بهبود ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های فارسی قاب ساخته‌شده با MDF تحت بار کشش قطری با استفاده از پین فشرده صنوبر

اکبر رستم پور هفتخوانی[۱]
معراج شرری[۱*]
محمد عربی[۲]
فرج‌اله حاجی علیزاده[۳]

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

[۲] استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، 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: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی تقویت اتصال فارسی قاب‌های مبلمان با استفاده از پین فشرده صنوبر (*Populus alba*) به جای پین راش است. ازاین‌رو، تأثیر تعداد پین چوبی مورداستفاده (یک و دو)، قطر پین چوبی (۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر) و درصد فشردگی پین صنوبر (صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد) بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های گوشه‌ای L شکل ساخته‌شده از تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) زیر بار کشش قطری مورد بررسی قرار گرفت. سپس ظرفیت لنگر خمشی آنها با اتصال‌های ساخته‌شده با پین چوب راش مورد مقایسه قرار گرفت. برای چسباندن اتصال‌ها از چسب پلی وینیل استات استفاده شد. بارگذاری کشش قطری روی اتصال‌ها با دستگاه Hounsfield مدل 0308 با سرعت ۵ mm/min انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد پین، قطر پین و درصد فشردگی میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال به ترتیب ۱۰۵/۵، ۵۴/۳ و ۲۸/۷۵ درصد افزایش‌یافته است، که ازنظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصال ساخته‌شده با دو عدد پین با قطر ۱۰ میلیمتر با ۳۰ درصد فشردگی (۴۳/۱۲ N.m) و کمترین آن مربوط به اتصال ساخته‌شده با یک پین با قطر ۸ میلیمتر بدون فشردگی (۱۱/۰۳ N.m) دیده‌شده است. مقایسه اتصال‌های ساخته‌شده با پین فشرده صنوبر با پین راش نشان داد که ظرفیت لنگر اتصال‌های ساخته‌شده با پین‌های صنوبر با ۳۰ درصد فشردگی نسبت به پین‌های راش اختلاف ناچیزی داشتند (کمتر از یک درصد)، که بیانگر قابلیت استفاده از پین فشرده صنوبر به جای پین راش است.

واژگان کلیدی: اتصال گوشه‌ای، قاب MDF، پین فشرده صنوبر، ظرفیت لنگر خمشی.

مقدمه

درب کابینت‌ها یکی از اجزای مهمی هستند که لازم است در کنار نمای زیبا مقاومت خوبی داشته باشند. یکی از انواع درب‌های کابینت که برای ساخت آن از قاب استفاده می‌شود، درب‌های شیشه‌ای هستند که در کابینت آشپزخانه و کابینت‌های آزمایشگاهی رایج هستند. قاب درب کابینت‌ها با اتصال سر به سر یا فارسی ساخته می‌شوند که تحقیقات نشان داده‌اند که اتصال فارسی مقاومت بیشتری نسبت به اتصال سر به سر دارد [۲،۱]. یکی از اتصال‌های پرکاربرد برای تأمین استحکام قاب درب کابینت، اتصال فارسی است که با پین، بیسکویت و قلیف چوبی یا دم چلچله پلاستیکی به همراه چسب به هم

