

تأثیر تقویت چندسازه ساختمانی با لایه‌های چوبی متقاطع (CLT) با الیاف شیشه بر عملکرد برشی اتصال با یک صفحه برش

چکیده

در این مطالعه تأثیر تقویت چندسازه ساختمانی با لایه‌های چوبی متقاطع (CLT) با الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال با یک صفحه برش بررسی شد. برای ساخت CLT سه لایه، از لایه‌های چوب صنوبر (*Populus alba*) استفاده شد. در این تحقیق در مرحله اول، تأثیر تقویت CLT با سه لایه الیاف شیشه و تأثیر آن بر نیروی برشی اتصال ساخته‌شده با پیچ سر مهره، پیچ بتنی، پیچ چوب و میخ فولادی با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر بررسی شد. در مرحله دوم، تأثیر تعداد لایه‌های الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال ساخته‌شده با پیچ سر مهره با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر بررسی شد. در مرحله سوم، تأثیر مستقل و متقابل جهت پانل CLT (طولی و عرضی)، نوع اتصال‌دهنده (پیچ سر مهره، پیچ بتنی، پیچ چوب و میخ فولادی) و فاصله تا انتها (یک و سه سانتیمتر) بر نیروی برشی اتصال بررسی شد. نتایج نشان داد که با تقویت اتصال‌ها، نیروی برشی ۲۲ تا ۵۳٪ افزایش یافته است که این افزایش مقاومت در اتصال‌دهنده‌های با قطر کمتر محسوس‌تر بوده است. با افزایش تعداد لایه‌های الیاف شیشه از یک‌لایه به سه لایه، نیروی برشی اتصال‌ها ۲۷٪ افزایش یافت. با افزایش فاصله تا انتها، تغییر نوع اتصال‌دهنده و جهت پانل CLT مقدار نیروی برشی اتصال به ترتیب ۱۱۴/۷٪، ۲۱۹/۶٪ و ۷٪ تغییر کرد. تأثیر متقابل متغیرها بر نیروی برشی نشان داد که با تغییر هم‌زمان نوع اتصال‌دهنده×فاصله تا انتها مقدار نیروی برشی اتصال حدود ۴۴۷٪ تغییر کرد، که بیانگر اهمیت چشمگیر انتخاب اتصال‌دهنده مناسب با فاصله تا انتهای کافی برای ساخت اتصالات با ورق‌های فلزی با یک صفحه برش مانند براکت‌ها است.

واژگان کلیدی: چندسازه ساختمانی با لایه‌های چوبی متقاطع (CLT)، الیاف شیشه، اتصال پیچ و میخ، اتصال با یک صفحه برش.

معراج شرری^{۱*}
اکبر رستم پور هفتخوانی^۱
محمد احمدی^۲
بیبا معزی پور^۱
فرح‌اله حاجی علیزاده^۳

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

^۲ دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مسئول مکاتبات:
shararim@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

مقدمه

چندسازه‌های چوبی با لایه‌های متقاطع (CLT) یک پانل چوبی مهندسی‌شده در مقیاس بزرگ، پیش‌ساخته و توپر است، که با داشتن وزن سبک‌وزن، خواص مکانیکی بالا، خواص عایق صوتی و حرارتی مناسب، مقاومت عالی در برابر زلزله، سرعت‌بالای ساخت‌وساز با آن و همچنین

طراحی انعطاف‌پذیر و دوستدار محیط‌زیست جایگزین بسیار مفید و کارآمدی برای مصالح معمولی مانند بتن، فولاد و مصالح بنایی برای ساختمان‌های مسکونی و تجاری می‌باشد [۱]. این پانل‌ها به‌صورت سقف، کف، دیوار، بام برای ساخت سازه‌های چوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همه اجزای سازه ساخته‌شده با CLT با اتصال‌دهنده‌ها به

میخ، پیچ دارای رزو هر دو ۱۲d در نظر گرفته شود [۱۲،۱۳]. Oh و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه فاصله تا انتهای اتصال CLT با یک صفحه برش با پیچ خودکار سر مهره‌ای با قطر ۶/۳ میلی‌متر نشان دادند که با افزایش مقدار فاصله تا انتها از ۱۲ به ۴۴ میلی‌متر مقدار نیروی برشی جانبی حدود ۳۲ درصد افزایش یافت [۱۴]. با افزایش فاصله تا انتها مد شکست اتصال‌دهنده از شکست ترد^۲ به شکست نرم^۳ تغییر می‌یابد که سبب انتقال بهتر انرژی شکست می‌شود [۱۵]. تحقیقات نشان داده‌اند که تأثیر قطر پیچ بر تحمل نیروی برشی جانبی بیشتر از فرم رزوه است، طوری که پیچ‌های مختلف با دامنه قطری مشابه تفاوت معنی‌داری در تحمل نیروی برشی جانبی از خود نشان نداده‌اند [۱۶]. موارد مذکور اهمیت قطر اتصال‌دهنده و فاصله تا انتها در تحمل نیروی برشی اتصال‌های با یک صفحه برش را نشان می‌دهند که لازم است در طراحی اتصالات به آن توجه شود. علاوه بر انتخاب اتصال‌دهنده و فاصله تا انتهای مناسب در طراحی اتصالات که مربوط به اتصال‌دهنده است، برای افزایش مقاومت اتصالات می‌توان عضو اتصال را نیز تقویت کرد. برای تقویت محصولات لایه‌ای ساخته‌شده از چوب روش‌های مختلفی مطالعه و استفاده‌شده است که می‌توان به کاربرد ورق‌های فلزی مانند ورق فولاد و آلومینیوم [۱۷]، و FRP^۴ [۱۸،۱۹] اشاره کرد. این تحقیقات نشان داده‌اند باینکه مقاومت تیرهای لایه‌ای تقویت‌شده با ورق‌های فولادی بیشتر از FRP است، اما کاربردی FRP ها به‌خصوص قابلیت برش‌کاری و ساخت اتصالات روی آن آسانتر بوده و وزن کمتری دارند و برخلاف ورق‌های فولادی خوردگی کمتری دارند. از این رو در این تحقیق تأثیر تقویت الیاف شیشه به دلیل سهولت کار کردن با آن، قابلیت برش‌کاری نمونه ساخته‌شده با آن و همچنین ارزان بودن آن، بر تحمل نیروی برشی اتصالات پیچ و میخ بررسی شد.

