Archive of SID

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 اتصال-دهنده‌های 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 g/m^2 ۳۰۰ بود. ضخامت، پهنا و طول دهانه گلولام‌های سه‌لایه برای آزمون خمش به‌ترتیب 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 به‌ترتیب مربوط به گلولام‌های ساخته شده با چهار عدد پیچ در سطح cm^2×۸ ۸ به همراه چسب (۶۹/۳ MPa) و دو عدد میخ فولادی به همراه چسب (۶۷۳۷/۷ MPa) بود. همچنین نتایج نشان داد که کمترین MOR و MOE هردو مربوط به گلولام‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب بود (به‌ترتیب ۲۳/۹ و ۱۲۵۲/۷ MPa). نتایج نشان داد که با تغییر مستقل تعداد اتصال‌دهنده MOR و MOE به‌ترتیب ۳/۷ و کمتر از یک درصد تغییر کرد. بیشترین تغییرات مربوط به تاثیر مستقل کاربرد چسب بوده است (۱۳۰درصد برای MOR و ۳۱۷/۸ درصد برای MOE). تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که فقط تأثیر مستقل کاربرد چسب بر MOR و MOE در سطح اعتماد ۹۵درصد 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، ازاین‌رو، 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[1*]

[1] 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

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

www.SID.ir

Archive of SID

مانند، تولید در زمان کوتاه و تجدیدپذیری به عنوان مصالح ساختمانی بی رقیب 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 Glulam[1]، CLT[2]، LVL[3]، PSL[4]، LSL[5]، OSL[6] و غیره است. محصولات مهندسی شده چوب علاوه بر داشتن مقاومت های بالا به دلیل استفاده از رزین های 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 می‌دهندظ 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 ۵۰ mm تجاوز کند [۳]. ضخامت متوسط لایه‌های گلولام ۲۵-۵۰ mm است [۴]. چسب‌های مورد استفاده برای ساخت گلولام شامل چسب‌های فنولی و آمینوپلاست، امولسیون پلی‌مر ایزوسیانات (EPI) و پلی‌اورتان (PU) هستند [۵]. چسب-های 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 N/mm^2 ۰/۸- ۰/۳۹ است [۶]. یکی از مراحل هزینه‌بر برای ساخت محصولات چوبی لایه‌ای، مرحله پرس است. برای پرس کردن محصولات لایه‌ای می‌توان از پرس‌های هیدرولیک، پرس-های خلاء و یا اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مانند میخ و پیچ استفاده کرد. به‌وسیله پرس هیدرولیک می‌توان فشاری معادل N/mm^2 ۱-۰/۱ و حتی بیشتر اعمال کرد، اما با پرس خلاء این میزان فشار معادل N/mm^2 ۰/۱- ۰/۰۵ بوده و با میخ و پیچ این مقدار فشار به N/mm^2 ۰/۲- ۰/۰۱ می‌رسد [۸-۷]. مطالعات Kairi (۲۰۰۲) نشان داد که به دلیل هم‌کشیدگی و واکشیدگی، حداقل فشار برای اتصال چسب برای چسب‌های فنولی و ملامین پایه N/mm2 ۲- ۱/۴ است، اما برای چسب پلی‌اورتان فشاری معادل N/mm^2 ۰/۱- ۰/۰۱ کافی است [۸]. براساس استاندارد EN 386، مقدار فشار لازم برای گلولام با لایه-های با ضخامت کمتر از ۳۵mm حدود N/mm^2 ۰/۶ و برای لایه‌های با ضخامت ۳۵ تا ۴۵ mm حدود N/mm^2 ۱- ۰/۸ 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. ازاین‌رو، به دلیل افزایش روزافزون جمعیت و سهم سرانه مصرف چوب و لزوم کاهش برداشت چوب از جنگل های طبیعی، نیاز به تامین چوب از طریق استفاده از گونه‌های تندرشد امری اجتناب‌ناپذیر است [۱۰]. از اینرو، 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 cm ۲/۵×۱۰×۲۰۰ (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