متصل می‌شوند. به دلیل سهولت ساخت، مخفی بودن، مقاومت بالا، بیشتر از پین برای ساخت اتصال‌های گوشه‌ای قاب درب استفاده می‌شود [۳، ۴]. جنس پین‌هایی که برای ساخت اتصالات استفاده می‌شوند، بیشتر از راش و ممرز است، که دلیل استفاده از آنها، به دانسیته و مقاومت بیشتر آنها نسبت داده می‌شود [۵]. تحقیقات مختلفی درباره کاربرد پین در اتصال گوشه‌ای مبلمان صفحه‌ای انجام‌شده‌اند و پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت مکانیکی آنها را بررسی کرده‌اند. مطالعه تأثیر نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های گوشه‌ای قاب ساخته‌شده با دم‌چلچه پلاستیکی نشان داده است که نمونه‌های ساخته‌شده با چسب پلی وینیل استات در فشار قطری و همچنین نمونه‌های ساخته‌شده با چسب سیانوآکریلات در کشش قطری بیشترین مقاومت را از خود نشان داده‌اند [۶]. در یک مطالعه موردی با پیش‌بینی لنگر خمشی اتصال T شکل با پین چوبی در MDF مشخص شد که بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی در اتصال‌های با قطر ۸ میلیمتر و طول نفوذ ۱۲ میلی‌متر در اعضای اتصال ایجاد می‌شود [۷]. تحقیقات نشان داده است که قطر، عمق نفوذ و گونه چوبی پین تأثیر چشمگیری بر میزان ظرفیت لنگر خمشی اتصالات گوشه‌ای زیر بار کششی دارند، طوری که مشاهده‌شده است که با افزایش قطر پین از ۶ به ۸ میلیمتر و افزایش عمق نفوذ پین از ۹ به ۱۳ میلیمتر مقدار آن افزایش یافت، اما اختلاف معنی‌داری بین قطر پین ۸ و ۱۰ میلیمتر و عمق نفوذ ۱۳ و ۱۷ میلیمتر مشاهده نشد [۸]. بررسی توان نگهداری و لنگر خمشی اتصال گوشه‌ای با پین چوبی در MDF نشان داده است که بیشترین توان نگهداری مربوط به پین‌های با قطر ۱۰ میلیمتر با فاصله ۶۴ میلیمتر بین پین‌ها و آزادی ۲/ ۰ میلیمتر و همچنین بیشترین لنگر خمشی مربوط به پین‌های با قطر۱۰ میلیمتر با فاصله ۴۸ میلیمتر بین پین‌ها و آزادی ۰/۱ بود [۹]. بررسی اتصال گوشه‌ای قاب MDF و تخته خرده چوب با پین، دم چلچله و قلیف تخته چندلا نشان داده است که اتصال پین چوبی دوتایی و پین پلاستیکی H شکل به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت را از خود نشان داده است. علاوه بر این، در این تحقیق مشاهده‌شده است که مقاومت اتصالات در فشار قطری ۲۲ درصد بیشتر از کشش قطری است [۱۰]. ممرز و راش از گونه‌هایی هستند که برای ساخت انواع پین چوبی استفاده می‌شوند، اما این گونه‌های جنگلی کمیاب، گران و با ارزش‌تر از آن هستند که برای تهیه پین چوبی از آنها استفاده شود. صنوبر یکی از چوب‌هایی است که در سال‌های اخیر به دلیل قیمت پایین و در دسترس بودن آن برای ساخت پین به‌کاررفته است، اما صنوبرها به دلیل دانسیته کمتر نسبت به چوب راش و ممرز مقاومت کمتری دارند. تحقیقات مختلفی برای افزایش مقاومت چوب‌های سبک انجام‌شده‌اند. با توجه به اینکه چوب ماده‌ای متخلخل است، یکی از روش‌های مهم اصلاح و تقویت خواص مکانیکی آن فشرده‌سازی است که با افزایش دانسیته نیز همراه است. بررسی تأثیر فشرده‌سازی چوب پالونیای تیمار شده بر خواص مکانیکی نشان داده است که با افزایش فشرده‌سازی دانسیته و مقاومت‌های مکانیکی و همین‌طور شاخص‌های دانسیته و مقاومت به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند [۱۱]. بررسی تأثیر فشرده‌سازی پالونیای اشباع شده با رزین فنل‌فرمآلدئید بر ویژگی‌های مکانیکی چوب نشان داده است که مقاومت به فشار موازی الیاف، مدول گسیختگی و مدول کشسانی (الاستیسیته) با فشرده کردن چوب افزایش می‌یابد، طوری که بیشترین خواص مکانیکی در نمونه‌های اشباع شده با فنل‌فرمآلدئید در جهت شعاعی با درصد فشردگی ۵۰ مشاهده‌شده است، زیرا سبب فشردگی چوب بهاره می‌شود [۱۲]. در تحقیقی بررسی تأثیر اصلاح گرم آبی-مکانیکی بر ثبات ابعاد و جذب رطوبت چوب فشرده صنوبر نشان داد که با فشرده کردن چوب دانسیته و سپس مقاومت‌های مکانیکی آن افزایش می‌یابد. در این تحقیق برای کاهش بازگشت فنری ناشی از فشردگی چوب روی آن تیمارگرمابی انجام شد و مشاهده شد که بازگشت فنری و جذب رطوبت با افزایش دمای تیمار گرم آبی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش دمای پرس سبب کاهش جذب رطوبت می‌شود و با افزایش دمای تیمار و دمای پرس واکشیدگی شعاعی به مقدار چشمگیری کاهش می‌یابد [۱۳]. بررسی تأثیر فشرده‌سازی بر خواص کاربردی چوب صنوبر اصلاح‌شده به روش‌های شیمیایی و گرمایی نشان داده است که دانسیته چوب اصلاح گرمایی و شیمیایی شده با افزایش فشردگی

تا ۱۳ درصد افزایش می‌یابد. در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش فشردگی خواص مکانیکی بیش از ۲۵ درصد افزایش یافت، طوری که این افزایش در نمونه‌های اصلاح گرمایی شده محسوس‌تر بود [۱۴]. در تحقیقی دیگر نیز مشاهده‌شده است که پیش تیمار قلیایی و اشباع سطحی چوب متراکم شده صنوبر سبب می‌شود که بازگشت فشردگی چوب لیگنین زدایی شده تا حد زیادی کاهش یابد [۱۵].

تحقیقات ارزشمندی درباره تأثیر فشرده‌سازی بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب و همچنین کاهش مشکل بازگشت فشردگی با روش‌های اصلاحی انجام‌شده است. اما تحقیق روی کاربرد چوب فشرده برای ساخت مبلمان اندک است. یکی از تحقیقات در این زمینه نشان داده است که توان نگهداری پین فشرده پالونیا بیشتر از صنوبر فشرده و ممرز است، اما ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین‌های ممرز بیشتر بوده است [۱۶]. در این تحقیق درصد فشردگی برای پین فقط ۳۰ درصد در نظر گرفته‌شده بود و کاربرد آن روی اتصالات چوب راش بررسی‌شده است. ازآنجایی‌که با فشردگی چوب‌های سبک می‌توان به مقاومت خوبی دست‌یافت، در تحقیق حاضر تأثیر درصدهای مختلف فشردگی چوب صنوبر برای ساخت پین و کاربرد آن به‌عنوان جایگزین پین راش برای ساخت اتصال گوشه‌ای قاب MDF مورد بررسی قرار گرفت. ازاین‌رو، مقاومت آن با اتصال‌های ساخته‌شده با پین راش نیز مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

