

مطالعه تجربی مقاومت خمشی تیر لایه‌ای (گلولام) ساخته شده از گونه صنوبر با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی و مقایسه آنها با گلولام ساخته شده با پرس سرد

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی مقاومت خمشی (MOR) و مدول الاستیسیته خمشی (MOE) تیر لایه‌ای (گلولام) ساخته شده از صنوبر (*Populus alba*) با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مانند میخ فولادی گالوانیزه، میخ شانه‌ای و پیچ پانلی رزوه درشت و نیز با و بدون چسب و مقایسه آنها با گلولام ساخته شده با پرس سرد انجام شد. چسب مورد استفاده پلی‌اورتان و مقدار مصرف آن 300 g/m^2 بود. ضخامت، پهنا و طول دهانه گلولام‌های سه‌لایه برای آزمون خمش به ترتیب ۵۷، ۸۰ و ۶۴۰ mm بود. آزمون خمش براساس ASTM D7341 و با دستگاه اینسترون انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین MOR و MOE به ترتیب مربوط به گلولام‌های ساخته شده با چهار عدد پیچ در سطح $8 \text{ cm}^2 \times 8$ به همراه چسب ($69/3 \text{ MPa}$) و دو عدد میخ فولادی به همراه چسب ($6737/7 \text{ MPa}$) بود. همچنین نتایج نشان داد که کمترین MOR و MOE هر دو مربوط به گلولام‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب بود (به ترتیب $23/9$ و $1252/7 \text{ MPa}$). نتایج نشان داد که با تغییر مستقل تعداد اتصال‌دهنده MOR و MOE به ترتیب $3/7$ و کمتر از یک درصد تغییر کرد. بیشترین تغییرات مربوط به تاثیر مستقل کاربرد چسب بوده است (130 درصد برای MOR و $317/8$ درصد برای MOE). تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که فقط تاثیر مستقل کاربرد چسب بر MOR و MOE در سطح اعتماد 95 درصد از نظر آماری معنی‌دار است. نتایج مقایسه MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با تیمارهای ساخته شده با دو اتصال‌دهنده و چسب در مقایسه با پرس سرد نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد، از این رو، می‌توان از پیچ، میخ فولادی و شانه‌ای برای ساخت گلولام استفاده کرد، که از بین آنها میخ‌شانه‌ای به دلیل سهولت کاربرد و نصب آن با میخکوب بادی و هزینه کمتر بهترین گزینه است.

واژگان کلیدی: مقاومت خمشی، تیر لایه‌ای (گلولام)، صنوبر، اتصال‌دهنده‌های مکانیکی، پرس سرد.

اکبر رستم پور هفتخوانی^{*۱}

^۱ استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مسئول مکاتبات:

arostampour@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۲

مقدمه

امروزه از آن برای ساخت انواع ساختمان‌های سبز با تمرکز بر کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات منفی بر سلامت انسان استفاده می‌شود. از طرفی چوب به دلیل خواص بی-

چوب از قدیم به طور گسترده‌ای در ساختمان‌سازی استفاده می‌شده است و حتی بعد از ظهور بتن و فولاد نیز

استفاده کرد. به وسیله پرس هیدرولیک می‌توان فشاری معادل $1-0.1 \text{ N/mm}^2$ و حتی بیشتر اعمال کرد، اما با پرس خلاء این میزان فشار معادل $0.1-0.05 \text{ N/mm}^2$ بوده و با میخ و پیچ این مقدار فشار به 0.2 N/mm^2 می‌رسد [۷-۸]. مطالعات Kairi (۲۰۰۲) نشان داد که به دلیل هم‌کشیدگی و واکشیدگی، حداقل فشار برای اتصال چسب برای چسب‌های فنولی و ملامین پایه $2-1/4 \text{ N/mm}^2$ است، اما برای چسب پلی‌اورتان فشاری معادل $0.1-0.01 \text{ N/mm}^2$ کافی است [۸]. براساس استاندارد EN 386، مقدار فشار لازم برای گلولام با لایه‌های با ضخامت کمتر از 35 mm حدود 0.6 N/mm^2 و برای لایه‌های با ضخامت 35 mm تا 45 mm حدود $1-0.8 \text{ N/mm}^2$ است [۹]. بر کسی پوشیده نیست که از نظر پوشش جنگلی در زمره کشورهای فقیر جهان هستیم و تنها هفت درصد از سطح کشور را جنگل پوشانده است و مساحت کم جنگل‌ها پاسخگوی نیازهای چوبی کشور نخواهد بود. از این رو، به دلیل افزایش روزافزون جمعیت و سهم سرانه مصرف چوب و لزوم کاهش برداشت چوب از جنگل‌های طبیعی، نیاز به تامین چوب از طریق استفاده از گونه‌های تندرشد امری اجتناب‌ناپذیر است [۱۰]. از این رو، در این مطالعه برای کاهش هزینه ساخت گلولام، از چوب صنوبر به عنوان گونه‌ای تندرشد و ارزان استفاده شد. از سوی دیگر، برای کاهش هزینه تولید و امکان حذف مرحله پرس که پرهزینه است، ساخت گلولام صنوبر با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مانند پیچ پانلی، میخ شانه‌ای و میخ فولادی گالوانیزه برای تأمین فشار برای اتصال چسب بررسی شد و نتایج حاصل با گلولام‌های ساخته شده با پرس سرد مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق ابتدا گرده بینه‌های چوب صنوبر (*Populus alba*) به تخته‌هایی با ابعاد $200 \times 10 \times 2/5 \text{ cm}$ (به ترتیب طول، پهنا و ضخامت) تبدیل شدند و سپس چوبدستک گذاری شده و در هوای آزاد به مدت ۲ ماه تا رطوبت ۱۵ درصد خشک شدند. سپس تخته‌ها به صورت نظری درجه‌بندی شده و تخته‌های درجه یک با دستگاه رنده و گندگی تا ضخامت ۱۹ و

مانند، تولید در زمان کوتاه و تجدیدپذیری به عنوان مصالح ساختمانی بی‌رقیب است. از چوب به صورت خام یا تغییر یافته استفاده می‌شود. یکی از اشکال تغییر یافته چوب، تبدیل آن به محصولات مهندسی شده است. محصولات مهندسی شده چوب شامل^۱ Glulam، OSŁ، LSE، PSE، LVL، CLT^۲ و غیره است. محصولات مهندسی شده چوب علاوه بر داشتن مقاومت‌های بالا به دلیل استفاده از رزین‌های مقاوم به رطوبت، حذف معایب چوب از قبیل گره‌ها، چوب واکنشی، پوسیدگی، باختگی در فرایند ساخت سبب استفاده بهتری از منابع جنگلی در دسترس می‌شوند و همچنین کارآمدی و کارایی درختان کم قطر و چوب‌های با کیفیت کمتر را برای تولید افزایش می‌دهند [۱]. در سازه‌های بزرگی که دهانه‌های بلند تیر و ستون باعث فراهم آمدن فضای باز بزرگتری می‌شود، کاربرد مصالح غیر چوبی به خاطر فزونی بار مرده‌شان محدودیت داشته، ولی اعضای لایه‌ای چوب مانند گلولام، آزادی عمل زیادتری برای طراحان معماری این نوع سازه‌ها فراهم آورده‌اند [۲]. گلولام یکی از قدیمی‌ترین محصولات مهندسی شده چوبی است که بر طبق استاندارد ASTM D 3737 از حداقل دو لایه چوبی تشکیل شده و این لایه‌ها با چسب‌های مخصوص به همدیگر متصل می‌شوند. ضخامت لایه‌های تشکیل‌دهنده گلولام طبق استاندارد مربوطه نباید از 50 mm تجاوز کند [۳]. ضخامت متوسط لایه‌های گلولام $25-50 \text{ mm}$ است [۴]. چسب‌های مورد استفاده برای ساخت گلولام شامل چسب‌های فنولی و آمینوپلاست، امولسیون پلی‌مر ایزوسیانات (EPI) و پلی‌اورتان (PU) هستند [۵]. چسب‌های مذکور در حالت سرد بیش از دو ساعت به پرس نیاز دارند. برای مثال برای پلی‌اورتان، مدت مونتاژ ۴۵ دقیقه، مدت پرس ۱۲۰ دقیقه، فشار پرس $0.8-0.39 \text{ N/mm}^2$ است [۶]. یکی از مراحل هزینه‌بر برای ساخت محصولات چوبی لایه‌ای، مرحله پرس است. برای پرس کردن محصولات لایه‌ای می‌توان از پرس‌های هیدرولیک، پرس‌های خلاء و یا اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مانند میخ و پیچ

