University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Improved withdrawal capacity of nail and screw in cross-laminated timber (CLT) made of poplar (*Populus alba*) using glass fiber-reinforced polymer (GFRP)

Mohammad Arabi[1*] | Akbar Rostampour Haftkhani[2]

1. Corresponding Author, Department of Wood Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: marabi@uoz.ac.ir
2. Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran. Email: arostampour@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 21 November 2022
Revised 24 December 2022
Accepted 25 December 2022
Published online 15 June 2023

Keywords:
Glass Fiber Reinforced polymer,
Joint performance,
Lag screw,
Steel nail,
Wood screw.

ABSTRACT

In this study, we investigated the effects of glass fiber-reinforced polymers (GFRP) on the withdrawal capacity of wood, lag screws, and steel nails in cross-laminated timber (CLT) made from poplar (*Populus alba*). We reinforced CLTs with bidirectional GFRP wrap with a grammage of 600 g/m^2. The specimens were 75 mm ×75 mm in length and width, and their thicknesses varied depending on the GFRP layers. We used two-component polyurethane glue at a rate of 300 g/m^2. ANOVA results showed that the number of GFRP layers had a significant effect on the withdrawal resistance of nails and lag screws (P<0.05). By increasing the number of GFRP layers in CLT, the withdrawal resistance of the nails, wood screws, and lag screws increased by 280.4%, 29.2%, and 83.3%, respectively, compared to the control CLT samples. The withdrawal resistance of the lag screws was greater than that of the wooden screws and nails. Duncan's Multiple Range Test (MRT) results showed that CLT should be reinforced with at least three layers of GFRP to significantly increase the withdrawal resistance of nails. To significantly increase the withdrawal resistance of lag screws, CLT should be reinforced with at least one layer of GFRP or by three layers for further significant reinforcement.

Cite this article: Arabi, M., Rostampour Haftkhani, A. (2023). Improved withdrawal capacity of nail and screw in cross-laminated timber (CLT) made of poplar (*Populus alba*) using glass fiber-reinforced polymer (GFRP). *Journal of Forest and Wood Products*, 76 (1), 23-32. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2022.351422.1225

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2022.351422.1225

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

تقویت توان نگه‌داری پیچ و میخ در چندسازهٔ چوبی با لایه‌های متقاطع (CLT) ساخته شده از صنوبر (*Populus alba*) با الیاف شیشه

محمد عربی[۱*] | اکبر رستم‌پور هفتخوانی[۲]

۱. نویسندهٔ مسئول، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: marabi@uoz.ac.ir

۲. گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: arostampour@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵

کلیدواژه:
پلیمر تقویت‌شده با الیاف شیشه،
پیچ چوب،
پیچ سرمهره‌ای،
عملکرد اتصال،
میخ فولادی.

چکیده

در این مطالعه، تأثیر تعداد لایه‌های GFRP (پلیمر تقویت‌شده با الیاف شیشه) بر توان نگه‌داری پیچ چوب، پیچ سرمهره‌ای و میخ فولادی در چندسازهٔ چوبی با لایه‌های متقاطع (CLT) ساخته شده از چوب صنوبر (*Populus alba*) مورد بررسی قرار گرفت. پانل‌های CLT با GFRP دو طرفه با وزن ویژه ۶۰۰ گرم بر متر مربع با چهار نوع آرایش مختلف و با استفاده از چسب پلی‌اورتان دو جزئی به‌مقدار ۳۰۰ گرم بر متر مربع ساخته شدند. ابعاد نمونه‌های آزمونی ۷۵×۷۵ میلی‌متر و ضخامت آن‌ها بر حسب تعداد لایه‌ها متفاوت در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری میخ و پیچ سرمهره‌ای از نظر آماری درصد معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). با افزایش تعداد لایه‌های GFRP در CLT، توان نگهداری میخ، پیچ چوب و پیچ سرمهره‌ای نسبت به نمونهٔ شاهد به‌ترتیب ۲۸۰/۴، ۲۹/۲ و ۸۳/۳ درصد افزایش یافت. توان نگهداری پیچ سرمهره‌ای بیشتر از پیچ چوب و میخ بود. نتایج گروه‌بندی دانکن نشان داد که برای افزایش معنی‌دار توان نگهداری میخ، باید CLT را حداقل با سه لایهٔ GFRP تقویت کرد. اما برای افزایش معنی‌دار توان نگهداری پیچ سرمهره‌ای، می‌توان CLT را با حداقل یک لایه و یا برای افزایش بیشتر با سه لایهٔ GFRP تقویت کرد.

