University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

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

Investigation of the feasibility of utilizing glass fiber reinforced polymer (gfrp) dowels in the construction of furniture frames subjected to diagonal tension loads

Morteza Amini Asl[1] | Mohammad Dahmardeh Ghalehno[2] | Mohammad Arabi[3*] | Saeed Reza Farrokhpayam[4] | Mohammad Shamsian[5]

1. Department of Science and Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Iran. Email: mortezaaminiasle@uoz.ac.ir
2. Department of Science and Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Iran. Email: mmdahmardeh@uoz.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Science and Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Iran. Email: marabi@uoz.ac.ir
4. Department of Science and Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Iran. Email: farrokhpayam@uoz.ac.ir
5. Department of Science and Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Iran. Email: mohammadshamsian@uoz.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 06 October 2024
Revised: 25 November 2024
Accepted: 25 January 2025
Published online: 05 March 2025

Keywords:
Bending moment capacity,
Furniture frame,
GFRP dowel,
Wooden dowel.

ABSTRACT

This study investigated the potential of using glass fiber-reinforced polymer (GFRP) dowels instead of beech wood dowels to enhance the connection strength of furniture frames under diagonal tensile loads. Various dowel diameters (6, 8, and 10 mm), along with other variables such as the number of dowels (one or two), adhesive type (PVAc or epoxy), and the materials of the connecting members (particleboard and MDF), were examined. The results showed that replacing beech wood dowels with composite glass fiber rods increased the bending moment capacity under diagonal tensile load by 50% for particleboard and 71% for MDF. Additionally, the bending moment capacity of the corner connection increased with dowel diameter, rising by 38% and 19% for particleboard and by 19% and 8% for MDF when the diameter increased from 6 to 8 mm and from 8 to 10 mm, respectively. The adhesive type also influenced connection strength, with epoxy increasing the bending moment capacity by 14% for MDF and 47% for particleboard compared to PVAc. Furthermore, increasing the number of dowels from one to two raised the bending moment capacity by 44% for particleboard and 9% for MDF.

Cite this article: Amini Asl, M., Dahmardeh Ghalehno, M., Arabi, M., Farrokhpayam, S.R., Shamsian, M. (2025). Investigation of the feasibility of utilizing glass fiber reinforced polymer (gfrp) dowels in the construction of furniture frames subjected to diagonal tension loads. *Journal of Forest and Wood Products*, 77 (4), 339-352. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.383017.1315

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.383017.1315

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

بررسی امکان استفاده از پین کامپوزیتی الیاف شیشه (GFRP) در ساخت قاب فارسی مبلمان تحت بار کشش قطری

مرتضی امینی اصل[۱] | محمد دهمرده قلعه نو[۲] | محمد عربی[۳]* | سعیدرضا فرخ پیام[۴] | محمد شمسیان[۵]

۱. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: mortezaaminiasle@uoz.ac.ir

۲. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: mmdahmardeh@uoz.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: marabi@uoz.ac.ir

۴. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: farrokhpayam@uoz.ac.ir

۵. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: mohammadshamsian@uoz.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

کلیدواژه:
پین راش،
پین کامپوزیتی الیاف شیشه،
ظرفیت لنگر خمشی،
قاب مبلمان.

چکیده

در این مطالعه امکان استفاده از پین کامپوزیتی الیاف شیشه برای بهبود مقاومت اتصال قاب مبلمان تحت بار کششی قطری، مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور علاوه بر قطرهای مختلف (۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر) پین‌های GFRP و راش، عوامل متغیر دیگری نظیر تعداد پین مورد استفاده (یک و دو)، نوع چسب (PVAc و چسب اپوکسی) و جنس اعضای اتصال شامل تخته خرده چوب و MDF مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با تغییر جنس پین از چوب راش به پین کامپوزیتی الیاف شیشه، ظرفیت لنگر خمشی تحت بار کشش قطری به‌میزان ۵۰ درصد برای تخته خرده چوب و ۷۱ درصد برای MDF افزایش یافت. همچنین ظرفیت لنگر خمشی اتصال گوشه‌ای قاب مبلمان زیر بار کششی با افزایش قطر پین، افزایش یافت به‌طوری که با افزایش قطر از ۶ به ۸ و از ۸ به ۱۰ میلی‌متر، به‌ترتیب ۳۸ و ۱۹ درصد برای تخته خرده چوب و ۱۹ و ۸ درصد برای MDF افزایش یافت. نوع چسب استفاده شده نیز در میزان مقاومت اتصالات تأثیر گذار بود به طوری که با تغییر نوع چسب از پلی‌وینل استات به اپوکسی، ظرفیت لنگر خمشی به‌ترتیب ۱۴ و ۴۷ درصد برای اتصالات ساخته شده با MDF و تخته خرده افزایش یافت. ظرفیت لنگر خمشی اتصال گوشه‌ای قاب مبلمان با تغییر تعداد پین نیز تغییر کرد، به‌طوری که با افزایش تعداد پین از یک به دو، ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF به‌ترتیب ۴۴ و ۹ درصد افزایش یافت.

استناد: امینی اصل؛ مرتضی، دهمرده قلعه‌نو؛ محمد، عربی؛ محمد، فرخ پیام؛ سعیدرضا، شمسیان؛ محمد (۱۴۰۳). بررسی امکان استفاده از پین کامپوزیتی الیاف شیشه (GFRP) در ساخت قاب فارسی مبلمان تحت بار کشش قطری. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۷ (۴)، ۳۵۲-۳۳۹. DOI: https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.383017.1315

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.383017.1315

۱. مقدمه

مبلمان یک سازهٔ مهندسی است که از اتصال اجزای مختلف مثل قاب مبلمان، تکیه‌گاه پشتی، قیدها، پایه و دسته ساخته می‌شود. این اجزاء با اتصالات مختلفی به‌هم وصل شده و تمام بارهای استاتیکی و دینامیکی وارده به سازهٔ مبلمان را تحمل می‌کنند. اتصالات هر سازه‌ای یکی از ضعیف‌ترین و بحرانی‌ترین اجزای هر سازه در برابر بارهای خارجی وارده به آن است و به‌طور قطع می‌توان گفت که تعیین‌کنندهٔ دوام و عمر طبیعی آن سازه به‌شمار می‌آید [۱]. مهم‌ترین اتصالات آسیب‌پذیر در ساخت قاب مبلمان، اتصالات گوشه‌ای هستند که به‌صورت L شکل ساخته و اجرا می‌شوند [۲]. تاکنون اتصال‌دهنده‌های فلزی نظیر پیچ و منگنه [۴، ۳] و اتصال دهنده‌های چوبی مثل پین یا پین چوبی، کام و زبانه و قلیف [۷-۴] در ساخت اتصالات گوشه‌ای قاب مبلمان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در یک مطالعه، مقایسهٔ مقاومت انواع اتصال‌های پین چوبی, پیچ و الیت تعبیه شده در چند سازهٔ تخته فیبر با دانسیتهٔ متوسط (MDF) در برابر بار برشی جانبی نشان داد که مقاومت انواع اتصالات فلزی مثل پیچ نسبت به سایر اتصالات چوبی دارای مقاومت بیشتری هستند [۸]. با این حال، اتصالات فلزی دارای معایب خاصی هستند. این نوع اتصالات، تحت تأثیر دماهای بالا دچار تغییر شکل می‌شوند که این امر به ساختار چوبی آسیب می‌زند. همچنین در محیط‌های خورنده، دچار زنگ‌زدگی می‌شوند و در فرآیند هم‌کشیدگی و واکشیدگی چوب، عناصر فلزی می‌توانند آسیب‌هایی مانند ترک‌خوردگی قطعات را به سازهٔ مبلمان وارد کنند. همچنین استفاده از اتصالات فلزی امکان بازیافت و استفادهٔ مجدد از محصولات چوبی مستهلک شده را دچار مشکل می‌کند [۹].