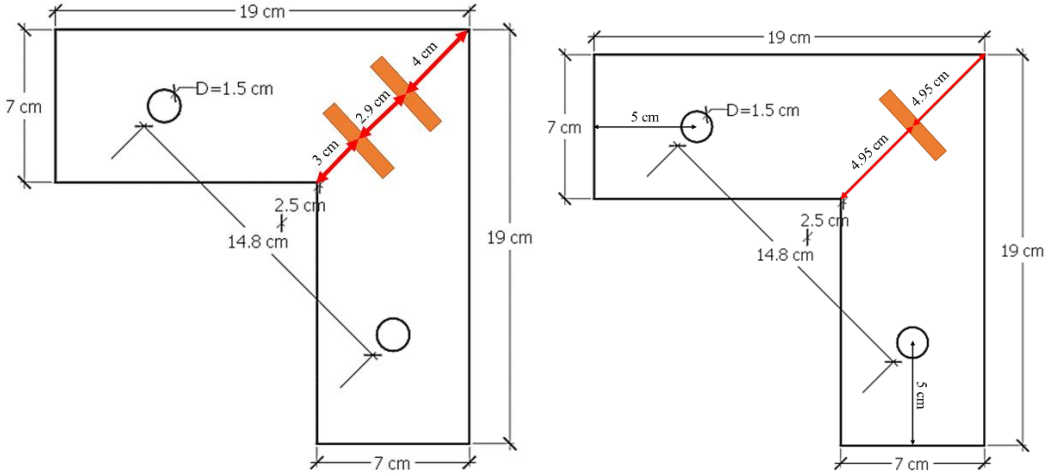
برای ساخت اتصال از ورق MDF با روکش ملامینه با ضخامت ۱۶ میلیمتر استفاده شد. ورق MDF با ابعاد ۷×۲۰ سانتیمتر (طول و پهنا) بریده شد و سپس مطابق شکل ۱ با زاویه ۴۵ درجه فارسی بری شدند. برای ساخت اتصال از پین صنوبر (*Populus alba*) استفاده شد. در این مطالعه میزان فشردگی صنوبر برای ساخت پین مورد بررسی قرار گرفت. ازآنجایی‌که فشردگی در جهت شعاعی به دلیل فشردگی چوب بهاره سبب افزایش بیشتر مقاومت‌های مکانیکی می‌شود، تخته‌هایی مماسی از چوب صنوبر در جهت شعاعی با پرس با فشاری معادل ۱۰ MPa به مدت ۱۵ دقیقه به میزان ۱۵ و ۳۰ درصد ضخامت اولیه فشرده شدند. ضخامت اولیه تخته‌های مورداستفاده برای ساخت دوبل ۱۹ میلیمتر بود که بعد از ۱۵ و ۳۰ درصد فشرده‌سازی به ترتیب به ۱۶ و ۱۳ میلیمتر رسید. سپس از تخته‌های فشرده‌شده و فشرده نشده صنوبر، و همچنین از تخته‌های راش (برای مقایسه پین راش با صنوبر) پین-های مورداستفاده در این مطالعه تهیه شدند. سپس از پین‌های تهیه‌شده برای ساخت اتصال MDF استفاده شد. بعد از سوراخ زنی، برای چسباندن اعضای اتصال با پین‌ها از چسب پلی وینیل استات با درصد مواد جامد ۶۰ درصد استفاده شد. برای اینکه چسبندگی فقط در سطح اتکای پین با MDF ایجاد شود و سطوح دیگر به هم نچسبد، قبل از چسب‌زنی لایه‌ای از پلاستیک بین سطوح فارسی شده اتصال قرار گرفت. سپس برای گیرایی کامل چسب، اتصال‌ها مدتی توسط گیره تحت فشار قرار گرفتند. طول پین‌ها ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. برای اعمال تنش کششی به نمونه‌ها، بر روی آن از فاصله ۵ سانتیمتری به سمت گوشه بیرونی سوراخی به قطر ۱۵ میلیمتر ایجاد شد تا به‌صورتی که در شکل یک نمایش داده شده است، تحت بار کششی قرار گیرد. سپس ظرفیت لنگر خمشی نمونه‌ها با رابطه زیر محاسبه شد.

$$M= P\times L \qquad (1)$$

که در آن M ظرفیت لنگر خمشی (N.m)، P حداکثر نیروی کششی اتصال (N) و L طول بازوی کششی (m) است که در این نوع اتصال ۰/۰۲۵ m در نظر گرفته شد.

بارگذاری کششی توسط دستگاه آزمایش Hounsfield مدل 0308 با ظرفیت ۲۵KN انجام شد. سرعت بارگذاری ۵ mm/min در نظر گرفته شد. متغیرهای مورد مطالعه شامل درصد فشردگی پین (صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد)، قطر پین (۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر) و تعداد پین (یک و دو عدد پین) بودند و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. درنتیجه در مجموع ۵۴ نمونه در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمون فاکتوریل در سطح اعتماد ۹۵ درصد ازنظر آماری تحلیل شدند. برای مقایسه، اتصال‌هایی با یک و دو عدد پین راش با قطرهای ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر

ساخته شدند و با اتصال‌های متصل شده با پین صنوبر مقایسه شدند. برای این اتصال‌ها نیز ۳ تکرار در نظر گرفته شد. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.



الف: اتصال با یک پین ب: اتصال با دو پین

ج: نمونه زیر بار کششی قطری

شکل ۱- ابعاد نمونه مورداستفاده برای آزمون کشش قطری

نتایج و بحث

میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های مورداستفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه‌شده است. مشاهده می‌شود که کمترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به اتصال‌های ساخته‌شده با یک پین فشرده نشده صنوبر با قطر ۸ میلیمتر و بیشترین آن مربوط به اتصال‌های با دو پین با فشردگی ۱۵ درصد و قطر ۱۰ میلیمتر است.