استناد: عربی، محمد؛ رستم‌پور هفتخوانی، اکبر (۱۴۰۲). تقویت توان نگه‌داری پیچ و میخ در چندسازهٔ چوبی با لایه‌های متقاطع (CLT) ساخته شده از صنوبر (*Populus alba*) با الیاف شیشه. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۶ (۱)، ۲۳-۳۲.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2022.351422.1225

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2022.351422.1225

۱. مقدمه

چندسازه چوبی با لایه‌های متقاطع (CLT[1]) دستهٔ جدیدی از فرآورده‌های مهندسی‌شدهٔ چوب هستند که به‌دلیل سرعت ساخت بیشتر، دسترسی و منشاء پایدار تولید چوب، ترسیب کربن، عملکرد بهتر در برابر زلزله، عایق بودن و انرژی تولید کم‌تر و همچنین انرژی کم‌تر برای ساخت و ساز به جای بتن و فولاد در ساختمان‌های مسکونی و تجاری استفاده می‌شوند [۱]. در اروپا و آمریکا برای تولید تجاری این فرآورده اغلب از سوزنی برگانی مانند لاریکس، نوئل سفید، نوئل نروژ و کاج نقره‌ای با چگالی اسمی بین ۴۲۰ تا $۵۰۰kg/m^3$ و رطوبت ۱۲ درصد استفاده می‌شود. در ایران، تأمین چوب‌های سوزنی برگ از طریق واردات امکان‌پذیر است، اما در سال‌های اخیر به‌علت اثرات نوسان ارزی واردات چوب با مشکل روبه‌رو شده است. از این‌رو، به‌دلیل مشکل تأمین چوب در کشور، لازم است به تولید چوب از زراعت گونه‌های تند رشدی مانند صنوبر و بررسی خواص مهندسی فرآورده‌های ساخته شده با آن توجه ویژه‌ای شود. دربارهٔ ساخت CLT و گلولام از چوب صنوبر تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است [۲-۶]. اما این فرآورده‌ها به‌دلیل چگالی کم صنوبر، خواص مکانیکی کمتری از خود نشان می‌دهند. از این‌رو، تحقیقات مختلفی برای تقویت فرآورده‌های لایه‌ای ساخته شده با صنوبر با پلیمر تقویت‌شده با الیاف (FRP[2])، ورق‌های گالوانیزه و آلومینوم در داخل کشور انجام شده‌اند [۷-۹]. این تحقیقات نشان داده‌اند که ورق‌های فلزی به‌ویژه ورق‌های گالوانیزه، به‌دلیل مدول کشسانی بالایی که دارند، مقاومت فرآورده‌های لایه‌ای را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهند، اما از نظر کارپذیری می‌توان گفت که محصولات تقویت‌شده با FRP نسبت به ورق‌های فلزی برتری دارند. زیرا برشکاری و ساخت اتصالات با انواع پیچ و میخ روی محصولات تقویت‌شده با FRP به‌راحتی با ماشین‌آلات صنایع چوب انجام می‌شود. از طرف دیگر FRP مانند ورق‌های فلزی خورندگی ندارند.

اتصالات هر سازه یکی از اجزای مهم و بحرانی برای تحمل بارهای خارجی است، به‌طوری‌که حتی اگر سازه‌ای با مقاوم‌ترین مصالح ساخته شود اما اگر اتصالی محکم نداشته باشد از آن ناحیه دچار شکست می‌شود. سازه‌های ساخته‌شده از CLT در ناحیهٔ پی به دیوار، دیوار به دیوار، دیوار به کف، کف به کف با اتصالات مختلف به یکدیگر متصل می‌شوند. در بیشتر این اتصالات، از یک صفحه یا براکت فلزی به همراه انواع میخ یا پیچ استفاده می‌شود. وقتی که دو صفحهٔ CLT با یک وصلهٔ فلزی به هم متصل می‌شوند، تحت تأثیر بارهای خارجی به اتصال‌دهنده‌ها، ترکیب بار کششی و برشی وارد می‌شوند طوری‌که بار برشی سبب برش میخ یا پیچ در سطح مشترک صفحهٔ فلزی و اتصال‌دهنده می‌شود. از طرف دیگر، بار کششی عمود بر سطح، سبب کشیدن میخ و پیچ از جای خود می‌شود. تحقیقات مختلفی دربارهٔ توان نگه‌داری پیچ و میخ در چوب و فرآورده-های مهندسی‌شدهٔ ساخته شده از آن انجام شده‌اند. تحقیقات نشان داده‌اند که توان نگه‌داری انواع پیچ در CLT ساخته‌شده از صنوبر ۱۱-۵ برابر بیشتر از انواع میخ بوده است. همچنین اتصال‌دهنده‌های با قطر بالاتر توان نگه‌داری بیشتری از خود نشان می‌دهند، به‌طوری‌که قطر پیچ به‌عنوان یکی از مهمترین شاخصه‌های تأثیرگذار بر توان نگه‌داری معرفی شده است [۴]. در تحقیقی که توسط Abukari و همکاران (۲۰۱۲) روی توان نگه‌داری پیچ گلولام انجام شد، مشخص شد که با افزایش قطر پیچ خودکار از ۶ به ۱۲ میلی‌متر، توان نگه‌داری پیچ ۷۰ درصد افزایش یافت [۱۰]. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش چگالی از ۴۵۵ به $۵۲۰Kg/m^3$ (۱۴/۲ درصد افزایش) میزان افزایش توان نگه‌داری پیچ برای پیچ‌های با قطر ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر، به‌ترتیب ۳۰، ۲۷، ۲۰ و ۱۷ درصد بوده است، که بیانگر کاهش تأثیر مثبت چگالی برای پیچ‌های با قطر بالاتر بوده است. در این پژوهش، یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر توان نگه‌داری پیچ طول نفوذ عنوان شد، به‌طوری‌که با افزایش طول نفوذ از ۶d به ۱۲d (قطر=۶d)، توان نگه‌داری پیچ در گلولام تا ۱۰۸ درصد افزایش یافته است، اما افزایش بیشتر طول نفوذ تا ۱۶d سبب شکست خود پیچ می‌شود. در پژوهشی دیگر، مشاهده شد که با افزایش قطر پیچ از ۵ به ۱۱ میلی‌متر و با افزایش طول نفوذ پیچ از ۱۰ به ۵۷ میلی‌متر، توان نگه‌داری پیچ در CLT به‌ترتیب ۲۷/۷ و ۱۲۴ درصد افزایش یافت [۱۱]. که اختلاف آن به تفاوت گونهٔ چوبی، چگالی، قطر پیچ و طول نفوذ آن‌ها نسبت داده شده است. با توجه به تأثیر چگالی بر توان