¹ Glued Laminated Timber

² Cross laminated timber

³ Laminated veneer lumber

⁴ Parallel Strand Lumber

⁵ Laminated Strand Lumber

⁶ Oriented Strand Lumber

برای ساخت هر نمونه از پنج پیچ دستی نجاری به فواصل ۱۰ cm استفاده شد.

سپس از داده‌های نیرو و جابجایی مقادیر مقاومت خمشی یا مدول گسیختگی (MOR) و مدول الاستیسیته خمشی (MOE) با فرمول‌های زیر برای خمش سه نقطه‌ای با بار متمرکز در وسط دهانه محاسبه و گزارش شد.

(۱) فرمول بالا برای مقطع مستطیل با پهنای b و ارتفاع مقطع h به صورت زیر ساده شد:

$$MOR = \frac{MC}{I}$$

(۲) مدول الاستیسیته خمشی (MOE) از فرمول زیر و در قسمت خطی نمودار نیرو جابجایی محاسبه می‌شود:

$$MOR = 1.5 \frac{P_u L}{bh^2}$$

(۳) که فرمول زیر نیز برای مقطع مستطیل به شکل زیر ساده می‌شود:

$$MOE = \frac{P_{pl} L^3}{48 \delta I}$$

$$MOE = \frac{PL^3}{4 \delta bh^3} = \frac{L^3 \Delta P}{4 bh^3 \Delta x} \quad (4)$$

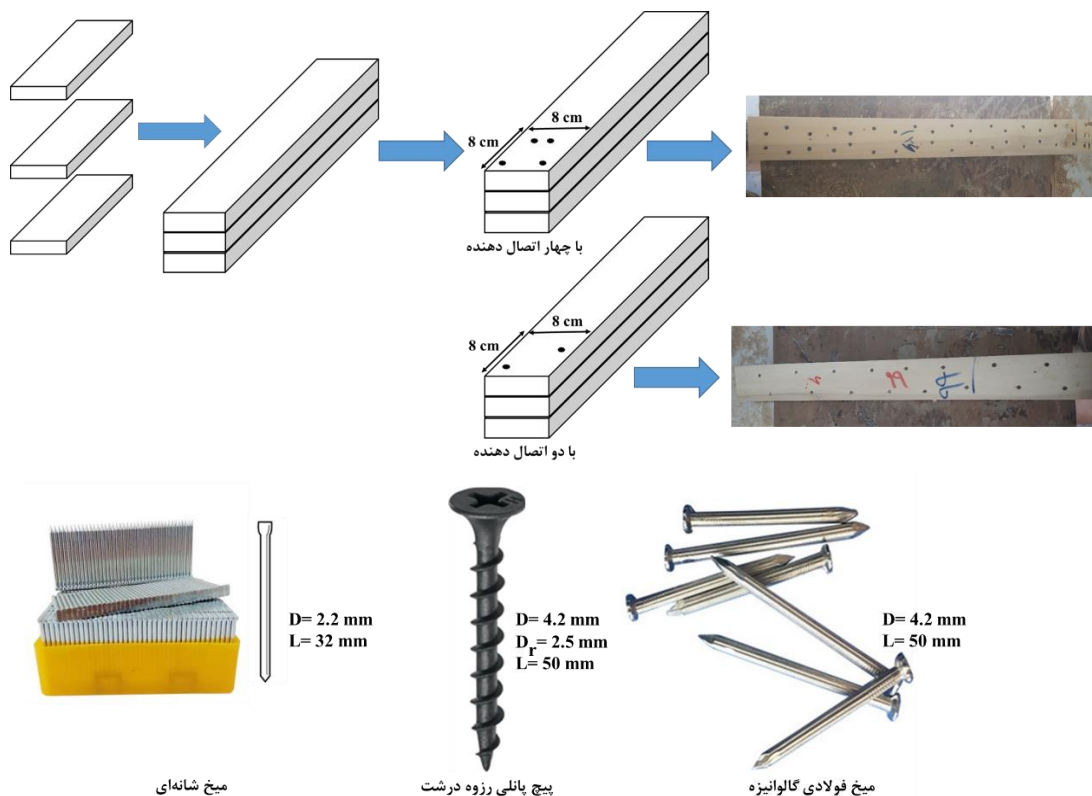
که در آن MOR بیانگر مدول گسیختگی یا مقاومت خمشی (MPa)، MOE مدول الاستیسیته خمشی (MPa)، M لنگر خمشی حداکثر (N.mm)، C ارتفاع مقطع (mm)، I ممان اینرسی مقطع (mm^4)، P_u بار حداکثر (N)، P_{pl} بار در حد تناسب (N)، L طول دهانه (mm)، δ یا Δx تغییر مکان یا خیز تیر حین خمش (mm)، b پهنای نمونه (mm) و h ارتفاع مقطع تیر (mm) است. ΔP (N) و Δx (mm) به ترتیب تغییرات نیرو و جابجایی در ناحیه خطی نمودار نیرو و جابجایی است.

متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق شامل نوع اتصال‌دهنده مکانیکی در سه سطح (پیچ پانلی، میخ فولادی گالوانیزه، میخ شانه‌ای)، تعداد اتصال‌دهنده در دو سطح (۲ و ۴ عدد) و چسب (با و بدون استفاده از چسب) بودند. در مجموع ۱۲ تیمار و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. سپس مقاومت خمشی گلولام‌های ساخته

