

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴

ص ۵۷۳-۵۹۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۶

تأثیر نوع اتصال در لایه میانی و نوع روکش در لایه سطحی بر خواص مکانیکی تخته‌ردیفی

❖ وحید معظمی؛ کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، زابل، ایران

❖ مرتضی ناظریان*؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده

این پژوهش به بررسی تأثیر نوع اتصال سرب‌سرب باریک‌های چوبی گز شاهی به‌کاررفته (ساده، مورب و نیم‌ونیم) در لایه میانی تخته‌ردیفی، گونه روکش چوبی به‌کاررفته در لایه‌های سطحی (نراد، راش، و بلوط) و نیز نسبت وزنی رزین ملامین‌فرمالدئید به اوره‌فرمالدئید در خط چسب (۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵ و ۵۰:۵۰) بر روی خواص مکانیکی تخته‌ردیفی پرداخته است. نتایج نشان دادند که نوع اتصال تأثیر معناداری بر مقاومت خمشی (MOR) و مدول الاستیسیته (MOE) می‌گذارد؛ به‌طوری‌که بیشترین مقاومت‌ها را تخته‌هایی داشته‌اند که در لایه‌های میانی از اتصال نیم‌ونیم استفاده شده است. معلوم شد که نوع روکش و نسبت رزین MF به UF نیز تأثیر معناداری بر خواص مقاومتی داشته است. همچنین، نتایج نشان داد که اختلاف بین مقاومت‌های تخته‌های متقاطع با موازی معنادار بوده است؛ به‌طوری‌که تخته‌های متقاطع مقاومت‌های بیشتری نسبت به تخته‌های موازی دارند. به‌طورکلی، تخته‌هایی که در لایه میانی باریک‌های چوبی با اتصال نیم‌ونیم و با روکش نراد با رزین ملامین‌اوره‌فرمالدئید با نسبت ۵۰:۵۰ ساخته شده‌اند، بیشترین مدول گسیختگی (متقاطع $48/48 \text{ N/mm}^2$ و موازی $40/50 \text{ N/mm}^2$) و بیشترین مدول الاستیک (متقاطع 9153 N/mm^2 و موازی 5962 N/mm^2) را داشتند.

واژگان کلیدی: اتصال نیم‌ونیم، اوره‌فرمالدئید، تخته‌ردیفی، گز شاهی، مقاومت خمشی، ملامین‌فرمالدئید.

مقدمه

کمبرود منابع جنگلی و چوبی در کشور حقیقتی انکارناپذیر است که کاهش ظرفیت تولید و حتی تعطیلی تعدادی از کارخانه‌های مرتبط با صنایع چوب را به دنبال داشته است. استفاده از گونه‌های چوبی با کیفیت پایین و زودرشد همچون گز شاهی، لیلکی، اکالیپتوس، و... که می‌تواند از طریق زراعت چوب، هم به اقتصاد روستایی و صنعت و هم به توسعه عرصه‌های جنگلی و حفظ محیط زیست شکننده کشور، کمک کند، از طریق افزایش ارزش افزوده این مواد و تبدیل آن به محصولات با کیفیت بالا می‌تواند جبران‌کننده این کمبود باشد. گونه گز از خانواده *tamaricaceae* است. مرکز اصلی رویش این گونه در مناطق وسیعی از ایران، همچون مرکز و جنوب و به‌خصوص جنوب شرق است. یکی از گونه‌های شناخته این خانواده گز شاهی (*tamarix aphylla*) است. دانسیته خشک چوب گز شاهی حدود ۰/۶۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، هم‌کشیدگی حجمی ۱۴ درصد و مدول گسیختگی ۸۸/۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع است [۱]. امروزه، به دلیل کیفیت پایین، از گز شاهی استفاده‌های صنعتی نمی‌شود، اما می‌توان با بهره‌گیری از فرایندهای مناسب تولید، برای مصارف صنعتی از آن استفاده کرد. از جمله محصولاتی که می‌تواند موجب کاربرد صنعتی و افزایش ارزش افزوده این نوع گونه‌های چوبی شود، فرآورده‌های لایه میانی است. لایه میانی این محصول از چوب ماسیو، که عمدتاً از نوارهای باریک تشکیل شده است، با رویه متقاطع از یک یا چند روکش چوب، که نسبت به الیاف نوارهای باریک