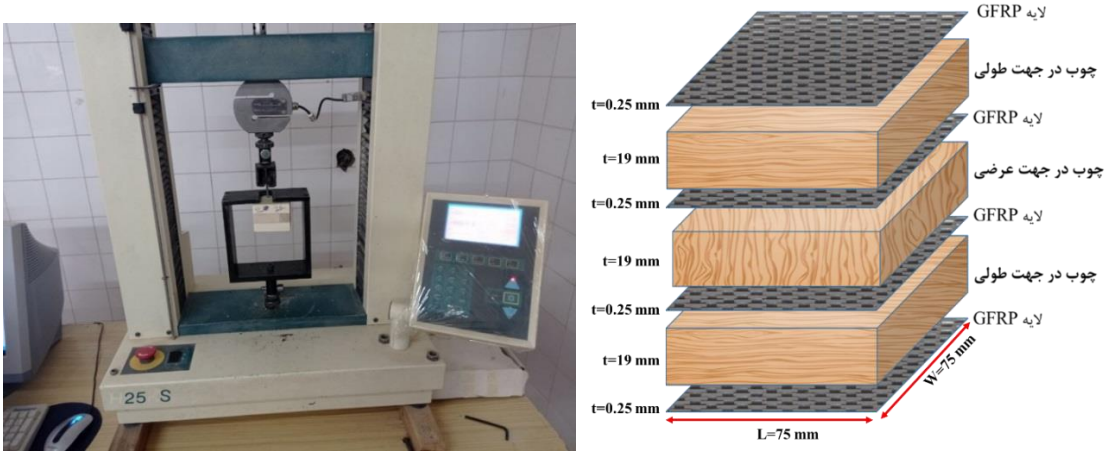
1- Cross Laminated Timber
2- Fiber Reinforced Polymer

نگه‌داری، در تحقیقی Madhoush و همکاران (۲۰۱۲) با فشرده کردن چوب صنوبر تا ۵۰ درصد توان نگه‌داری میخ و پیچ را به‌ترتیب ۲۲۰ و ۱۲۰ درصد افزایش دادند [۱۲]. Pang و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل تئوری برای پیش‌بینی ظرفیت نگهداری پیچ برای CLT هیبریدی توسعه دادند و دقت مدل را با مقادیر آزمایش‌شده بررسی کردند. [۱۳]. همچنین برای افزایش توان نگه‌داری پیچ و میخ، آگاهی از تأثیر پارامترهای رزوه، مانند قطر بیرونی، گام و زاویهٔ پشتی، مورد نیاز است. Hoelz و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که گام رزوهٔ پیچ، تأثیر معنی‌داری در ظرفیت نگه‌داری پیچ دارد. نویسندگان با بررسی ده نمونه پیچ، گام رزوه را در محدودهٔ ۳/۰۴ و ۵/۰۹ میلی‌متر و زوایای پشتی را در محدودهٔ ۳۵ و ۴۵ درجه گزارش کردند [۱۴]. Almeida و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر CFRP و GFRP را بر توان نگه‌داری پیچ در چوب پلاستیک بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تقویت WPC با FRP می‌تواند ظرفیت نگهدای پیچ را بیش از ۸۰ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش دهد [۱۵]. همچنین اخیراً یک مطالعه برای بررسی امکان اتصال پانل‌های CLT با استفاده از دوبل‌های GFRP انجام شده است. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که استفاده از دوبل‌های GFRP برای اتصالات ساختمانی CLT یک جایگزین فنی قابل دوام است و نسبت به اتصال‌دهنده‌های فلزی مزیت‌های قابل توجهی دارد [۱۶]. اما تاکنون، تأثیر ورق GFRP بر تقویت توان نگه‌داری پیچ و میخ در CLT به‌ندرت مورد مطالعه قرار گرفته است. از این‌رو، در این مطالعه ظرفیت نگه‌داری پیچ و میخ در CLT های صنوبر تقویت‌شده با GFRP و تأثیر آن بر تقویت اتصال مورد بررسی قرار گرفت.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲– ۱. ساخت نمونه‌های CLT