پهنای ۸۰ mm از چهار طرف رنده شدند (S4S). از تخته‌های رنده شده نمونه‌های گلولام ساخته شدند. تخته‌های مورد مطالعه از نوع مماسی بودند و برای ساخت گلولام همه لایه‌ها در جهت طولی روی هم قرار گرفتند. دانسیته، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چوب مورد استفاده که با استاندارد ASTM D 143 اندازه‌گیری شد [۱۱]، به ترتیب $0.381 g/cm^3$ ، ۴۹ MPa و ۶۲۰۰ MPa بود. نمونه‌های گلولام با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مانند پیچ پانلی، میخ فولادی گالوانیزه و میخ شانه‌ای با استفاده از چسب پلی‌اورتان و نیز بدون چسب ساخته شدند. چسب پلی‌اورتان با کد M518 از شرکت مواد مهندسی مکرر تهیه شد. چسب مورد استفاده به رنگ کرم، دانسیته g/cm^3 و ۱/۳ درصد مواد جامد ۱۰۰ درصد بود (طبق کاتالوگ شرکت سازنده). مقدار چسب پلی‌اورتان g/m^2 ۳۰۰ بود. شکل ۱ نمونه‌های گلولام ساخته شده و اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مورد استفاده برای این تحقیق را نشان می‌دهد. تعداد اتصال‌دهنده برای تأمین فشار لازم برای اتصال چسب به ازای سطح $8 \times 8 cm^2$ دو و چهار عدد در نظر گرفته شد و برای جلوگیری از ترکیدن چوب، طوری نصب شدند که در جهت طولی در یک راستا نباشند. به دلیل دانسیته کم صنوبر و قطر کم اتصال‌دهنده‌ها، برای نصب پیچ و میخ به سوراخ پیش ساخته نیازی نبود. برای یکنواختی رطوبت، نمونه‌های گلولام به مدت دو هفته در شرایط رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سلسیوس، مشروط‌سازی شدند. مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام‌های ساخته شده با تبعیت از استاندارد ASTM D7341 به صورت سه نقطه‌ای با بار متمرکز در وسط دهانه با دستگاه اینسترون اندازه‌گیری شد [۱۲]. پهنای، ارتفاع مقطع، طول نمونه و طول دهانه نمونه‌های مورد مطالعه به ترتیب ۸۰، ۵۷، ۷۵۰ و ۶۴۰ mm بود. شکل ۳ نمونه گلولام تحت آزمون خمش را نشان می‌دهد. برای مقایسه MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی و چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس، بیشترین مقادیر مشاهده شده برای گلولام‌های ساخته شده با دو عدد از هر اتصال‌دهنده با نمونه‌های پرس سرد به عنوان نمونه شاهد مقایسه شدند. برای ساخت نمونه‌های ساخته شده با پرس سرد از پیچ‌دستی‌های نجاری استفاده شد. در این روش

استفاده شد و نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد از نظر آماری تجزیه و تحلیل شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

شده با اتصال دهنده‌ها با نمونه‌های ساخته شده با پرس سرد مقایسه شدند. سپس داده‌های MOR و MOE اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار SPSS 25 تجزیه و تحلیل آماری شدند. برای تجزیه تحلیل آماری از آزمون فاکتوریل



شکل ۱- نمونه های گلولام ساخته شده و اتصال دهنده‌های مکانیکی مورد استفاده برای این تحقیق (D قطر بیرونی، Dr قطر ریشه و L طول اتصال دهنده است)



شکل ۲- آزمون خمش روی گلولام

نتایج و بحث

ساخته شده با پیچ نیز به ترتیب ۴ و ۸/۶ درصد بیشتر از گلولام‌های ساخته شده با میخ فولادی و میخ شانه‌ای بود. گروه‌بندی دانکن نشان داد که بین MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با انواع اتصال‌دهنده در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد. شکل ۳ (قسمت ب) تأثیر مستقل تعداد اتصال‌دهنده بر MOR و MOE را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با تغییر تعداد اتصال‌دهنده از ۲ به ۴ عدد، MOR حدود ۳/۷ افزایش و MOE کمتر از یک درصد (۰/۶) کاهش یافت.

شکل ۳ (قسمت ج) تأثیر مستقل استفاده و عدم استفاده از چسب برای ساخت گلولام بر MOR و MOE را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که وقتی برای ساخت نمونه‌های گلولام از چسب به همراه اتصال‌دهنده مکانیکی استفاده می‌شود، MOR و MOE به ترتیب به مقدار ۱۳۰ و ۳۱۷/۸ درصد افزایش می‌یابد.

تأثیر متقابل نوع و تعداد اتصال‌دهنده مکانیکی، کاربرد و عدم کاربرد چسب بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی

شکل ۴ تأثیر متقابل نوع و تعداد اتصال‌دهنده مکانیکی، کاربرد و عدم کاربرد چسب بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی را نشان می‌دهد. تأثیر متقابل نوع اتصال‌دهنده بر تعداد اتصال‌دهنده در شکل ۴ (قسمت الف) ارائه شده است. با افزایش تعداد اتصال‌دهنده برای ساخت گلولام، MOR گلولام‌های ساخته شده با پیچ، میخ فولادی و میخ شانه‌ای به ترتیب ۱۱/۴ درصد افزایش، ۱/۸ درصد کاهش و ۱/۲ درصد افزایش یافت. این مقدار برای MOE به ترتیب ۴/۴ درصد افزایش و ۰/۸ و ۵/۶ درصد کاهش بود. گروه‌بندی دانکن نشان داد که اختلاف آماری نمونه‌های ساخته شده با تغییر نوع و تعداد اتصال‌دهنده معنی‌دار نیست.

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس عوامل متغیر (نوع و تعداد اتصال‌دهنده مکانیکی، کاربرد و عدم کاربرد چسب) بر MOR و MOE نمونه‌های گلولام مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تأثیر مستقل نوع و تعداد اتصال‌دهنده بر MOR و MOE از نظر آماری معنی‌دار نیست، اما تأثیر استفاده از چسب بر MOR و MOE در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. نتایج همچنین نشان داد که تأثیر متقابل عوامل متغیر بر MOR و MOE نیز از نظر آماری معنی‌دار نیست. میانگین مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی برای نمونه‌های مطالعه شده در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین MOR مربوط به گلولام‌های ساخته شده با چهار عدد پیچ به همراه چسب (۶۹/۳ MPa) و کمترین آن مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب (۲۳/۹ MPa) بود. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین MOE مربوط به گلولام‌های ساخته شده با دو عدد میخ فولادی به همراه چسب (۶۷۳۷/۷ MPa) و کمترین آن مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب (۱۲۵۲/۷ MPa) بود. نتایج گروه‌بندی دانکن نشان داد که اختلاف MOR و MOE بین نمونه‌های ساخته شده با و بدون چسب از نظر آماری معنی‌دار است. از طرفی اختلاف MOR نمونه‌های ساخته شده بدون پرس (با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی) به همراه چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس سرد از نظر آماری معنی‌دار نیست، اما اختلاف MOE آنها معنی‌دار است.

تأثیر مستقل نوع و تعداد اتصال‌دهنده مکانیکی

و چسب بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی

شکل ۳ تأثیر مستقل نوع و تعداد اتصال‌دهنده مکانیکی و چسب بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی را نشان می‌دهد. شکل ۳ (قسمت الف) تأثیر مستقل نوع اتصال‌دهنده بر MOR و MOE را نشان می‌دهد. بیشترین MOR و MOE مربوط به گلولام‌های ساخته شده با پیچ است. MOR گلولام‌های ساخته شده با پیچ به ترتیب ۹/۷ و ۱۲/۷ درصد بیشتر از گلولام‌های ساخته شده با میخ فولادی و میخ شانه‌ای بود. همچنین MOE گلولام‌های

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس مربوط به تأثیر مستقل و متقابل نوع و تعداد اتصال دهنده، استفاده و عدم استفاده از چسب بر MOR و MOE نمونه‌های گلولام ساخته شده در این مطالعه