یک راه جایگزین برای رفع برخی از این معایب و کمک به زیبایی ظاهری سازه‌های چوبی استفاده از پین‌های چوبی است. از این‌رو برای بهبود مقاومت‌های اتصالات ساخته شده با پین چوبی مطالعاتی انجام شده است. Salari و همکاران (۲۰۱۸) برای بهبود مقاومت اتصال با پین چوبی، اصلاح چسب پلی‌وینیل استات را با نانو سلولز و پلی‌وینیل الکل بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که چسب اصلاح شده با افزایش ویسکوزیتهٔ چسب و کنترل میزان نفوذ آن به بافت چوب به بهبود چسبندگی و افزایش مقاومت پین‌های چوبی کمک می‌کند [۱۰]. در مطالعهٔ دیگری، Rostampour و همکاران (۲۰۲۲) از فشرده‌سازی برای افزایش مقاومت پین‌های چوب صنوبر استفاده کردند. آنها بیان داشتند که استفاده از پین‌های فشرده مقاومت مکانیکی و ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با پین چوبی در قاب مبلمان را افزایش می‌دهد [۱۱].

در چند دههٔ اخیر، کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف مصنوعی به‌عنوان تقویت‌کننده و عامل اتصال به بازار ساخت‌وساز مبلمان و سازه‌های چوبی راه پیدا کردند. به‌طوری‌که امروزه، کامپوزیت‌های پلیمری تقویت‌شده با الیاف مصنوعی مثل الیاف کربن، شیشه، بازالت و آرامید به‌طور گسترده‌ای و در شکل‌های مختلف مثل پارچه‌های بافته و میلگردهای کامپوزیتی برای تقویت اتصال در انواع اتصالات سازه‌های چوبی استفاده می‌شوند [۱۲]. در تحقیقات گذشته، پژوهشگران بر تقویت تیرهای چوبی با استفاده از پلیمرهای تقویت‌شده با فیبر شیشه (GFRP) و فیبر کربن (CFRP) به‌صورت پارچه بافته شده تمرکز کرده‌اند تا عملکرد آنها را در شرایط سختی مانند خستگی، زلزله و نوسازی ارتقا دهند [۱۵-۱۳]. همچنین از پارچه‌های بافته شده الیاف پلیمری برای تقویت اتصالات مبلمان به‌ویژه اتصالات گوشه‌ای نیز استفاده شده است [۲۱-۱۶].

امروزه، میلگردهای کامپوزیتی (FRP bar) نیز به‌دلیل سبک‌بودن، استحکام و مقاومت بالا در برابر خوردگی به‌عنوان تقویت‌کننده و اتصال‌دهندهٔ جذاب شناخته می‌شوند و برای اتصال انواع پانل‌های چوبی و همچنین تقویت و اتصال انواع تیرهای چوبی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۴-۲۲]. میلگردهای کامپوزیتی برای تقویت مقاومت خمشی، کششی و برشی تیر و پانل‌های چوبی اغلب در نزدیک سطح اتصال و امتداد طول آن در شیاری کمی بیشتر از قطر میلگرد قرار گرفته و با چسب به پانل یا صفحهٔ مورد نظر چسبانده می‌شوند [۲۵]. در این روش نسبت به روش تقویت سطحی سازه‌ها با پارچه FRP، موضوع جداسازی لایهٔ FRP از سطح چوب، شکست خط چسب و اثرات منفی محیط زیستی به حداقل می‌رسد و نیاز به استفاده از اتصالات میانی فولادی در سازه‌های چوبی نیز کمتر می‌شود [۲۳].

ایدهٔ استفاده از میلگردهای کامپوزیتی در نقش پین چوبی می‌تواند تا حد زیادی مشکل ضعف مقاومت پین‌های چوبی و همچنین شرایط تقویت استحکام و بازسازی سایر سازه‌های چوبی، به‌ویژه تحت بارهای کششی و فشاری را برطرف کند.

De Almeida و Melo Moura (۲۰۲۰) استفاده از پین‌های GFRP برای اتصالات ساختمانی CLT را یک جایگزین فنی قابل دوام برشمردند که نسبت به اتصال‌دهنده‌های فلزی مزیت‌های قابل توجهی دارند [۲۶]. همچنین Vodiannikov وKashevarova (۲۰۱۷) تجزیه و تحلیل اتصالات سازهٔ چوبی با استفاده از پین استوانه‌ای از جنس استیل و میلگرد کامپوزیتی الیاف کربن را مورد مطالعه قرار دادند [۲۷]. شایان ذکر است که با استفاده از میلگرد FRP، نگرانی برای استفاده از سازه‌های چوبی در محیط‌های مرطوب وجود ندارد و با استفاده از این نوع میلگردها می‌توان به‌عنوان بهترین گزینه برای مسلح کردن و بهبود پایداری ابعاد چوب و محصولات چوبی استفاده کرد. از این‌رو، در این مطالعه استفاده از میلگردهای کامپوزیتی به‌عنوان جایگزین پین در ساخت اتصال فارسی قاب مبلمان مورد بررسی قرار گرفت.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲–۱. تهیه و اندازهٔ بری ورق‌های MDF و تخته خرده چوب

در این تحقیق، یک ورق MDF و تخته خرده چوب از شرکت پاک چوب به ابعاد ۱۶×۱۸۳۰×۳۶۶۰ میلی‌متر و دارای روکش سفید دوطرفه از نمایندگی شرکت پاک چوب خریداری شد. خواص مکانیکی و دانسیتهٔ ورق‌های MDF و تخته خرده چوب مطابق استانداردهای EN 310:1993 و EN 323:1993 اندازه‌گیری شدند، سپس با استفاده از دستگاه دور کن، تعداد ۱۴۴ نمونه از هر ورق به ابعاد ۷×۲۰ تهیه و فارسی‌بری شدند.

۲–۲. تهیه و اندازهٔ بری پین چوبی و میلگردهای کامپوزیتی

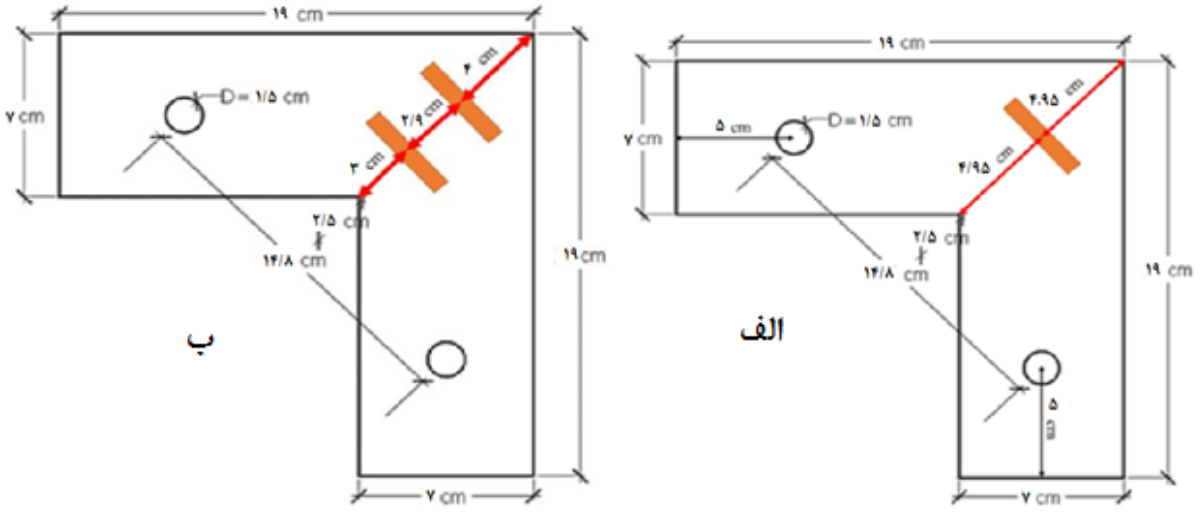
شاخه‌های میلگردهای کامپوزیتی الیاف شیشه از شرکت اپوراد خوزستان خریداری شدند و پین‌های چوبی راش از بازار و یراق‌آلات صنایع مبلمان تهیه شدند. شاخه‌های میلگردهای کامپوزیتی الیاف شیشه و پین‌های چوبی در تمامی قطرهای مورد مطالعه مطابق شکل ۱ با طول ۵ سانتی‌متر برش خوردند و آمادهٔ چسب‌زنی و قرارگیری در محل اتصال شدند.