در این تحقیق، از گرده‌بینهٔ صنوبر (*Populus alba*) با چگالی ۰/۳۸۱ و قطر بزرگتر از ۳۰ سانتی‌متر و طول ۲/۲ متر استفاده شد که از بازار چوب شهرستان اردبیل تهیه شدند. ابتدا گرده‌بینه‌ها به تخته‌هایی با ابعاد ۲/۵×۱۰×۲۲۰ سانتی‌متر (به‌ترتیب ضخامت، پهنا و طول) برش خوردند و سپس به‌مدت ۶ ماه در فصل بهار و تابستان در محیط آزمایشگاه با دمای میانگین ۲۰ درجهٔ-سانتی‌گراد و رطوبت نسبی از ۶۰ تا ۱۲ درصد خشک شدند. کنترل رطوبت چوب با استفاده از رطوبت‌سنج دیجیتال و روش اندازه‌گیری در آون انجام گرفت. سپس چوب‌های خشک‌شده در هوای آزاد به ابعاد نهایی ۱/۹×۹×۳۶ سانتی‌متر (به‌ترتیب ضخامت، پهنا و طول) برش و پس از رنده شدن برای ساخت CLT سه لایه مورد استفاده قرار گرفتند. ابعاد نهایی CLT برای آزمایش توان نگه‌داری ۷۵×۷۵ میلی‌متر مطابق استاندارد در نظر گرفته شد. ضخامت لایه‌های چوب ۱۹ میلی‌متر و ضخامت هر لایهٔ GFRP با چسب حدود ۰/۲۵ میلی‌متر بوده به‌طوری‌که با افزودن یک لایهٔ GFRP به CLT ضخامت کلی آن یک میلی‌متر افزایش یافت. در نهایت، ضخامت نهایی CLT های سه لایهٔ تقویت‌شده با یک، دو، سه و چهار لایهٔ GFRP به‌ترتیب ۵۸، ۵۹، ۶۰ و ۶۱ میلی‌متر بود. برای ساخت CLT از چسب پلی‌اورتان دو جزئی با کد ML518 و هاردنر HA418 با نسبت ۱۰۰ به ۳۰ (چسب به هاردنر) و سطح چسب‌خور ۳۰۰ گرم بر متر مربع استفاده شد. بعد از چسب‌زنی،به‌منظور گیرایی بهتر چسب، پانل‌های CLT به‌مدت ۱۵۰ دقیقه تحت فشار ۱ MPa قرار گرفتند. برای تقویت CLT از لایه‌های الیاف شیشه (GFRP) دو طرفه بافته‌شده با گراماژ ۶۰۰ گرم بر متر مربع استفاده شد. موقعیت قرارگیری الیاف شیشه در شکل ۱ نشان داده شده است، به‌طوری-که الیاف در سطوح بیرونی و بین لایه‌ها قرار گرفت. در این مطالعه، تعداد لایه‌های الیاف (یک، دو، سه و چهار لایه) به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شد، که تأثیر آن بر توان نگهداری برای اتصال‌دهندهٔ مکانیکی مانند میخ فولادی، پیچ چوب و پیچ سر مهره-ای مطالعه شد. تصویر اتصال‌دهنده‌ها در شکل ۲ و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. پیچ توسط دریل برقی در وسط نمونه‌ها در جهت عمود بر سطح پهن CLT نصب شد.



شکل ۱. تصویر شماتیک از نمونه‌های مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری الیاف، نمونهٔ واقعی تحت بارگذاری در آزمایش توان نگه‌داری

شکل ۲. اتصال‌دهنده‌های مورد استفاده در این مطالعه

جدول ۱. مشخصات اتصال‌دهنده‌های مورد استفاده در این تحقیق

نوع اتصال‌دهندهٔ مکانیکی	قطر بزرگ	قطر کوچک	قطر بدنه صاف	طول پیچ	طول صاف بدون رزوه	قطر سوراخ برای نصب پیچ در عضو CLT
	(میلی‌متر)					
میخ فولادی	۳/۶	۳/۶	۳/۶	۶۱	۵۴	۲/۵
پیچ چوب	۳/۵	۳/۱	۴/۸	۶۳	۲۰	۲/۵
پیچ سرمهره‌ای	۸	۶/۲	۶/۲	۶۵	۲۱	۵/۵

۲ – ۲. تست نمونه‌های CLT

برای بررسی توان نگه‌داری، نمونه‌های CLT براساس استاندارد با ابعاد ۷/۵×۷/۵ سانتی‌متر (به‌ترتیب طول و پهنا) برش شدند. بارگذاری برای کشیدن پیچ توسط دستگاه آزمایش Hounsfield مدل 0308 با ظرفیت ۲۵KN انجام شد. سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. سپس توان نگه‌داری نمونه‌ها با رابطهٔ ۱ محاسبه شد.