همدیگر متصل می‌شوند. اتصال‌های ایجادشده برای متصل کردن دیواره‌دیوار، کف و سقف به دیوار، کف به کف و فونداسیون به دیوار از جنس CLT معمولاً از ورق‌های فلزی به همراه اتصال‌دهنده‌هایی مانند انواع پیچ و میخ استفاده می‌شود [۲]. این اتصال‌ها با اعمال بار خارجی تحت نیروی برشی قرار می‌گیرند. تحقیقات مختلفی درباره تأثیر پارامترهای اتصال‌دهنده‌ها بر مقاومت برشی جانبی انواع پیچ و میخ در چوب [۳] و فراورده‌های چندسازه آن [۴-۶] انجام شده‌اند. علاوه بر این تحقیقات متعددی درباره مقاومت برشی اتصال در CLT انجام شده‌اند که همگی به‌صورت مقیاس بزرگ و روی اتصالات براکت‌های فلزی^۱ به همراه میخ و پیچ بوده‌اند [۷-۱۰]. این تحقیقات اهمیت قطر، فاصله تا انتها، نوع اتصال‌دهنده به‌عنوان عوامل تأثیرگذار اتصال‌دهنده بر عملکرد برشی اتصال را نشان می‌دهند. تعیین فاصله تا انتهای اتصال‌دهنده تا لبه مناسب در اتصال پانل‌های CLT اهمیت ویژه‌ای دارد. فاصله تا انتهای کم در اتصال‌های ساخته‌شده در اعضای چوبی سبب ایجاد ترک و یا شکاف می‌شود، طوری که با ایجاد شکاف قبل از اینکه اتصال‌دهنده به مقاومت نهایی برسد، عضو اتصال زیر بار می‌شکند. در CLT لایه‌های عرضی از انتشار ترک و شکاف جلوگیری می‌کند، طوری که می‌توان از فاصله تا انتهای کمتری برای اتصال بهره گرفت. اهمیت انتخاب فاصله تا انتهای مناسب در طراحی براکت‌های فلزی اهمیت ویژه‌ای دارد. در طراحی براکت‌ها سوراخ‌هایی برای نصب انواع پیچ و میخ وجود دارد. حتی در بعضی از براکت‌ها برای افزایش مقاومت اتصال‌ها از ترکیب اتصال‌دهنده‌های با قطر کم و زیاد در کنار هم استفاده می‌شود، طوری که سوراخ‌های ایجادشده برای نصب پیچ و میخ کم قطر با فاصله تا انتهای کمتر و برای اتصال‌دهنده‌های قطور مقدار آن بیشتر در نظر گرفته می‌شوند، زیرا اتصال‌دهنده‌های قطور وقتی که تحت بار برشی و کششی قرار می‌گیرند سبب شکست شدید عضو اتصال می‌شوند [۱۱]. مقدار فاصله تا انتهای مناسب برای میخ و پیچ در اتصال CLT وقتی که در سطح رویی نصب شوند به ترتیب ۱۰d، ۶d توصیه شده است، اما وقتی که اتصال‌دهنده در ضخامت CLT نصب شوند بهتر است مقدار آن برای

² brittle

³ ductile

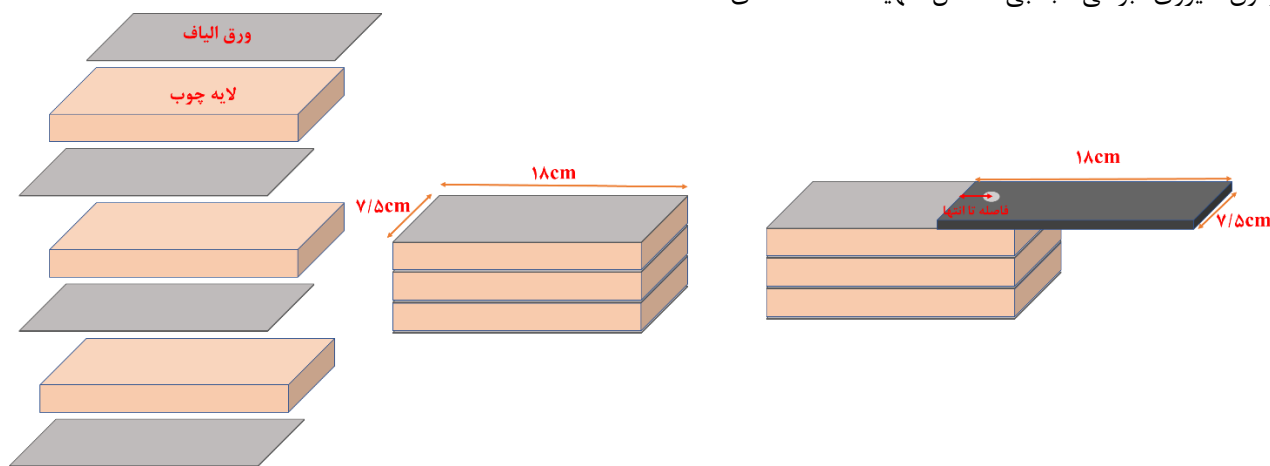
⁴ Fibre-reinforced polymer (FRP)

¹ Steel angle Bracket

مواد و روش‌ها

برای ساخت CLT از چوب صنوبر (*Populus alba*) تهیه‌شده از بازار چوب خلخال استفاده شد. ابتدا گرده‌بینه‌هایی با قطر بیش از ۳۰ سانتیمتر و با طول ۲۲۰ سانتیمتر به تخته‌هایی با ابعاد $۲۲۰ \times ۱۱ \times ۲/۵$ سانتیمتر (به ترتیب ضخامت \times عرض \times طول) تبدیل شدند. تخته‌های بریده‌شده در فصل بهار و تابستان در هوای آزاد تا رطوبت ۱۲ درصد خشک شدند. بعد از خشک‌کردن، تخته‌ها تا ضخامت نهایی ۱۹ میلی‌متر و پهنای ۹ سانتیمتر رنده شدند. سپس از تخته‌های بریده‌شده پانل‌های CLT سه لایه با ابعاد ۵۰×۵۰ سانتیمتر ساخته شدند. برای تقویت اتصال‌ها از الیاف شیشه ۶۰۰ گرمی بافته‌شده استفاده شد. برای اتصال لایه‌ها و الیاف شیشه به یکدیگر از چسب پلی-اورتان گروه صنعتی مکرر با شماره ML 518 و هاردنر HA 418 با نسبت ۱۰۰ به ۳۰ و مقدار ۳۰۰ گرم بر مترمربع استفاده شد. پانل‌های CLT در جهت طولی و عرضی بریده شدند و بر اساس استاندارد ASTM D 1037 [۲۰] نمونه‌هایی با طول و پهنای به ترتیب ۱۸ و $۷/۵$ سانتیمتر برای آزمون نیروی برشی جانبی اتصال تهیه شدند. نمای