منابع تغییرات	MOR (MPa)				MOE (MPa)			
	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Sig.	درجه آزادی	میانگین مربعات	م	Sig.
نوع اتصال دهنده	۲	۹۳/۸۸۷	۱/۸۸۴	۰/۱۷۴ ^{ns}	۲	۳۲۴۳۷۴/۷۹۹	۳	۰/۷۰۹ ^{ns}
تعداد اتصال دهنده	۱	۲۳/۲۴۸	۰/۴۶۷	۰/۵۰۱ ^{ns}	۱	۵۸۴۵/۸۱۳	۰	۰/۹۳۸ ^{ns}
چسب	۱	۱۰۸۲۳/۲۸۱	۲۱۷/۲۱۸	۰/۰۰۰*	۱	۲۱۶۴۵۲۸۸۵/۱۱۱	۴	۰/۰۰۰*
نوع اتصال دهنده×تعداد اتصال دهنده	۲	۲۸/۵۲۱	۰/۵۷۲	۰/۵۷۲ ^{ns}	۲	۱۱۹۱۸۲/۳۹۹	۱	۰/۸۸۰ ^{ns}
چسب×نوع اتصال دهنده	۲	۲۳/۰۴۹	۰/۴۶۳	۰/۶۳۵ ^{ns}	۲	۱۱۸۸۳۹/۴۹۱	۱	۰/۸۸۱ ^{ns}
چسب×تعداد اتصال دهنده	۱	۷/۹۲۴	۰/۱۵۹	۰/۶۹۴ ^{ns}	۱	۱۳۲۹۴۰/۳۵۹	۴	۰/۲۴۴ ^{ns}
نوع اتصال دهنده×چسب×تعداد اتصال دهنده	۲	۲۰/۸۵۰	۰/۴۱۸	۰/۶۶۳ ^{ns}	۲	۹۷۹۶۰/۰۹۵	۱	۰/۹۰۱ ^{ns}

ns - عدم معنی‌داری - * معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد

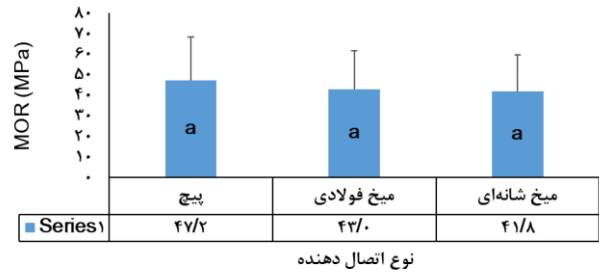
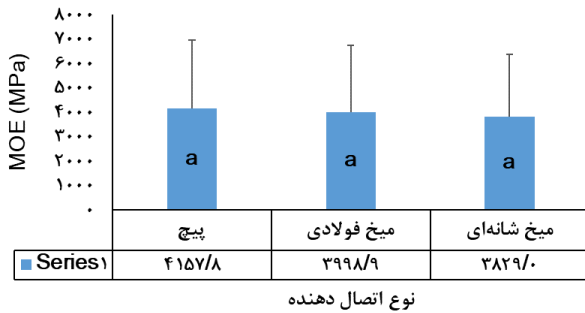
جدول ۲- مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام‌های ساخته شده برای این مطالعه

چسب	نوع اتصال دهنده	تعداد اتصال دهنده‌ها	MOR (MPa)	MOE (MPa)
بدون چسب	میخ فولادی	۲	۲۶/۸(۰/۲) ^{a*}	۱۵۴۵/۱(۱۱۱/۲) ^a
		۴	۳۰/۱(۱/۵) ^a	۱۹۷۵(۲۲۲/۹) ^a
		۲	۲۵/۵(۰/۹) ^a	۱۲۹۳/۴(۲۹۱/۶) ^a
	میخ شانه‌ای	۴	۲۵/۹(۰/۵) ^a	۱۵۷۰/۷(۱۳۵/۵) ^a
		۲	۲۳/۹(۲/۸) ^a	۱۲۵۲/۷(۱۷/۱) ^a
		۴	۲۷/۸(۳/۶) ^a	۱۶۲۲/۲(۳۸۴/۲) ^a
با چسب	میخ فولادی	۲	۶۲/۴(۸/۵) ^b	۶۵۹۲/۸(۲۴۶۴) ^{bc}
		۴	۶۹/۳(۱۴/۶) ^b	۶۵۱۸/۲(۱۶۰۱/۲) ^{bc}
		۲	۶۱/۳(۹/۲) ^b	۶۷۳۷/۷(۹۲۳/۵) ^{bc}
	میخ شانه‌ای	۴	۵۹/۳(۴) ^b	۶۳۹۴(۹۶۰/۵) ^{bc}
		۲	۵۹/۳(۷) ^b	۶۶۲۶/۱(۵۷۰/۱) ^{bc}
		۴	۵۶/۳(۱۱/۸) ^b	۵۸۱۵(۳۵۶/۷) ^b
		نمونه ساخته شده با پرس سرد (نمونه شاهد)	۶۳/۹(۳/۵) ^b	۷۷۷۸/۲(۸۳۸) ^c

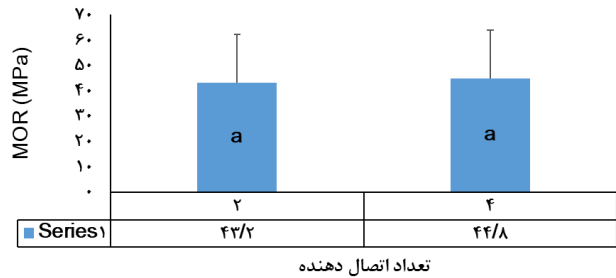
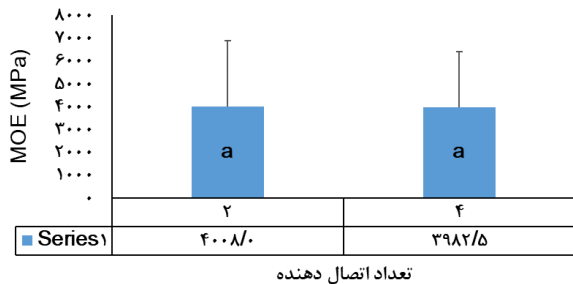
* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است. حروف بعد از پرانتز گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند.

چسب و بدون چسب اختلاف آماری وجود داشت. شکل ۴ قسمت ج) تأثیر متقابل چسب بر تعداد اتصال‌دهنده را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که وقتی نمونه‌های گلولام با ۲ و ۴ اتصال‌دهنده مکانیکی به همراه چسب ساخته می‌شوند، MOR آنها به ترتیب ۱۴۰/۳ و ۱۲۰/۸ درصد افزایش می‌یابد. این تغییرات برای MOE به ترتیب ۳۸۷/۸ و ۲۶۲/۳ درصد بود. نتایج گروه‌بندی دانکن نشان داد که بین تعداد اتصال‌دهنده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما وقتی نمونه‌های گلولام به همراه چسب ساخته می‌شوند، بین نمونه‌های بدون چسب و با چسب اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