رابطهٔ ۱

$$W = \frac{P}{L_{eff}}$$

که در آن W: توان نگه‌داری (N/mm)، P: حداکثر نیرو برای کشیدن پیچ (N) و L_{eff}: طول مؤثر پیچ (mm) است. طول مؤثر بدون در نظر گرفتن نوک پیچ است که مخروطی شکل بوده و در توان نگه‌داری تأثیری ندارد. طول مؤثر در این مطالعه، ۲۳ میلی‌متر

در نظر گرفته شد. طول نفوذ طوری در نظر گرفته شد تا تأثیر تقویت در لایهٔ اول و دوم را نشان دهد. طول نفوذ مؤثر ۲۳ میلی‌متر از یک لایهٔ چوبی و لایه‌های GFRP در سطح رویی و همچنین بین دو لایهٔ طولی و عرضی چوب عبور می‌کند.

۲ –۳. تجریه و تحلیل نتایج

متغیر مورد مطالعه در این تحقیق تعداد لایه‌های الیاف شیشه (صفر، یک، دو، سه و چهار) بود که تأثیر آن بر توان نگهداری سه نوع اتصال‌دهندهٔ مکانیکی بررسی شد. در مجموع ۱۵ تیمار با ۶ تکرار بررسی شد. تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری اتصال‌دهنده‌های مختلف با طرح کاملاً تصادفی با یک متغیر (تعداد لایه‌ها) به‌صورت آنالیز واریانس یک‌طرفه از نظر آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد در نرم‌افزار SPSS تحلیل شدند. برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

در این تحقیق تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری میخ، پیچ چوب و پیچ سرمهره‌ای بررسی شد. از این‌رو، نتایج آن برای هر سه اتصال‌دهندهٔ مکانیکی به‌طور جداگانه در ادامه ارائه شده است.

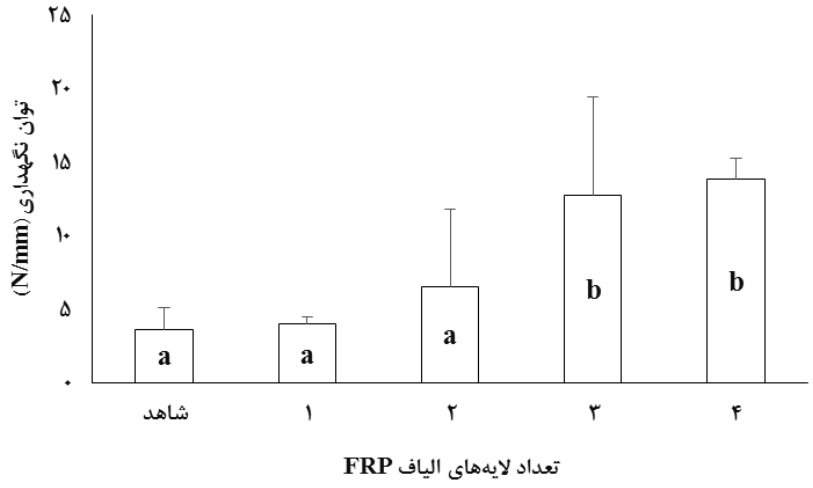
۳ –۱. تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری میخ

نتایج مربوط به تجزیهٔ واریانس، تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری میخ در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری میخ در سطح اعتماد ۹۵ درصد از نظر آماری معنی‌دار است. در شکل ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد لایه‌های GFRP تا چهار لایه، مقدار توان نگهداری نسبت به نمونهٔ شاهد ۲۸۰/۴ درصد افزایش یافته است. نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که بین توان نگهداری CLT شاهد و تقویت‌شده با یک و دو لایه و همچنین بین سه و چهار لایه، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P>0/05$)، به‌طوری‌که تفاوت بین توان نگهداری CLT تقویت شده با سه و چهار لایه، ۸/۵ درصد است. از این‌رو، برای افزایش معنی‌دار توان نگهداری میخ لازم است CLT با سه لایهٔ GFRP تقویت شود.

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری میخ

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین	مقدار F	Sig.
بین گروه‌ها	۵۵۹/۹۸۸	۴	۱۳۹/۹۹۷	۹/۰۴۲	۰/۰۰۰*
درون گروه‌ها	۳۸۷/۰۶۳	۲۵	۱۵/۴۸۳		
خطا	۹۴۷/۰۵۰	۲۹			

* معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد، ns معنی‌دار نیست



شکل ۳. تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگه‌داری میخ

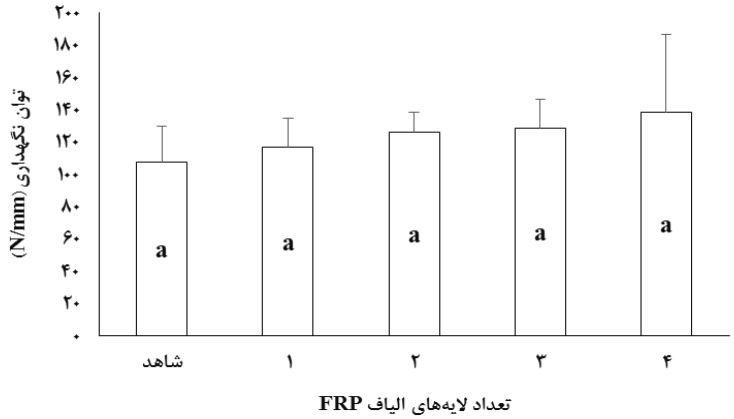
۳ –۲. تاثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ چوب