شماتیک نمونه‌های مورد استفاده در این مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. برای ساخت نمونه اتصال از ورق فولاد ساختمانی با ابعاد $۱۸ \times ۷/۵ \times ۰/۴$ سانتیمتر (به ترتیب ضخامت \times عرض \times طول) استفاده شد. ورق فولادی با اتصال‌دهنده‌هایی مانند میخ فولادی، پیچ چوب، پیچ بتنی و پیچ سر مهره‌ای به پانل CLT متصل شدند. شکل ۲ اتصال‌دهنده‌های مورد استفاده در این مطالعه و جدول ۱ مشخصات این اتصال‌دهنده‌ها را نشان می‌دهند. در جدول ۱، قطر بزرگ و کوچک به قطر با رزوه و قطر بدنه در ناحیه رزوه دار پیچ نسبت داده شده است. در قسمت نزدیک به سر پیچ‌های چوب و پیچ سر مهره‌ای بدنه صاف است که قطر آن در جدول ۱ برای این دو اتصال‌دهنده ارائه شده است. برای نصب پیچ سوراخ پیش‌ساخته با قطر تقریبی ۷۰ درصد قطر بزرگ یا قطر بدنه صاف اتصال‌دهنده در نظر گرفته شد. سرعت بارگذاری ۱۰ mm/min در نظر گرفته شد. نمونه‌های تهیه‌شده قبل از آزمون مدتی در اتاق کلیما با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد تا رسیدن به وزن ثابت مشروط سازی شدند.



شکل ۱- نمای شماتیک از نمونه اتصال با یک صفحه برش برای آزمون نیروی برشی جانبی

لایه الیاف شیشه و همچنین بدون الیاف شیشه به‌عنوان نمونه‌های شاهد برای مقایسه بررسی شد.

تأثیر تعداد لایه‌های الیاف شیشه بر نیروی برشی جانبی اتصال

در مرحله دوم تحقیق، برای بررسی تأثیر تعداد لایه‌های الیاف شیشه بر نیروی برشی جانبی اتصال، نمونه‌هایی

تأثیر الیاف تقویت‌کننده در CLT بر نیروی برشی اتصال

در مرحله اول، برای بررسی تأثیر الیاف تقویت‌کننده بر نیروی برشی اتصال، نمونه‌های اتصال با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر در جهت طولی پانل برای اتصال‌دهنده‌های میخ فولادی، پیچ چوب، پیچ بتنی و پیچ سر مهره‌ای با سه

چوب، پیچ بتنی و پیچ سر مهره‌ای) و فاصله تا انتهای آنها (یک و سه سانتیمتر) بر نیروی برشی جانبی اتصال‌ها بررسی شد. در این بررسی همه پانل‌ها با سه لایه الیاف شیشه تقویت شدند و در مجموع ۱۶ تیمار مطالعه شدند. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. داده‌ها با نرم-افزار SPSS-25 در سطح اطمینان ۹۵ درصد از نظر آماری تجزیه و تحلیل شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

با پیچ سر مهره‌ای با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر و تعداد یک، دو و سه لایه الیاف شیشه برای بررسی تأثیر تعداد لایه‌ها تهیه شد.

بررسی تأثیر مستقل و متقابل جهت پانل، نوع اتصال دهنده و فاصله تا انتهای آنها بر نیروی برشی اتصال تقویت شده با الیاف شیشه

در مرحله سوم، تأثیر متغیرهایی مانند جهت پانل (طولی و عرضی پانل)، نوع اتصال دهنده (میخ فولادی، پیچ



(د) (ج) (ب) (الف)

شکل ۲- اتصال دهنده‌های مورد استفاده برای آزمون نیروی برش جانبی اتصال (الف) پیچ سر مهره‌ای، (ب) پیچ بتنی، (ج) پیچ چوب، (د) میخ فولادی)

جدول ۱- مشخصات فنی پیچ‌های مورد استفاده برای ساخت اتصال با یک صفحه برش

نوع اتصال دهنده	قطر بزرگ (mm)	قطر کوچک (mm)	قطر بدنه صاف (mm)	طول پیچ (mm)	قطر سوراخ برای نصب پیچ در عضو CLT (mm)
میخ فولادی	۳/۸	-	-	۷۰	۳
پیچ چوب	۳/۵	۳/۱	۴/۸	۷۰	۳/۵
پیچ بتنی	۷/۴	۴/۹	-	۷۰	۵
پیچ سر مهره‌ای	۷/۱	۵/۷	۷/۶	۷۰	۵

¹ lag screw

² concrete screw

³ wood screw

نتایج و بحث

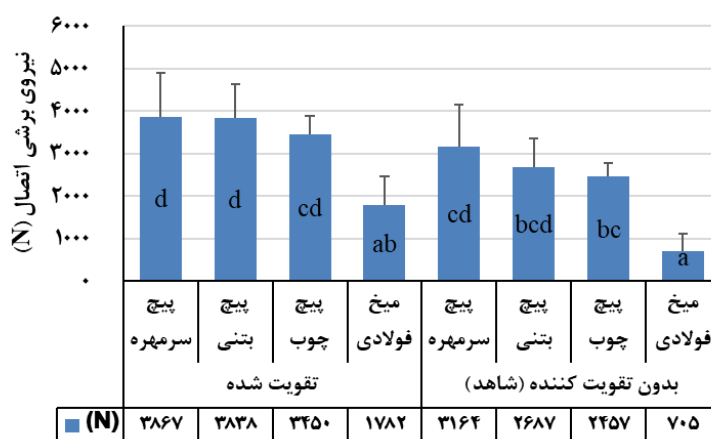
تأثیر الیاف تقویت کننده در CLT بر نیروی برشی

اتصال

تجزیه واریانس تأثیر الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال برای اتصال‌های ساخته شده با پیچ سر مهره، پیچ بتنی، پیچ چوب و میخ فولادی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با سطح اعتماد ۹۹ درصد بین نمونه‌های تقویت شده و نشده اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تقویت کننده الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین	مقدار F	Sig.
بین گروه‌ها	۲۴۹۰۰۲۶۰/۰۲	۷	۳۵۵۷۱۸۰/۰۰	۷/۱۱	۰/۰۰۰۶
درون گروه‌ها	۸۰۰۱۶۸۷/۳۳	۱۶	۵۰۰۱۰۵/۴۶		
خطا	۳۲۹۰۱۹۴۷/۳۵	۲۳			



شکل ۳- تأثیر تقویت کننده الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال برای پیچ‌های مختلف

معنی‌دار نیست. نتایج شکل ۴ نشان داد که با افزایش تعداد لایه‌های الیاف از یک لایه به سه لایه، نیروی برشی اتصال ۲۷/۴ درصد افزایش یافت. گروه‌بندی دانکن نیز نشان داد که بین نیروی برشی اتصال‌های با تعداد لایه‌های مختلف تأثیر معنی‌داری دیده نمی‌شود.