شکل ۱. a) میلگرد کامپوزیتی و b) پین چوبی

۲–۳. ساخت اتصالات

برای ساخت اتصال از پین‌های چوبی راش با سطح صاف و پین‌های کامپوزیتی الیاف شیشه با سطح صاف در سه قطر ۶، ۸ و ۱۰ و چسب PVAc مشهد ۸۰۱ با درصد مواد جامد ۶۰ درصد و ویسکوزیته ۱۲۰۰۰ سانتی پوآز (براساس اطلاعات شرکت سازنده) و

همچنین چسب اپوکسی با نسبت ۱۰۰ به ۱۵ درصد (رزین اپوکسی به هاردنر) و ویسکوزیته ۱۴۵۰ سانتی پوآز (براساس اطلاعات شرکت سازنده) شرکت مواد مهندسی مکرّر استفاده شد. طول هر دو نوع پین، ۵ سانتی‌متر و عمق نفوذ آن در هریک از اعضای اتصال ۲/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ابتدا پین‌های الیاف شیشه و پین‌های چوبی و همچنین سوراخ دریل شده در مقطع MDF و تخته خرده چوب کاملاً به چسب آغشته شدند. میزان چسب مصرفی، ۲۵۰ گرم بر متر مربع در نظر گرفته شد. سپس پین‌های کامپوزیتی و چوبی در سوراخ‌های از پیش تعبیه شده (قطر سوراخ‌ها متناسب با قطر پین‌ها و دو میلی‌متر بیشتر از قطر آنها در نظر گرفته شد) مطابق شکل ۲ قرار گرفت و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت با گیرهٔ دستی تحت فشار جهت گیرایی کامل چسب قرار گرفتند. برای اینکه چسب در سطح مشترک اعضای اتصال پخش نشود و فقط اتصال در سطح اتکای پین باMDF و تخته خرده چوب اتفاق بیفتد، بین دو عضو اتصال، لایه‌ای از پلاستیک قرار گرفت. در دو طرف اعضای اتصال به فاصلهٔ ۵ سانتی‌متر از گوشهٔ بیرونی سوراخی به قطر ۱۵ میلی‌متر ایجاد شد تا موقع آزمایش از آن ناحیه مورد کشش قرار گیرد.



شکل ۲. شماتیک نمونه‌های تحت بار کشش قطری الف) یک پین و ب) دو پین

۲-۴. آزمون و تجزیه و تحلیل داده‌ها

بارگذاری کششی توسط ماشین اندازه‌گیری Hounsfield مدل 0308 با ظرفیت ۲۵ کیلو نیوتن و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. در مجموع برای هر ورق MDF و تخته خرده چوب ۲۴ تیمار و ۷۲ نمونه (برای هر تیمار ۳ تکرار) در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمون فاکتوریل در سطح اعتماد ۹۵ درصد با استفاده از نرم افزار SPSS۲۶ از نظر آماری تحلیل شدند. مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

در ابتدا، خواص مکانیکی و دانسیتهٔ ورق‌های MDF و تخته خرده چوب اندازه‌گیری شد. مقادیر مدول الاستیسته (MOE)، مدول گسیختگی (MOR) و دانسیته به‌ترتیب ۲۴، ۲۷۳۹ مگا پاسکال و ۰/۷۲ گرم‌بر سانتی‌متر مکعب برای MDF و ۱۸، ۲۲۴۵ مگا پاسکال و ۰/۷۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای تخته خرده چوب به‌دست آمد.

جداول ۱ نتایج آنالیز واریانس تأثیر متغیرهای این مطالعه بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال L شکل ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF را تحت بار کشش قطری نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، تأثیر مستقل و متقابل تمام متغیرها به‌جز تأثیر متقابل تعداد پین و نوع چسب، بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال ساخته شده با تخته خرده چوب در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است.

در اتصالات ساخته شده با MDF نیز اثر مستقل جنس پین، تعداد پین، قطر پین و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی تحت بار کشش قطری معنی‌دار شدند (جدول ۱)، در حالی که اثرات متقابل تعداد پین×نوع چسب، قطر پین×نوع چسب، جنس پین×قطر پین×نوع چسب، جنس پین×تعداد پین×نوع چسب، قطر پین×تعداد پین×نوع چسب و جنس پین×قطر پین×تعداد پین×نوع چسب از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشدند (جدول ۱).

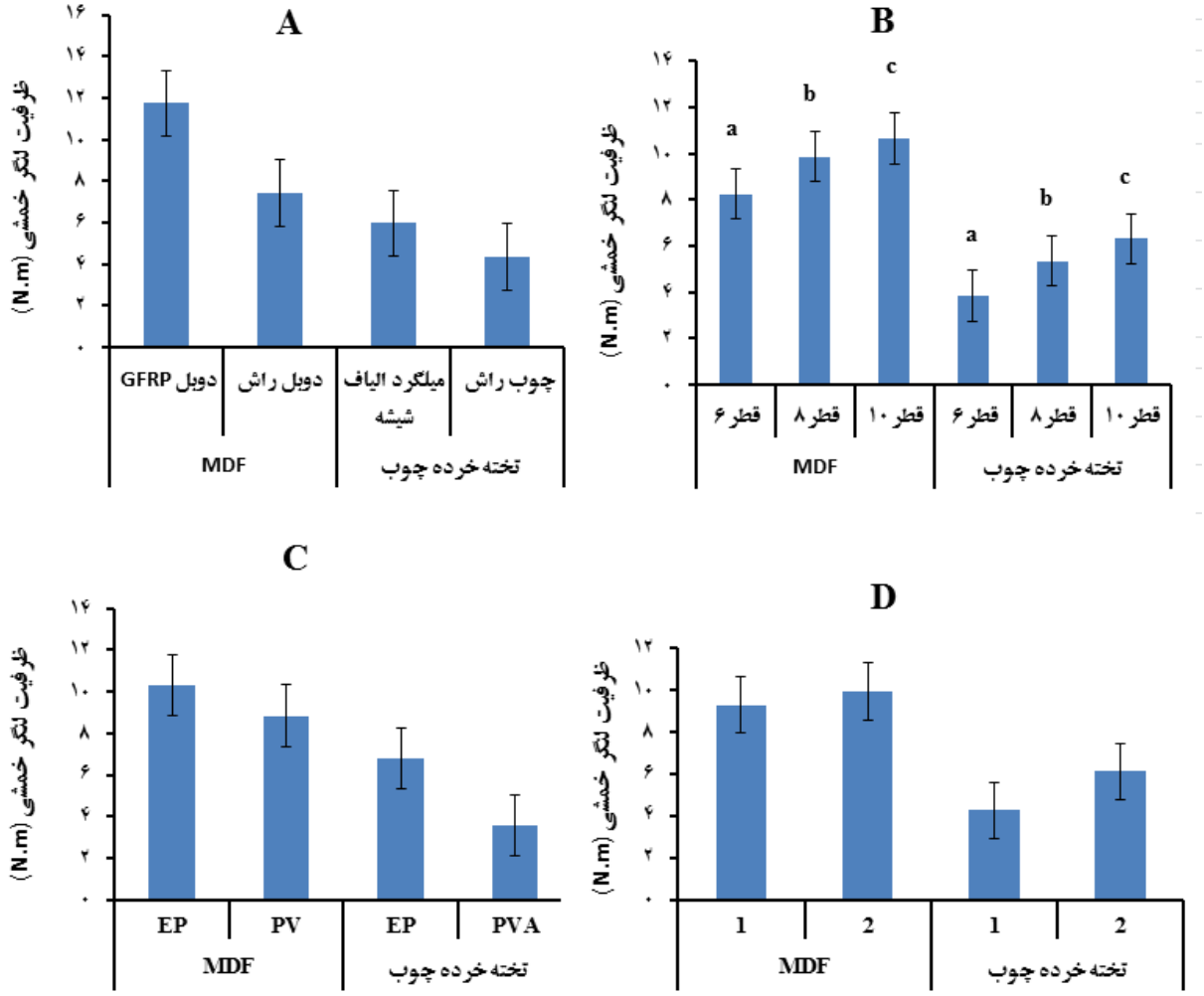
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ظرفیت لنگر خمشی قاب فارسی ساخته‌شده با تخته خرده چوب و MDF