[1] Glued Laminated Timber
[2] Cross laminated timber
[3] Laminated veneer lumber
[4] Parallel Strand Lumber
[5] Laminated Strand Lumber
[6] Oriented Strand Lumber

www.SID.ir

Archive of SID

پهنای mm ۸۰ 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 روی‌هم قرار گرفتند. دانسیته، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چوب مورد استفاده که با استاندارد ASTM D 143 اندازه‌گیری شد [۱۱]، به ترتیب ۰/۳۸۱g/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 ۱/۳ و 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 cm^2 ۸×۸ 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]. پهنا، ارتفاع مقطع، طول نمونه و طول دهانه نمونه‌های مورد مطالعه به ترتیب ۸۰، ۵۷، ۷۵۰ و mm ۶۴۰ 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 برای ساخت هر نمونه از پنج پیچ‌دستی نجاری به فواصل cm ۱۰ 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:

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

$$MOE = \frac{PL^3}{4\,\delta bh^3} = \frac{L^3\,\Delta P}{4\,bh^3\Delta x} \qquad (۴)$$

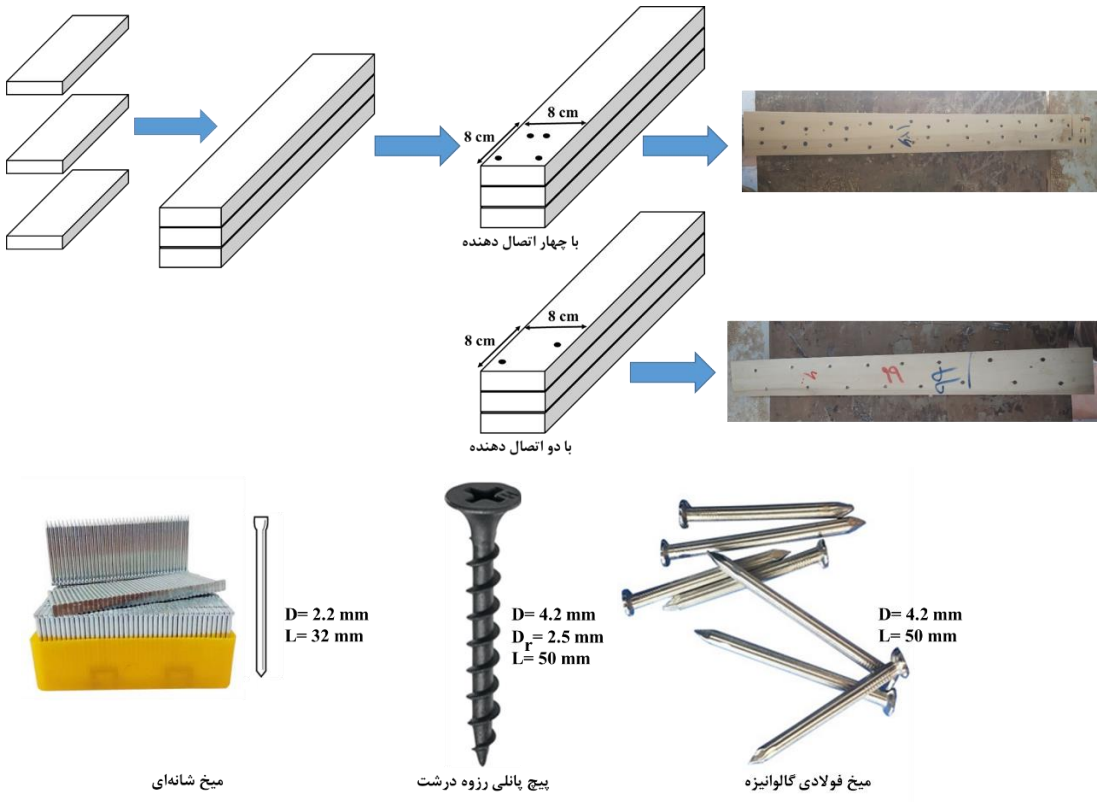
که در آن MOR بیانگر مدول گسیختگی یا مقاومت خمشی (MPa)، MOE مدول الاستیسیته خمشی (MPa)، M لنگر خمشی حداکثر (N.mm)، C ارتفاع مقطع (mm)، I ممان اینرسی مقطع (mm^4)، Pu بار حداکثر (N)، P_{pl} بار در حد تناسب (N)، L طول دهانه (mm)، δ یا Δx تغییر مکان یا خیز تیر حین خمش (mm)، b پهنای نمونه (mm) و h ارتفاع مقطع 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 اتصال دهنده 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