جدول ۱- میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین صنوبر با تعداد، قطر و درصد فشردگی مختلف

تعداد پین	قطر پین (میلیمتر)	درصد فشردگی	ظرفیت لنگر خمشی (N.m)
۱	۸	صفر	۱۱/۰۳(۱/۹۷)
		۱۵	۱۲/۵۳(۱/۵۹)
		۳۰	۱۶/۵۴(۲)
	۱۰	صفر	۱۴/۴۷(۱/۵۸)
		۱۵	۱۷/۱۳(۲/۷۸)
		۳۰	۱۹/۳۲(۱/۳۴)
	۱۲	صفر	۱۵/۱۸(۱/۶۱)
		۱۵	۱۷/۸۲(۱/۴۶)
		۳۰	۱۹/۳۴(۰/۵۳)
۲	۸	صفر	۱۴/۳۶(۲/۴۳)
		۱۵	۲۵/۳۳(۱)
		۳۰	۲۷/۹۸(۷/۹۲)
	۱۰	صفر	۳۱/۸(۰/۸۶)
		۱۵	۴۳/۱۲(۱/۶۹)
		۳۰	۳۸/۱۲(۴/۴۸)
	۱۲	صفر	۳۶/۸۳(۴/۵۳)
		۱۵	۳۹/۱۸(۰/۳۲)
		۳۰	۳۷/۹۳(۰/۹۹)

اعداد داخل پرانتز انحراف معیار را نشان می‌دهند

تأثیر مستقل و متقابل تعداد پین، قطر پین و درصد فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی

جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس تأثیر مستقل و متقابل تعداد پین، قطر پین و درصد فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تأثیر مستقل و متقابل آنها در سطح اعتماد ۹۵ درصد بر ظرفیت لنگر خمشی آنها معنی‌دار است، به‌جز تأثیر متقابل تعداد پین×قطر پین×درصد فشردگی.

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال

منابع تغییرات	ظرفیت لنگر خمشی (N.m)			
	درجه	میانگین	مقدارF	Sig.
تعداد پین	۱	۳۸۱۴/۹۵	/۱۹	۰/۰۰۰*
قطر پین	۲	۵۴۸/۸۴	۶۹/۳۷	۰/۰۰۰*
درصد فشردگی	۲	۱۸۹/۱۰	۲۳/۹۰	۰/۰۰۰*
تعداد پین×قطر پین	۲	۱۹۶/۰۸	۲۴/۷۸	۰/۰۰۰*
تعداد پین×درصد فشردگی	۲	۴۰/۷۰	۵/۱۴	۰/۰۱۱*
قطر پین×درصد فشردگی	۴	۲۳/۷۴	۳/۰۰	۰/۰۳۱*
تعداد پین×قطر پین×درصد فشردگی	۴	۱۷/۴۷	۲/۲۱	ns۰/۰۸۸

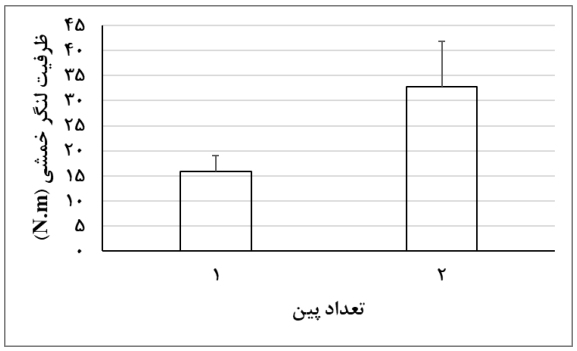
- ns عدم معنی‌داری- * معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد

شکل ۲ تأثیر مستقل تعداد پین، قطر پین و درصد فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها زیر بار کشش قطری را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد پین از یک به دو عدد، قطر پین از ۸ به ۱۰ میلیمتر و درصد فشردگی پین از صفر به ۳۰ درصد، ظرفیت لنگر خمشی به ترتیب ۱۰۵/۵، ۵۴/۳ و ۲۸/۷۵ درصد افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که بیشترین تأثیرپذیری ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها مربوط به تعداد پین بود. گروه‌بندی دانکن نشان می‌دهد که ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین با قطر ۸ ازنظر آماری با قطر ۱۰ و ۱۲ معنی‌دار بود، اما قطر ۱۰ و ۱۲ با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین فشرده و پین فشرده نشده ازنظر آماری کاملاً معنی‌دار بود، هرچند ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین مقادیر ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته‌شده با پین‌های ۱۵ و ۳۰ درصد فشردگی وجود نداشت.

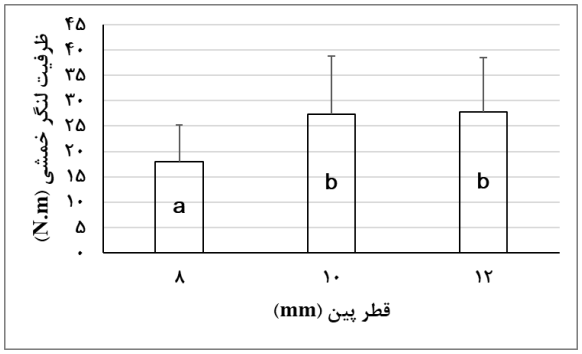
شکل ۳ تأثیر متقابل تعداد پین، قطر پین و درصد فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها را تحت بار کشش قطری نشان می‌دهد. شکل ۳ الف)، تأثیر متقابل تعداد و قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با تغییر هم‌زمان تعداد و قطر پین، ظرفیت لنگر اتصال‌ها ۱۸۴ درصد تغییر می‌کند. بیشترین ظرفیت لنگر مربوط به اتصال‌های ساخته‌شده با دو پین با قطر ۱۰ و ۱۲ بود، طوری که اختلاف معنی‌داری نیز بین آنها وجود نداشت.