جنس اعضای اتصال	منابع تغییرات	ظرفیت لنگر خمشی		
		درجه	میانگین مربعات	معنی‌داری
تخته خرده چوب	جنس پین	۱	۴۷/۵۷	۰/۰۰۰
	قطر پین	۲	۳۶/۷۸	۰/۰۰۰
	تعداد پین	۱	۱۶۴/۱۰	۰/۰۰۰
	نوع چسب	۱	۶۳/۰۳	۰/۰۰۰
	جنس پین×قطر پین	۲	۱۰/۸۳	۰/۰۰۰
	جنس پین×تعداد پین	۱	۲۵/۵۲	۰/۰۰۰
	جنس پین×نوع چسب	۱	۱/۸۱	۰/۰۱۹
	قطر پین×تعداد پین	۲	۲/۸۲	۰/۰۰۰
	قطر پین×نوع چسب	۲	۲/۱۶	۰/۰۰۲
	تعداد پین×نوع چسب	۱	۰/۳۵	۰/۲۸۹
	جنس پین×تعداد پین×قطر پین	۲	۲/۷۲	۰/۰۰۱
	جنس پین×قطر پین×نوع چسب	۲	۱/۹۳	۰/۰۰۴
	جنس پین×تعداد پین×نوع چسب	۱	۳/۶۴	۰/۰۰۱
	قطر پین×تعداد پین×نوع چسب	۲	۱/۳۴	۰/۰۱۸
	قطر پین×تعداد پین×نوع چسب×جنس پین	۲	۳/۳۹	۰/۰۰۰
MDF	جنس پین	۱	۳۳۵/۴۶	۰/۰۰۰
	قطر پین	۲	۳۶/۲۲	۰/۰۰۰
	تعداد پین	۱	۳۹/۷۶	۰/۰۰۰
	نوع چسب	۱	۷/۲۶	۰/۰۰۰
	جنس پین×قطر پین	۲	۱۶/۳۱	۰/۰۰۰
	جنس پین×تعداد پین	۱	۱۶/۵۹	۰/۰۰۰
	جنس پین×نوع چسب	۱	۲/۵۶	۰/۰۰۲
	قطر پین×تعداد پین	۲	۳/۰۵	۰/۰۰۰
	قطر پین×نوع چسب	۲	۰/۰۱	۰/۹۵۲
	تعداد پین×نوع چسب	۱	۰/۰۰	۰/۹۹۰
	جنس پین×تعداد پین×قطر پین	۲	۳/۹۹	۰/۰۰۰
	جنس پین×قطر پین×وع چسب	۲	۰/۰۴	۰/۸۴۳
	جنس پین×تعداد پین×نوع چسب	۱	۰/۰۰	۰/۹۹۲
	قطر پین×تعداد پین×نوع چسب	۲	۰/۰۵	۰/۸۰۳
	قطر پین×تعداد پین×نوع چسب×جنس پین	۲	۰/۰۸	۰/۷۲۲

۳-۱. تأثیر مستقل متغیرهای مورد مطالعه بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده از تخته خرده چوب و MDF زیر بار کشش قطری

شکل ۳، تأثیر مستقل جنس پین، تعداد پین، قطر پین و نوع چسب را بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده از تخته خرده چوب و MDF زیر بار کشش قطری نشان می‌دهد. مطابق شکل ۳-A مشخص است که با تغییر جنس پین از چوب راش به پین کامپوزیتی الیاف شیشه، ظرفیت لنگر خمشی کشش قطری اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF افزایش

می‌یابد و مطابق جدول آنالیز واریانس نیز این مقدار افزایش در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است. با تغییر جنس پین از چوب راش به پین کامپوزیتی الیاف شیشه، ظرفیت لنگر خمشی تحت بار کشش قطری به مقدار ۵۰ درصد برای اتصالات مربوط به تخته خرده چوب و ۷۱ درصد برای اتصالات مربوط به MDF افزایش می‌یابد.



شکل۳. تأثیر مستقل جنس پین (A)، قطر پین(B)، نوع چسب (C) و تعداد پین(D) را بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها ساخته شده از تخته خرده چوب و MDF زیر بار کشش قطری

ظرفیت و مقاومت کششی پین کامپوزیتی الیاف شیشه نسبت به چوب راش بسیار بالاتر است و همین امر باعث می‌شود که اتصالات ساخته شده با پین‌های کامپوزیتی الیاف شیشه مقاومت و تحمل تنش بالاتری از خود نشان دهند [۲۷-۲۵]. همچنین این نتایج بیانگر این است که پین‌های کامپوزیتی الیاف شیشه در اتصالات ساخته شده با MDF نسبت به اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب عملکرد بهتری دارند. دلیل این امر را می‌توان به بافت و فشردگی بهتر ورق‌های MDF (مقاومت بیشتر اعضای اتصال) نسبت داد و همچنین کیفیت چسبندگی به‌دلیل سطح یکنواخت، فشرده و صاف‌تر محیط اتصال در MDF نسبت به تخته خرده چوب بهتر است [۶، ۸]. با افزایش قطر پین از ۶ به ۸ و ۱۰میلی‌متر، مقدار ظرفیت لنگر خمشی به‌ترتیب ۳۸ و ۱۹ درصد برای اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و ۱۹ و ۸ درصد برای اتصالات ساخته شده با MDF افزایش می‌یابد (شکلB-۳). همچنین با تغییر نوع چسب (شکلC-۳) از چسب پلی‌ونیل استات به چسب اپوکسی، ظرفیت لنگر خمشی به‌ترتیب ۱۴ و ۴۷ درصد برای اتصالات ساخته شده با MDF و تخته خرده چوب افزایش را نشان می‌دهد. با افزایش تعداد پین (شکلD-۳) از یک به دو پین، ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF به‌ترتیب ۴۴ و ۹ درصد افزایش می‌یابد.