جدول ۳ نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ چوب را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ چوب در سطح اعتماد ۹۵ درصد از نظر آماری معنی‌دار نیست (P>۰/۰۵). شکل ۴، نتایج مربوط به تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، با افزایش تعداد لایه‌های GFRP توان نگهداری پیچ چوب نسبت به نمونهٔ شاهد ۲۹/۲ درصد افزایش یافت. همچنین توان نگهداری CLT های تقویت‌شده با چهار لایهٔ GFRP حدود ۱۸/۸ درصد از CLT های تقویت‌شده با یک لایهٔ GFRP بیشتر است. گروه‌بندی میانگین‌ها نیز نشان داد که بین توان نگهداری نمونه‌های تقویت شده اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (*P*>۰/۰۵).

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ چوب

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین	مقدار F	Sig.
بین گروه‌ها	۳۴۱۴/۱۰۲	۴	۸۵۳/۵۲۶	۱/۱۹۵	۰/۳۳۸ns
درون گروه‌ها	۱۷۸۶۲/۳۷۰	۲۵	۷۱۴/۴۹۵		
خطا	۲۱۲۷۶/۴۷۳	۲۹			

* معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد، ns معنی‌دار نیست



شکل ٤. تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگه‌داری پیچ چوب

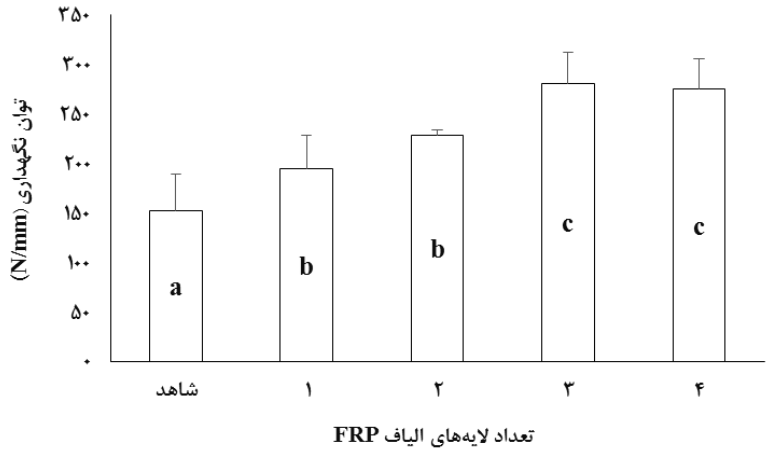
۳ –۳. تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ سرمهره‌ای

با توجه به نتایج، تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ سر مهره‌ای معنی‌دار است (جدول ۴). همچنین نتایج تأثیر افزایش تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ سر مهره‌ای در شکل ۵ نیز نشان داد که توان نگهداری با افزایش تعداد لایه‌ها تا چهار لایه نسبت به نمونهٔ شاهد ۸۳/۳ درصد افزایش یافته است. نتایج گروه‌بندی دانکن نشان داد که بین توان نگهداری CLT های تقویت‌شده با یک و دو لایه و همچنین بین سه و چهار لایه، اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد (*P*>۰/۰۵). اختلاف بین توان نگهداری CLT تقویت‌شده با یک و دو لایه ۱۷/۴ درصد و همچنین اختلاف بین توان نگهداری CLT تقویت‌شده با سه و چهار لایه، ۲ درصد است. از این‌رو، برای افزایش معنی‌دار توان نگهداری پیچ سرمهره‌ای نسبت به نمونهٔ شاهد، لازم است حداقل CLT با یک لایه GFRP و یا برای افزایش بیشتر با سه لایه تقویت شود.

جدول ٤. نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ سر مهره‌ای.

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین	مقدار F	Sig.
بین گروه‌ها	۶۹۹۸۴/۸۲۰	۴	۱۷۴۹۶/۲۰۵	۱۹/۵۴۶	۰/۰۰۰*
درون گروه‌ها	۲۲۳۷۸/۲۵۳	۲۵	۸۹۵/۱۳۰		
خطا	۹۲۳۶۳/۰۷۳	۲۹			

* معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد، ns معنی‌دار نیست



شکل ۵. تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگه‌داری پیچ سرمهره‌ای