شکل ۳ ب) تأثیر متقابل تعداد پین و درصد فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با تغییر هم‌زمان تعداد و درصد فشردگی پین، ظرفیت لنگر اتصال ۱۸۴/۶ درصد تغییر می‌کند. بیش‌ترین ظرفیت لنگر مربوط به اتصال‌های ساخته‌شده با دو پین با فشردگی ۱۵ درصد بود. البته بین ظرفیت لنگر اتصال‌های ساخته‌شده با دو پین ۱۵ و ۳۰ درصد فشرده اختلاف کمی وجود داشت و ازنظر آماری نیز اختلاف آنها معنی‌داری نبود.

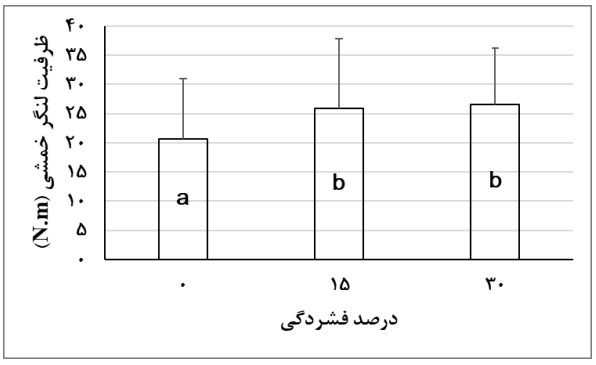
شکل ۳ ج)، تأثیر متقابل قطر پین و درصد فشردگی آن بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با تغییر هم‌زمان قطر و درصد فشردگی پین، ظرفیت لنگر آنها ۱۳۷/۳ درصد تغییر می‌کند. بیشترین ظرفیت لنگر مربوط به اتصال‌های ساخته‌شده با قطر پین ۱۰ میلیمتر و فشردگی ۱۵ درصد بود. نتایج نشان داد که با فشردگی پین با قطر ۸ میلیمتر، ظرفیت لنگر اتصال‌های ساخته‌شده با آن حدود ۷۵ درصد افزایش می‌یابد، اما این افزایش برای پین‌های با قطر ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر روند منظمی نداشت.



الف)

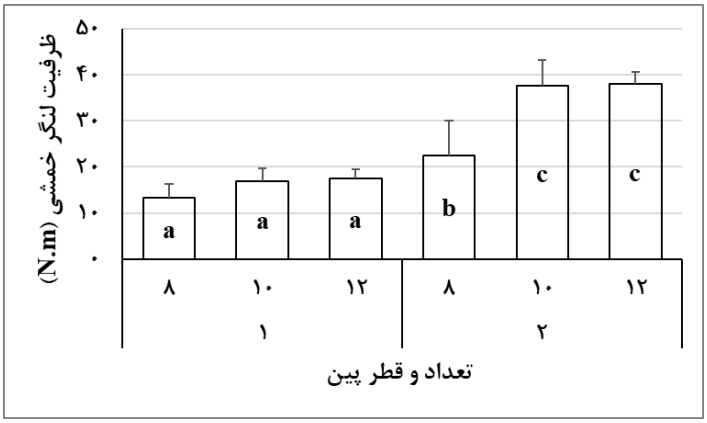


ب)

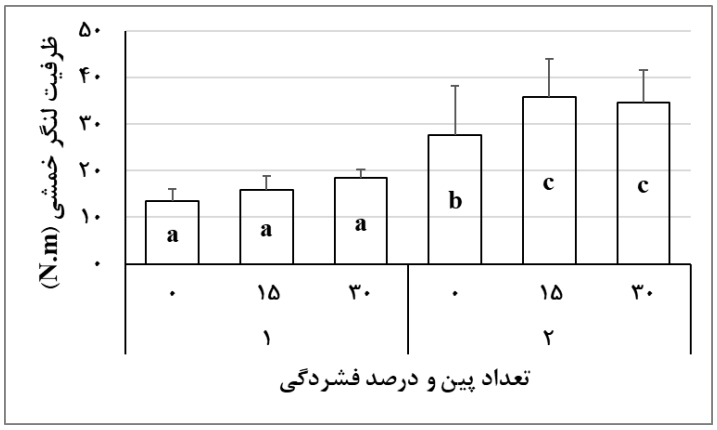


ج)

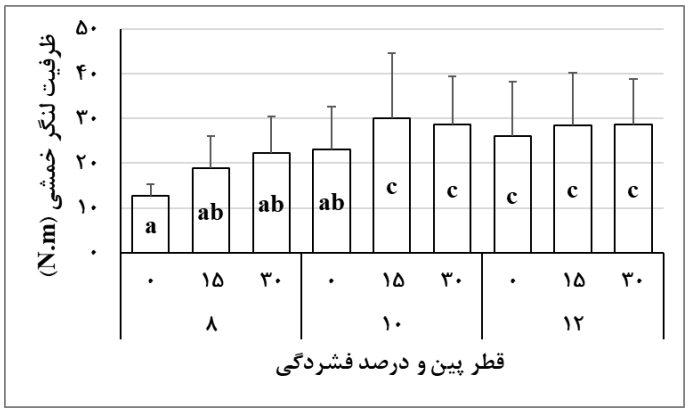
شکل۲- تأثیر مستقل تعداد پین، قطر پین و درصد فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی



الف)



ب)

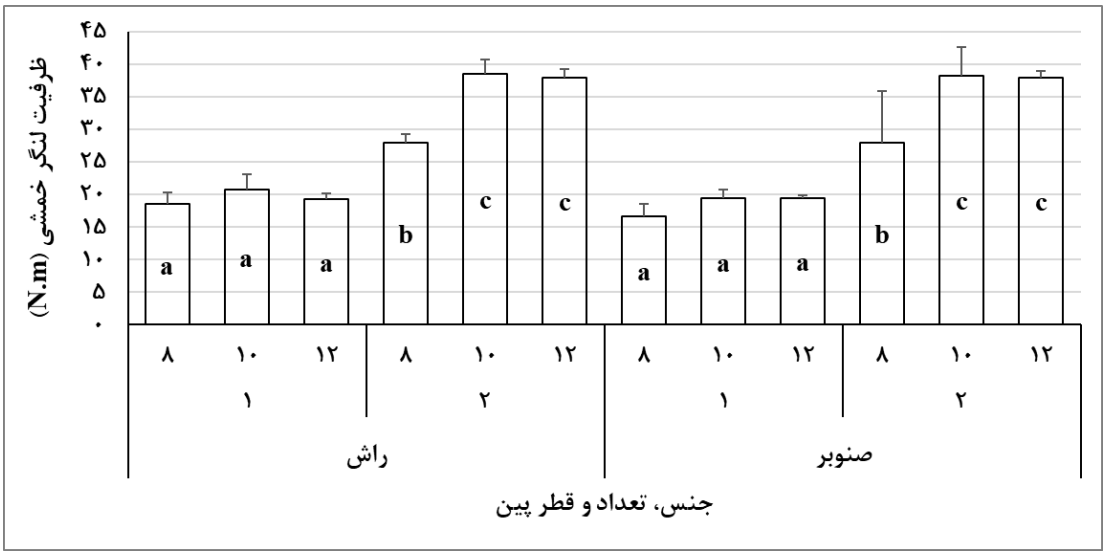


ج)

شکل۳- تأثیر مستقل تعداد پین، قطر پین و درصد فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی

مقایسه ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین فشرده صنوبر با پین راش

راش یکی از گونه‌های رایج چوبی است که به دلیل بافت آوندی پراکنده و همچنین دانسیته و مقاومت بالا به‌طور گسترده‌ای برای ساخت پین استفاده می‌شود. ازاین‌رو، در این تحقیق ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین‌های صنوبر با ۳۰ درصد فشردگی و پین‌های راش، باهم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که اتصال‌های ساخته‌شده با پین راش و پین فشرده صنوبر ازنظر ظرفیت تحمل لنگر خمشی تفاوت معنی‌داری با هم ندارند و به هم نزدیک هستند. بیشترین ظرفیت لنگر خمشی اتصال مربوط به دو پین با قطر ۱۰ میلیمتر راش و صنوبر بود، که اختلاف آنها کمتر از یک درصد است.



شکل ۴- مقایسه ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین صنوبر با ۳۰ درصد فشردگی و پین راش با تعداد و قطرهای مختلف پین

نتایج نشان داد که تأثیر مستقل افزایش قطر و افزایش فشردگی پین بر ظرفیت لنگر خمشی به‌صورت پیوسته افزایشی نیست، به‌طوری‌که با افزایش قطر پین از ۱۰ به ۱۲ و همچنین با افزایش میزان فشردگی از ۱۵ به ۳۰ درصد، بین مقادیر ظرفیت لنگر خمشی ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین بررسی تأثیر متقابل عوامل مورد مطالعه بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال نیز نشان داد که بیشترین مقاومت مربوط به اتصال‌های ساخته‌شده با دو پین بود، اما بین اتصال‌های با دو پین با قطر ۱۰ و ۱۲ میلیمتر و همچنین ۱۵ و ۳۰ درصد فشردگی اختلاف چشمگیری دیده نشد. دلیلی که می‌توان برای آن ارائه داد این است که با توجه به ثابت بودن ضخامت اعضای اتصال (۱۶ میلیمتر) با افزایش قطر پین سطح مقطع تحمل تنش کاهش می‌یابد، درنتیجه تمرکز تنش از پین به عضو اتصال منتشر می‌شود و سبب می‌شود عضو اتصال قبل از رسیدن به مقاومت نهایی پین شکسته شود [۱،۳،۵،۷،۱۰،۱۷]. همین اتفاق با افزایش فشردگی پین نیز می‌افتد و قبل از اینکه پین فشرده بشکند، عضو اتصال زیر بار می‌شکند. به همین دلیل است که بیشترین افزایش فشردگی بر ظرفیت لنگر در اتصال‌های ساخته‌شده با پین با قطر ۸ میلیمتر دیده شد. Srivaro و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که با فشرده‌سازی چوب تیمار حرارتی شده تا ۲۵، ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درصد ضخامت اولیه مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت فشاری موازی با الیاف و مقاومت برشی عمود بر الیاف را به ترتیب تا ۱۲۵، ۵۴، ۱۱۲ و ۱۲۹ درصد برای چوب با دانسیته کم و ۴۷، ۱۳، ۴۱ و ۵۸ درصد برای چوب با دانسیته متوسط افزایش می‌یابد [۱۸]. با افزایش دانسیته چوب، خواص مکانیکی به دلیل کاهش حجم حفره‌ها افزایش می‌یابد [۱۹]. این افزایش ناشی از کاهش تعداد حفره‌ها با فرآیند فشرده‌سازی است که منجر به افزایش عناصر دیواره سلولی می‌شود که دارای خواص مکانیکی و ظرفیت تحمل بار بیشتری در واحد حجم هستند [۲۰]. بنابراین فشرده-سازی چوب می‌تواند امکان استفاده از چوب‌های سبک‌تر را به‌عنوان اتصال‌دهنده در سازه‌های مبلمان را فراهم نماید. در این مطالعه نیز مشخص است که استفاده از پین صنوبر فشرده‌شده ظرفیت لنگر خمشی بالایی را از خود نشان داده است که با ظرفیت لنگر خمشی چوب راش در شرایط مساوی ازلحاظ تعداد و قطر پین برابری می‌کند. همان‌طور که در شکل ۵ قسمت الف، مشخص است هنگام استفاده از پین صنوبر فشرده نشده، پین‌های صنوبر بسیار ترد بوده و تمامی شکست‌ها در پین صنوبر فشرده نشده صورت می‌گیرد. اما قسمت ب همین شکل نشان می‌دهد که با تقویت پین‌های صنوبر با فرایند فشرده‌سازی، مقاومت پین‌های صنوبر افزایش می‌یابد و در تمامی تیمارهای مربوط به پین‌های صنوبر فشرده‌شده، شکست در اعضای اتصال اتفاق می‌افتد.