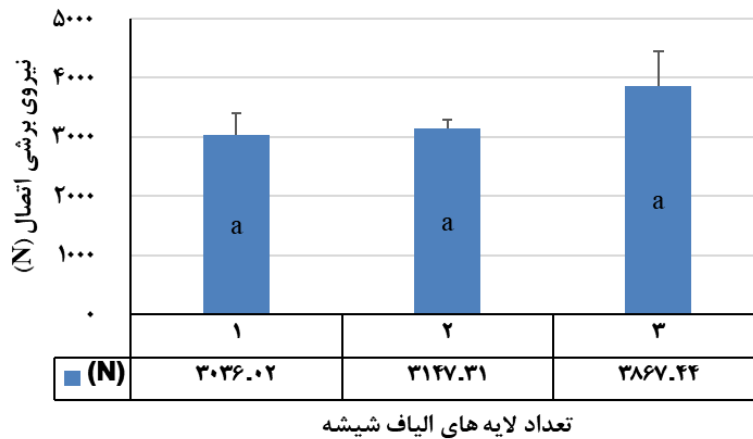
تأثیر تعداد لایه‌های الیاف شیشه بر نیروی برشی

جانبی اتصال

نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر تعداد لایه‌های الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تعداد الیاف بر نیروی برشی اتصال

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تعداد لایه‌های الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین	مقدار F	Sig.
بین گروه‌ها	۱۲۲۲۲۴۸/۵۳	۲	۶۱۱۱۲۴/۲۶	۱/۲۴	۰/۳۵۴۵
درون گروه‌ها	۲۹۵۹۴۴۶/۰۷	۶	۴۹۳۲۴۱/۰۱		
خطا	۴۱۸۱۶۹۴/۵۹	۸			



شکل ۴- تأثیر تعداد لایه الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال

تأثیر مستقل جهت پانل، نوع اتصال‌دهنده و فاصله تا انتها بر نیروی برشی اتصال‌های تقویت‌شده با سه لایه الیاف شیشه در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که نیروی برشی در جهت طولی پانل CLT حدود ۷ درصد بیشتر از جهت عرضی آن است. همچنین مشاهده شد که با افزایش فاصله تا انتها از یک به سه سانتیمتر مقدار نیروی برشی ۱۱۴/۷ درصد افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین نیروی برشی مربوط به پیچ سر مهره و کمترین آن مربوط به میخ فولادی بود. مشاهده شد که تحمل نیروی برشی پیچ سر مهره به ترتیب ۲۱۹/۶، ۷۳/۷ و ۲۴/۵ درصد بیشتر از میخ فولادی، پیچ چوب و پیچ بتنی بود. نتایج گروه‌بندی دانکن نیز نشان داد که بین نیروی برشی اتصال‌دهنده‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

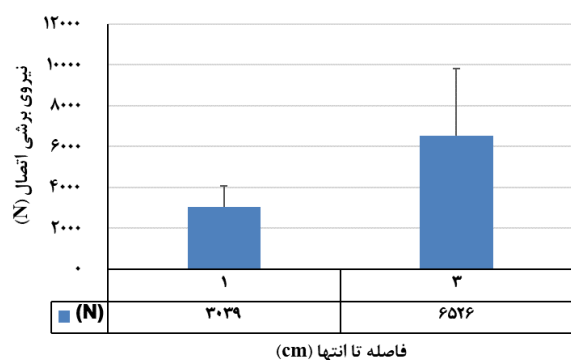
تأثیر مستقل و متقابل جهت پانل، فاصله تا انتها و نوع اتصال‌دهنده بر نیروی برشی اتصال تقویت‌شده

نتایج تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل جهت پانل، نوع اتصال‌دهنده و فاصله تا انتها بر نیروی برشی اتصال‌های تقویت‌شده با الیاف شیشه در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تأثیر مستقل جهت پانل بر نیروی برشی اتصال‌های تقویت‌شده از نظر آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار نیست، اما تأثیر مستقل نوع اتصال‌دهنده و فاصله تا انتها بر نیروی برشی معنی‌دار است. همچنین مشاهده شد که فقط تأثیر متقابل نوع اتصال‌دهنده × فاصله تا انتها بر نیروی برشی اتصال معنی‌دار است.

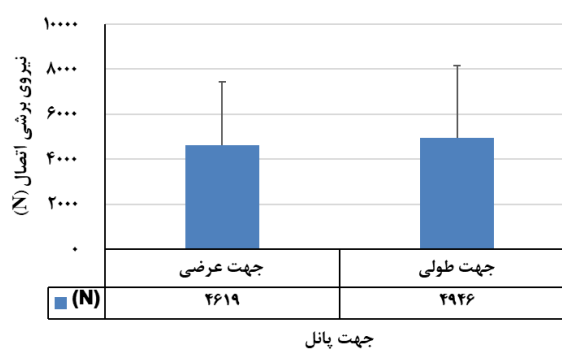
جدول ۳- جدول تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تعداد لایه‌های الیاف شیشه بر نیروی برشی اتصال

Sig.	F مقدار	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع تغییرات
.۰/۳۴۹ ^{ns}	.۰/۹۰	۱۲۸۰۹۴۸	۱	۱۲۸۰۹۴۸	جهت پانل
.۰/۰۰۰ ^{**}	۳۷/۵۱	۵۳۱۶۹۳۵۸	۳	۱۵۹۵۰۸۰۷۵	نوع اتصال‌دهنده
.۰/۰۰۰ ^{**}	۱۰۲/۹۱	۱۴۵۸۸۶۰۷۳	۱	۱۴۵۸۸۶۰۷۳	فاصله تا انتها
.۰/۵۶۴۵ ^{ns}	.۰/۶۹	۹۷۸۹۳۰	۳	۲۹۴۶۷۹۰	جهت پانل × نوع اتصال‌دهنده
.۰/۸۵۴۳ ^{ns}	.۰/۰۳	۴۸۵۷۸	۱	۴۸۵۷۸	جهت پانل × فاصله تا انتها
.۰/۰۰۰ ^{**}	۱۴/۶۷	۲۰۷۹۱۳۴۷	۳	۶۲۳۷۴۰۴۱	نوع اتصال‌دهنده × فاصله تا انتها
.۰/۵۶۴۲ ^{ns}	.۰/۶۹	۹۷۹۸۳۱	۳	۲۹۳۹۴۹۴	جهت پانل × نوع اتصال‌دهنده × فاصله تا انتها
		۱۴۱۷۶۵۸	۳۲	۴۵۳۶۵۰۶۴	خطا
			۴۸	۱۵۱۸۲۷۷۱۹۸	کل