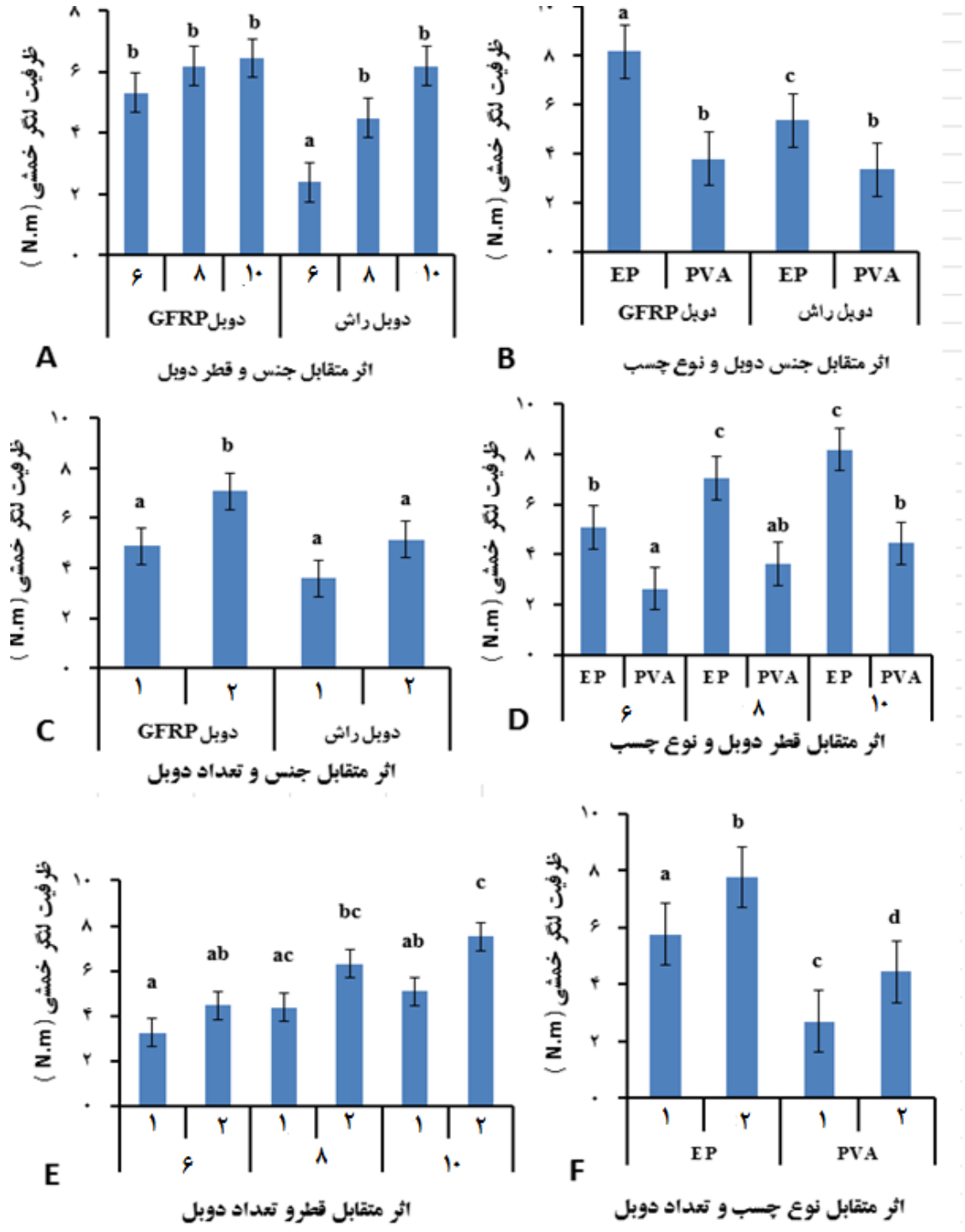
Malkocoglu و همکاران (۲۰۱۳)، Georgescu و همکاران (۲۰۱۹) و Rostampour Haftkhani و همکاران (۲۰۲۲) به‌ترتیب در مورد اثر قطر پین، تعداد پین و نوع چسب به نتایج مشابهی دست یافتند. به‌طور کلی و با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین تأثیرپذیری ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده با تخته خرده چوب وMDF زیر بار کشش قطری به‌ترتیب مربوط به جنس پین، قطر پین، نوع چسب و تعداد پین است [۱، ۷، ۱۱].

۳-۲. تأثیر متقابل متغیرهای مورد مطالعه بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده از تخته خرده چوب و MDF زیر بار کشش قطری

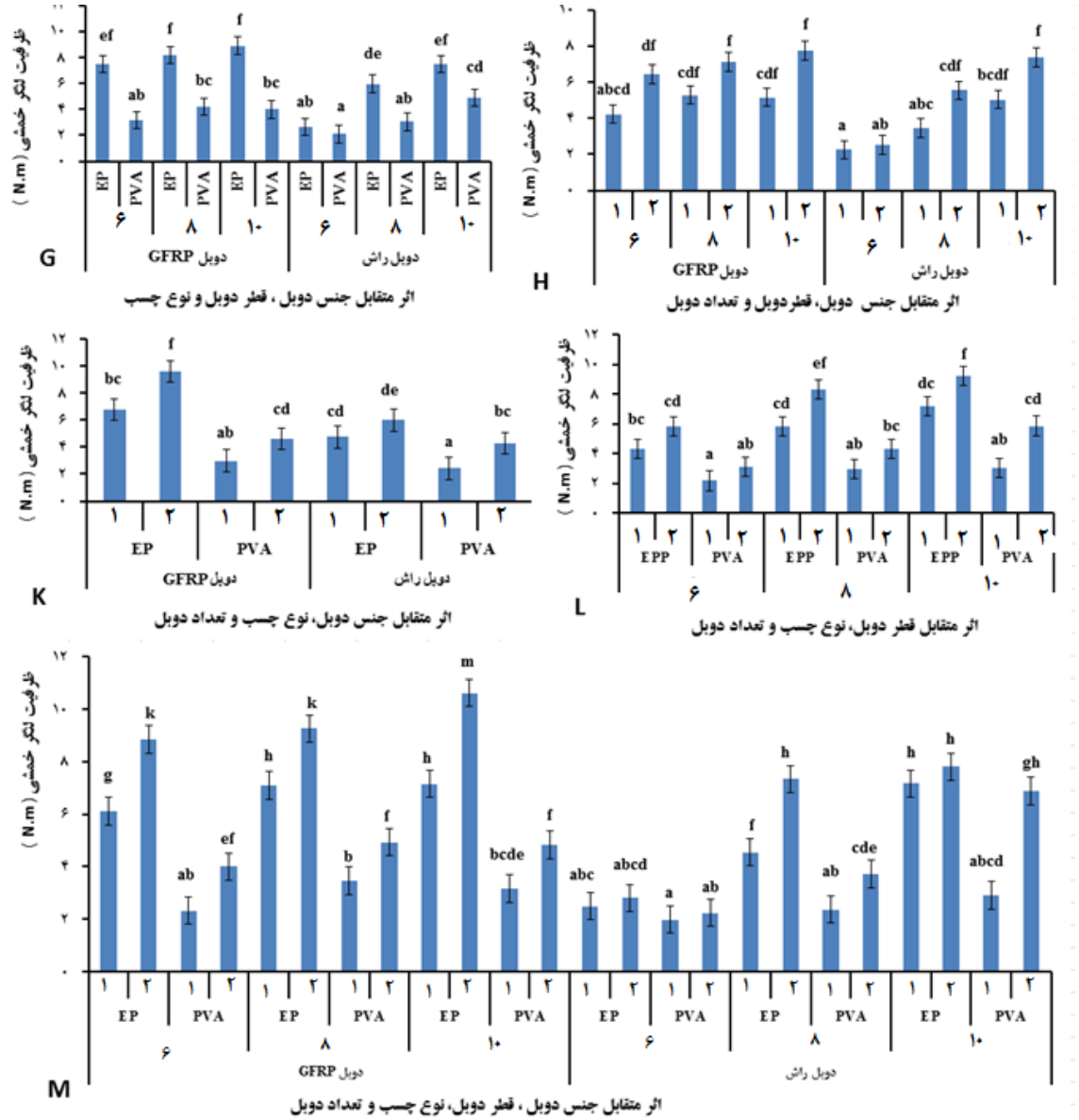
شکل A-۴ تا F-۴ تاثیر متقابل دو به دو، شکل G-۴ تا L-۴ تأثیر متقابل سه به سه و شکل M-۴ تأثیر متقابل تمام متغیرها را بر ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب تحت بار کشش قطری نشان می‌دهند. همچنین اثرات متقابل متغییرهایی که بر ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با MDF زیر بار کشش قطری معنی‌دار شده، در شکل A-۵ تا E-۵ نشان داده شده‌اند. شکل A-۴ و شکل A-۵ به‌ترتیب اثرات متقابل جنس و قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF را نشان می‌دهند. مطابق این دو شکل، استفاده از قطر بزرگتر و پین کامپوزیتی الیاف شیشه منجر به افزایش مقاومت اتصالات زیر بار کشش قطری می‌شود. به‌عنوان مثال وقتی که به‌جای پین چوبی با قطر ۶ میلی‌متر از پین کامپوزیتی با قطر ۶ میلی‌متر استفاده می‌شود، مقدار ظرفیت لنگر خمشی برای اتصال ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF به‌ترتیب ۱۴۴ و ۳۱ درصد افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از پین با قطر بزرگتر سبب افزایش مقدار ظرفیت لنگر خمشی می‌شود. اتصالات مربوط به تخته خرده چوب با پین راش و قطر ۶ میلی‌متر کمترین میزان میانگین ظرفیت لنگر خمشی را نشان دادند و اختلاف آنها با سایر اتصالات از لحاظ آماری معنی‌دار شد. ولی سایر اتصالات ساخته شده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفتند (A-۵). نتایج اثر متقابل جنس و قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با MDF نشان داد که اتصالات ساخته شده با پین کامپوزیتی با افزایش قطر افزایش یافته و اختلاف آنها با یکدیگر نیز از لحاظ آماری معنی‌دار است. اما اتصالات ساخته شده با پین راش لحاظ آماری معنی‌دار نشده و همه در یک گروه قرار گرفتند(A-۵).

