

ارزیابی تأثیر اصلاح چسب پلی وینیل استات بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال ساخته شده با پین

چوبی

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر چسب اصلاح شده پلی وینیل استات بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال های ساخته شده از گونه های راش صنوبر و نراد بوده است. در این پژوهش ظرفیت لنگر خمشی اتصال با چسب اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفته و با چسب اصلاح نشده مقایسه شده است. مواد مورداستفاده در این تحقیق چسب پلی وینیل استات و گونه های چوبی راش، صنوبر و نراد بوده است. نتایج نشان داد که بیشترین ظرفیت لنگر خمشی ۴۷/۱ نیوتن متر مربوط به اتصال راش با قطر پین ۱۰ میلی متر و چسب اصلاح شده بوده در حالی که کمترین لنگر خمشی ۳۵/۱۷ نیوتن متر مربوط به اتصال با گونه صنوبر با قطر ۶ برای چسب اصلاح نشده بود. اصلاح چسب پلی وینیل استات با نانوسولوز و پلی وینیل الکل تأثیر مطلوبی روی خواص مکانیکی این چسب داشته که اختلاف مقاومت اتصال چسب اصلاح شده با پلی وینیل استات خالص گواه این مطلب است که علت آن می تواند افزایش ویسکوزیته چسب و کنترل میزان نفوذ آن به بافت چوب و بهبود چسبندگی باشد. از بین قطر پین های مورد مطالعه، قطر ۱۰ میلی متر به واسطه محیط بیشتر و به طبع آن مساحت سطح چسبندگی بیشتر، استحکام بالاتری نسبت به قطرهای ۸ و ۶ میلی متر نشان داد. همان طور که قابل پیش بینی بود مقاومت اتصال گونه راش بالاتر از نراد و صنوبر بود که دلیل اصلی آن را می توان به دانسیته بالاتر این گونه ربط داد.

واژگان کلیدی: چسب پلی وینیل استات اصلاح شده، اتصال دویل با پین چوبی، ظرفیت لنگر خمشی، نانو کریستال سلولوز.

ایوب سالاری^{۱*}

مهدی فائزی پور^۲

علی نقی کریمی^۳

مهدی جنوبی^۴

پیام مرادپور^۵

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۴ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۵ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

Ayoub.salari@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴

مقدمه

امروز بشر نسبت به دهه های گذشته زمان بیشتری را در داخل خانه سپری می کند. طراحی ساختمان و فضای داخل آن، مبلمان و رنگ و نقش و بافت و دکوراسیون داخل منزل و شاید مهم تر از آن راحتی و آسایش بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. برای شناخت کامل ویژگی های سازه مبلمان باید اطلاعاتی درباره تعیین بار

وارده بر سازه و تغییر شکل اتصال در زیر بار داشت. یکی از بخش های اصلی و مهم هر سازه چوبی اعم از مبلمان و سایر سازه های چوبی اتصالات آن است که نقاط بحرانی بین عناصر آن می باشند. اتصالات بار وارده را به طور متوسط تحمل کرده و بین اعضای آن توزیع می کنند [۱]. اتصالات به طور معمول ضعیف ترین بخش قطعه مبلمان و عامل اصلی شکست در آن است [۲]. اتصالات در مبلمان

عالی داشته و همچنین در مقابل روغن، گریس و حلال مقاوم است، همچنین این پلیمر بی‌ضرر و غیرسمی است [۷].

سلولز نانوفیبریله شده از جمله نانوذراتی است که در طی سال‌های اخیر، تأثیر آن به‌عنوان تقویت‌کننده، در پلیمرهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است [۸].

مقاومت مکانیکی بالا، نسبت سطح به حجم زیاد، ضریب لاغری بالا، دانسیته پایین، سهولت دسترسی، فراوری آسان، قیمت مناسب و زیست‌تخریب‌پذیری از جمله مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که نانوالیاف سلولز را از سایر نانوتقویت‌کننده‌ها متمایز می‌سازد، از این‌رو، تأثیر تقویت‌کنندگی این نانوذره، در پلیمرها و بیوپلیمرهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. از طرفی، نانوکریستال سلولز^۳ (CNC) که کوچک‌ترین جزء ساختاری گیاهان و موجودات حاوی سلولز است نیز به دلیل درجه تبلور نسبی بالا، فعالیت شیمیایی سطحی زیاد، دانسیته پایین (۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، مدول ویژه بالا (نسبت مدول به دانسیته)، سطح ویژه بالا (۱۵۰ مترمربع بر گرم)، ضریب لاغری بالا (طول به قطر در حدود ۱۰ تا ۷۰)، ویژگی‌های مکانیکی مطلوب (مدول یانگ بالا در حدود ۱۵۰ گیگاپاسکال و استحکام کششی در حدود ۱۰ گیگاپاسکال) و توانایی تشکیل شبکه در طی دو دهه گذشته مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۳، ۱۴، ۱۵]. استفاده از نانوسلولز به‌عنوان تقویت‌کننده، نه‌تنها منجر به ایجاد منابع پاک و تجدیدپذیر و فراوان از قبیل چوب و پسماندهای کشاورزی می‌شود بلکه به خاطر سطح ویژه بالا خواص مکانیکی بهبود می‌یابد [۱۶]. با توجه به مقایسه خصوصیات پلی وینیل استات و پلی وینیل الکل و ساختار شیمیایی آن‌ها و نیز مشکلات چسب پلی‌وینیل‌استات از قبیل مقاومت کم نسبت به آب و حرارت و زیست‌تخریب‌پذیری پایین آن و همچنین ویژگی‌های منحصر به فرد نانوکریستال سلولز به‌عنوان تقویت‌کننده، می‌توان دریافت که امکان بهبود خواص چسب پلی‌وینیل‌استات وجود دارد؛ که دلیل آن حضور گروه‌های هیدروکسیل فعال سطحی در نانوسلولز و حضور

تحت تأثیر نیروهای خارجی زیادی اعم از فشاری، کششی، برشی و لنگر خمشی قرار می‌گیرند [۳]. نیروهایی که اتصال باید آن‌ها را تحمل کند نیروهای محوری (کششی و فشاری)، برشی، خمشی و پیچشی وارد بر اعضای اتصال-اند. اتصال‌ها و اتصال‌دهنده‌های متعددی در مبلمان و سازه‌های چوبی به کار می‌روند.