لایه میانی بیشتر در زاویه قائم قرار دارند، پوشیده می‌شود. هرچند تخته‌برداری از جهاتی با تخته سه‌لایه مشابه است، از سفتی و مقاومت خمشی بالاتری برخوردار است و می‌تواند برای کاربرد در مواقعی که به صفحات با ابعاد خیلی بزرگ نیاز است استفاده شود. علاوه بر آن، مزیت اصلی تخته‌برداری نسبت به تخته سه‌لایه امکان کاربرد چوب‌آلات ضخیم، پشت‌لا، و کوتاه است که در صنایع تولید صفحات لایه‌ای دیگر قابل استفاده نیست [۲].

تعداد بررسی‌های انجام‌شده بر تأثیرگذاری متغیرهای تولید بر خواص تخته‌برداری بسیار محدود است، ولی پژوهش‌هایی بر اثرگذاری متغیرهای ساخت بر محصولات لایه‌ای مشابه دیگر صورت گرفته است. طبرسا و فارسی (۲۰۰۳) به بررسی امکان ساخت تیر لایه‌ای با اتصالات انگشتی از ضایعات کارخانه‌های روکش پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که مقاومت خمشی تحت تأثیر بارگذاری عمود بر سطح، در چوب ماسیو و تخته‌لایه تفاوت معناداری ندارد و بنابراین استفاده از تیر لایه‌ای در مواردی که نیرو عمود بر سطح خط چسب وارد می‌شود، توصیه می‌شود [۳]. ایپهن (۲۰۰۷) به مطالعه اثر اتصال انگشتی مورب سربه‌سر لایه‌ای از گونه‌های نارون و کاج با سه ضخامت متفاوت به روی مقاومت خمشی LVL و با مصرف دو نوع رزین فنل‌فرمالدئید و ملامین‌فرمالدئید در خط چسب پرداخت. نتایج نشان داد که با کاهش تعداد لایه‌ای در یک ضخامت معین و کاربرد اتصال سربه‌سر انگشتی مورب، خواص تخته‌ها به دلیل سطح تماس بیشتر در منطقه اتصال سربه‌سر لایه‌ها بهبود یافته است [۴]. بیات کشکولی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر تعداد اتصالات

بارگذاری، شکست در خط چسب رخ ندهد. علاوه بر این، تخته‌ردیفی نه‌تنها در اماکن داخلی و سرپوشیده، بلکه در مصارف بیرونی که تحت تأثیر تغییرات شدید جوی قرار دارند نیز استفاده می‌شود. بنابراین، لازم است رزینی استفاده شود که جوابگوی نیازهای ذکر شده باشد. با توجه به کاربرد گسترده رزین‌های مصنوعی، به‌خصوص اوره‌فرمالدئید، اصلاح آن به کمک افزودن رزین ملامین فرمالدئید در حد متعارف می‌تواند خواص رزین اوره‌فرمالدئید را بهبود دهد. این بهبود را می‌توان به تشکیل ترکیبات متیلنی در نتیجه واکنش هیدروکسی‌متیلاسیون نسبت داد که سبب می‌شود ملامین با فرمالدئید به‌منظور تشکیل هیدروکسی‌متیل ملامین با شش عدد گروه‌های هیدروکسی‌متیل واکنش دهد [۱۰]. علاوه بر آن، تخلخل عامل دیگری است که می‌تواند بر مقاومت خط چسب و در نهایت چندسازه تأثیرگذار باشد. تخلخل از طریق افزایش قابلیت ترشوندگی سطح چوب و نفوذ راحت‌تر رزین و در نتیجه توزیع همگن‌تر رزین در لایه‌های سطحی چوب و افزایش درهم روی مکانیکی سبب ایجاد اتصالات شیمیایی بیشتر بین رزین و گروه‌های هیدروکسیل چوب می‌شود. این افزایش اتصالات شیمیایی موجب خواهد شد طی بارگذاری، انتقال تنش از سطح فشاری (روی) به سطح کششی (زیرین) راحت‌تر صورت گیرد و سبب افزایش مقاومت شود [۸].