www.SID.ir

Archive of SID

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



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

شکل ۲- آزمون خمش روی گلولام

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

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 (MPa ۶۹/۳) و کمترین آن مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب (MPa ۲۳/۹) بود. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین MOE مربوط به گلولام-های ساخته شده با دو عدد میخ فولادی به همراه چسب (MPa ۶۷۳۷/۷) و کمترین آن مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو عدد میخ شانه‌ای بدون چسب (MPa ۱۲۵۲/۷) 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 اتصال دهنده‌های 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

شکل۳ 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 اتصال-دهنده 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 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 اتصال دهنده 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 اتصال دهنده 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 ترتیب۴/۴ 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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	مقدارF	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	۱۳۲۹۴۰۱/۳۵۹	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	پیچ	۲	۲۶/۸(۰/۲)a*	۱۵۴۵/۱(۱۱۱/۲) a
		۴	۳۰/۱(۱/۵) a	۱۹۷۵(۲۲۲/۹) a
	میخ فولادی	۲	۲۵/۵(۰/۹) a	۱۲۹۳/۴(۲۹۱/۶) a
		۴	۲۵/۹(۰/۵) a	۱۵۷۰/۷(۱۳۵/۵) a
	میخ شانه‌ای	۲	۲۳/۹(۲/۸) a	۱۲۵۲/۷(۱۷/۱) a
		۴	۲۷/۸(۳/۶) a	۱۶۲۲/۲(۳۸۴/۲) a
با چسب	پیچ	۲	۶۲/۴(۸/۵) b	۶۵۹۲/۸(۲۴۶۴) bc
		۴	۶۹/۳(۱۴/۶) b	۶۵۱۸/۲(۱۶۰۱/۲) bc
	میخ فولادی	۲	۶۱/۳(۹/۲) b	۶۷۳۷/۷(۹۲۳/۵) bc
		۴	۵۹/۳(۴) b	۶۳۹۴(۹۶۰/۵) bc
	میخ شانه‌ای	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

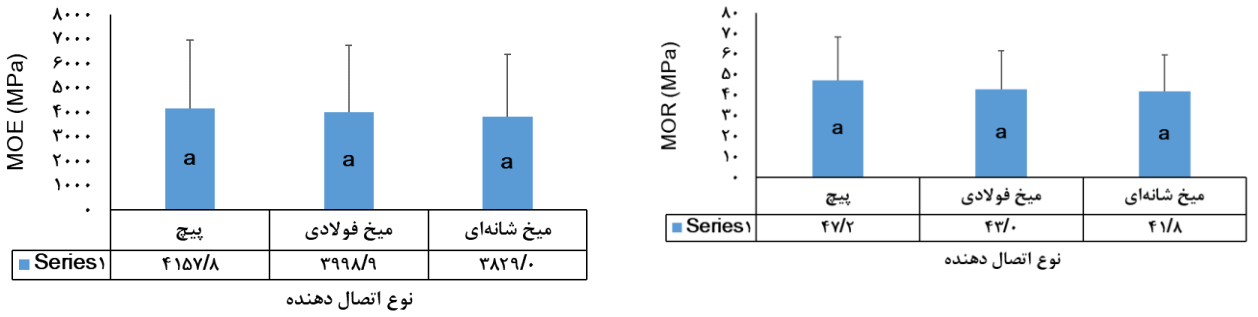
* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است. حروف بعد از پرانتز گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند.

