معایب آن نیاز به چوب بیشتر برای ساخت نمونه‌های آزمایش و همچنین دستگاه‌های کشش و فشار با توان بالا می‌باشد. آزمایش نمونه در اندازه سرویس عبارت است از آزمایش نمونه‌هایی که ابعاد آنها برابر ابعاد اجزاء سازه واقعی می‌باشد، به عنوان مثال مقاومت خمشی قطعه چوبی به ابعاد یک تیر چوبی سقف به وسیله یک دستگاه کشش و فشار ویژه به جای مقاومت خمشی قطعه چوبی به ابعاد  $40 \times 2 \times 2$  سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شود، در این حالت دیگر به تعمیم نتایج به دست آمده از نمونه‌های کوچک بی‌نقصی، به شرایط واقعی، نیاز نیست.

گزارش آزمایش:

.....

.....

.....

.....



## مسئله



نمودارهای ذیل حاصل آزمایش سه نمونه چوب صنوبر با ابعاد مقطع  $2 \times 2$  سانتی متر و طول دهانه  $30$  سانتی متر می باشند، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته هر یک از چوب های آزمایش شده را با توجه به نمودار به دست آمده محاسبه کنید.

.....

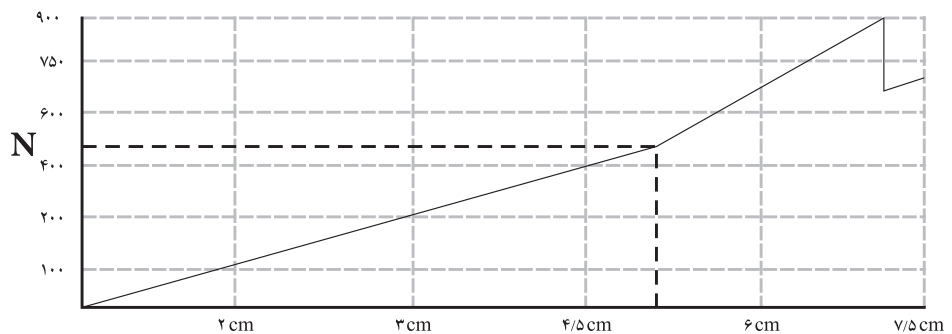
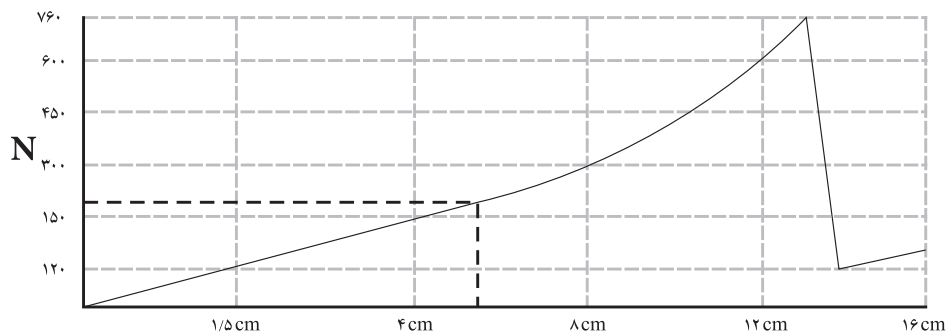
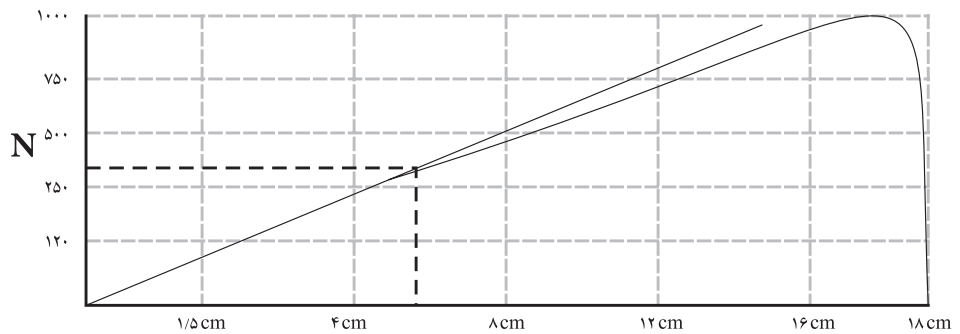
.....

.....

.....

.....

.....