اثرات متقابل جنس پین و نوع چسب برای اعضای اتصال تخته خرده چوب و MDF به‌ترتیب در شکل B-۴ و B-۵ نشان داده شده است. براساس شکل B-۵، اختلاف میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با پین کامپوزیتی الیاف شیشه و پین راش همراه چسب اپوکسی از لحاظ آماری معنی‌دار بوده و در دو گروه جداگانه قرار گرفتند ولی بین مقاومت اتصالات ساخته شده با دویل کامپوزیتی الیاف شیشه و پین راش همراه با چسب پلی‌ونیل استات تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. براساس شکل B-۵، تأثیر نوع چسب بر میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با پین معنی‌دار نشد اما با تغییر عامل اتصال‌دهنده به پین کامپوزیتی، بین ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با چسب اپوکسی و چسب پلی‌ونیل استات اختلاف معنی‌دار شد و این نوع اتصال در دو گروه متفاوت قرار گرفتند. در شکل C-۴ و C- ۵ به ترتیب اثر متقابل جنس و تعداد پین برای اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد پین و تغییر جنس پین از پین چوبی به پین کامپوزیتی الیاف شیشه ظرفیت لنگر خمشی اتصالات افزایش می‌یابد. به‌طوری که در اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و MDF بیشترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصالات ساخته شده با دو میلگرد کامپوزیتی الیاف شیشه است. همچنین در اتصالات ساخته شده با MDF، تأثیر جنس پین بر ظرفیت لنگر خمشی معنی‌دار شد در حالی‌که تأثیر تعداد پین معنی‌دار نشد. شکل D-۴ و D-۵ تأثیر متقابل قطر پین و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی اعضای اتصال تخته خرده چوب و MDF تحت بار کشش قطری را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که اختلاف بین ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با پین ۶ میلی‌متر و چسب اپوکسی با ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با پین ۱۰ میلی‌متر و با چسب پلی‌ونیل استات از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. همچنین بیشترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصال‌های ساخته شده با قطر ۸ و۱۰ میلی‌تر و چسب اپوکسی است و کمترین مقدار ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصال‌های ساخته شده با پین ۶ میلی‌متر و چسب پلی‌ونیل استات است. شکل E-۴، تأثیر متقابل قطر و تعداد پین بر ظرفیت لنگر خمشی اعضای اتصال تخته خرده چوب تحت بار کشش قطری را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، با افزایش قطر و تعداد پین ظرفیت لنگر خمشی افزایش می‌یابد، به‌طوری که بیشترین

ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصالات ساخته شده با دو پین و با قطر ۱۰ میلی‌متر است و کمترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصالات ساخته شده با یک پین و قطر ۶ میلی‌متر است. اثر متقابل قطر و تعداد پین در اتصالات ساخته شده با MDF از لحاظ آماری در سطح اعتماد ۵۹ درصد معنی‌دار نشد. شکل F-۴ ، تأثیر متقابل تعداد پین و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی اعضای اتصال تخته خرده چوب را تحت بار کشش قطری را نشان می‌دهد. به‌ترتیب بیشترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصالات ساخته شده با چسب اپوکسی و دو پین،چسب اپوکسی و یک پین،چسب پلی‌وینیل استات و دو دویل و چسب پلی‌وینیل استات و یک پین بود، طوری که اختلاف بین هر یک از اتصالات ساخته شده نیز معنی‌دار شد. اثر متقابل تعداد پین و نوع چسب در اتصالات ساخته شده با MDF از لحاظ آماری در سطح اعتماد ۵۹ درصد معنی‌دار نشد.



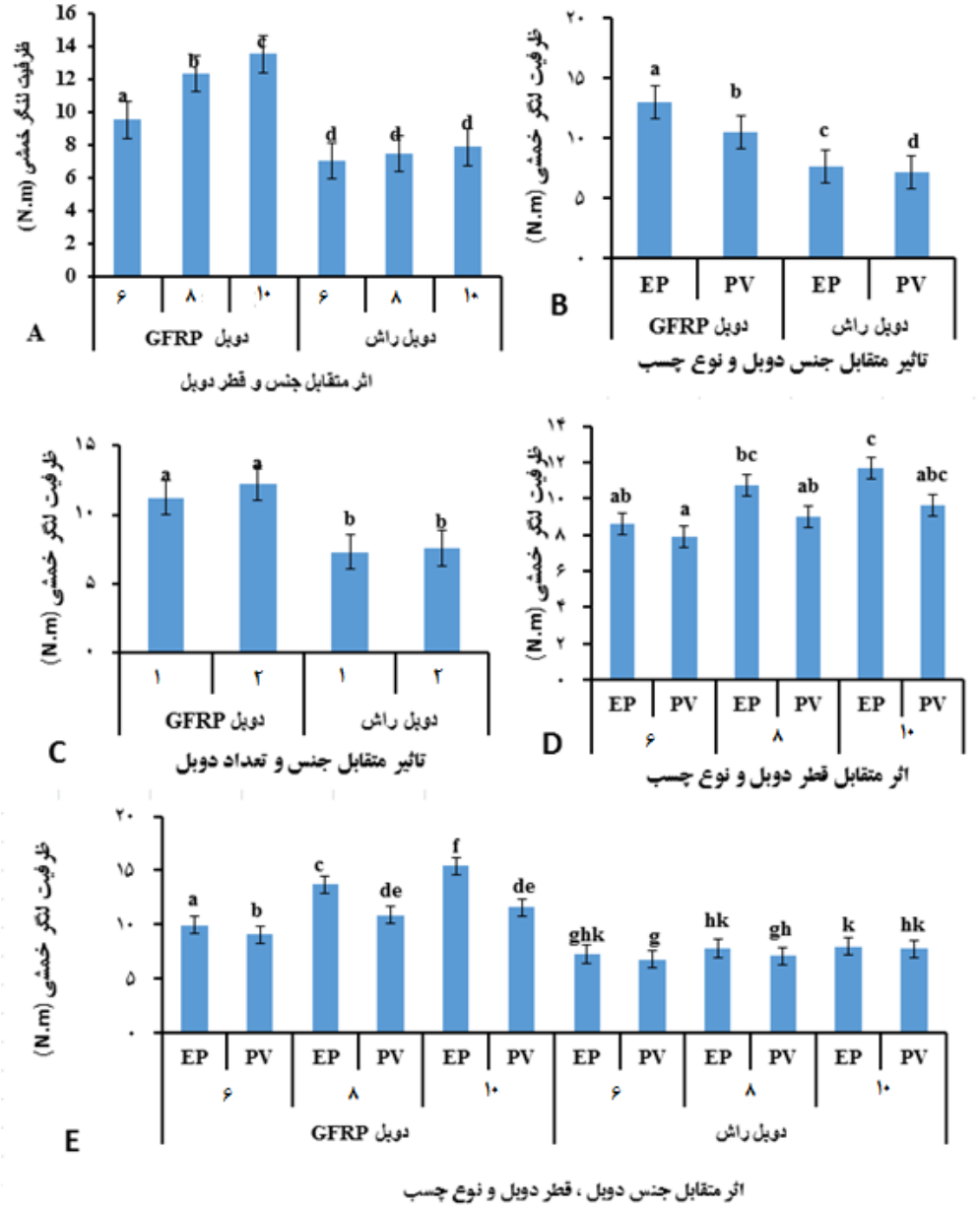
شکل٤. اثرات متقابل جنس، قطر، تعداد و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی قاب فارسی ساخته شده با تخته خرده چوب



ادامه شکل ٤.