www.SID.ir

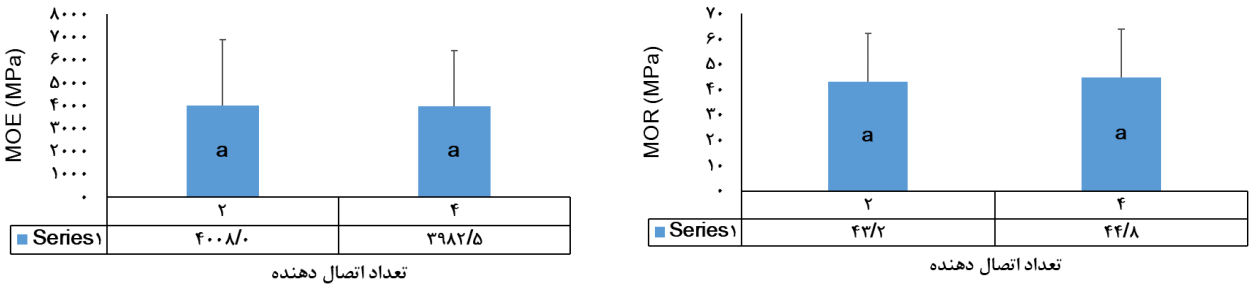
Archive of SID

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 گروه-بندی 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 اتصال دهنده‌های مختلف به همراه چسب و بدون چسب اختلاف آماری وجود داشت.

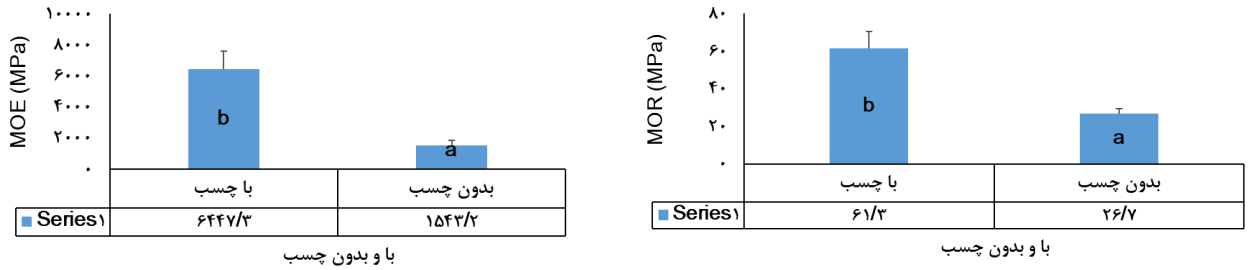
شکل ۴ قسمت ج) تأثیر متقابل چسب بر تعداد اتصال‌دهنده را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که وقتی نمونه‌های گلولام با ۲ و ۴ اتصال‌دهنده مکانیکی به همراه چسب ساخته می‌شوند، MOR آنها به ترتیب ۱۴۰/۳ و ۱۲۰/۸ درصد افزایش می‌یابد. این تغییرات برای MOE به ترتیب ۳۸۷/۸ و ۲۶۲/۳ درصد بود. نتایج گروه‌بندی دانکن نشان داد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