الف) پین‌های فشرده نشده صنوبر با قطر ۸ درصد (شکست ترد پین‌ها در خط چسب، تصویر بالا با یک پین، تصویر پایین با دو پین)

ب) پین‌های با ۲۰ درصد فشردگی با قطر ۸ میلیمتر (شکست عضو اتصال)

ج) پین‌های با ۳۰ درصد فشردگی با قطر ۸ میلیمتر(شکست عضو اتصال)

شکل ۵- مدهای شکست دیده‌شده در اتصال‌ها با افزایش تعداد، قطر و درصد فشردگی پین

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف یافتن راهکاری برای تأمین منابع اولیه از چوب‌های تند رشد با تمرکز بر کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی انجام شد. ازاین‌رو، در این تحقیق کاربرد پین فشرده صنوبر برای ساخت اتصال قاب MDF مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه، ظرفیت لنگر خمشی قاب‌های مورد مطالعه با چوب راش مقایسه شد. نتایج زیر از تحقیق حاضر به دست آمد:

- ظرفیت لنگر خمشی اتصال گوشه‌ای قاب زیر بار کششی با افزایش تعداد، قطر و فشردگی پین صنوبر افزایش یافت.

بیشترین تأثیر مستقل عوامل مورد مطالعه مربوط به تعداد پین بود، ازاین‌رو لازم است برای ساخت قاب حتماً از دو پین استفاده شود.

- نتایج مربوط به اتصال‌های ساخته‌شده با پین صنوبر نشان داد که تأثیر فشردگی برای پین با قطر کمتر بیشتر بود، طوری که ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین ۸ میلی‌متر با ۳۰ درصد فشردگی بیشتر بود. اما برای اتصال‌های ساخته‌شده با پین با قطر ۱۰ و ۱۲ میلی متر ظرفیت تحمل لنگر در پین‌های با فشردگی ۱۵ درصد بیشتر بود، ازاین‌رو، اگر از پین‌های با قطر کمتر صنوبر استفاده می‌شود، لازم است درصد فشردگی بیشتری در نظر گرفته شود.

- مقایسه ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با پین فشرده با پین راش نشان داد که وقتی از یک پین با قطر ۸ میلیمتر و ۳۰ درصد فشردگی برای ساخت اتصال استفاده شد، مقاومت آن کمتر از پین راش بود، اما این اختلاف برای اتصال‌های ساخته‌شده با تعداد پین با قطر بیشتر کاهش یافت، طوری که حتی بعضی از اتصال‌های ساخته‌شده با پین صنوبر مقاومت بیشتری از خود نشان دادند اما به‌طورکلی اختلاف آنها چشمگیر نبود که بیانگر کاربرد موفقیت‌آمیز پین فشرده صنوبر برای ساخت قاب بود.

نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از پین فشرده صنوبر به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌عنوان جایگزین پین راش برای ساخت اتصال گوشه‌ای قاب استفاده کرد، اما اظهارنظر قطعی در این مورد نیازمند مطالعه بیشتر و جامع‌تری است.

منابع

[1] Maleki, S., Haftkhani, A.R., Dalvand, M., Faezipour, M. and Tajvidi, M., 2012. Bending moment resistance of corner joints constructed with spline under diagonal tension and compression. *Journal of Forestry Research*, 23 (3): 481-490.

[2] Atar, M., Ozcifci, A., Altinok, M. and Celikel, U., 2009. Determination of diagonal compression and tension performances for case furniture corner joints constructed with wood biscuits. *Materials & Design*, 30 (3): 665-670.

[3] Dalvand, M., Ebrahimi, G., Haftkhani, A.R. and Maleki, S., 2013. Analysis of factors affecting diagonal tension and compression capacity of corner joints in furniture frames fabricated with dovetail key. *Journal of Forestry Research*, 24 (1): 155-168.