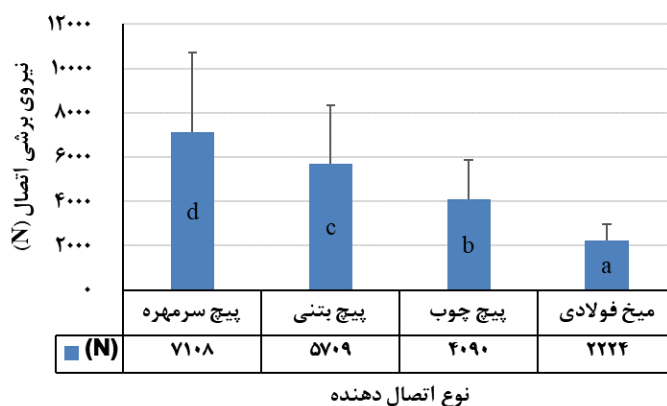
* معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد، ns: عدم معنی‌داری



(ب)



(الف)



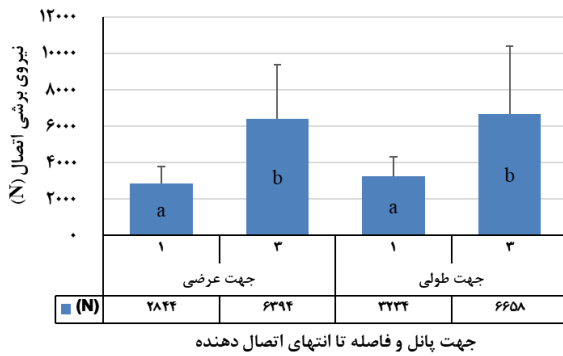
(ج)

شکل ۵- تأثیر مستقل جهت پانل، نوع اتصال دهنده و فاصله تا انتها بر نیروی برشی اتصال‌های تقویت‌شده با سه لایه الیاف شیشه

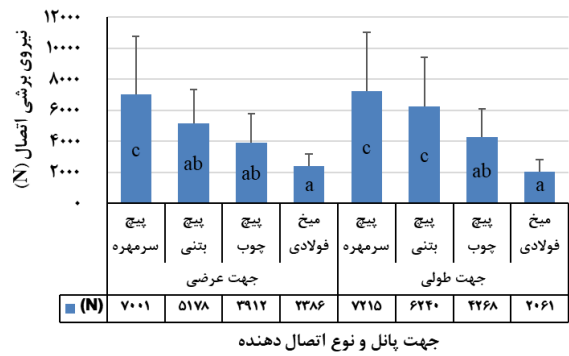
مدهای شکست برای عضو اتصال ارائه شده است. مد شکست کشش خالص معمولاً در لایه‌های عرضی CLT اتفاق می‌افتد، اما در لایه‌های طولی CLT معمولاً مد شکست برشی اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی اگر نسبت پهنای عضو اتصال (W) به قطر اتصال‌دهنده (D) کم و نسبت فاصله تا انتها (e) به قطر اتصال‌دهنده (D) زیاد باشد، احتمال مد شکست کشش خالص بیشتر است. مد شکست برشی زمانی اتفاق می‌افتد که نسبت W/D بالا و نسبت e/D کم باشد. اما اگر نسبت W/D و e/D به اندازه کافی بزرگ باشد، معمولاً شکست از نوع تکیه‌گاهی اتفاق می‌افتد [۲۱]. نتایج نشان داده‌اند که اتصال‌هایی که با مد شکست تکیه‌گاهی می‌شکنند، نیروی برشی بیشتری را تحمل می‌کنند. بعدازآن، مد شکست برشی که به‌صورت موازی الیاف اتفاق می‌افتد بیشترین نیروی برشی را تحمل می‌کند و کمترین تحمل نیروی برشی مربوط به مد شکست کشش خالص است [۵،۶،۱۰].

نتایج مربوط به تأثیر متقابل متغیرهای مورد مطالعه بر نیروی برشی اتصال در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد که با تغییر هم‌زمان جهت پانل × نوع اتصال‌دهنده، جهت پانل × فاصله تا انتها و نوع اتصال‌دهنده × فاصله تا انتها مقدار نیروی برشی به ترتیب ۲۵٪، ۱۳۴٪ و ۴۴۷ درصد تغییر کرد.

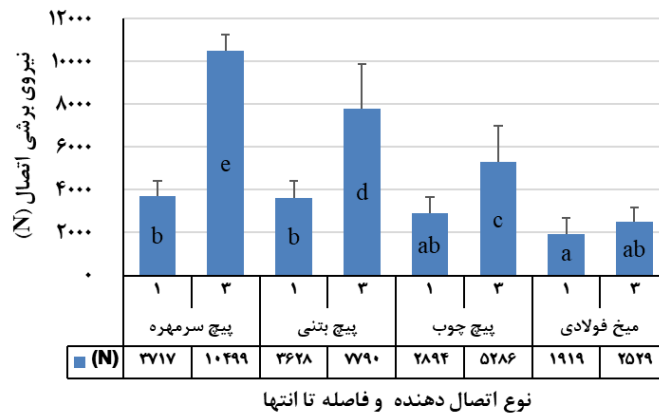
نتایج نشان داد که با افزایش قطر اتصال‌دهنده‌ها و همچنین فاصله تا انتها مقادیر نیروی برشی اتصال به‌طور چشمگیری افزایش یافت، که دلیل اصلی آنها را می‌توان در انواع مدهای شکست اتصال‌دهنده و همچنین عضو اتصال جستجو کرد. چون در اتصال‌های مورد مطالعه صفحه فلزی با اتصال‌دهنده‌های مختلف به CLT متصل شد، به دلیل مقاومت فشاری و تکیه‌گاهی بالای صفحه فلزی معمولاً شکست در عضو CLT و اتصال‌دهنده اتفاق می‌افتد [۸-۱۱]. شکل ۷ مدهای احتمالی شکست در عضو اتصال و اتصال‌دهنده در اتصال با یک صفحه برش را نشان می‌دهد. در قسمت‌های الف، ب و ج (شکل ۷،