الف: نوع اتصال‌دهنده



ب: تعداد اتصال‌دهنده

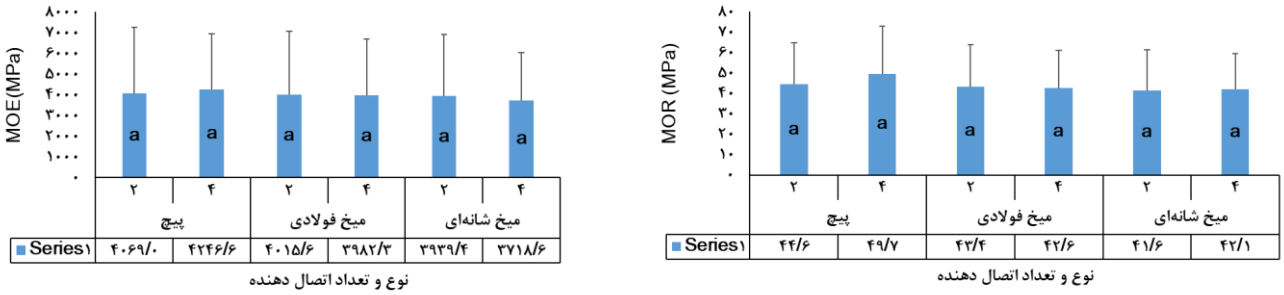


ج: کاربرد چسب

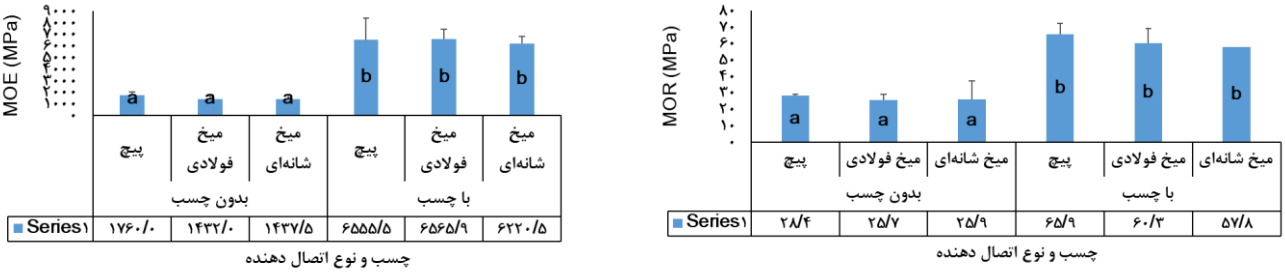
شکل ۳- تأثیر مستقل نوع اتصال دهنده، تعداد اتصال‌دهنده، چسب بر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام

www.SID.ir

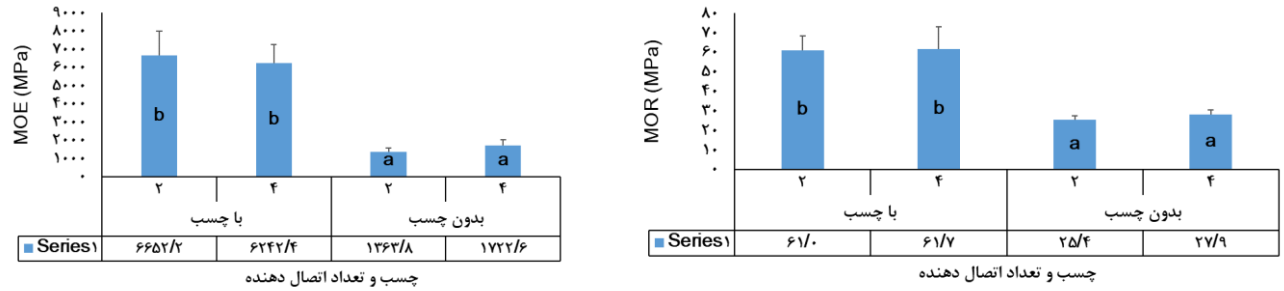
Archive of SID



الف: نوع اتصال دهنده بر تعداد اتصال‌دهنده



ب: چسب بر نوع اتصال‌دهنده



ج: چسب بر تعداد اتصال‌دهنده

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

مقایسه مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌ها 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 اتصال‌دهنده‌های مکانیکی بود. ازاین‌رو MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با پرس با گلولام‌های ساخته شده با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی به همراه چسب مقایسه شد. از آن‌جایی‌که با توجه به نتایج تعداد اتصال‌دهنده بر MOR و MOE نمونه‌های ساخته شده تأثیر معنی‌داری نداشت، برای صرفه‌جویی اقتصادی بهتر است نمونه‌ها با دو عدد اتصال‌دهنده ساخته شوند. ازاین‌رو، برای این مقایسه، MOR و MOE گلولام‌های ساخته شده با دو عدد اتصال‌دهنده 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 ($8\times8\ cm^2$) 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.

www.SID.ir

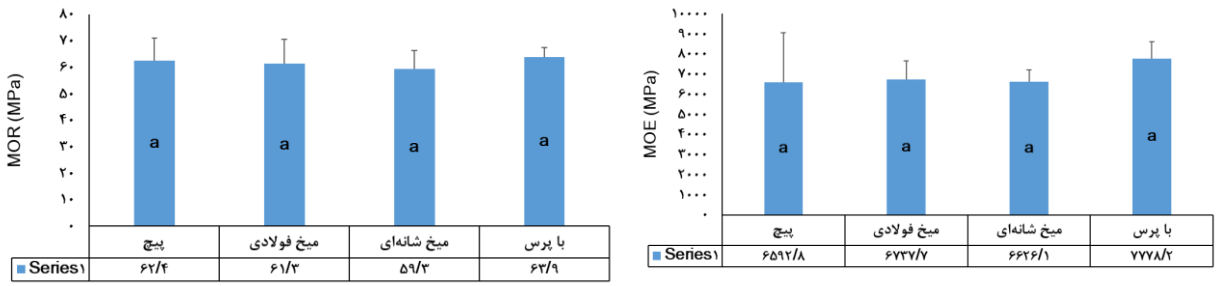
Archive of SID

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 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.