بررسی اثر متقابل جنس پین، قطر پین و نوع چسب در اتصالات ساخته شده با MDF و تخته خرده چوب نشان داد که با تغییر عامل اتصال‌دهنده به پین کامپوزیتی الیاف شیشه و افزایش قطر آن و همچنین استفاده از چسب اپوکسی ظرفیت لنگر خمشی اتصالات تحت بار کشش قطری افزایش می‌یابد، به‌طوری که بیشترین طرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصالات ساخته شده با میلگرد کامپوزیتی با قطر ۱۰ میلی‌متر و چسب اپوکسی و کمترین آن مربوط به اتصالات ساخته شده با پین چوبی با قطر۶ میلی متر و چسب پلی‌ونیل استات است و اختلاف بین آنها نیز از لحاظ آماری معنی‌دار است (شکلG–۴ و E–۵). اثر متقابل جنس، قطر و تعداد پین نشان داد که اختلاف میانگین ظرفیت لنگر خمشی بین اتصالات ساخته شده با دو پین میلگرد کامپوزیتی ۶ میلی‌متر و اتصالات ساخته شده با دو پین چوبی ۱۰ میلی متر در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار نیست (شکل H–۴). اثر متقابل جنس پین، نوع چسب و تعداد پین در شکل K–۴ نشان می‌دهد که از لحاظ آماری، ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب تحت بار کششی قطری با یک و دو پین کامپوزیتی الیاف شیشه با چسب اپوکسی با یکدیگر و با سایر

اتصالات معنی‌دار است. اثر متقابل قطر پین، نوع چسب و تعداد پین در شکل L–۴ نشان داده شده است. نتایج این شکل نیز بیانگر این مطلب است که افزایش قطر و تعداد پین به‌همراه چسب اپوکسی منجر به افزایش لنگر ظرفیت خمشی اتصالات می‌گردد. میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده با قطر ۸ و ۱۰ میلی‌متر به‌همراه چسب اپوکسی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما با میانگین ظرفیت لنگر خمشی سایر اتصال‌های ساخته شده اختلاف معنی‌داری داشتند.



شکل ۵. اثرات متقابل جنس، قطر، تعداد و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی قاب فارسی ساخته شده باMDF

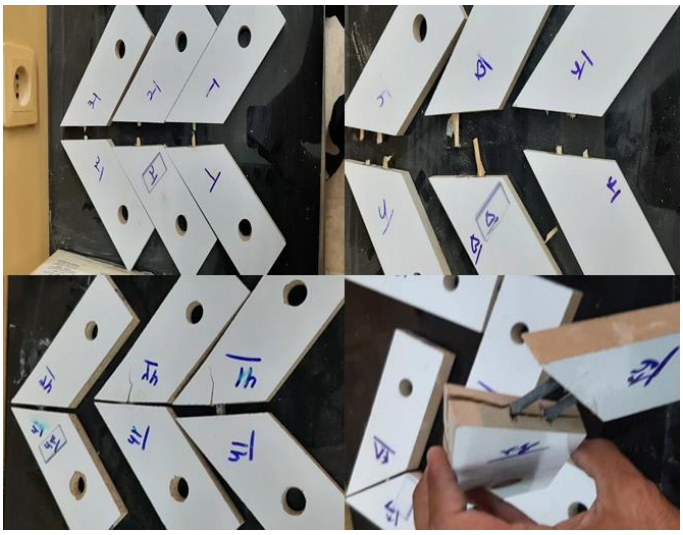
اثر متقابل جنس پین×قطر پین×تعداد پین×نوع چسب در اتصال‌های ساخته شده با تخته خرده چوب نشان داد که اتصال‌های ساخته شده با یک میلگرد کامپوزیتی ۶ میلی‌متر و چسب اپوکسی با اتصال‌های ساخته شده با دو پین چوبی ۱۰ میلی‌متر و چسب پلی‌ونیل استات اختلاف معنی‌داری ندارند. همچنین اتصال‌های ساخته شده با دو پین کامپوزیتی ۶ میلی‌متر و چسب اپوکسی از اتصال‌های ساخته شده با دو پین راش و چسب اپوکسی و چسب پلی‌ونیل استات، مقاومت بیشتری تحت بار کشش قطری از خود نشان دادند (شکلM–۴). باتوجه نتایج مطالعات Vodiannikov و Kashevarova (۲۰۱۷)، Toumpanaki و Ramage (۲۰۱۹)،

De Almeida و Melo Moura (۲۰۲۰)، He و همکاران (۲۰۲۱) Zhang و همکاران (۲۰۲۳) و نظر به اینکه استحکام کششی پین کامپوزیتی الیاف شیشه در مقایسه با پین‌های فولادی و چوبی بیشتر است و همچنین قیمت پین تمام شده پین کامپوزیتی الیاف شیشه نسبت به قیمت تمام شده مبلمان ناچیز است. می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پین کامپوزیتی الیاف شیشه در ساخت و مونتاژ مبلمان می‌تواند مفید واقع شود [۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۶، ۲۷].

۳-۳. مد شکست

شکل‌های ۶ و ۷ الگو شکست در اتصالات ساخته شده از تخته خرده چوب و MDF تحت بار کشش قطری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این دو شکل مشخص است، در اتصالات ساخته شده با یک پین راش، شکست در اتصال‌دهنده مشاهده می‌شود و با تغییر جنس پین به پین کامپوزیتی الیاف شیشه، شکست در اعضای اتصال اتفاق می‌افتد. در اتصالات ساخته شده با دو پین، بسته به جنس اعضای اتصال، الگوی شکست متفاوت است به‌طوری که در اتصالات ساخته از MDF وقتی از دو پین راش استفاده می‌شود، جزء اتصال‌دهندهٔ عامل شکست اتصال به‌شمار می‌آید و با تغییر جنس اتصال‌دهنده به پین کامپوزیتی الیاف شیشه، شکست در اعضای اتصال مشاهده می‌شود، اما در اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب و دو دویل، جنس پین تأثیری بر الگوی شکست ندارد و شکست در اعضای اتصال مشاهده می‌شود.

شکل ٦. مد شکست در نمونه‌های ساخته شده با تخته خرده چوب



شکل ۷. مد شکست در نمونه‌های ساخته شده با MDF

۴. نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف یافتن راهکاری مناسب برای افزایش مقاومت اتصال فارسی قاب مبلمان با استفاده از پین‌های کامپوزیتی و جایگزینی آن با پین‌های چوبی با تمرکز بر کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی انجام شد و نتایج آن به‌طور خلاصه در موارد زیر بیان می‌شود:

۱- ظرفیت لنگر خمشی اتصال گوشه‌ای قاب مبلمان زیر بار کششی قطری با افزایش تعداد پین، قطر پین و نوع چسب افزایش یافت.

۲- جنس پین، بیشترین تأثیر را در افزایش مقاومت اتصال قاب مبلمان داشت، به‌طوری که ظرفیت لنگر خمشی پین کامپوزیتی ۶ میلی‌متر به‌ترتیب برابر و بیشتر از ظرفیت لنگر خمشی پین چوبی ۱۰ میلی‌متر در اتصالات ساخته شده با تخته خرده چوب وMDF بود.