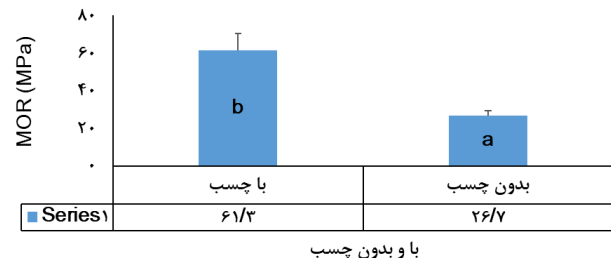
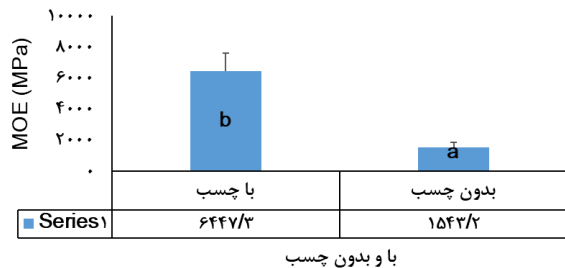
تأثیر متقابل چسب بر نوع اتصال‌دهنده در شکل ۴ قسمت ب) ارائه شده است. نتایج نشان داد که وقتی برای ساخت نمونه‌های گلولام به همراه پیچ، میخ فولادی و میخ شانهای از چسب استفاده می‌شود، MOR آنها نسبت به نمونه‌های بدون چسب به ترتیب ۱۳۱/۸، ۱۳۴/۹ و ۱۲۳/۴ درصد افزایش یافت. همچنین این تغییرات برای MOE به ترتیب ۲۷۲/۵، ۳۵۸/۵ و ۳۳۲/۷ درصد بود. نتایج گروه‌بندی دانکن نشان داد که بین MOR و MOE نمونه‌های گلولام ساخته شده با انواع اتصال‌دهنده‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، ولی بین MOR و MOE نمونه‌های گلولام با اتصال‌دهنده‌های مختلف به همراه



الف: نوع اتصال‌دهنده

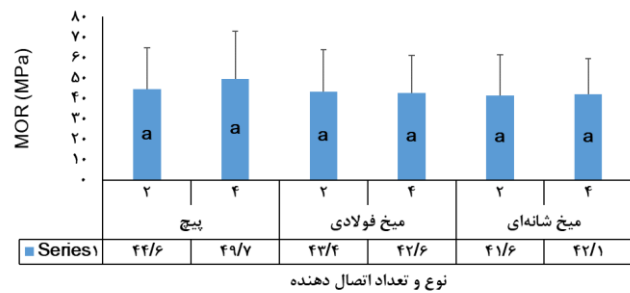
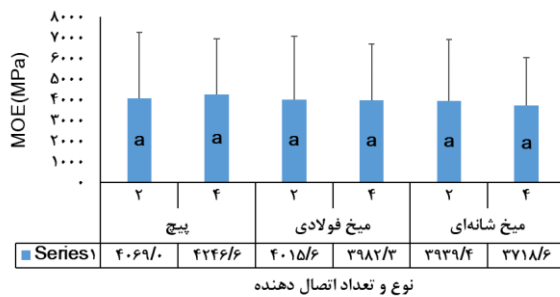


ب: تعداد اتصال‌دهنده

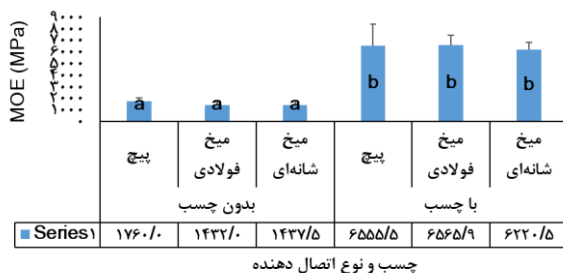


ج: کاربرد چسب

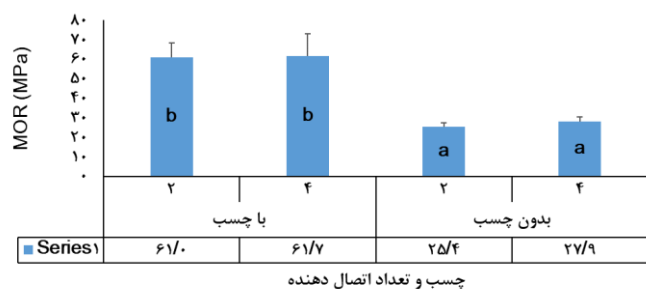
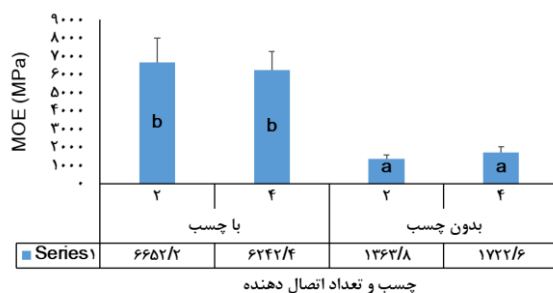
شکل ۳- تأثیر مستقل نوع اتصال‌دهنده، تعداد اتصال‌دهنده، چسب بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام



الف: نوع اتصال دهنده بر تعداد اتصال دهنده



ب: چسب بر نوع اتصال دهنده



ج: چسب بر تعداد اتصال دهنده

شکل ۴- تأثیر متقابل عوامل متغیر مورد بررسی بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام

اتصال دهنده ساخته شوند. از این رو، برای این مقایسه، MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با دو عدد اتصال دهنده به همراه چسب با گلولام‌های ساخته شده با پرس سرد مقایسه شدند و نتایج آن در شکل ۵ ارائه شد. نتایج جدول تجزیه واریانس یک طرفه مقایسه این تیمارها در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که بین MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با دو عدد پیچ، میخ فولادی و میخ شانه‌ای در سطح $(\lambda \times \lambda \text{ cm}^2)$ برای تأمین فشار لازم برای اتصال چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس سرد از نظر آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

مقایسه مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام‌های ساخته شده با اتصال دهنده‌ها با نمونه‌های ساخته شده با پرس

یکی از اهداف این مطالعه بررسی امکان ساخت گلولام بدون پرس و تأمین فشار لازم برای اتصال چسب با اتصال دهنده‌های مکانیکی بود. از این رو MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با پرس با گلولام‌های ساخته شده با اتصال دهنده‌های مکانیکی به همراه چسب مقایسه شد. از آنجایی که با توجه به نتایج تعداد اتصال دهنده بر MOR و MOE نمونه‌های ساخته شده تأثیر معنی‌داری نداشت، برای صرفه‌جویی اقتصادی بهتر است نمونه‌ها با دو عدد

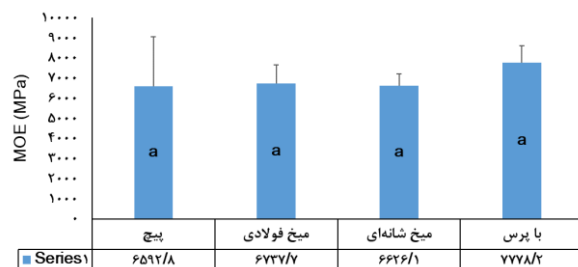
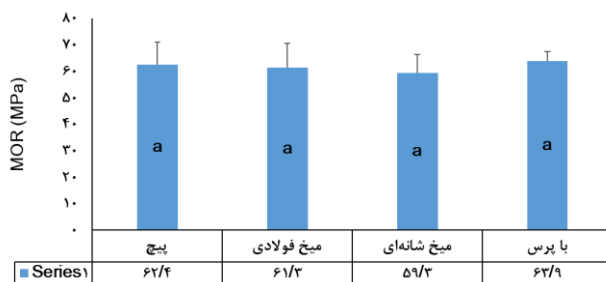
درصد بود. نتایج گروه‌بندی دانکن نیز نشان داد که بین MOR و MOE نمونه‌های ساخته شده با اتصال-دهنده‌های مکانیکی و پرس هیچ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

نتایج نشان داد که اختلاف بین MOR گلولام ساخته شده با پرس سرد با پیچ، میخ فولادی و میخ شانه‌ای به ترتیب ۲/۳، ۴/۳ و ۷/۸ درصد بود. این اختلاف برای MOE نیز به ترتیب ۱۸، ۱۵/۴ و ۱۷/۴

جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به MOR و MOE نمونه‌های گلولام ساخته شده با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی و چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس سرد