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 ازادی	میانگین مربعات	مقدارF	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

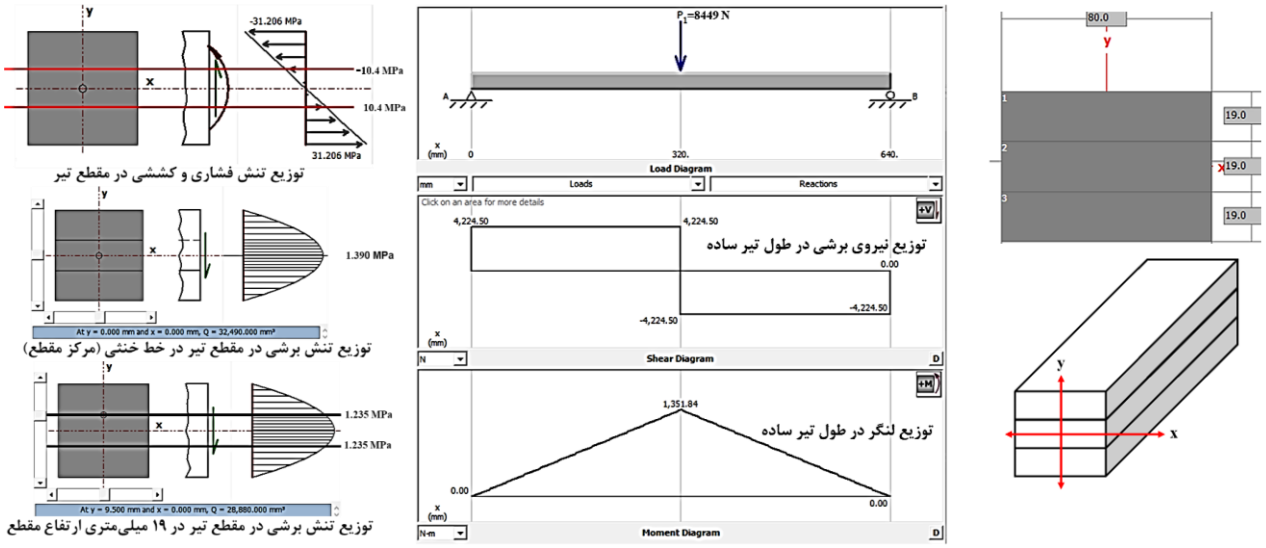
نتایج بررسی تأثیر مستقل نوع اتصال‌دهنده (پیچ، میخ فولادی و شانه‌ای) بر MOR و MOE نشان داد که بیشترین آنها مربوط به گلولام‌های ساخته شده با پیچ است. وقتی تیری با مقطع مستطیل از سطح بالایی تحت بار متمرکز در وسط دهانه قرار می‌گیرد، در سطح بالایی آن بیشترین تنش فشاری، در سطح پایینی آن بیشترین تنش کششی و در مرکز گرانی آن (خط خنثی) بیشترین تنش برشی دیده می‌شود (شکل۶). 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 $8\times8\ cm^2$ مشاهده شد، تحلیل شد. حداکثر نیروی تحمل شده توسط این تیر ۸۴۴۹ N بود. وقتی این بار به صورت متمرکز در وسط دهانه به تیر وارد شد، حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی توزیع شده در طول تیر به ترتیب ۴۲۲۴/۵ N و ۱۳۵۱/۸۴ 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 ۱/۳۹۰ MPa و بیشترین تنش فشاری و کششی نیز ۳۱/۲ MPa بود. تنش کششی و فشاری بین لایه‌ها ۱۰/۴ MPa و تنش برشی بین آنها ۱/۲۳۵ 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 ۹۹/۱۹ 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