چسب‌ها جزء جدایی‌ناپذیر در تولید سازه‌های چوبی بوده و نقش محوری در کیفیت اتصالات بازی می‌کنند و از این‌رو ویژگی اتصالات سازه‌های چوبی عمدتاً بر اساس نوع و کیفیت چسب تعیین می‌گردد [۴]. به‌طور کلی چسب‌ها از نظر گیرایی به دودسته ترموست (گرماسخت) و ترموپلاستیک (گرمانرم) تقسیم می‌شوند که یکی از پرکاربردترین چسب‌های ترموپلاستیک در مبلمان و سازه‌های چوبی، چسب پلی وینیل استات^۱ است که به چسب سفید نجاری یا چسب چوب معروف است. چسب‌ها نقش کلیدی در تولید پانل‌های چوبی دارند، از نظر فنی کیفیت چسبندگی و ارتقاء خواص پانل‌های چوبی عمدتاً با نوع و کیفیت چسب تعیین می‌گردد [۵]. پرکننده‌ها (فیلرها) تأثیر مثبتی روی رزین اوره فرمالدهید دارند که این تأثیر نه‌تنها با کاهش ویسکوزیته چسب و کنترل میزان نفوذ آن به بافت چوب می‌گردند و چسبندگی را بهبود می‌بخشد، بلکه از لحاظ اقتصادی نیز حائز اهمیت می‌باشند، ذرات در مقیاس نانو خواص بهتری در مقایسه با میکرو ذرات دارند [۶]. چسب‌های پلی وینیل استات دارای ساختمان مولکولی شاخه‌ای با توزیع اوزان مولکولی گسترده می‌باشند. اختلاف خواص فیزیکی در میان گونه‌های مختلف پلی وینیل استات ناشی از تفاوت در وزن مولکولی و توزیع اوزان مولکولی است. یکی از راه‌های اصلاح خواص چسب پلی وینیل استات، استفاده از پلیمرهایی از قبیل پلی وینیل الکل و مواد نانو از قبیل نانوکریستال سلولز است [۷]. پلی وینیل الکل^۲ یک پلیمر پلی هیدروکسی و گسترده‌ترین پلیمر تولیدشده بر پایه آب در دنیا بر اساس حجم است. پلی وینیل الکل خصوصیات چسبندگی، امولسیون‌ی و تشکیل فیلم بسیار

چسب پلی وینیل استات اصلاح شده چه تأثیری بر خواص مکانیکی اتصال دابل ساخته شده از گونه های راش، صنوبر و نراد (گونه های رایج مورد استفاده در اتصالات مبلمان) خواهد داشت؟ ثانیاً این که گونه چوبی چه تأثیری بر خواص مکانیکی اتصال ساخته شده خواهد گذاشت. با توجه به سؤالات مذکور، انجام این تحقیق ضروری به نظر می رسد و هدف از انجام این تحقیق، اصلاح و بهبود خواص چسب پلی وینیل استات و بررسی خواص چسب اصلاح شده روی اتصالات ساخته شده است.

مواد و روش ها

چسب پایه ترموپلاستیک مورد استفاده پلی وینیل استات (PVAc) با $pH=5$ ، درصد مواد جامد ۶۰ و دانسیته ۱/۰۸ گرم بر سانتی متر مکعب بود. پلی وینیل الکل (PVA) با وزن مولکولی ($M_w = 72000$) و درجه کاملاً هیدرولیز شده به صورت پودر ساخت شرکت مرک آلمان خریداری شد. نانوکریستال سلولز با قطر تقریبی ۵ و طول ۱۵۰ تا ۲۰۰ نانومتر تولید شده توسط دانشگاه مین آمریکا مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور بررسی اثر میزان تقویت کننده بر خواص چسب پلی وینیل استات، نانوکریستال سلولز در سه سطح ۰، ۳ و ۶ درصد بر مبنای وزن خشک چسب و پلی وینیل الکل در چهار سطح ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بر مبنای وزن خشک مورد استفاده قرار گرفت. جهت اصلاح، پودر پلی وینیل استات (PVAc) در آب مقطر حل شده و برای مدت ۱۲ ساعت هم زده شد و با محلول پلی وینیل الکل با نسبت وزنی مشخص شده مخلوط و سپس با محلول آبی نانوسلولز برای رسیدن به نسبت وزنی خشک (۴ به ۱) پلی وینیل استات (PVAc)/پلی وینیل الکل (PVA) به نانوسلولز اضافه شد. سپس برای مدت ۱۶ ساعت ترکیب حاصل تحت همزن مغناطیسی و به دنبال آن به مدت ۳۰ دقیقه امواج مافوق صوت (التراسونیک) قرار گرفت. از بین تیمارهای فوق، بعد از آزمون های مربوطه و نیز تجزیه و تحلیل نتایج، تیمار بهینه انتخاب و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

در این بررسی از گونه های چوبی راش، نراد و صنوبر برای تهیه نمونه های آزمونی به ابعاد $15 \times 5 \times 3$ و $10 \times 5 \times 3$

گروه های هیدروکسیل و هیدروژن در پلی وینیل الکل و نیز هیدروژن آزاد در چسب پلی وینیل استات و امکان تشکیل پیوند هیدروژنی بین این گروه ها است [۱۷، ۱۸، ۱۹]. Altun و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر نوع چسب را بر روی ظرفیت لنگر خمشی اتصالات ساخته شده با دم چلچله در پروفیل MDF بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین ظرفیت لنگر خمشی زیر بارگذاری کششی مربوط به چسب سیانو آکریلات و بیشترین ظرفیت لنگر خمشی زیر بار فشاری مربوط به چسب پلی وینیل استات بود [۲۰]. Klic و همکاران (۲۰۰۹)، تأثیر نوع چسب بر روی ظرفیت لنگر خمشی اتصال گوشه ای فارسی ساخته شده از چوب صنوبر با دم چلچله را بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که بیشترین ظرفیت لنگر خمشی زیر بار فشاری و کششی مربوط به چسب پلی وینیل استات است و اختلاف معناداری بین چسب پلی اورتان و سیانو آکریلات مشاهده نشد [۲۱]. Dalvand و همکاران (۲۰۱۴)، ظرفیت تحمل تنش اتصالات های گوشه ای با پین در قاب سازه مبلمان را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بالاترین میزان ظرفیت تحمل تنش زیر بار کششی در اتصال فارسی با پین ممرز به قطر ۸ میلی متر مشاهده شده است. بالاترین میزان ظرفیت تحمل تنش زیر بار فشاری مربوط به اتصال فارسی با پین راش به قطر ۸ میلی متر بوده است. در بارگذاری کششی با تغییر قطر پین از ۶ به ۸ میلی متر ظرفیت تحمل تنش روند صعودی داشته است ولی افزایش قطر پین از ۸ به ۱۰ میلی متر تأثیر معنی داری بر ظرفیت تحمل تنش اتصال زیر بار کششی نداشته است. تغییر قطر پین از ۶ به ۱۰ میلی متر تأثیر معنی داری بر ظرفیت تحمل تنش زیر بار فشاری داشته است. [۲۲].