منابع تغییرات	خواص مکانیکی	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
نوع اتصال دهنده	MOR	۳	۱۱/۴۴۲	۰/۲۰۹	۰/۸۸۷ ^{ns}
	MOE	۳	۹۶۲۴۷۴/۰۹۵	۰/۴۸۴	۰/۷۰۳ ^{ns}

ns - عدم معنی‌داری * - معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد



شکل ۵- مقایسه MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی به همراه چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس

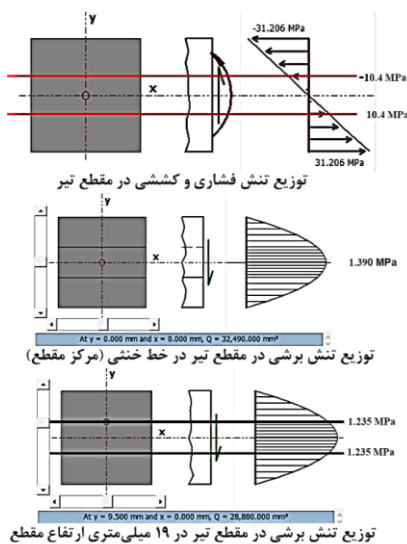
بار به صورت متمرکز در وسط دهانه به تیر وارد شد، حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی توزیع شده در طول تیر به ترتیب $4224/5$ N و $1351/84$ N.m بود. نیروی برشی و لنگر خمشی توزیع شده به ترتیب سبب ایجاد تنش برشی و تنش فشاری و کششی می‌شود. بیشترین تنش برشی $1/390$ MPa و بیشترین تنش فشاری و کششی نیز $31/2$ MPa بود. تنش کششی و فشاری بین لایه‌ها $10/4$ MPa و تنش برشی بین آنها $1/235$ MPa بود. تنش برشی با فرمول $\tau = \frac{VQ}{Ib}$ و جریان برشی با فرمول $q = \frac{VQ}{I}$ محاسبه می‌شود، که در آنها τ تنش برشی، q جریان برشی، V نیروی برشی، Q لنگر اول سطح، I ممان اینرسی و b پهنای خط برش است. با ضرب کردن تنش برشی در پهنای خط برش مقدار جریان برشی $99/19$ N/mm به دست آمد. برای محاسبه مقدار نیروی وارد شده به هر پیچ باید مقدار جریان برشی را در فاصله بین پیچ‌ها ضرب کرد. با ضرب جریان برشی در mm

نتایج بررسی تأثیر مستقل نوع اتصال‌دهنده (پیچ، میخ فولادی و شانه‌ای) بر MOR و MOE نشان داد که بیشترین آنها مربوط به گلولام‌های ساخته شده با پیچ است. وقتی تیری با مقطع مستطیل از سطح بالایی تحت بار متمرکز در وسط دهانه قرار می‌گیرد، در سطح بالایی آن بیشترین تنش فشاری، در سطح پایینی آن بیشترین تنش کششی و در مرکز گرانی آن (خط خنثی) بیشترین تنش برشی دیده می‌شود (شکل ۶). با اعمال بار خمشی به تیرهای مورد مطالعه و ایجاد جریان برشی بین لایه‌ها، تنش ایجاد شده به پیچ، میخ یا چسب منتقل می‌شود. شکل ۶ توزیع نیرو و لنگر در طول تیر و توزیع تنش‌ها در مقطع عرضی را نشان می‌دهد. برای تحلیل بهتر تنش‌ها، بیشترین نیروی تحمل شده توسط تیرهای لایه‌ای ساخته شده بدون چسب که در تیر ساخته شده با چهار عدد پیچ پانلی در سطح 8×8 cm² مشاهده شد، تحلیل شد. حداکثر نیروی تحمل شده توسط این تیر 8449 N بود. وقتی این

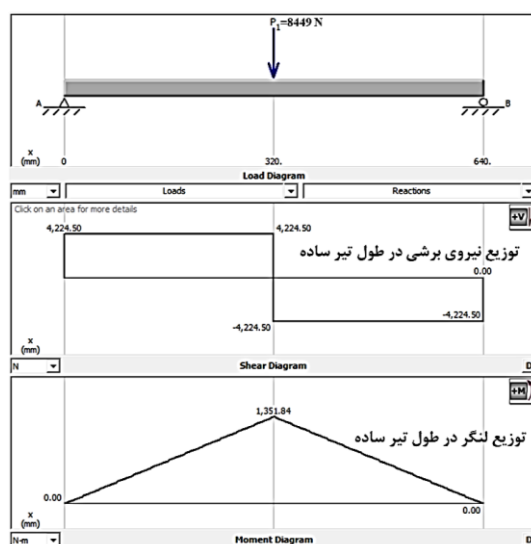
برشی و توان نگهداری پیچ و میخ در چوب شامل دانسیته عضو اتصال، تنش برشی عضو اتصال، قطر و طول نفوذ اتصال‌دهنده است [۱، ۱۶-۱۳]. هر چه قطر اتصال‌دهنده بیشتر باشد، مقاومت برشی و توان نگهداری اتصال‌دهنده بیشتر است. از طرف دیگر، توان نگهداری اتصال پیچ از میخ بیشتر است که دلیل آن را به رزوه پیچ نسبت می‌دهند [۲۰-۱۶]. از اینرو، می‌توان گفت پیچ به دلیل توان نگهداری و تحمل تنش برشی بیشتر، فشار مناسب‌تری برای اتصال لایه‌های گلولام به تنهایی یا همراه با چسب ایجاد می‌کند و گلولام ساخته شده با آن مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی بالاتری دارد. از طرف دیگر، با اینکه اتصال‌دهنده با قطر بیشتر فشار بیشتری به لایه‌ها اعمال می‌کند، اما به دلیل عدم ایجاد سوراخ پیش ساخته برای نصب اتصال‌دهنده‌ها، با ادامه بارگذاری و گسترش تنش، ترک‌هایی در تیر ایجاد می‌کند که سبب کاهش مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام می‌شود. همچنین اتصال‌دهنده با قطر بیشتر سبب کاهش مقطع خالص برای تحمل تنش کششی و فشاری در لایه‌های سطحی می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی تیر می‌شود.

۴۰ فاصله بین پیچ‌ها، مقدار نیروی وارد بر هر پیچ برای تیر لایه‌ای ساخته شده با دو پیچ به ازای سطح $8 \times 8 \text{ cm}^2$ برابر با $3967/7 \text{ N}$ به دست آمد. اما برای تیرهای ساخته شده با چهار پیچ، چون پیچ‌ها دو به دو در یک ردیف قرار می‌گیرند، مقدار به دست آمده بالا بر ۲ تقسیم شده و مقدار $1983/86 \text{ N}$ به دست آمد. در نتیجه تنش برشی وارد شده بر هر پیچ پانلی (با قطر ریشه $2/5 \text{ mm}$) در تیر ساخته شده با دو اتصال‌دهنده $80/8/7 \text{ MPa}$ و برای تیر ساخته شده با چهار عدد پیچ $40/4/3 \text{ MPa}$ بود. با نگاهی به تنش‌های وارد شده بر اتصال‌دهنده‌ها و با توجه به تنش حد تسلیم $689 \text{ MPa} - 344$ برای اتصال‌دهنده‌های پینی مورد استفاده در سازه‌های چوبی [۱]، می‌توان گفت که اتصال‌دهنده‌ها زیر تنش برشی وارد شده می‌شکنند و هر اتصال‌دهنده‌ای که قطر کمتری دارد زودتر می‌شکند.