[4] Dalvand, M. and Moradpour, P., 2017. Analysis of stress-strain distribution of dowel and glue line in L-type furniture joint by means of finite element method. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8 (2): 297-307.

[5] Dalvand, M., Maleki, S., Ebrahimi, G. and Rostampour, A., 2014. Investigating the Stress Carrying Capacity of Corner Joints In The Furniture Frame Fabricated With Dowel. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 5 (1): 21-32.

[6] Altun, S., Burdurlu, E. and Kılıç, M., 2010. Effect of adhesive type on the bending moment capacity of miter frame corner joints. *BioResources*, 5 (3): 1473-1483.

[7] Bahmani, M., Ebrahimi, G. and Veysi, J., 2010. Design of experimental model for predicting ultimate bending strength dowel joint in medium density fiber (MDF). *Journal of forest and wood products (JFWP) (iranian journal of natural resources)* 62 (4): 8.

[8] Dalvand, M., Ebrahimi, G., Tajvidi, M. and Layeghi, M., 2013. Investigation on the effect of wooden dowel diameter, penetration depth and species on the bending moment resistance under diagonal tensile load of corner joints in case-type furniture. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28 (1): 11-23.

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

[10] Derikvand, M. and Eckelman, C.A., 2015. Bending moment capacity of L-shaped mitered frame joints constructed of MDF and particleboard. *BioResources*, 10 (3): 5677-5690.

[11] Mohammadi, A., Tabarsa, T. and Tasooji, M., 2011. Effect of static densification of treated paulownia wood on relationship between strength and density. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 26 (3): 592-604.

[12] Sakalo, M. and Khazaian, A., 2012. The Effect of Chemical Modification with Phenol Formaldehyde and Compression on Mechanical Properties of Paulownia (P.fortunie) Wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3 (1): 13-27.

[13] Fallah_Moghadam-Behambari, P., Mohebby, B. and Sharifnia-Dizboni, H., 2015. Influences of Combined-Hydro-Thermo-Mechanical (CHTM) Modification on Moisture Absorption and Dimensional Stability of Poplar Wood. *Forest and Wood Products*, 68 (1): 181-193.

[14] Ghorbani, M., Nikkhah Shahmirzadi, A. and Toopa, A., 2020. Effect of densification on the practical properties of chemical and thermal modified poplar wood. *Iranian journal of wood and paper industries*, 11 (2): 185-197.

[15] Shoja, M., Dastoorian, F., Ghorbani, M. and Zabihzadeh, S.M., 2020. Effect of alkaline pretreatment and surface impregnation on the set recovery of densified poplar wood. *Iranian journal of wood and paper industries*, 11 (3): 345-354.

[16] Najafi, A., Nasiri Tamaskani, H. and Soltani, M., 2012. A comparative study on the mechanical behavior of dowel joint made from hornbeam and compressed wood of paulownia and populus dowels. *Journal of sciences and techniques in natural resources*, 6 (4): 78- 172

[17] Eckelman, C.A., 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture. *Purdue University, West Lafayette, Indiana*: 65-67.

[18] Srivaro, S., Lim, H., Li, M., Jantawee, S. and Tomad, J., 2021. Effect of compression ratio and original wood density on pressing characteristics and physical and mechanical properties of thermally compressed coconut wood. *Construction and Building Materials*, 299: 124272.

[19] Cencin, A., Zanetti, M., Urso, T. and Crivellaro, A., 2021. Effects of an innovative densification process on mechanical and physical properties of beech and Norway spruce veneers. *Journal of Wood Science*, 67 (1): 1-14.

[20] Ulker, O., Imirzi, O. and Burdurlu, E., 2012. The effect of densification temperature on some physical and mechanical properties of Scots pine (Pinus sylvestris L.). *BioResources*, 7 (4): 5581-5592.

Improvement of the bending moment capacity of mitered MDF frame under diagonal tension by using the densified poplar dowel

Abstract

The aim of this study was to improve the joints of the mitered furniture frames by using the densified poplar dowels (*Populus alba*) instead of beech dowels. Therefore, the effects of the dowel number (one and two dowels), dowel diameter (8, 10, and 12mm), and compression ratio (0, 15, and 30%) on bending moment capacity of L-shaped frame corner joints constructed of medium-density fiberboard (MDF) under diagonal tension load were investigated. Then, their performance was compared with those manufactured with beech dowels. Polyvinyl chloride (PVA) was used for gluing the joints. Diagonal loading was performed by Hounsfield (model No. 0380) testing machine with a 5 mm/min loading rate. The results revealed that the bending moment capacity of joints was increased 105.5, 54.3, and 28.75% respectively with the increase of the dowel number, dowel diameter, and compression ratio. The highest bending moment capacity was observed in the joints made out of two 30% compressed dowels with a diameter of 10 mm, and the least of them were seen in joints constructed of one uncompressed dowel with a diameter of 8 mm. the comparison of the joints dowelled by poplar with beech showed that the difference among the bending moment capacity of joints made of poplar dowels with 30% compression ratio and beech dowels was very small (less than one percent), which indicates usability of the densified poplar dowels instead of beech ones.

Keywords: corner joints, MDF frame, densified poplar dowel, bending moment capacity.

A. Rostampour-Haftkhani[1]
M. Sharari[2*]
M. Arabi[3*]
F. Hajializadeh[4]

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

[3] Assistant Professor, Department of Wood Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[4] 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: 2021/12/31
Accepted: 2022/01/25