### نمونه سؤال امتحان نهایی

۱- (۱۳۸۹/۰۳/۰۶) اگر در آزمایش مقاومت خمشی مقطع چوب ۴×۴ سانتی متر باشد و تحت تأثیر نیروی به میزان ۱۵۰۰ نیوتن قرار گیرد و فاصله تکیه گاه ۶۰ سانتی متر باشد، محاسبه کنید میزان خمش ایجاد شده در نمونه آزمایش را در صورتی که مدول الاستیسیته آن ۱۶۲۰۰ نیوتن بر میلی متر مربع باشد.

$$b = 40 \text{ mm}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$F = 1500 \text{ N} \text{ (نیرو در حد تناسب)}$$

$$L = 600 \text{ mm}$$

$$MOE = 16200 \text{ N/mm}^2$$

$$MOE = \frac{F_{PL} L^3}{4db^2 D}$$

$$16200 = \frac{324 \times 10^9}{(1024 \times 10^4) D}$$

$$16200 = \frac{1500(600)^3}{4 \times 40 \times (40)^2 D}$$

$$165888 \times 10^6 D = 324 \times 10^9$$

$$165888 \times 10^6 D = 324 \times 10^9$$

$$D = 1/95 \text{ mm}$$

۲- (۱۳۸۵/۰۳/۰۸) یک قطعه چوب افرا به ابعاد سطح مقطع ۵×۵ سانتی متر مورد آزمایش خمش قرار گرفته است. اگر مقدار نیرو حداکثر ۵۳۰ نیوتن و فاصله دو تکیه گاه ۷۰ سانتی متر باشد مقاومت خمشی این قطعه چوب چند مگاپاسکال است؟

$$b = 0.05 \text{ m}$$

$$d = 0.05 \text{ m}$$

$$F = 530 \text{ N}$$

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

$$MOR = ?$$

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

$$MOR = \frac{556/5}{125 \times 10^{-6}}$$

$$MOR = \frac{1/5 \times 530 \times 0.7 \text{ m}}{0.05 \text{ m} \times (0.05 \text{ m})^2}$$

$$MOR = 4452000 \text{ pa} = 4/452 \text{ Mpa}$$

۳- (۱۳۸۸/۰۳/۰۴) مقاومت خمشی چوب راشی برابر ۴/۵ N/mm<sup>۲</sup> است، تحمل نیروی متمرکز F در وسط یک الوار از این چوب به پهنای ۶ و ضخامت ۴ سانتی متر (نیرو در جهت پهنای وارد می شود) را حساب کنید، فاصله بین دو تکیه گاه ۲ متر است.

$$F = ?$$

$$b = 0.06 \text{ m}$$

$$d = 0.04 \text{ m}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$MOR = 4/5 \text{ N/mm}^2 = 4/5 \text{ Mpa} = 4500000 \text{ pa}$$

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

$$4/5 \times 10^6 = \frac{1/5 \times 2 \times F}{0.06 \times (0.04)^2}$$

$$432 = 3F$$

$$F = 144 \text{ N}$$

۴- (۱۳۸۶/۰۳/۰۵) مدول الاستیسیته چوب راشی ۱۲۵ Gpa (۱۲۵×۱۰<sup>۹</sup> pa) است، اگر عرض این چوب ۴ و ضخامت ۸ سانتی متر و فاصله دو تکیه گاه آن ۲۰۰ سانتی متر باشد خمش به وجود آمده در اثر وارد شدن نیرویی معادل ۶۰۰۰ N را محاسبه کنید.

$$MOE = 125 \text{ Gpa} = 125 \times 10^9 \text{ pa}$$

$$b = 0.04 \text{ m}$$

$$d = 0.08 \text{ m}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$F = 6000 \text{ N} \quad (\text{نیرو در حد تناسب})$$

$$D = ?$$

$$MOE = \frac{F_{PL} L^3}{4bd^3 D}$$

$$125 \times 10^9 = \frac{6000 \times (2)^3}{4 \times 0.04 \times (0.08)^3 D}$$

$$102400000 D = 48000$$

$$D = 0.0047 \text{ m} = 4.7 \text{ mm}$$

۵- (۱۳۸۷/۰۳/۱۱) به وسط قطعه چوبی به ابعاد سطح مقطع ۵×۵ سانتی متر نیرویی معادل ۵۰۰ N وارد می شود، در صورتی که فاصله بین دو تکیه گاه ۰/۷۵ m باشد مقاومت خمش را بر حسب مگا پاسکال محاسبه نمایید.