ب) جهت پانل × فاصله تا انتها



الف) جهت پانل × نوع اتصال دهنده

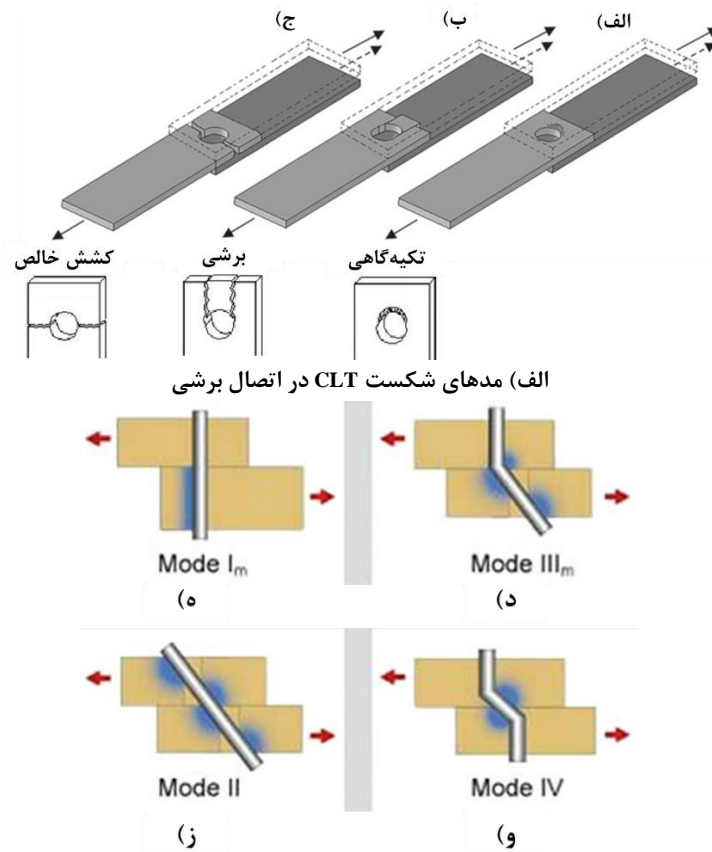


ج) نوع اتصال دهنده × فاصله تا انتها

شکل ۶- تأثیر متقابل جهت پانل، نوع اتصال دهنده و فاصله تا انتها بر نیروی برشی اتصال‌های تقویت‌شده با سه لایه الیاف شیشه

قطر آن کم باشد، یا نسبت W/D و e/D به اندازه کافی بزرگ باشد، اتصال دهنده در عضو اصلی خم می‌شود و مد شکست IIIIm ایجاد می‌شود. اما اگر مدول الاستیسیته اتصال دهنده یا قطر آن کم باشد، یا نسبت W/D و e/D به اندازه‌ای بزرگ باشد که بیشترین تمرکز تنش در اتصال دهنده اتفاق بیفتد، در نتیجه اتصال دهنده در بین دو صفحه با مد شکست IV می‌شکند [۱۲، ۲۲، ۲۳].

شکست دیگری که در این اتصالات اتفاق می‌افتد مربوط به اتصال دهنده است. در شکل ۷، قسمت‌های (د) تا (ز) مربوط به مدهای شکست اتصال دهنده است. در اتصال‌های مورد مطالعه اگر مدول الاستیسیته اتصال دهنده یا قطر آن بالا باشد، یا نسبت W/D و e/D به اندازه کم باشد، اتصال دهنده سبب شکست عضو اصلی اتصال می‌شود (زیرا عضو فرعی ورق فولادی است که به دلیل مقاومت فشاری و تکیه‌گاهی بالا له نمی‌شود)، در نتیجه مد شکست از نوع Im ایجاد می‌شود. اگر مدول الاستیسیته اتصال دهنده یا



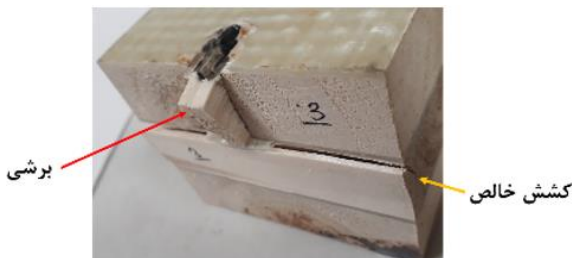
شکل ۷- نمایشی شماتیک از مدهای احتمالی شکست عضو اتصال (CLT) و اتصال‌دهنده در اتصال‌های با یک صفحه برش

عرضی است، با مد کشش خالص و لایه وسطی که در جهت طولی است، با مد برشی می‌شکند. برای توجیه تغییر تحمل نیروی برشی اتصال‌دهنده‌ها با افزایش فاصله تا انتها، قطر اتصال‌دهنده، تقویت CLT با الیاف شیشه و همچنین تعداد لایه‌های الیاف شیشه، چندین مد شکست اتصال‌دهنده و عضو اتصال در شکل ۸ ارائه شده است. مشاهده شد وقتی که اتصال CLT در جهت طولی پانل با پیچ سر مهره ساخته می‌شود که قطر بالایی دارد، در فاصله تا انتهای یک سانتیمتر اتصال‌دهنده با مد I_m و لایه رویی طولی CLT با مد برشی و لایه وسطی با مد کشش خالص شکست، که بیانگر توزیع بیشتر تنش در عضو اتصال بود. اما وقتی که فاصله تا انتها به سه سانتیمتر افزایش یافت، مد شکست اتصال‌دهنده به III_m تغییر کرد، و شکست عضو CLT طوری بود که فقط آثار شکست در لایه طولی رویی دیده شد و به صورت برشی بود، که بیانگر توزیع بیشتر تنش در اتصال‌دهنده بود. وقتی اتصال