براساس نتایج این مطالعه، تأثیر افزایش تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری میخ بیشتر از دو نوع پیچ چوب و سر مهره-ای بود. علاوه بر این، تأثیر آن بر پیچ سرمهره‌ای بیشتر از پیچ چوب بود. همچنین مشاهده شد که توان نگهداری پیچ سرمهره‌ای از پیچ چوب و میخ بیشتر بود. پیچ سرمهره‌ای قطر بیشتری نسبت به پیچ چوب و میخ دارد (جدول ۱). به‌دلیل اینکه قطر یکی از شاخص‌های بسیار تأثیرگذار بر توان نگهداری است، همان‌طور که انتظار می‌رفت توان نگهداری پیچ سرمهره‌ای از پیچ چوب و میخ بیشتر بود. با وجود اینکه قطر پیچ چوب و میخ تقریباً مشابه بود، توان نگهداری پیچ چوب بیشتر بود، که دلیل آن را می‌توان به تأثیر رزوه در نگهداری پیچ نسبت داد. نتایج تحقیقات گذشته نیز بیانگر این مطلب است که پیچ‌های با قطر بزرگ‌تر توان نگه‌داری بالایی از خود نشان می‌دهند [۱۰،۱۱]. سطح رزوه شده و افزایش قطر پیچ میزان تماس با پانل‌های CLT را افزایش داده و به‌مراتب درگیری بیشتری نسبت به میخ و پیچ‌های با قطر کمتر ایجاد می‌کند. قطر پیچ بزرگتر، ارتفاع رزوهٔ بزرگتر، گام رزوهٔ کوچکتر و زاویهٔ رزوه حادتر، ظرفیت نگه‌داری پیچ را افزایش می‌دهد [۱۴]. بنابراین با توجه به کاربرد عملی، از عامل‌های بیان‌شده یعنی هندسه رزوهٔ پیچ‌های چوبی می‌توان برای بهینه‌سازی توان نگهدای پیچ در چوب و فرآورده‌های لایه‌ای چوب استفاده کرد. با افزایش تعداد لایه‌های GFRP توان نگهداری میخ به‌مقدار خیلی زیادی افزایش یافت. تأثیر افزایش تعداد لایه‌ها GFRP بر توان نگهداری پیچ سرمهره‌ای نیز چشمگیر بود. دلیل این امر را می‌توان به ماهیت الیاف شیشه، ماتریس و فرآیند ساخت آن‌ها نسبت داد زیرا وقتی که مصالح تقویت‌شده با GFRP تحت تنش قرار می‌گیرند الیاف شسیشه به‌دلیل مقاومت گسیختگی و مدول کشسانی بالایی که دارند ظرفیت تحمل تنش نمونه‌های آزمونی را بالا می‌برند و از طرفی ماتریس الیاف شیشه به انتقال تنش از الیاف شیشه به مادهٔ مجاور و کنترل کمانش موضعی الیاف کمک می‌کند. بنابراین ورق‌های GFRP به‌طور مؤثری اجزای ساختاری کامپوزیت‌های چوبی را تقویت کرده و ظرفیت تحمل بار آن‌ها را افزایش می‌دهند [۱۳، ۱۶،۱۵]. اما تأثیر تعداد لایه‌های GFRP بر توان نگهداری پیچ چوب معنی‌دار نبود. با نگاهی به شکل ۲ مشاهده می‌شود که پیچ چوب مورد استفاده در این تحقیق با بدنهٔ باریک شونده می‌باشد. این نوع پیچ به‌دلیل بدنهٔ صافی که در زیر سر آچارخور دارد، تنش برشی جانبی بهتری را در آن ناحیه تحمل می‌کند، اما توان نگهداری کمتری از خود نشان می‌دهد. از این‌رو، بدنهٔ باریک شونده، تأثیر تقویت CLT با GFRP را کمتر بروز می‌دهد.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

صنعت، مهندسان، معماران و سازندگان علاقهٔ زیادی به تدوین استانداردهای لازم جهت تولید، طراحی و اجرای پانل‌های CLT در صنعت ساختمان دارند، که در این راستا، طراحی اتصالات در CLT با انواع اتصال‌دهنده‌ها و همچنین تقویت آن‌ها با FRP به‌علت ضخامت کم ورق‌های FRP، به‌عنوان یکی از مؤثرترین و ساده‌ترین روش‌های تقویت اتصالات سازه‌ای، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. برای اتصال عناصر ساخته شده از چوب، کامپوزیت‌های چوبی و برای اتصالات فلز به چوب، یکی از روش‌های

ترجیحی استفاده از پیچ‌های چوبی است. دلایل اصلی موفقیت استفاده از پیچ، هندسه انعطاف‌پذیر آن است که امکان نصب ساده و اقتصادی و همچنین پتانسیل باربری بالا از نظر مقاومت و سختی را در اتصالات فراهم می‌کند. بنابراین نتایج این بررسی را با توجه به پارامترهای مورد مطالعه می‌توان به‌صورت خلاصه کرد:

۱. با افزایش قطر پیچ توان نگهدای پیچ در پانل‌های CLT افزایش یافت، به‌طوری‌که پیچ سرمهره‌ای با قطر بیشتر مقاومت بیشتری از پیچ چوب از خود نشان داد. همچنین به‌دلیل وجود رزوه، توان نگهدای پیچ در نمونه‌های CLT بسیار بیشتر از میخ بود.