به منظور بهبود خواص تخته‌ردیفی ساخته‌شده از باریک‌های کوتاه با اتصال سربه‌سر، که در لایه‌های میانی استفاده شده‌اند، به ارزیابی تأثیر گونه چوبی روکش پوشاننده سطوح صفحات مرکب چوبی نیاز است. در مورد مواد چوبی که برای اعضای ساختمانی

الوار لامینه‌ای ساخته‌شده از صنوبر را بر خواص مکانیکی بررسی کردند. نتایج نشان داد که الوار بدون اتصال خصوصیات خمشی بهتری نسبت به نمونه‌های ساخته‌شده از لایه‌های به‌هم‌چسبیده‌شده داشته‌اند. در کل، اتصالات سربه‌سر تأثیر منفی بر مقاومت‌های خمشی محصول داشته است [۵]. والفورد (۲۰۰۰) به بررسی اثر شیب و طول زبانه در اتصال انگشتی الوارهای گونه کاج پرداخت. نتایج نشان داد که با افزایش میزان شیب زبانه، طول زبانه نیز افزایش می‌یابد و در راستای افزایش شیب زبانه، سطح تماس اتصال بیشتر و باعث افزایش مقاومت‌ها می‌شود [۶]. وسیلیو و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی اثر بخارزنی چوب راش و طول زبانه در اتصال انگشتی پرداختند. معلوم شد که چوب راش بخارزنی‌نشده با طول زبانه بلندتر بیشترین مقاومت خمشی را دارد [۷].

با اعمال تیمارهای مناسب و کاربرد روکش مناسب می‌توان نه‌تنها کیفیت ظاهری، بلکه خواص مکانیکی تخته را بهبود داد. ناظریان (۲۰۱۳) نشان داد که مقاومت خمشی تخته‌خرده چوب به‌طور معناداری به گونه چوبی روکش استفاده‌شده در لایه‌های سطحی وابسته است؛ به طوری که با کاربرد روکش بلوط بالاترین مقاومت‌ها حاصل می‌شود [۸]. نئورویدس و ماینگ (۲۰۰۶) در بررسی خود نشان دادند که با اندود کردن سطوح تخته‌خرده چوب با مواد مختلف رنگی، خواص مکانیکی تخته در نتیجه افزایش دانسیته و سفتی بهبود پیدا کرده است [۹].

به‌منظور اتصال مناسب روکش بر صفحات مرکب چوبی به بررسی تأثیر نوع اتصال‌دهنده در خط چسب نیاز است. به‌طور کلی، بهترین اتصال می‌تواند وقتی ایجاد شود که در صورت گسیختگی ورق در

سمباده لرزان به منظور حذف یا کاهش زبری سطح و یکنواختی در ضخامت، ضخامتی برابر ۱ میلی‌متر از هر طرف باریکه برداشته شد؛ به طوری که ضخامت نهایی آن به ۱۳ میلی‌متر رسید. سعی شد تا برش همه باریکه‌ها به یک صورت (مماسی) تهیه شود. باریکه‌های تهیه‌شده به مدت سه ماه، به نحوی که از ایجاد ترک یا انحنای کمانی شدن جلوگیری شود، بر روی همدیگر با فواصل معین از یکدیگر در کپه‌هایی در محیط آزمایشگاه (محل استقرار دستگاه آزمون مکانیکی) چیده شدند تا خشک شوند و به رطوبت تعادل با محیط برسند. پس از رسیدن رطوبت باریکه‌ها به ۵ درصد (رطوبت تعادل چوب در محیط)، از آن‌ها اتصالات سربه‌سر تهیه شد. براساس طرح آزمونی استفاده‌شده، سه نوع اتصال سربه‌سر (ساده، مورب (۳۰°)، و نیم‌ونیم) برای متصل کردن باریکه‌های مصرف‌شده در لایه میانی استفاده شد. چسب استفاده‌شده در اتصالات سربه‌سر پلی‌وینیل استات (PVAC) با مشخصات فنی: درصد مواد جامد ۶۶ - ۶۲ درصد، دانسیته ۱/۵ - ۱/۱ کیلوگرم بر متر مکعب، زمان گیرایی در ۲۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۲۰ - ۱۰ دقیقه، pH ۴-۶ و پایه رقیق‌کننده اتیل استات بوده است. پس از چسب زدن دو سر باریکه‌ها از یک دستگاه دوخت پنوماتیک استفاده شد تا باریکه‌های کوتاه از دو سر به نحو مطلوب تثبیت و هم‌زمان فشار مورد نیاز برای ایجاد اتصال مناسب تأمین شود. به دلیل عدم امکان کاربرد رزین‌های گرماسخت در نتیجه سختی در اعمال فشار مناسب و یکنواختی از جهات مختلف روی باریکه‌ها برای ایجاد سطح تماس مناسب در محل اتصالات در زیر پرس از یک طرف و از طرف دیگر کوتاه‌بودن