شکست‌های احتمالی در اتصال با یک صفحه برش در بالا مورد بحث قرار گرفت. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگر اتصال‌دهنده قطر بیشتری داشته باشد و با فاصله تا انتهای بیشتری نصب شود، یا در مورد ابعاد هندسی اتصال نیز گفته شد که نسبت W/D و e/D برای اتصال به اندازه کافی بزرگ باشد، اتصال نیروی برشی بیشتری تحمل می‌کند. به همین دلیل در بین اتصال‌دهنده‌ها، بیشترین نیروی برشی مربوط به اتصال‌های ساخته شده با پیچ سر مهره بود و سپس به ترتیب پیچ بتنی و پیچ چوب بیشترین نیروی برشی را تحمل کردند، که دلیل آن را می‌توان به قطر بالای آن نسبت داد. وقتی اتصالی با یک صفحه برش زیر بار برشی قرار می‌گیرد، بیشترین تمرکز تنش به لایه رویی CLT است. از این رو، اگر پانل در جهت طولی زیر بار برشی قرار گیرد، لایه رویی با مد برشی و لایه عرضی وسطی با مد کشش خالص می‌شکند. اما وقتی پانل CLT در جهت عرضی زیر بار برشی قرار گیرد، لایه رویی که در جهت

ساخته شده با پیچ بتنی و جهت طولی پانل CLT با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر، شکست در CLT با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر زیر بار برشی قرار گرفت، مد شکست اتصال دهنده و عضو CLT مشابه پیچ سر مهره بود، اما وقتی فاصله تا انتها به سه سانتیمتر افزایش یافت، مد شکست اتصال دهنده بیشتر از نوع IV و عضو اتصال بیشتر از نوع تکیه‌گاهی بود. برای اتصال‌های ساخته شده با پیچ چوب و جهت طولی پانل CLT با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر، شکست در اتصال دهنده مد IIIIm و در عضو اتصال فقط در لایه طولی رویی و مد برشی بود. اما با افزایش فاصله تا انتها تا سه سانتیمتر، مد برشی اتصال دهنده به IV و عضو اتصال به تکیه‌گاهی تغییر کرد. برای اتصال‌های ساخته شده با میخ و جهت طولی پانل

ساخته شده با پیچ بتنی و جهت طولی پانل CLT با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر، شکست در اتصال دهنده مد IIIIm و در عضو اتصال فقط در لایه طولی رویی و مد برشی بود. اما با افزایش فاصله تا انتها تا سه سانتیمتر، مد برشی اتصال دهنده به IV و عضو اتصال به تکیه‌گاهی تغییر کرد. برای اتصال‌های ساخته شده با میخ و جهت طولی پانل



الف) اتصال با پیچ سر مهره، با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر



ب) اتصال با پیچ سر مهره، با فاصله تا انتهای سه سانتیمتر



ج) اتصال با پیچ بتنی، با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر

شکل ۸- بخش اول، مدهای شکست در نمونه‌های اتصال برشی با یک صفحه برش در این مطالعه



(د) اتصال با پیچ بتنی، با فاصله تا انتهای سه سانتیمتر



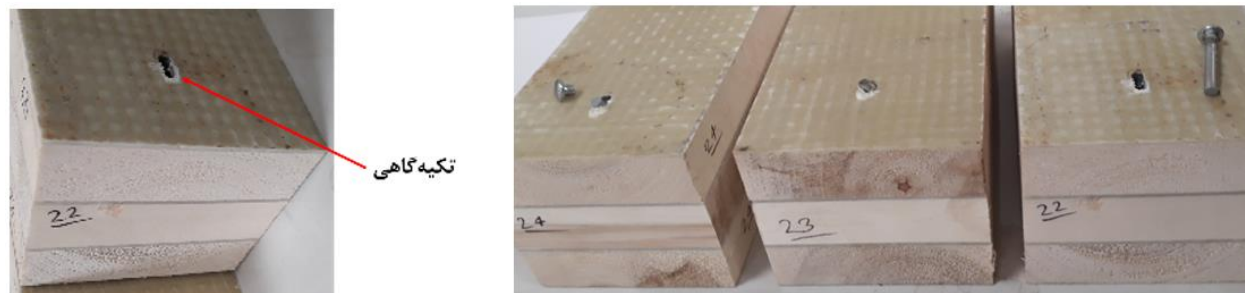
(ه) اتصال با پیچ چوب، با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر



(و) اتصال با پیچ چوب، با فاصله تا انتهای سه سانتیمتر



(ز) اتصال با میخ فولادی، با فاصله تا انتهای یک سانتیمتر



(ح) اتصال با میخ فولادی، با فاصله تا انتهای سه سانتیمتر

شکل ۸- بخش دوم، مدهای شکست در نمونه‌های اتصال برشی با یک صفحه برش در این مطالعه

نتیجه‌گیری

است، اما در این مطالعه مد شکست III_m ظرفیت تحمل نیروی برشی بیشتری از خود نشان داد. نتایج این مطالعه در طراحی ساخت براکت‌های (وصله‌های) فلزی اهمیت دارد. در براکت‌ها باید توجه داشت که فاصله تا انتهای اتصال‌دهنده طوری انتخاب شود که شکست در اتصال‌دهنده، عضو اتصال و براکت از نوع مخرب نباشد، طوری که شکست در اتصال‌دهنده با مد I، در عضو اتصال و براکت با مد تکیه‌گاهی باشد و تنش واردشده به همه آنها در دامنه الاستیک و برگشت‌پذیر باشد. در این مطالعه مشاهده شد که اتصال‌دهنده‌های با قطر بیشتر شکست مخرب‌تری ایجاد می‌کنند، طوری که افزایش فاصله تا انتها در آنها تأثیر چشمگیری بر نیروی برشی اتصال داشت. از این‌رو، لازم است اتصال‌دهنده‌های بیشتر با فاصله تا انتهای بیشتری نسبت به اتصال‌دهنده‌های با قطر کمتر نصب شوند.

مطالعات مختلفی درباره نیروی برشی اتصال در چوب و CLT انجام شده است. اما در این مطالعه برای افزایش تحمل نیروی برشی اتصال CLT از لایه‌های الیاف شیشه استفاده شد. روش‌های مختلفی برای افزایش مقاومت CLT مطالعه شده است. در این مطالعه به دلیل قابلیت کار کردن بهتر به‌ویژه برش‌کاری و همچنین کاربرد آسان از الیاف شیشه استفاده شد. نتایج نشان داد که الیاف شیشه تحمل نیروی برشی اتصال CLT را افزایش می‌دهد. انتخاب اتصال‌دهنده مناسب با فاصله تا انتهای کافی به ترتیب بیشترین تأثیر را بر ظرفیت تحمل نیروی برشی اتصال داشت، طوری که اتصال‌دهنده‌های با قطر بالاتر و فاصله تا انتهای بیشتر نیروی برشی بیشتری را تحمل کردند. مطلوب‌ترین مد شکست عضو اتصال از نوع تکیه-گاهی بود، اما در اتصال‌دهنده مد شکست I ایده‌آل‌ترین