www.SID.ir

Archive of SID

۴۰ فاصله بین پیچ‌ها، مقدار نیروی وارد بر هر پیچ برای تیر لایه‌ای ساخته شده با دو پیچ به ازای سطح $8\times8\ cm^2$ برابر با ۳۹۶۷/۷N 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 ۱۹۸۳/۸۶ N به‌دست آمد. در نتیجه تنش برشی وارد شده بر هر پیچ پانلی (با قطر ریشه ۲/۵ mm) در تیر ساخته شده با دو اتصال‌دهنده ۸۰۸/۷ MPa و برای تیر ساخته شده با چهار عدد پیچ ۴۰۴/۳ MPa بود. با نگاهی به تنش‌های وارد شده بر اتصال‌دهنده‌ها و با توجه به تنش حد تسلیم ۶۸۹ MPa - ۳۴۴ 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 می‌لغزند، ترکیبی از تنش برشی و کششی بر پیچ و میخ وارد می‌شود. از اینرو، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقاومت خمشی تیرهای لایه‌ای مورد مطالعه متاثر از توان نگهداری و مقاومت برشی اتصال‌دهنده‌ها است. نتایج تحقیقات نشان داده است که بیشترین عوامل تأثیرگذار بر تنش 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 گلوام می‌شود. همچنین اتصال دهنده 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.



ج) مقطع عرضی گلولام‌های مورد مطالعه ب) توزیع نیروی برشی و لنگر خمشی در طول تیر الف) توزیع تنش 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

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد که با افزایش تعداد اتصال دهنده از ۲ به ۴ عدد، MOR حدود ۳/۷ افزایش و MOE کمتر از یک درصد کاهش یافت. می‌توان گفت با افزایش تعداد اتصال-دهنده 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 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 اتصال دهنده‌ها با و بدون چسب را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که لغزش لایه‌ها با کاربرد چسب به همراه اتصال‌دهنده‌ها خیلی کمتر است.

الف) گلولام ساخته شده بدون چسب قبل از اعمال بار

ب) گلولام ساخته شده بدون چسب بعد از اعمال بار

ج) گلولام ساخته شده با چسب قبل از اعمال بار

د) گلولام ساخته شده با چسب بعد از اعمال بار

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

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 Gagnon و Pirvu (۲۰۱۱) چسب پلی‌اورتان برای چسبندگی به فشار کمتری نیاز دارد [۵، ۷، ۸]. نتایج مقایسه گلولام‌های ساخته شده با اتصال دهنده و نمونه‌های ساخته شده با پرس نشان داد که فشار تأمین شده توسط اتصال‌دهنده-های مورد مطالعه برای چسبندگی پلی‌اورتان کافی است و می‌توان از اتصال‌دهنده‌های مکانیکی برای تأمین فشار 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 به‌ترتیب ۱۱ و ۸۹۶۳ MPa است [۲۱]. مقادیر MOR و MOE انواع گلولام در کتاب راهنمای چوب برای جرم مخصوص ۰/۶-۰/۴ به‌ترتیب ۶۲/۶۲-۲۸/۶۱ و MPa ۱۴۵۰۰-۹۰۰۰ است [۴]. بیشترین MOR و MOE مشاهده شده در این تحقیق برای گلولام‌های ساخته شده با اتصال دهنده‌ها و چسب به‌ترتیب 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

www.SID.ir

Archive of SID

۶۷۳۷/۷) بود. MOR نمونه ساخته شده با پرس MPa ۶۳/۹ و MOE آن MPa ۷۷۷۸/۲ بود. از این‌رو با توجه به نتایج، MOR گلولام‌های ساخته شده در حد استاندارد بود، اما مدول الاستیسیته آن پایین بود که دلیل آن دانسیته پایین صنوبر (۰/۳۸۱g/cm3) 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 ۲/۳، ۴/۳ و ۷/۸ درصد بود و این اختلاف برای MOE به ترتیب ۱۸، ۱۵/۴ و ۱۷/۴ 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.

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 اتصال-دهنده‌های 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 دستگاه های بادی به راحتی و با زمان کمتر نصب می‌شوند. با توجه به اینکه تأثیر تعداد پیچ نیز بر MOE و MOR معنی‌دار نبود، می‌توان از تعداد دو پیچ در سطح $8\times8\ cm^2$ برای اتصال لایه‌ها استفاده کرد. با توجه به اینکه از نظر مساحت پوشش جنگلی جزء کشورهای فقیر محسوب می-شویم، 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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., Dietenberger, 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. FPInnovations.

[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 fortunie 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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/m^2. 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 cm^2 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

www.SID.ir