استفاده می‌شوند و اغلب ابعاد بزرگی دارند، می‌توان اتصالات سربه‌سر مختلفی مانند اتصال مورب، اتصال انگشتی، اتصال نیم‌ونیم، اتصال کام و زبانه، و... را به کار برد. بنابراین، هدف از این بررسی تأثیر ۱. نوع اتصال سربه‌سر (ساده، مورب، نیم‌ونیم) نوارهای باریک و کوتاه چوب گز به کاررفته در لایه میانی، ۲. گونه چوبی روکش (نراد، بلوط، راش) به کاررفته در لایه‌های سطحی بالایی و پایینی تخته‌ردیفی، و ۳. نسبت وزنی ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید بر مقاومت خمشی است. همچنین، اثر جهت استقرار الیاف لایه‌های سطحی رویی و زیرین نسبت به جهت استقرار الیاف در باریکه‌های چوبی استقرار یافته در لایه میانی به دو صورت عمود بر هم (متقاطع) و هم جهت باهم (موازی) بر خواص مکانیکی ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

با توجه به رشد سریع و پراکنش فراوان از یک طرف و عدم کاربرد صنعتی به دلیل ساقه ناصاف و کیفیت نسبتاً پایین، از چوب درخت گز شاهی برای تهیه باریکه‌های چوبی در لایه میانی تخته‌ردیفی استفاده شد. بدین منظور، پنج اصله درخت با قطر متوسط ۳۰ سانتی‌متر در ارتفاع برابر سینه، با عرض حلقه رشد سالیانه به طور تقریبی ۳ میلی‌متر (با کمک مت‌سنس‌سنج اندازه‌گیری شد) انتخاب و سپس گرده‌بینه‌هایی با طول ۱/۲ متر از آن قطع شد. ابتدا توسط اره نواری گرده‌بینه‌ها به چهار تراش‌هایی با ابعاد سطح مقطع تقریبی ۱۰×۷ سانتی‌متر بریده شدند. سپس از چهار تراش‌ها، با اره گرد باریکه‌هایی به ابعاد سطح مقطع ۳۰×۱۵ میلی‌متر تهیه شدند. پس از آن، با

مواد جامد ۷۰ درصد، زمان ژله‌ای شدن ۶۰ ثانیه، دانسیته ۱/۲۶، pH ۷، ویسکوزیته ۳۵۰ ثانیه و مشخصات فنی رزین ملامین اوره فرمالدئید (۵۰:۵۰): مواد جامد ۷۰ درصد، زمان ژله‌ای شدن ۵۸ ثانیه، دانسیته ۱/۲۸۸، pH ۷/۲ و ویسکوزیته ۴۴۵. برای نفوذ کمتر رزین به داخل لایه و نیز باریک‌ها از غلظت بالای رزین (۷۰ درصد) استفاده شد. غلظت رزین و میزان مصرف رزین خشک به ازای واحد سطح (۱۰۰ گرم بر متر مربع) برای همه سطوح متغیر سوم یکسان و ثابت در نظر گرفته شدند. به دلیل حرارت بسیار زیاد محیط در تابستان و افزایش سریع ویسکوزیته رزین و سختی در توزیع یکنواخت آن بر روی روکش از یک طرف و ضخامت اندک روکش و نیز زمان مناسب حرارت‌دهی در زیر پرس از طرف دیگر، از کاتالیزور استفاده نشد. پس از توزیع یکنواخت رزین بر سطوح لایه‌های رویی و زیرین، باریک‌ها در بین لایه‌ها مونتاژ شدند. مطابق شکل ۱، به منظور تعیین اثر استقرار الیاف لایه‌های سطحی رویی و زیرین نسبت به لایه میانی (باریکه‌ها)، دو سری نمونه ساخته شدند: ۱. الیاف لایه‌های سطحی موازی با جهت استقرار الیاف باریک‌ها در لایه میانی (موازی)؛ ۲. الیاف لایه‌های سطحی عمود بر جهت استقرار الیاف باریک‌ها در لایه میانی (متقاطع). طی استقرار باریک‌ها در کنار هم در لایه میانی ابتدا باریک‌هایی که از سر به هم اتصال یافته بودند، تحت فشار مناسب و یکنواخت از پهلو کنار هم قرار گرفتند تا درز بین آن‌ها به حداقل برسد و سپس توسط ماشین دوخت پنوماتیک در کنار هم تثبیت شدند، تا تأثیرات عرض متفاوت درزها بر مقاومت‌های تخته نهایی یکسان و حداقل باشد. تعداد باریک‌های