با توجه به تحقیقات صورت گرفته مشاهده می شود که تحقیقات کمی در زمینه مطالعه تأثیر چسب اصلاح شده بر روی اتصالات ساخته شده از چوب ماسیو وجود دارد بنابراین ضرورت دارد که خواص مکانیکی اتصالات مختلف ساخته شده از گونه های مختلف چوبی و با استفاده از چسب پلی وینیل استات اصلاح شده با نانوکریستال سلولز و پلی وینیل الکل شناسایی شده و در محاسبات طراحی سازه و پیش بینی استحکام آن ها به کار گرفته شود. با توجه به مطالب مذکور این سؤالات مطرح است که اولاً

سانتیمتر استفاده شد. در جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی نوع گونه چوبی مورد استفاده در اتصالات آمده

است [۲۲]. در شکل ۱ نمایی از اتصال ساخته شده برای بررسی ظرفیت لنگر خمشی دوبل چوبی ارائه شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی و مکانیکی نوع گونه چوبی اتصال

گونه چوبی	مقاومت برشی موازی با الیاف (Mpa)	مدول الاستیسیته (MPa)	مدول گسیختگی (MPa)	دانسیته (g/cm ³)
نراد	۳/۱	۶۶۵۸	۵۹/۶۷	۰/۴۶
راش	۱۳/۳	۱۱۶۸۰/۶۷	۱۲۳/۶۳۳	۰/۶۲
صنوبر	۲/۳۸	۵۰۱۰	۳۸/۶۰	۰/۳۳



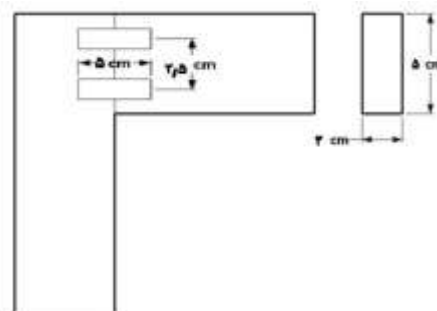
شکل ۱- نمایی از نمونه‌های آزمون ساخته شده برای بررسی ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین

اصلاح نشده آغشته گردید، سپس پین‌ها در سوراخ‌های تعبیه شده قرار داده شدند (شکل ۲) [۲۲]. پین‌های مورد استفاده دارای سطح مارپیچی، راست تار و فاقد هرگونه عیبی بودند. دانسیته و خواص گونه پین بر اساس استاندارد ASTM ۱۴۳ در جدول ۲ ارائه شده است [۲۳].

پس از برش نمونه‌های آزمون، عملیات سوراخ‌کاری به وسیله دستگاه دریل ستونی و افقی انجام شد. سرعت چرخش دستگاه در عملیات سوراخ‌کاری ثابت بود. برای مونتاژ نمونه‌های آزمون اتصال، ابتدا سطح و دیواره سوراخ پین‌ها به چسب پلی وینیل استات اصلاح شده و

جدول ۲- خواص فیزیکی و مکانیکی گونه چوب پین

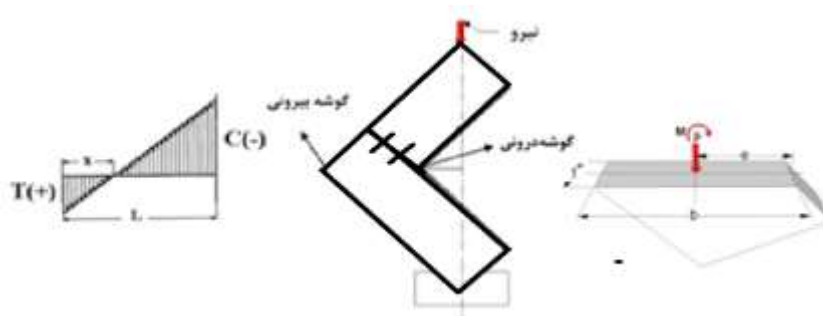
گونه پین	وزن مخصوص (g/cm ³)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)
ممرز	۰/۷۱	۱۲۱/۷۵۳	۱۱۲۱۵/۶۷



شکل ۲- وضعیت فیزیکی اتصال آزمون.

سانتی‌گراد برای رسیدن به دمای تعادل قرار داده شدند. برای آزمون ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها از دستگاه اینسترون مدل ۴۴۸۶ استفاده شد. سرعت بارگذاری 5 mm/min بود. در شکل ۳ نحوه آزمایش نمونه‌های آزمونی نشان داده شده است [۲۲].

برای جلوگیری از چسبیدن سطوح تماس اعضای اتصال به یکدیگر قطعه‌ای کاغذ مومی بین اعضای اتصال قرار داده شد. نمونه‌های آزمونی پس از مونتاژ به مدت ۲۴ ساعت با گیره دستی برای عمل کردن چسب به صورت کامل بسته شدند. سپس به مدت دو هفته در اتاق کليماتيزه با رطوبت نسبی $65 \pm 1\%$ و دمای 20 ± 2 درجه



شکل ۳- نحوه بارگذاری اتصال L شکل

$N.m$ ۴۷/۱ مربوط به اتصال راش با قطر پین ۱۰ میلی‌متر و چسب اصلاح شده بوده است و کمترین آن $N.m$ ۳۵/۱۷ مربوط به اتصال با گونه صنوبر با قطر ۶ برای چسب اصلاح نشده است. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول تأثیر مستقل و متقابل عوامل مورد بررسی همراه با سطح معنی داری ۹۵ درصد آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تأثیر مستقل قطر، نوع گونه و نوع چسب، بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است. همچنین در مورد تأثیر متقابل عوامل بررسی شده ملاحظه می‌شود، بین تأثیر متقابل (گونه چوبی اتصال \times قطر پین)، اختلاف معنی داری وجود نداشته است. اختلاف معنی داری در تأثیر متقابل (گونه چوبی \times نوع چسب) و (قطر پین \times نوع چسب) دیده نمی‌شود.

برای محاسبه ظرفیت لنگر خمشی اتصال L شکل از فرمول زیر استفاده شد [۲۲].

$$M = P_{\max} \times y \quad (1)$$

که در آن M ظرفیت لنگر خمشی زیر بار فشاری $(N.m)$ ، P_{\max} بیشترین بار برای هر نمونه (N) و y طول بازوی لنگر (m) است. در مجموع ۱۸ تیمار و برای هر تیمار ۵ تکرار برای بررسی ظرفیت لنگر خمشی اتصال در نظر گرفته شد. نتایج حاصل با نرم‌افزار SPSS و بر اساس طرح فاکتوریل تحلیل آماری شدند.