$$b = 5 \text{ mm}$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

$$F = 500 \text{ N}$$

$$L = 75 \text{ mm}$$

$$MOR = ?$$

$$MOR = \frac{1/5 FL}{bd^3}$$

$$MOR = \frac{1/5 \times 500 \text{ N} \times 75}{5 \text{ mm} \times (5)^3 \text{ m}}$$

$$MOR = 4/5 \text{ Mpa}$$

روش اول

$$b = 0.05 \text{ m}$$

$$d = 0.05 \text{ m}$$

$$F = 500 \text{ N}$$

$$L = 0.75 \text{ m}$$

$$MOR = ?$$

$$MOR = \frac{1/5 FL}{bd^3}$$

$$MOR = \frac{1/5 \times 500 \times 0.75}{0.05 \times (0.05)^3}$$

$$MOR = 4/5 \times 10^6 \text{ pa} = 4/5 \text{ Mpa}$$

روش دوم



## آزمایش شماره ۵

دو قطعه چوب به ابعاد  $۲/۵ \times ۲/۵ \times ۳۵$  سانتی متر را در کارگاه مطابق با (اشکال ۷-۱۵ و ۷-۱۶) آماده و بر روی پایه‌ها مستقر نمایید. سپس وزنه‌ای به جرم ۷ کیلوگرم در مرکز هر یک از نمونه‌ها قرار داده و عکس‌العمل آنها را با کمک ساعت اندازه‌گیر یا خط‌کش ثبت نمایید، گزارش این آزمایش را حتی المقدور همراه با عکس و توضیح کامل در مورد تأثیر زاویه شیب الیاف بر مقاومت خمشی چوب، در ذیل بنویسید. این آزمایش را می‌توانید با افزایش جرم وزنه و ثبت حداکثر باری که موجب شکست نمونه می‌گردد، به صورت کامل‌تر نیز انجام دهید. اندازه‌گیری مقاومت خمشی نمونه (شکل ۷-۱۶) با دستگاه کشش و فشار امکان‌پذیر می‌باشد.



شکل ۷-۱۵- نمونه چوب صنوبر قرار داده شده تحت بار خمشی متمرکز، جهت الیاف عمود بر جهت طولی نمونه می‌باشند.



شکل ۷-۱۶- در این آزمایش جهت الیاف موازی با جهت طولی نمونه می‌باشند.

### گزارش آزمایش:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## آزمایش شماره ۶

دو قطعه چوب گره دار مطابق با شکل ۷-۱۷ به ابعاد تقریبی  $70 \times 2 \times 2$  سانتی متر را در کارگاه آماده و بر روی پایه به گونه‌ای مستقر نمایید که در یکی گره در بخش فوقانی نمونه و در دیگری در زیر باشد.

سپس وزنه‌ای به جرم ۱۵ کیلوگرم بر مرکز هر یک از نمونه‌ها قرار داده و عکس العمل آنها را ثبت نمایید. گزارش این آزمایش را حتی المقدور همراه با عکس و توضیح کامل در خصوص ارتباط میان محل گره در چوب و مقاومت خمشی در ذیل بنویسید.



شکل ۷-۱۷

گزارش آزمایش:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## مسئله ها



۱- در وسط دو نمونه چوبی راش و نوئل به ابعاد سطح مقطع  $2 \times 2$  سانتی متر به ترتیب حداکثر  $2250$  و  $1200$  نیوتن نیرو قبل از شکست وارد شده است، در صورتی که فاصله بین دو تکیه گاه  $30$  سانتی متر باشد، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته را بر حسب مگاپاسکال محاسبه نمایید.

نیروی حد تناسب در چوب راش  $70$  نیوتن، مقدار خمش حد تناسب  $1/7$  mm، نیروی حد تناسب در چوب نوئل  $50$  نیوتن و خمش حد تناسب  $1/8$  mm است.

### چوب راش:

$$b = 0.02m$$

$$d = 0.02m$$

$$F_{Max} = 2250N$$

$$L = 0.3m$$

$$MOR = ?$$

$$F_{PL} = 70N \quad \text{در حد تناسب}$$

$$D = 0.0017m$$

$$MOR = \frac{1/5 FL}{bd^3}$$

$$MOR = \frac{1/5 \times 2250N \times 0.3m}{0.02m \times (0.02m)^3}$$

$$MOR = \frac{1012.5}{8 \times 10^{-6}}$$

$$MOR = 126.5 MPa$$

$$MOE = \frac{F_{PL} L^3}{4bd^3 D}$$

$$MOE = \frac{70 \times (0.3)^3}{4 \times 0.02m \times (0.02m)^3 \times 0.0017}$$

$$MOE = \frac{1/89}{1 \times 10^{-9}} = 1890 MPa = 1/89 GPa$$

### چوب نوئل:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

۲- همان طور که می دانید کارگران ساختمانی هنگام کار بر روی داربست از تخته های چوبی استفاده می کنند، فرض کنید قرار است یک فرد بالغ با جرم ۸۰ کیلوگرم در نقطه وسط یک تخته چوبی به طول ۶ متر، مقاومت خمشی ۵۰ MPa و ضخامت ۴ سانتی متر به شکل ایستاده کار کند، عرض تخته را به گونه ای محاسبه کنید که تحمل وزن ۵ برابر نیروی وزن فرد مورد نظر را داشته باشد؟