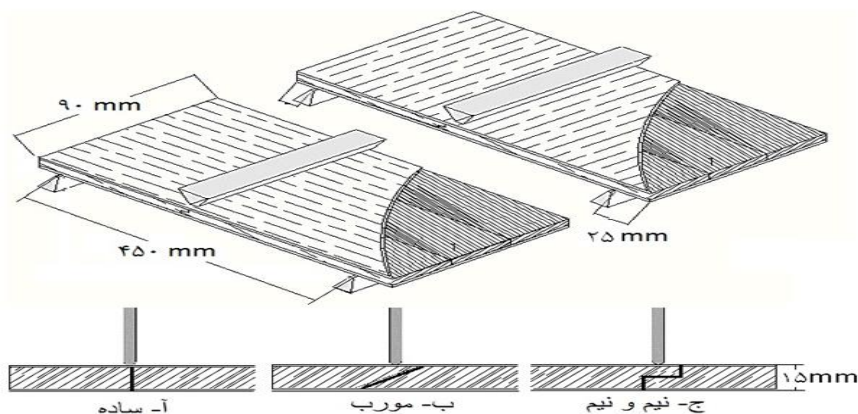
مدت حرارت‌دهی در زیر پرس، که حداقل تأثیر منفی را می‌توانست بر روی رزین استفاده‌شده در خط اتصالات لایه میانی بگذارد، از این رزین استفاده شد. سعی شد تا با کمک تزریق‌کننده مدرج قابل کنترل میزان مصرف PVAc (با توجه به میزان ماده خشک چسبی در محلول) به ازاء واحد سطح (متر مربع) محاسبه شده برای هریک از انواع اتصالات به‌کاررفته یکسان باشد.

از سه نوع روکش راش، بلوط، و نراد با ضخامت ۱ میلی‌متر برای روکش کردن و ایجاد لایه‌های سطحی پایینی و بالایی استفاده شد. با توجه به رطوبت تعادل روکش (۵ درصد) مقدار معینی آب به صورت مه‌پاشی بر روی روکش‌ها پاشیده شد. این میزان آب با تکرار و آزمون به نحوی تعیین شد که میزان رطوبت لایه‌ها تقریباً در حد ۷ درصد ثابت شد. بلافاصله پس از آن، چسب‌زنی روکش‌ها صورت گرفت. رطوبت پس از چسب‌زنی لایه‌ها با توجه به میزان وزنی ماده خشک چسبی و غلظت رزین به ۱۱ درصد رسید. به منظور حفظ ثبات در میزان مصرف رزین به ازای واحد سطح، مقدار مشخص و ثابت از رزین خشک به ازای واحد سطح توزین و پس از انحلال در آب و رساندن غلظت محلول به ۷۰ درصد، از تزریق‌کننده مدرج قابل کنترل برای توزیع یکنواخت رزین روی سطح استفاده شد. پس از آن، توسط کاردک رزین استقرار یافته روی لایه به‌طور یکنواخت توزیع شد. به منظور تعیین اثر نسبت وزنی رزین ملامین به اوره فرمالدئید به‌کاررفته در خط چسب روی خواص فیزیکی و مکانیکی از نسبت‌های ۱۰۰:۰، ۲۵:۷۵ و ۵۰:۵۰ به‌منزله متغیر سوم استفاده شد. مشخصات فنی رزین اوره فرمالدئید عبارت‌اند از:

سطوح هریک (سه سطح) ۲۷ تیمار و در مجموع ۸۱ تخته متقاطع و ۸۱ تخته موازی ساخته شدند. مقاومت خمشی براساس آیین‌نامه استاندارد - ASTM C 393 00 (2000) انجام شد (شکل ۱) [۱۱].