نتایج و بحث

میانگین مقادیر ظرفیت لنگر خمشی، در قطر پین‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود، بیشترین ظرفیت لنگر خمشی

جدول ۳- مقادیر ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بار فشاری در قطر، نوع گونه و نوع چسب مختلف

نوع چسب	نوع گونه	قطر بین (میلی متر)	میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال (نیوتن. متر)	انحراف معیار
شاهد	راش	۶	۳۶/۰۶	۱/۰۴
		۸	۳۷/۲۹	۱/۲۱
		۱۰	۳۸/۶۳	۰/۵۶
		۶	۳۵/۱۵	۰/۴۷
		۸	۳۷/۳۲	۰/۵۰
	صنوبر	۱۰	۳۷/۸۹	۰/۸۱
		۶	۳۵/۱۷	۰/۵۵
		۸	۳۵/۸۹	۰/۷۷
		۱۰	۳۶/۴۸	۰/۶۱
		۶	۴۶/۰۵	۰/۳۵
اصلاح شده	راش	۸	۴۶/۲۴	۰/۴۶
		۱۰	۴۷/۱۰	۰/۴۷
		۶	۴۵/۱۱	۰/۶۴
		۸	۴۵/۲۲	۱/۰۴
		۱۰	۴۶/۱۸	۱/۳۶
	صنوبر	۶	۴۲/۷۵	۲/۲۲
		۸	۴۵/۷۴	۲/۳۶
		۱۰	۴۶/۸۴	۰/۴۶

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بار فشاری

معناداری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۰۰	۱۶۶۵/۷۲	۱۸۳۸/۸۳	۱	نوع چسب
۰/۰۰۰	۱۳/۶۵۰	۱۵/۰۷	۲	نوع گونه
۰/۰۰۰	۳۱/۲۸۹	۳۴/۵۴	۲	قطر بین
۰/۵۷۴	۰/۵۵۹	۰/۶۱۷	۲	نوع چسب × نوع گونه
۰/۸۸۱	۰/۱۲۷	۰/۱۴۰	۲	نوع چسب × قطر بین
۰/۴۶۲	۰/۹۱۲	۱/۰۰۷	۴	نوع گونه × قطر بین
۰/۰۰۳	۴/۴۵۷	۴/۹۲۰	۴	نوع چسب × نوع گونه × قطر بین

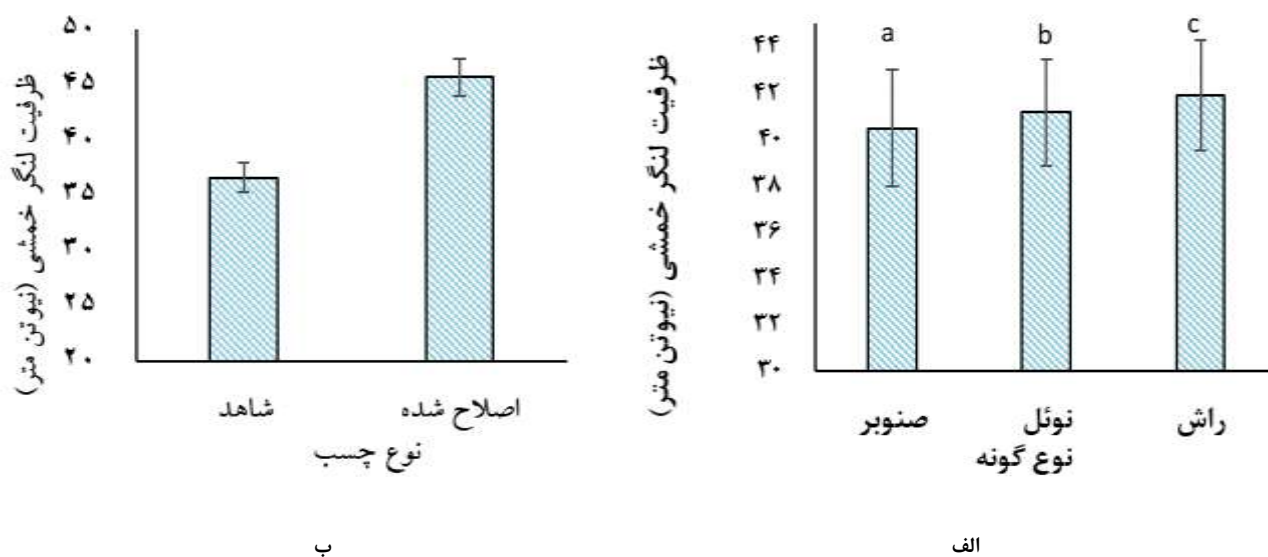
گونه‌های دارای مقاومت خمشی زیاد، به شرط رعایت دیگر لازمه‌های مربوط (کیپ بودن اتصال، توزیع یکنواخت چسب و ...) می‌توان اتصال محکمی ساخت. شکل ۳، (ب) تأثیر مستقل نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که چسب اصلاح شده دارای مقاومت اتصال به مراتب بالاتر در مقایسه با چسب اصلاح نشده دارد که این اختلاف دلایل متعددی می‌تواند داشته باشد. معمولاً با استفاده از پرکننده‌ها یا اکستندرها

شکل ۴، الف) تأثیر مستقل نوع گونه چوبی بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، اتصال با گونه راش ظرفیت لنگر خمشی بیشتری نسبت به دو گونه دیگر (نراد و صنوبر)، داشته است. علت بیشتر بودن ظرفیت لنگر خمشی گونه راش نسبت به دو گونه دیگر را می‌توان به دانسته بالاتر و به تبع آن مقاومت خمشی بیشتر راش نسبت به دو گونه‌ی دیگر نسبت داد. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که با چوب

فیزیکی سطح چوب‌ها است. کیفیت چسبندگی و بنابراین مقاومت‌ها و عملکرد اتصالات‌های چوبی، به‌وسیله‌ی سه پارامتر اصلی مشخص می‌شوند: چوب، به‌ویژه سطح چوب، شامل لایه بین سطح چوب و خط چسب، چسب و پارامترهای فرایند و شرایط کار [۲۴].