$$MOE = 9 \cdot Gpa, g \approx 1 \frac{N}{Kg}$$

$$F = mg = 80 \times 10 \times 9.8 = 7840 N$$

$$L = 6 m$$

$$MOR = 50 \times 10^6 \text{ pa}$$

$$d = 0.04 m$$

$$b = ?$$

$$MOR = \frac{1/5 FL}{bd^3}$$

$$50 \times 10^6 = \frac{1/5 \times 7840 \times 6}{b \times (0.04)^3}$$

$$b = 0.045 m = 4.5 cm$$

۳- در مرکز طول دهانه یک تیر چوبی ساخته شده از چوب توسکا با طول ۳ متر، عرض ۵ و ارتفاع ۱۰ سانتی متر چند نیوتن بار می توان وارد کرد؟ مقاومت خمشی این چوب ۱۰۰ MPa است.

$$L = 3 m$$

$$b = 0.05 m$$

$$d = 0.1 m$$

$$F = ?$$

$$MOE = 100 \times 10^6 \text{ pa}$$

$$MOR = \frac{1/5 FL}{bd^3}$$

$$100 \times 10^6 = \frac{1/5 \times 3 F}{0.05 (0.1)^3}$$

$$4/5 F = 5000$$

$$F = 11111 N$$

۴- مسئله قبل را برای چوب صنوبر با مقاومت خمشی ۸۰ MPa محاسبه کنید.

.....

.....

.....

.....

.....

.....



۵- اگر قرار باشد چوب به کار رفته در هر پله یک نردبان با در نظر گرفتن مسائل ایمنی ۴۰۰۰ نیوتن وزن را در نقطه مرکزی خود تحمل کند، ضخامت چوب هر پله را برای دو نردبان ساخته شده از چوب‌های بلوط و ممرز به‌طور جداگانه محاسبه کنید عرض و طول هر پله به ترتیب ۷ و ۳۰ سانتی‌متر، مقاومت خمشی چوب بلوط را ۷۰ MPa و چوب ممرز را ۱۰۰ MPa در نظر می‌گیریم.

### چوب بلوط :

$$F = 4000N$$

$$b = 0.07m$$

$$L = 0.3m$$

$$d = ?$$

$$MOR = 70 \times 10^6 \text{ pa}$$

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

$$70 \times 10^6 = \frac{1/5 \times 4000 \times 0.3}{0.07d^2}$$

$$4/9 \times 10^6 \times d^2 = 1800$$

$$d^2 = 37 \times 10^{-5}$$

$$d \approx 0.02m = 20mm$$

### چوب ممرز :

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

۶- دو قطعه چوب توسکا و صنوبر با ابعاد  $30 \times 2 \times 2$  سانتی‌متر مورد آزمایش خمش قرار گرفته‌اند، اگر خیز در نقطه حد تناسب هر دو نمونه  $0.8$  میلی‌متر، نیروی حد تناسب در چوب توسکا  $135$  و در چوب صنوبر  $125$  باشد، مدول الاستیسیته این دو چوب را با هم مقایسه کنید.

### چوب توسکا :

$$L = 0.3m$$

$$b = 0.02m$$

$$d = 0.02m$$

$$D = 0.0008m$$

$$F_{PL} = 135 N$$

$$MOE = ?$$

$$MOE = \frac{F_{PL} L^3}{4db^2D}$$

$$MOE = \frac{135 \times (0.3)^3}{4 \times 0.02 \times (0.02)^2 \times 0.0008}$$

$$MOE = 7/12 \times 10^9 \text{ pa} = 7/12 Gpa$$

چوب صنوبر :

.....

.....

.....

.....

.....

۷- قرار است در مرکز قطعه چوبی به ضخامت (ارتفاع) ۴ سانتی متر و طول ۲ متر وزنه‌ای به جرم ۱۰ کیلوگرم قرار داده شود، عرض این چوب را باید به چه اندازه گرفت تا خمش آن از ۵ میلی متر تجاوز نکند؟ ( $g \approx 10 \text{ N}$ ,  $MOE = 80 \times 10^9 \text{ N/m}^2 = 80 \text{ Gpa}$ )

$$d = 0.04 \text{ m}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$F = W = mg$$

$$F_{PL} = 10 \times 10 = 100 \text{ N}$$

$$b = ?$$

$$D = 0.005 \text{ m}$$

$$MOE = 80 \times 10^9 \text{ pa}$$

$$MOE = \frac{F_{PL} L^3}{4db^3 D}$$

$$80 \times 10^9 = \frac{100 \times 8}{4 \times b \times (0.04)^3 \times 0.005}$$

$$102400b = 800$$

$$b = 0.0078 \text{ m} = 7.8 \text{ mm}$$