۲. تقویت پانل‌های CLT با الیاف شیشه تأثیر بسیار چشمگیری در تقویت توان نگهدای پیچ و میخ داشت و این میزان اثرگذاری در مورد پیچ سرمهره‌ای و به‌خصوص میخ فولادی مشخص‌تر بود.

۳. با افزایش تعداد لایه‌های GFRP توان نگهدای پیچ و میخ افزایش یافت، اما از لحاظ آماری فقط در پیچ سرمهره‌ای و میخ معنی‌دار بود.

۴. خواص مقاومت مکانیکی بالای مواد FRP در کنار ویژگی ضد خورندگی و همچنین قابلیت کار کردن بهتر آن‌ها سبب می‌شود که دو مقولهٔ تقویت سازه و پوشش ضد خوردگی در سازه‌های چوبی، به‌صورت همزمان با صرفه‌جویی در زمان و هزینه صورت گیرد.

۵. منابع

[1]. Gagnon, S., & Pirvu, C. (2011). CLT handbook: cross-laminated timber. FPInnovations.

[2]. Rostampour Haftkhani, A., Layeghi, M., Ebrahimi, G., & Pourtahmasi, K. (2017). Evaluation of bending performance for cross laminated timber (CLT) made out of poplar (*Populus alba*). Iranian *Journal of Wood and Paper Industries*, 8 (1), 67-78.

[3]. Rostampour Haftkhani, A., & Hematabadi, H. (2022). Effect of Layer Arrangement on Bending Strength of Cross-Laminated Timber (CLT) Manufactured from Poplar (*Populus deltoides* L.). *Buildings*, 12(5), 608-620

[4]. Abdoli, F., Rashidi, M., Rostampour Haftkhani, A., Layeghi, M., & Ebrahimi, G. (2022). Withdrawal Performance of Nails and Screws in Cross-Laminated Timber (CLT) Made of Poplar (*Populus alba*) and Fir (*Abies alba*). *Polymers*, 14(15): 3129-3142.

[5]. Rostampour Haftkhani, A. (2019). Experimental study on flexural performance of poplar glued-laminated timber constructed by mechanical fastener and comparing them with those made with cold press. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 10(3), 347-360. (In Persian).

[6]. Rostampour Haftkhani, A., Sharari, M., Ahmadi, M., Moezzipour, B., & Shakiba, A. (2020). Flexural performance of cross-laminated timber made out of poplar reinforced with nail and screw. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 11(1), 1-18. (In Persian).

[7]. Rostampour Haftkhani, A. (2020). Effect of reinforcement of the galvanized steel, Aluminum sheet and Glass fiber reinforcement polymer wrapped on flexural behavior of screwed glued laminated timber (glulam) made with poplar. *Forest and Wood Products*, 72 (4), 327-338. (In Persian).

[8]. Rostampour Haftkhani, A., & Shokrvand Shakiba, A. (2020). Reinforcement of flexural performance of screwed cross laminated timber (CLT) panels constructed of poplar by aluminum sheet and glass fiber reinforced polymer wrap. *Forest and Wood Products*, 73(3), 317-331. (In Persian).

[9]. Sharari, M., Rostampour Haftkhani, A.k., Ahmadi, M., Moezzipour, B., & Hajializadeh, F. (2022). Strengthening of the cross-laminated timber using glass fiber-reinforced polymer on the lateral performance of the single shear lap joints. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 13(1), 1-14. (In Persian).

[10]. Abukari, M.H., Coté, M., Rogers, C., & Salenikovich, A. (2012). Withdrawal resistance of structural screws in Canadian glued laminated timber. In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering. pp: 15-19.

[11]. Khai, T.D., & Young, J.G. (2022). Withdrawal capacity and strength of self-tapping screws on cross-laminated timber. *Structures*, 37(3), 772-786.

[12]. Madhoush, M., Grey, M., Tabarsa, T., & Rafighi, A. (2012). Nail and Screw Withdrawal Strength, MOE and MOR in Densified Poplar Wood. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 18(4), 45-58. (In Persian).

[13]. Pang, S.J., Ahn, K.S., Kang, S.G., & Oh, J.K., (2020). Prediction of withdrawal resistance for a screw in hybrid cross-laminated timber. *Journal of Wood Science*, 66(1), 1-11.

[14]. Hoelz, K., Kleinhans, L., & Matthiesen, S. (2021). Wood screw design: influence of thread parameters on the withdrawal capacity. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(4), 773-784.

[15]. Almeida de, A.C., & Melo Moura, J.D. (2022). Mechanical Behavior of GFRP Dowel Connections to Cross Laminated Timber-CLT Panels. *Forests*, 13(2), 320-333.
[16]. Durmaz, S., Erdil, Y.Z., and Avcı, E. (2020). Screw withdrawal resistance and surface roughness of woven carbon and glass fiber-reinforced wood-plastic composites. *BioResources*, 15(1), 1894-1903.