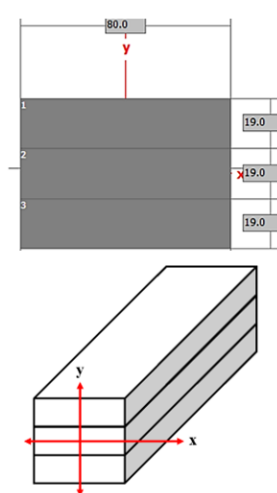
انتقال تنش وارد شده در تیر به اتصال‌دهنده‌ها ابتدا به صورت برشی خالص است. اما وقتی لایه‌ها روی هم می‌غزند، ترکیبی از تنش برشی و کششی بر پیچ و میخ وارد می‌شود. از اینرو، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقاومت خمشی تیرهای لایه‌ای مورد مطالعه متأثر از توان نگهداری و مقاومت برشی اتصال‌دهنده‌ها است. نتایج تحقیقات نشان داده است که بیشترین عوامل تأثیرگذار بر تنش



الف) توزیع تنش



ب) توزیع نیروی برشی و لنگر خمشی در طول تیر



ج) مقطع عرضی گلولام‌های مورد مطالعه

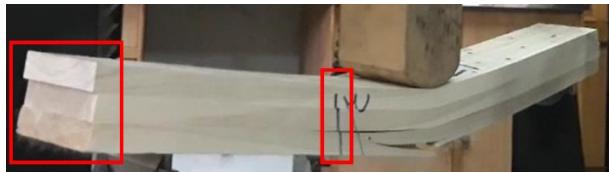
فشاری، کششی و برشی در مقطع عرضی

شکل ۶- توزیع تنش در تیر ساده، الف) توزیع نیروی برشی و لنگر خمشی در طول تیر، ب) توزیع تنش فشاری، کششی و برشی، ج) مقطع عرضی نمونه گلولام

و MOE گلولام‌های ساخته شده با چسب افزایش می‌یابد. با توجه به توزیع تنش برشی بین لایه‌ها (شکل ۶)، با کاربرد چسب به همراه اتصال‌دهنده‌ها تنش به غیر از اتصال‌دهنده‌ها به خط چسب نیز منتقل می‌شود و خط چسب نیز در تحمل تنش مشارکت می‌کند. چسب به دلیل اتصال وسیعی که بین لایه‌ها ایجاد می‌کند سبب جلوگیری از لغزش لایه‌ها روی هم و افزایش استحکام خمشی تیرهای لایه‌ای می‌شود. شکل ۷ لغزش صفحات در گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌ها با و بدون چسب را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که لغزش لایه‌ها با کاربرد چسب به همراه اتصال‌دهنده‌ها خیلی کمتر است.

نتایج نشان داد که با افزایش تعداد اتصال‌دهنده از ۲ به ۴ عدد، MOR حدود ۳/۷ افزایش و MOE کمتر از یک درصد کاهش یافت. می‌توان گفت با افزایش تعداد اتصال‌دهنده برای ساخت گلولام، فشار بیشتری برای نگهداری لایه‌ها کنار هم ایجاد می‌شود و با توجه به اینکه چسب پلی‌اورتان برای اتصال به فشار کمتری نیاز دارد، هر چه تعداد اتصال‌دهنده بیشتر باشد، باید شاهد مقاومت خمشی بالاتری باشیم، اما به دلیل کاهش مقطع خالص برای تحمل تنش کششی و فشاری در سطوح بالا و پایینی تیر، اثر افزایشی آن خنثی شده و تأثیر معنی‌داری بر مقاومت خمشی نخواهد داشت.

بررسی تأثیر مستقل استفاده و عدم استفاده از چسب برای ساخت گلولام بر MOR و MOE نشان داد که MOR



ب) گلولام ساخته شده بدون چسب بعد از اعمال بار



الف) گلولام ساخته شده بدون چسب قبل از اعمال بار



د) گلولام ساخته شده با چسب بعد از اعمال بار



ج) گلولام ساخته شده با چسب قبل از اعمال بار

شکل ۷- لغزش لایه‌های گلولام ساخته شده با اتصال‌دهنده‌ها با و بدون چسب بعد از اعمال بار خمشی

استفاده کرد و مرحله پرس با دستگاه که پرهزینه است را حذف کرد.

کمترین مقادیر مرجع MOR و MOE برای درجه 16F-1.3E گلولام بر اساس آیین‌نامه NDS به ترتیب ۱۱ و ۸۹۶۳ MPa است [۲۱]. مقادیر MOR و MOE انواع گلولام در کتاب راهنمای چوب برای جرم مخصوص ۰/۶-۰/۴ به ترتیب ۶۲/۶۲-۲۸/۶۱ و ۹۰۰۰-۱۴۵۰۰ MPa است [۴]. بیشترین MOR و MOE مشاهده شده در این تحقیق برای گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌ها و چسب به ترتیب مربوط به گلولام‌های ساخته شده با چهار عدد پیچ به همراه چسب (۶۹/۳ MPa) و گلولام‌های ساخته شده با دو عدد میخ فولادی به همراه چسب (MPa)

نتایج مقایسه MOR و MOE نمونه‌های ساخته شده با ۲ عدد اتصال‌دهنده‌های مکانیکی و چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس سرد نشان داد که بین آنها هیچ اختلاف معنی‌داری دیده نشد. با توجه به مطالعات Brandner (۲۰۱۳)، Kairi (۲۰۰۲) و Pirvu و Gagnon (۲۰۱۱) چسب پلی‌اورتان برای چسبندگی به فشار کمتری نیاز دارد [۵، ۷، ۸]. نتایج مقایسه گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده و نمونه‌های ساخته شده با پرس نشان داد که فشار تأمین شده توسط اتصال‌دهنده‌های مورد مطالعه برای چسبندگی پلی‌اورتان کافی است و می‌توان از اتصال‌دهنده‌های مکانیکی برای تأمین فشار

از این رو نتیجه‌گیری می‌شود که برای کاهش هزینه تولید گلولام می‌توان:

- از چسب پلی‌اورتان که چسبی مقاوم به آب است برای ساخت گلولام از صنوبر استفاده کرد و با توجه به این که چسب مورد نظر فشار کمی برای چسبندگی لازم دارد، می‌توان برای تأمین فشار از انواع اتصال‌دهنده مکانیکی مانند پیچ، میخ فولادی و شانه‌ای استفاده کرد. با توجه به اختلاف اندک بین MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی به همراه چسب با گلولام ساخته شده با پرس، به جای فرایند پرس که پرهزینه‌ترین مرحله ساخت این محصول می‌باشد، می‌توان از اتصال‌دهنده‌های مکانیکی برای تأمین فشار لازم برای اتصال چسب پلی‌اورتان برای ساخت گلولام صنوبر استفاده کرد. با توجه به اختلاف اندک بین MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با پیچ، میخ فولادی و شانه‌ای، به دلیل سهولت کاربرد، قیمت کم، زمان ساخت کمتر می‌توان از میخ‌های شانه‌ای برای تأمین فشار لازم برای اتصال چسب پلی‌اورتان برای ساخت گلولام استفاده کرد که با دستگاه‌های بادی به راحتی و با زمان کمتر نصب می‌شوند. با توجه به اینکه تأثیر تعداد پیچ نیز بر MOR و MOE معنی‌دار نبود، می‌توان از تعداد دو پیچ در سطح $8 \times 8 \text{ cm}^2$ برای اتصال لایه‌ها استفاده کرد. با توجه به اینکه از نظر مساحت پوشش جنگلی جزء کشورهای فقیر محسوب می‌شود، کاربرد گونه‌های تندرشدی مانند صنوبر برای ساخت سازه‌های چوبی اجتناب‌ناپذیر است. به همین دلیل در این تحقیق از صنوبر برای ساخت گلولام استفاده شد. نتایج نشان داد که MOR گلولام ساخته شده با صنوبر در حد استاندارد بود، اما برای افزایش مدول الاستیسیته خمشی آن لازم است تحقیقات جامعی برای مقاوم‌سازی آن انجام شود.