۳- نتایج مربوط به اتصال‌های ساخته شده نشان داد که تأثیر قطر پین از تعداد پین بیشتر است. همچنین چسب اپوکسی نسبت به چسب پلی‌ونیل استات کیفیت چسبندگی و مقاومت اتصال بیشتری را به‌ویژه در اتصالات ساخته شده با MDF را فراهم می‌کند.

۴- با استفاده از پین‌های GFRP و با حداقل قطر و تعداد پین، می‌توان حداقل استاندارد لازم برای ظرفیت لنگر خمشی اتصالات فارسی قاب مبلمان را به‌دست آورد.

۵- در حال حاضر در کشور کارخانه‌های تولیدی بسیاری در تولید میلگرد FRP فعالیت می‌کنند. در واقع، تولید این محصول در داخل کشور تقریباً بومی شده و در شهرهای متعددی نیز به تولید انبوه رسیده است. بنابراین قیمت میلگرد کامپوزیتی با افزایش تولید، از روند عرضه و تقاضا پیروی خواهد کرد، و هزینهٔ استفاده از پین کامپوزیتی به‌جای پین چوبی در سازه‌چوبی نسبت به قیمت تمام شده نهایی یک سازه چوبی مثل مبلمان، بسیار ناچیز خواهد بود.

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که امکان استفاده از پین کامپوزیتی به‌عنوان جایگزین پین راش و به‌عنوان یک پین مقاوم برای ساخت اتصال گوشه‌ای قاب مبلمان وجود دارد اما اظهار نظر قطعی در این مورد، نیازمند مطالعهٔ بیشتر و جامع‌تری در مورد دوام اتصال در دراز مدت و در شرایط محیطی مختلف است.

۵. منابع

[1] Malkocoglu, A., Yerlikaya, N.Ç. & Cakiroglu, F.L. (2013). Effects of number and distance between dowels of ready-to-assemble furniture on bending moment resistance of corner joints. *Wood Researc*h, 58(4), 671-680.

[2] Demirci, S., Diler, H., Kasal, A., & ERDİL, Y. (2020). Bending moment resistances of L-shaped furniture frame joints under tension and compression loadings. *Wood Research*, 65(6), 248-261.

[3] Kazemi Najafi, S., Maleki, S., Ebrahimi, G., & Ghofrani, M. (2017). Determination of withdrawal resistance of staple joints constructed with various members of upholstered furniture. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(1), 95-108.

[4] Rostampour Haftkhani, A., Hajializadeh, F., & Arabi, M. (2022). The effect of spline material, adhesive type, and screw on bending moment capacity of the mitered frame corner joints made of medium-density fiberboard (MDF) under diagonal tension. *Forest and Wood Products*, 75(2), 169-184.

[5] Uysal, M., & Haviarova, E. (2021). Evaluating design of mortise and tenon furniture joints under bending loads by lower tolerance limits. *Wood and Fiber Science*, 53(2), 78-86.

[6] Chen, M., & Lyu, J. (2018). Properties of double dowel joints constructed of Medium Density Fiberboard. Maderas. *Ciencia y tecnología*, 20(3), 369-380.

[7] Georgescu, S., Varodi, A. M., Racasan, S., and Bedelean, B. (2019). Effect of the dowel length, dowel diameter, and adhesive consumption on bending moment capacity of heat-treated wood dowel joints. *Bio Resource*, 14(3), 6619-6632.

[8] Ghofrani, M., & Nori, H. (2009). Lateral holding strength of wooden dowel, screw and ready-to-assemble joints (RTA joints) constructed of Medium Density Fiberboard (MDF). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 24(2), 219-231.

[9] Han, L., Kutnar, A., Sandak, J., Šušteršič, I., & Sandberg, D. (2023). Adhesive-and metal-free assembly techniques for prefabricated multi-layer engineered wood products: A review on wooden connectors. *Forests*, 14(2), 311-319.

[10] Salari, A., Faezipour, M., Karimi, A., Jonoobi, M., & Moradpour, P. (2018). Investigation of the effect of modified poly vinyl acetate on the stress carrying capacity of corner joints in the wood members joined with dowel. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 9(3), 323-336.

[11] Rostampour-Haftkhani, A., Sharari, M., Arabi, M., & Hajializadeh, F. (2022). Improvement of the bending moment capacity of mitered MDF frame under diagonal tension by using of the densified poplar dowel. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 12(4), 561-573.

[12] Schober, K.U., Harte, A.M., Kliger, R., Jockwer, R., Xu, Q., & Chen, J. F. (2015). FRP reinforcement of timber structures. *Construction and Building Materials*, 97(4), 106-118.

[13] Kasal, B., & Yan, L. (2021). Fiber-reinforced polymers as reinforcement for timber structural elements. In Reinforcement of Timber Elements in Existing Structures: State-of-the-Art Report of the RILEM TC 245-RTE pp. 51-78. Cham: Springer International Publishing.

[14] Kılınçarslan, Ş., & Türker, Y.Ş. (2022). Strengthening of solid beam with fiber reinforced polymers. *Turkish Journal of Engineering*, 7(3), 166-171.

[15] Jian, B., Cheng, K., Li, H., Ashraf, M., Zheng, X., Dauletbek, A., ... & Zhou, K. (2022). A review on strengthening of timber beams using fiber reinforced polymers. *Journal of Renewable Materials*, 10(8), 2073-2098.

[16] Yerlikaya, N.C. (2013). Failure load of corner joints, which are reinforced with glass-fiber fabric in case-type furniture. *Scientific Research and Essays*, 8(8), 325-339.

[17] Nurdan, C.Y. (2013). Failure load of corner joints, which are reinforced with glass-fiber fabric in case-type furniture. *Scientific Research and Essays*, 8(8), 325-339.

[18] Yıldırım, M. N., Tor, Ö., & Karaman, A. (2018). The bending moment resistance of corner joints reinforced with glass fiber polymer. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(3): 350-356.

[19] Zor, M., & Kartal, M. E. (2020). Finite element modeling of fiber reinforced polymer-based wood composites used in furniture construction considering semi-rigid connections. *Drvna Industrija*, 71(4), 339-345.

[20] Karaman, A., & Yıldırım, M. N. (2021). Effects of wood species of the dowels and fiber woven fabric types on bending moment resistance of l-shaped joints. *Wood Industry and Engineering*, 3(2), 12-22.

[21] Dalvand, M., Ebrahimi, G., & Pourtahmasi, K. (2022). Reinforcement of joints between LVL members with GFRP and finite element analysis. *Drvna industrija*, 73(1), 47-57.

[22] Toumpanaki, E., & Ramage, M. (2019). Bond performance of glued-in CFRP and GFRP rods in timber. In International Network on Timber Engineering Research: Meeting, 51, 177-194. Timber Scientific Publishing.

[23] He, Z. W., Chen, C. Q., Shan, B., & Xiao, Y. (2021). Pull-out behavior of CFRP bars in glued-in glubam joints. *Journal of Composites for Construction*, 25(4), 04021036.

[24] Zhang, H., Li, H., Dauletbek, A., Lorenzo, R., Corbi, I., & Corbi, O. (2023). Research status of glued-in rods connections in wood structures. *Journal of Building Engineering*, 65(1), 105782.

[25] Saribiyik, M., & Akgül, T. (2010). GFRP bar element to strengthen timber connection systems. *Scientific Research and Essays*, 5(13), 1713-1719.

[26] De Almeida, A.C., & de Melo Moura, J.D. (2022). Mechanical behavior of GFRP dowel connections to cross laminated timber-CLT panels. *Forests*, 13(2), 320-328.

[27] Vodiannikov, M.A., & Kashevarova, G.G. (2017). Analysis of wood structure connections using cylindrical steel and carbon fiber dowel pins. In IOP conference series: *Materials Science and Engineering*, 25(1), 12031.