منابع

- [1] Karacabeyli, E., and Gagnon, S., 2019. Canadian CLT Handbook. 2019 Edition. Digital. Pointe-Claire, QC: FPIInnovations.
- [2] Ringhofer, A., Brandner, R., and Blaß, H.J., 2018. Cross laminated timber (CLT): Design approaches for dowel-type fasteners and connections. *Engineering Structures*, 171: 849-861.
- [3] Taj, M.A., Najafi, S.K., and Ebrahimi, G., 2009. Withdrawal and lateral resistance of wood screw in beech, hornbeam and poplar. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67 (2): 135-140.
- [4] Eshaghi, S., Faezipour, M., and Taghiyari, H.R., 2013. Investigation on lateral resistance of joints made with drywall and sheet metal screws in bagasse particleboard and comparison with that of commercial MDF. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15 (2): 127-140.
- [5] Haftkhani, A.R., Ebrahimi, G., 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.
- [6] Mohamadzadeh, M., Haftkhani, A.R., Ebrahimi, G., and Yoshihara, H., 2012. Numerical and experimental failure analysis of screwed single shear joints in wood plastic composite. *Materials & Design*, 35: 404-413.
- [7] Jockwer, R., Caprio, D., and Jorissen, A., 2021. Evaluation of parameters influencing the load-deformation behaviour of connections with laterally loaded dowel-type fasteners. *Wood Material Science & Engineering*: 1-14.
- [8] Kode, A., Amini, M.O., van de Lindt, J.W., and Line, P., 2021. Lateral Load Testing of a Full-Scale Cross-Laminated Timber Diaphragm. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 26 (2): 04021001.

- [9] Li, Z., Wang, X., and He, M., 2020. Experimental and analytical investigations into lateral performance of cross-laminated timber (CLT) shear walls with different construction methods. *Journal of Earthquake Engineering*: 1-23.
- [10] MahdaviFar, V., Sinha, A., Barbosa, A.R., Muszynski, L., and Gupta, R., 2018. Lateral and withdrawal capacity of fasteners on hybrid cross-laminated timber panels. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30 (9): 04018226.
- [11] Rezvani, S., Zhou, L., and Ni, C., 2021. Experimental evaluation of angle bracket connections in CLT structures under in-and out-of-plane lateral loading. *Engineering Structures*, 244: 112787.
- [12] American Wood Council. (2015). NDS National Design Specification for Wood Construction: With Commentary. American Wood Council.
- [13] Mohammad, M., Blass, H., Salenikovich, A., Ringhofer, A., Line, P., Rammer, D., 2018. Design approaches for CLT connections. *Wood and Fiber Science*, 50 (Special): 27-47.
- [14] Oh, J.-K., Kim, G.-C., Kim, K.-M., Lee, J.-J., and Hong, J.-P., 2017. End distance of single-shear screw connection in cross laminated timber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45 (6): 746-752.
- [15] Brown, J.R., and Li, M., 2021. Structural performance of dowelled cross-laminated timber hold-down connections with increased row spacing and end distance. *Construction and Building Materials*, 271: 121595.
- [16] Haftkhani, A., Ebrahimi, G., Arabi, M., Tajvidi, M., and Layeghi, M., 2012. Investigation on lateral load of joints made with various screws on commercial wood-plastic composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 27 (1): 100-113.
- [17] Coleman, G., GE, C., and HT, H., 1974. Timber structures reinforced with light gage steel.
- [18] Ahad, S., Singh, J., Bhat, J.A., and Sethi, A.S., 2019. An experimental study of CLT beams reinforced with steel bars, cold formed steel plate and FRP. *International Journal for Technological Research In Engineering*, 6 (11): 5790- 5799.
- [19] Nowak, T., Jasieńko, J., Kotwica, E., and Krzosek, S., 2016. Strength enhancement of timber beams using steel plates—review and experimental tests. *Drewno: prace naukowe, doniesienia, komunikaty*, 59.
- [20] ASTM D1037 – Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials
- [21] Yoon, D., Kim, S., Kim, J., and Doh, Y., 2020, Study on bearing strength and failure mode of a carbon-epoxy composite laminate for designing bolted joint structures. *Composite Structures*, 239: 112023.
- [22] Fridley, K.J., Pollock, J.D.G., and Cobeen, K., 2006. *Design of Wood Structures-ASD/LRFD*. McGraw-Hill New York, NY.
- [23] Williamson, T.G., 2002. *APA engineered wood handbook*. McGraw-Hill Professional Pub.

The effect of strengthening of the cross-laminated timber using glass fiber-reinforced polymer on the lateral performance of the single shear lap joints

Abstract

In this study, the effect of strengthening of cross-laminated timber (CLT) with glass fiber reinforced polymer (GFRP) on the lateral resistance (LR) of the single shear lap joints was investigated. Poplar (*Populus alba*) layers were used to construct the three-layer CLT. In first step, the effect of GFRP strengthening of CLT panel with three layers of FRP (fiber reinforced polymer) fastened with a lag screw, concrete screw, wood screw, and steel nail at an end distance of 1 cm on the lateral load capacity was investigated. In second step, the effect of the number of GFRP layers on the LR of the joint assembled with the lag screw with an end distance of 1 cm was investigated. Finally, the main effects of panel strength directions (major and minor axes), fastener types (lag screw, concrete screw, wood screw, and steel nail), and end distances (1 and 2 cm) and their interaction on LR were investigated. The results showed that LR was increased by 22 to 53% with reinforcement, which was more considerable in joints with smaller diameter fasteners. By increasing the number of GFRP layers from one to three layers, LR was increased by 27%. By increasing the end distance, changing the fastener types and panel directions, LR was changed 114.7%, 219.6%, and 7%, respectively. The interaction of variables on LR showed that by simultaneously changing the fastener types \times end distance, LR changed about 447%, which implied the importance of choosing the proper fastener with sufficient end distance to construct the joints with a metal connector such as brackets.

Keywords: Cross-laminated timber, glass fiber reinforced polymer, nail and screw connections, single-shear lap joints.

M. Sharari^{1*}
A. Rostampour Haftkhani¹
M. Ahmadi²
B. Moezipour¹
F. Hajjalizadeh³

¹ Assistant prof. of Wood Science and Technology, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran

² Associate prof. of Wood Science and Technology, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran

³ BSc student of Wood Science and Technology, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran

Corresponding author:
shararim@uma.ac.ir

Received: 2022/01/10
Accepted: 2022/03/13