MOR نمونه ساخته شده با پرس MPa $6737/7$ بود. MOE آن MPa $7778/2$ بود. از این رو با توجه به نتایج، MOR گلولام‌های ساخته شده در حد استاندارد بود، اما مدول الاستیسیته آن پایین بود که دلیل آن دانسیته پایین صنوبر (0.381 g/cm^3) است.

نتیجه‌گیری

بررسی تأثیر مستقل نوع و تعداد پیچ، میخ فولادی و شانه‌ای، کاربرد و عدم کاربرد چسب بر MOR و MOE نمونه‌های گلولام مورد مطالعه نشان داد که:

- بیشترین MOR مربوط به گلولام‌های ساخته شده با چهار عدد پیچ به همراه چسب و کمترین آن مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب بود. همچنین بیشترین MOE مربوط به گلولام‌های ساخته شده با دو عدد میخ فولادی به همراه چسب و کمترین آن مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب بود.

- تأثیر مستقل نوع و تعداد اتصال‌دهنده بر MOR و MOE از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما تأثیر استفاده از چسب بر MOR و MOE در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

- مقایسه MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با دو عدد پیچ، میخ فولادی و شانه‌ای با چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس سرد نشان داد که اختلاف بین MOR گلولام ساخته شده با پرس سرد با نمونه‌های ساخته شده با دو عدد پیچ، میخ فولادی و میخ شانه‌ای و چسب به ترتیب $2/3$ ، $4/3$ و $7/8$ درصد بود و این اختلاف برای MOE به ترتیب 18 ، $15/4$ و $17/4$ درصد بود.

- بین MOR و MOE نمونه‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی و چسب با نمونه‌های ساخته شده با پرس اختلاف کمی دیده شد و از نظر آماری معنی‌دار نبودند.

منابع

- [1] Williamson, T.G., 2002. APA engineered wood handbook. McGraw Hill Professional.
- [2] Ebrahimi, Gh., 2015. Mechanics of wood and wood composites. 5th Ed., Tehran University Publications, Tehran, 672 p. (In Persian).
- [3] Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Structural Glued Laminated Timber (Glulam). Annual Book of ASTM Standard, 04.10, D 3737, 2018.
- [4] Bergman, R., Cai, Zh., Carll, C G., Clausen, C A., Diertenberger, M A., Falk, R H., Frihart, C R., Glass, S V., Hunt, C G., Ibach, R E., Kretschmann, D E., Rammer, D R and Ross, R J., 2010. Wood handbook: Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.
- [5] Gagnon, S. and Pirvu, C., 2011. CLT handbook: cross-laminated timber. FPIinnovations.
- [6] Ansell, M.P., 2015. Wood composites. Woodhead Publishing.
- [7] Brandner, R., 2013. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report, Focus Solid Timber Solutions-European Conference on Cross Laminated Timber (CLT). University of Bath, 3-36.
- [8] Kairi, M., 2002. 4.4 Glued/Screwed Joints/Screw Glued Wooden Structures. COST Action E13, 115.
- [9] Glued laminated timber – Performance requirements and minimum production requirements. BSI, EN 386:2001.
- [10] Khazaeian, A., Yaghmaei, F. and Tabarsa, T., 2009. Investigation on Bending and Compression Strength of Paulownia fortunei Wood Grown in Gorgan Region. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 16(3):1-22. (In Persian).
- [11] Standard method of testing small clear specimens of timber. Annual Book of ASTM Standard, 04.10, D 143. 2018.
- [12] Standard Practice for Establishing Characteristic Values for Flexural Properties of Structural Glued Laminated Timber by Full-Scale Testing. Annual Book of ASTM Standard, 04.10, D 7341, 2018.
- [13] Aghayere, A and Vigil, J., 2017. Structural Wood Design–ASD/LRFD. CRC Press.
- [14] Breyer, D.E., Fridley, K.J., Cobeen, K.E. and Pollock, D.G., 1999. Design of wood structures ASD. McGraw-Hill New York.
- [15] NDS, 2018. National design specification for wood construction: recommended practice for structural design.
- [16] Eckelman, C.A. 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture. Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- [17] Eckelman, C.A. 1973. Holding Strength of Screws in Wood and Wood-Based Materials. Purdue University agricultural experiment station remote sensing, 15 p.
- [18] Taj, M.A., Najafi, S.K. and Ebrahimi, Gh., 2009. Withdrawal and lateral resistance of wood screw in beech, hornbeam and poplar. European Journal of Wood and Wood Products, 67(2): 135-140.
- [19] Haftkhani, A.R., Ebrahimi, Gh., Tajvidi, M. and Layeghi, M., 2011. Investigation on withdrawal resistance of various screws in face and edge of wood-plastic composite panel. Materials & Design, 32(7), 4100-4106.
- [20] Haftkhani, A.R., Ebrahimi, Gh., Tajvidi, M., Layeghi, M. and Arabi, M. 2011. Lateral resistance of joints made with various screws in commercial wood plastic composites. Materials & Design, 32(7), 4062-4068.
- [21] NDS 2018. supplement national design specification design values for wood construction.

Experimental study on flexural performance of poplar glued-laminated timber constructed by mechanical fastener and comparing them with those made with cold press

Abstract

In this study, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) of glued-laminated timber (Glulam) made out of poplar (*Populus alba*) with galvanized steel nail, brad strip nail, coarse thread drywall screw for applying pressure were investigated and compared with those constructed with cold press. Amount of polyurethane adhesive was 300 g/m². Thickness, width and span of 3-ply glulam specimens were 57, 80 and 640 mm, respectively. Static bending test was performed according to ASTM D 7341 by Instron testing machine. The results showed that the higher MOR and MOE were related to Glulam connected by 4 screws on 8×8 cm² with adhesive (69.3 MPa), and those connected by 2 galvanized steel nail with adhesive (6737.7 MPa), respectively. The results also revealed that the lower MOR and MOE were both observed in Glulam connected by 2 brad strip nail without any adhesive (23.9 and 1252.7 MPa, respectively). The results showed that MOR and MOE of glulam were changed with the independent variation of number of fastener 3.7 and <1%, respectively. The higher variation was related to independent effect of adhesive (130 and 317.8% for MOR and MOE, respectively). Analysis of variance indicated that only the independent effect of adhesive application was only statistically significant at 95% confidence level. The comparison of MOR and MOE of Glulam made with two fasteners with those constructed by cold press showed that there was not significant difference between them. So, the use of galvanized steel nail, brad strip nail, coarse thread drywall screw for applying pressure to manufacture Glulam instead of cold press is possible and the best item was brad strip nail due to easy application and installation by pneumatic nailer and low cost.

Keywords: flexural performance, glued laminated timber (Glulam), poplar, mechanical fastener, cold press.

A. Rostampour Haftkhani^{1*}

¹ Assistant prof., Wood science and technology, Department of natural resources, Faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Corresponding author:
arostampour@uma.ac.ir

Received: 2019/07/26
Accepted: 2019/09/03