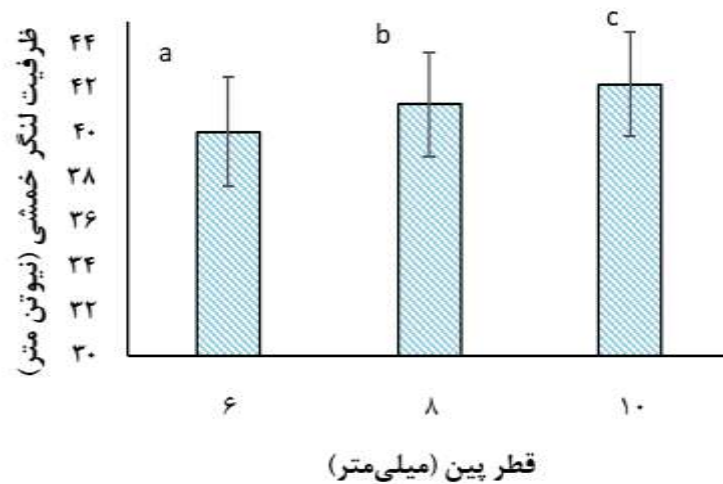
شکل ۵، تأثیر مستقل قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش قطر پین، ظرفیت لنگر خمشی افزایش یافته است. دلیل این امر را می‌توان سطح تماس بیشتر اتصال‌دهنده و اعضای اتصال با افزایش قطر پین دانست. بر اساس نتایج Zhang و همکاران، افزایش قطر پین تأثیر معنی‌داری بر روی ظرفیت لنگر خمشی اتصالات‌های ساخته‌شده از چوب با یک پین دارد و با افزایش عمق نفوذ پین، ظرفیت لنگر خمشی اتصال افزایش می‌یابد [۲۵].

برای اصلاح چسب‌ها، ویسکوزیته افزایش می‌یابد. رزین‌های با وزن مولکولی کم به‌آسانی در داخل دیواره‌های سلول چوب نفوذ می‌کند درحالی‌که رزین‌های با وزن مولکولی خیلی بالاتر فقط به رسیدن حفره سلول چوب به‌جای دیواره‌های سلول چوب تمایل دارد. حضور چسب در سطح اتصال دو قطعه فقط در بیرونی‌ترین لایه‌های نزدیک به سطح اتصال در فرایند چسبندگی و اتصال دو سطح مفید واقع می‌شوند و نفوذ چسب به لایه‌های درونی عملاً تأثیری در کیفیت اتصال ندارد. همچنین توانایی جریان بالای چسب منجر به نفوذ بیش‌تر می‌شود که در چنین موردی عملاً خط چسبی وجود ندارد یا تشکیل نمی‌شود و اصطلاحاً باعث به وجود آمدن خط چسب گرسنه^۱ می‌شود و این امر باعث ضعف اتصال در خط چسب می‌شود. نفوذ رزین تابعی از گرانروی رزین، سازگاری شیمیایی رزین با سطح چوب و خصوصیات



شکل ۴- تأثیر نوع گونه چوبی (الف) و نوع چسب (ب) بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال دابل

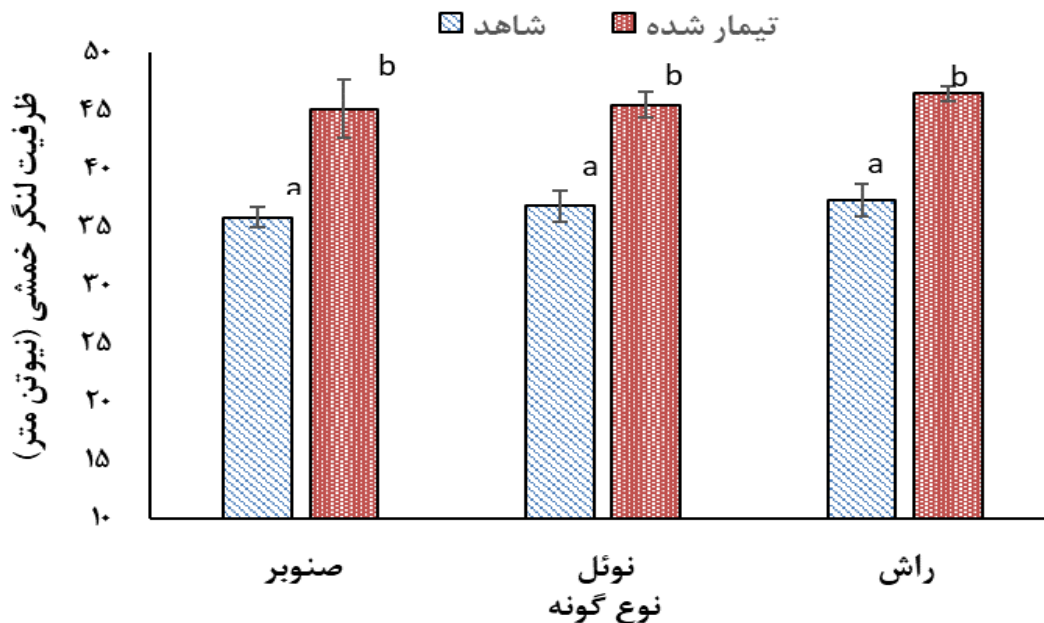
^۱Glue line starved



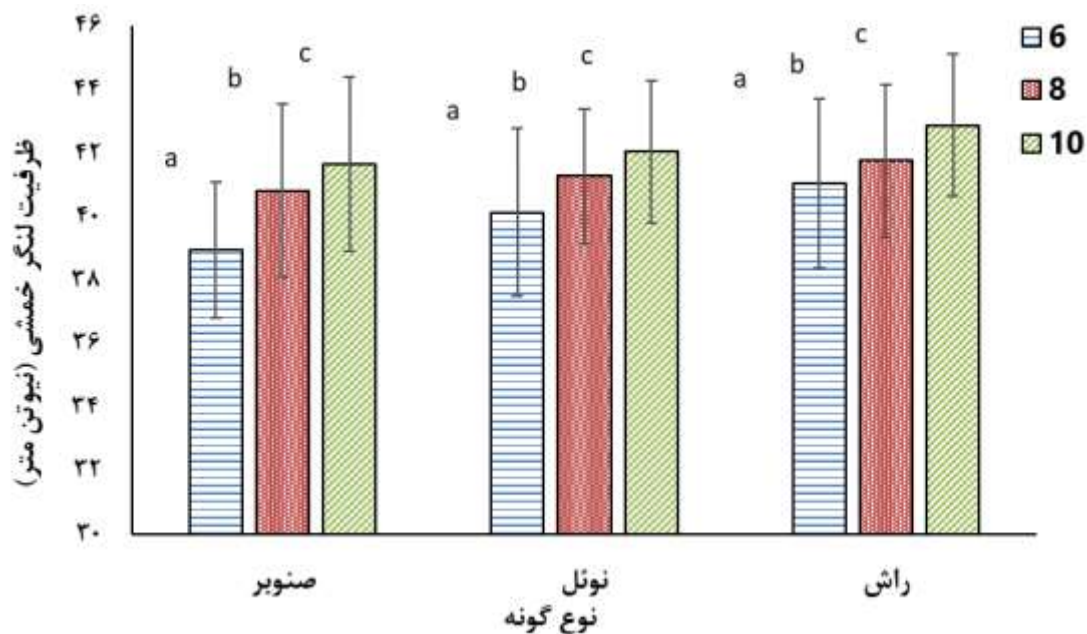
شکل ۵- تأثیر قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال دوبل

ظرفیت لنگر خمشی مربوط به گونه راش با قطر پین ۱۰ و کمترین میزان ظرفیت لنگر خمشی در گونه چوبی صنوبر با قطر پین ۶ میلی متر است.

در شکل ۶، الف) تأثیر متقابل نوع گونه و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی، نشان داده شده است. شکل ۶، ب) اثر متقابل نوع گونه و قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی را نشان می دهد. همان طور که دیده می شود، بیشترین میزان



الف

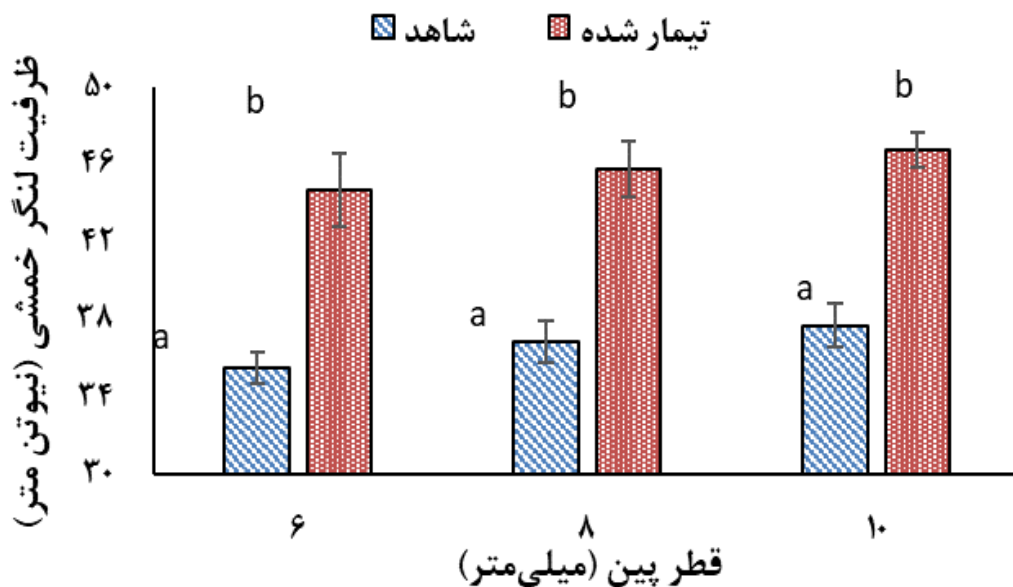


ب

شکل ۶- تأثیر متقابل الف) نوع گونه و نوع چسب، ب) نوع گونه و قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال پین

دیده می‌شود اثر متقابل قطر پین و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی معنی‌دار نیست.

شکل ۷ اثر متقابل قطر پین و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۳



شکل ۷- تأثیر متقابل قطر پین و نوع چسب بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال دابل

نانو ذرات به وسیله افزایش ویسکوزیته رزین‌ها می‌تواند به مقدار خیلی زیادی از ورود چسب به چوب برای خلق پدیده‌ی نفوذ یا چسبندگی ضعیف (ناکافی) جلوگیری کند. نفوذ چسب در خصوص پر کردن حفرات سلول و نه دیواره‌های سلول، اهمیت بسزایی دارد. رزین‌های با وزن مولکولی کم به آسانی در داخل دیواره‌های سلول چوب نفوذ می‌کند در حالی که رزین‌های با وزن مولکولی خیلی بالاتر فقط به رسیدن حفره سلول چوب به جای دیواره‌های سلول چوب تمایل دارد. همچنین توانایی جریان بالای چسب منجر به نفوذ بیشتر می‌شود که در چنین موردی خط چسب وجود ندارد و بنابراین اتصال ضعیف تشکیل می‌شود. بخش‌های کریستالین سلولز به خاطر داشتن خواص مکانیکی عالی شناخته شده‌اند و نانوکریستال‌های سلولز به عنوان تقویت کننده مورد استفاده می‌گردند [۲۶]. توانایی تقویت کنندگی نانوکریستال‌های سلولز به خاطر مساحت سطح ویژه و خواص مکانیکی خوب آن‌ها است. با کاهش اندازه از ماکرو به نانو، مدول الاستیسیته سلولز از حدود ۱۰ به ۷۰ گیگا پاسکال و حتی بیشتر افزایش می‌یابد [۲۷]. نانوکریستال سلولز همچنین دارای مدول کششی ۱۴۳ گیگاپاسکال بوده که در حدود ۱۰۰ برابر بیشتر از مدول کششی یک پلیمر معمولی است [۲۹، ۲۸]. اضافه کردن ۱ درصد نانوکریستال سلولز منجر به بهبود معنی دار مقاومت کششی نانوکامپوزیت‌ها (۴۹ درصد بیشتر از پلیمر خالص پلی‌وینیل الکل) شده است، اما با افزایش مقدار نانوکریستال سلولز به ۳ و ۵ درصد وزنی مقاومت کششی به تدریج کاهش یافت. بنابر اظهارات آن‌ها، برهم کنش احتمالی بین نانوکریستال سلولز و ماتریس پلی‌وینیل الکل منجر به انتقال تنش مؤثر بین زنجیره‌های پلیمر و شبکه به هم پیوسته نانوکریستال‌ها شده و استحکام زیاد نانوکامپوزیت‌ها را در پی داشت. مدول یانگ کامپوزیت‌های حاصل نیز ارتقاء چشم‌گیری نسبت به ماتریس پلی‌وینیل الکل یافت. برخی از گزارش‌ها اثر تقویت کنندگی قوی نانوکریستال سلولز را به تشکیل ساختار شبکه‌ای سه بعدی در نتیجه پیوندهای هیدروژنی نسبت داده‌اند [۳۰، ۳۱]. تئوری پرکولیشن حالت ایده‌آل بهبود خواص کامپوزیت در شرایطی است که پرکننده به میزان کافی برای تشکیل ساختاری به هم پیوسته وجود

داشته و آن‌ها به خوبی در کل ماتریس پخش شده‌اند. این بدان معنی است که مدول و مقاومت، افزایش خواهند یافت اگر هر فیبر به طور متوسط با دو فیبر دیگر در تماس باشد [۳۲]. افزودن تا ۱ درصد نانوسلولز به ماتریس اوره فرمالدهید منجر به بهبود مقاومت خمش و مدول الاستیسیته فرآورده حاصل می‌شود که این موضوع در ارتباط با سطح ویژه و واکنشگری سطحی زیاد نانوسلولز بوده که نتیجه آن افزایش قابلیت پیوندیابی است [۳۳]. بنابراین با توجه به این که نانوکریستال‌های سلولز دارای مدول الاستیسیته بالایی هستند طبعاً می‌توانند مدول الاستیسیته ماده مرکب را بهبود بخشند. تحقیقات Liu و همکاران، نشان داد که افزودن نانوالیاف سلولزی به چسب فنل فرمالدهید، افزایش قابل توجه مدول الاستیسیته را در پی دارد [۳۴]. همچنین، نتایج به دست آمده از تحقیق Kwon و همکاران، بهبود عملکرد اتصال لایه‌های چوبی^۱ اتصال یافته با رزین اوره فرمالدهید حاوی سلولز میکروفیبریل شده^۲ را نشان می‌دهد [۳۵]. از طرفی، مدول الاستیسیته یک ماده مرکب متأثر از مدول الاستیسیته اجزای تشکیل دهنده آن است [۳۶، ۳۷]. نتایج این قسمت با یافته‌های [۳۸]، همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

اگرچه در صنعت تولید مبلمان از اتصال پین به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود که به خاطر قیمت به نسبت ارزان و کاربرد آسان آن است، ولی اطلاعات کمی در مورد این نوع اتصال موجود است؛ بنابراین در تحقیق حاضر، تأثیر نوع گونه چوبی اتصال، قطر پین و نوع چسب مورد استفاده، بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت تا اطلاعات لازم از خواص مهندسی این نوع اتصال به دست آید و در محاسبات طراحی سازه‌های مربوط مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نتایج حاصل در مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

- اصلاح چسب پلی وینیل استات با نانوسلولز و پلی وینیل الکل تأثیر مطلوبی روی خواص مکانیکی این چسب داشته

احتمال وجود پوسیدگی کمتر در گونه سوزنی‌برگ مورد مطالعه می‌تواند باشد. از طرف دیگر، گونه صنوبر با دارا بود آوندهای نسبتاً فراخ مستعد نفوذ چسب به عمق چوب و به وجود آمدن پدیده فقدان چسب در سطح اتصال^۴ است.

- از بین قطر بین‌های مورد مطالعه، قطر ۱۰ میلی‌متر به واسطه محیط بیشتر و به طبع آن مساحت سطح درگیر بیشتر، استحکام بالاتری نسبت به قطرهای ۸ و ۶ میلی‌متر نشان داد.

که اختلاف مقاومت اتصال چسب اصلاح‌شده با پلی‌وینیل استات خالص به خوبی مشخص است که علت آن افزایش ویسکوزیته چسب و کنترل میزان نفوذ آن به بافت چوب و بهبود چسبندگی است.

- همان‌طور که قابل پیش‌بینی بود مقاومت اتصال گونه راش بالاتر از نراد و صنوبر بود که دلیل اصلی آن می‌تواند دانسیته بالاتر این گونه باشد. مقاومت اتصال گونه نراد از گونه با دانسیته تقریباً برابر صنوبر به مراتب بیشتر بود که علت آن ساختار و مورفولوژی آن‌ها و نیز بافت به مراتب یکنواخت‌تر و منسجم با

منابع

- [1] Ebrahimi, G., 2007. Engineering design of furniture structure. Tehran university publication, 491 pp. (In Persian).
- [2] Eckelman, C. A., 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture. West Lafayette (IN): Purdue University Press. 99p.
- [3] Jones, A., Lutes, R., 1993. Handbook of joinery. New York, USA: Sterling Press. 148p.
- [4] Carvalho, A.G., Mori, F.A., Mendes, R.F., Zanuncio, A.J.V., Silva, M.G., Mendes, L.M., Selvati, C.L. and Mori O., 2014. Use of tannin adhesive from *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville in the production of OSB panels. [European Journal of Wood and Wood Products](#), 72: 425-432.
- [5] Dunky, M., 1998. Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18: 95-107.
- [6] Lopez, B.L, Mejia, A.I., Sierra, L., 1999. Biodegradability of poly(vinyl alcohol). *Polymer Engineering and Science*, 39: 1346-1352.
- [7] Sedlarik, V. N., Saha, I., Kuritka, P., Saha, P., 2007. Environmentally friendly biocomposites based on waste of the dairy industry and poly(vinyl alcohol). *Journal of Applied Polymer Science*, 106(3): 1869-1879.
- [8] Abdul Khalil, H.P.S., Bhat, A.H. and Ireana Yusra, A.F., 2012. Green composites from sustainable cellulose nanofibrils. a review, *Carbohydrate Polymers*, 87: 963-979.
- [9] Dobrova, T., Benavente, R., Perena, J.M., Perez, E., Avella, M. and Garcia, M., 2010. Effect of different thermal treatments on the mechanical performance of poly (l-lactic acid) based eco-composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 116: 1088-1098.
- [10] Cherian B.M., Leao A.L., de Souza S.F., Costa L.M.M., de Olyveira G.M. and Kottaisamy M., 2011. Cellulose nanocomposites with nanofibres isolated from pineapple leaf fibers for medical applications. *Carbohydrate Polymers*, 86(4): 1790-1798.
- [11] Nair, S.S., Zhu, J.Y., Deng, Y. and Ragauskas, A.J., 2013. Hydrogels prepared from cross-linked nanofibrillated cellulose. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2 (4): 772-780.
- [12] Rosilo, H., Kontturi, E., Seitsonen, J., Kolehmainen, E. and Ikkala, O., 2013. Transition to reinforced state by percolating domains of intercalated brush-modified cellulose nanocrystals and poly(butadiene) in cross-linked composites based on thiol-ene click chemistry. *Biomacromolecules*, 14 (5): 1547-1554.

- [13] Chen, Y., Liu, C., Chang, P.R., Anderson, D.P. and Huneault, M.A., 2009. Pea starch-based composite films with pea hull fibers and pea hull fiber-derived nanowhiskers. *Polymer Engineering and Science*, 49: 369–378.
- [14] Lin N. and Dufresne A., 2013. Physical and/or chemical compatibilization of extruded cellulose nanocrystal reinforced polystyrene nanocomposites. *Macromolecules*, 46 (14): 5570–5583
- [15] Espinosa, S.C., Kuhnt, T., Foster, E.J. and Weder, C., 2013. Isolation of thermally stable cellulose nanocrystals by phosphoric acid hydrolysis. *Biomacromolecules*, 14 (4): 1223–1230.
- [16] Iwamoto, S., Nakagaito, A.N., Yano, H. and Nogi, M., 2005. Optically transparent composites reinforced with plant fiber-based nanofibers. *Appl Phys A*, 81:1109–12.
- [17] Roohani, M., Ebrahimi, Gh., Karimi, A.N., Dufran, A. and Beghasem, M.N., 1387. Evaluation of physical, mechanical and dynamical properties of NCC/PVA based nanocomposites. *Iranian journal of natural resources and wood products*, 62(3):295-245. (In Persian).
- [18] Veigel, S., Muller, U., Keckes, J., Obersriebnig, M. and Gindl-Altmutter, W., 2011. Cellulose nanofibrils as filler for adhesives: effect on specific fracture energy of solid wood-adhesive bonds. *Cellulose*, 18:1227–1237.
- [19] Veigel, S., Rathke, J., Weigl, M. and Gindl-Altmutter, W., 2012. Particleboard and oriented strand board prepared with nanocellulose-reinforced adhesive. *Journal of Nanomaterials*, 2012 (2012): 158503.
- [20] Altun, S., Burdurlu, E. and Kilic, M., 2010. Effect of adhesive type on the bending moment capacity of miter frame corner joints. *Bioresources*, 5(3): 1473-1483.
- [21] Klic, M., Burdurlu, E., Altun, S. and Berker, O.U., 2009. The bending moment capacities of mitre frame corner joints with dovetail fittings. *Wood Research*, 54(3): 79-88.
- [22] Dalvand, M., GH, ebrahimi., Tajvidi, M. and layeghi, M., 2014. Investigation the stress carrying capacity of corner joints in the furniture frame fabricated with dowel. *Journal of wood and paper industries of Iran*, 5(2): 37-46.
- [23] Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. Annual Book of ASTM Atandard, D 143. 2000.
- [24] Roumeli, E., Papadopoulou, E., Pavlidou, E., Vourlias, G., Bikiaris, D., Paraskevopoulos, K.M. and Chrissafis, K., 2012. Synthesis, characterization and thermal analysis of urea–formaldehyde/ nanoSiO₂ resins. *Thermochimica Acta*, 527: 33– 39.
- [25] Zhang, J. L. and Eckelman, C. A., 1993. The bending moment resistance of single–dowel corner joints in case construction. *Forest Products Journal*, 43(6):19–24.
- [26] Kaboorani, A., Nicolas Auclair, N., Riedl, B. and Landry, V., 2016. Physical and morphological properties of UV-cured cellulose nanocrystal (CNC) based nanocomposite coatings for wood furniture. *Progress in Organic Coatings*, 93: 17-22.
- [27] Virozub, A., [Haimovich, N.](#) and [Brandon, S.](#), 2009. Three dimensional simulations of liquid bridges between two cylinders: Forces, Energies and Torques. *Langmuir*, 25:12836-12842.
- [28] Lee, S.Y., Mohan, D.J., Kang, I.A., Doh, G.H., Lee, S. and Han, S., 2009. Nanocellulose Reinforced PVA Composite Films: Effects of Acid Treatment and Filler Loading. [Fibers and Polymers](#), 10(1): 77-82.
- [29] Sakurada, I., Nukushina, Y. and Ito, T., 1962. Experimental determination of elastic modulus of crystalline regions in oriented polymers. *Journal of Polymer Science*, 57(165):651–660.

- [30] Hajji, P., Cavaillé, J. Y., Favier, V., Gauthier, C. and Vigier, G., 1996. Tensile behavior of nanocomposites from latex and cellulose whiskers. *Polymer Composites*, 17, 612–619.
- [31] Veigel, S., Muller, U., Keckes, J., Obersiebzig, M. and Gindl-Altmutter, W., 2011. Cellulose nanofibrils as filler for adhesives: effect on specific fracture energy of solid wood-adhesive bonds. *Cellulose*, 18:1227–1237.
- [32] Pirayesh, H., Azadfalsh, M., Doosthoseini, K., Belesi, P. and Yousefi, H., 1394. Effect of different drying methods on cellulosic nanofibers and their resulting composites. *Journal of wood and paper industries of iran*, 6(2): 285-298.
- [33] Liu, Y. and Zhu, X., 2014. Measurement of formaldehyde and VOCs emissions from wood-based panels with nanomaterial-added melamine-impregnated paper. *Construction and Building Materials*, 66: 132-137.
- [34] Kwon, J.H., Lee, S.H., Ayrimis, N., Han, T.H., 2016. Tensile shear strength of wood bonded with urea-formaldehyde with different amounts of microfibrillated cellulose. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 60: 88-91.
- [35] Tajvidi, M., Motie, N., Rassam, G., Falk, R.H. and Felton, C., 2010. Mechanical performance of hemp fiber polypropylene composites at different operating temperatures. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(5):664–674.
- [36] Kaboorani, A., Riedl, B., Blanchet, P., Fellin, M., Hosseinaei, O. and Wang, S., 2012. Nanocrystalline cellulose (NCC): A renewable nano-material for polyvinyl acetate (PVA) adhesive. *European Polymer Journal*, 48(12):1829-1837.
- [37] Smardzewski, J., 2015. Introduction to Engineering Design of Furniture. In *Furniture Design* (pp. 185-283). Springer, Cham.
- [38] Zhang, J. L. and Eckelman, C. A., 1993. The bending moment resistance of single-dowel corner joints in case construction. *Forest Products Journal*, 43(6):19–24.

The effect of modified poly vinyl acetate on the stress carrying capacity of corner joints in the wood members joined with dowel

Abstract

The aim of this study was to determine stress carrying capacity of doweled corner joints in wood members made with modified resin (polyvinyl acetate) and comparing it with unmodified ones. Joint members were out of European silver fir (*Abies alba*) and dowels were made from beech and poplar woods as variables in this study. Diameter of dowel had three levels in size, namely 6, 8 and 10 mm. The experimental joints were tested under diagonal compression loads. Results showed that stress carrying capacity of tested joints made with modified glue is more than unmodified ones. Maximum stress capacity was observed in the joints of beech with 10 mm in diameter dowels. Based on the results, the highest strength belonged to those joints made with beech wood glued with modified resin containing 10 mm dowel. Furthermore, the lowest strength belonged to poplar joints made with unmodified resins and 6 mm dowels. The improvement can be due to an increased viscosity and controlled penetration of the resin into the wood structure and hence better bonding. Concerning the wood species, beech had the highest stress carrying capacity that can attributed to its higher density.

Keywords: stress carrying capacity, wooden dowel, modified PVAc, dowel.

A. Salari^{1*}
M. Faezipour²
A.N. Karimi³
M. Jonoobi⁴
P. Moradpour⁵

¹ Ph.D. Student., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Professor., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Professor., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁴ Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁵ Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
Ayoub.salari@ut.ac.ir

Received: 2017/12/23
Accepted: 2018/02/03