پس از اتمام آزمون‌های مکانیکی، نتایج به‌دست‌آمده براساس آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و از آزمون چنددامنه‌ای دانکن نیز برای مقایسه میانگین‌های داده‌ها استفاده شد. سپس اثر مستقل و متقابل هریک از متغیرها به صورت جداگانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد. از آزمون t برای تعیین معناداری اثر نحوه استقرار الیاف لایه‌های رویی و زیرین نسبت به لایه میانی بر MOR و MOE نیز استفاده شد.

استقرار یافته در لایه میانی سه عدد بوده؛ به طوری که عرض نهایی نمونه‌های آزمونی برابر ۹۰ میلی‌متر شد. پس از مونتاژ باریک‌ها و لایه‌های آغشته به چسب، تخته به داخل پرس انتقال داده شد. پس از بررسی‌های مقدماتی و ساخت نمونه‌های اولیه، حرارت پرس، زمان پرس و میزان فشار اعمال‌شده با پرس به ترتیب 140 درجه سانتی‌گراد، ۱۲۰ ثانیه، و ۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع انتخاب شد. بعد از خروج تخته‌ها از پرس، نمونه‌ها به مدت دو هفته در شرایط آزمایشگاهی (محل انجام دادن آزمون مکانیکی) قرار داده شدند تا رطوبت نمونه‌ها به نقطه تعادل با رطوبت هوای اطراف برسد. پس از سپری شدن این زمان، روکش‌های اطراف پاک‌بری شده تا نمونه‌هایی با ابعاد نهایی 15×90×500 میلی‌متر به‌دست آیند. با توجه به تعداد متغیرها (سه عدد) و



شکل ۱. جهت استقرار الیاف در لایه‌های سطحی و نوع اتصالات به‌کاررفته در لایه میانی

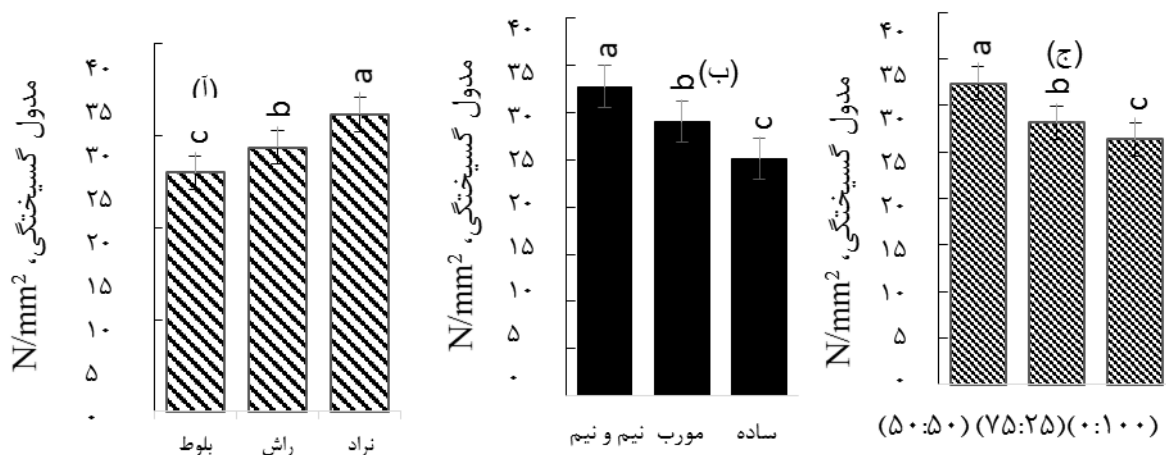
بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در سطح ۹۵ درصد معنادار است. همان‌گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، مقاومت خمشی در تخته‌های ساخته‌شده با اتصال نیم‌ونیم در لایه میانی نسبت به اتصالات مورب و ساده به ترتیب ۱۲/۷۰ و ۳۰/۲۸

نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل هریک از عوامل متغیر بر مقاومت خمشی تخته‌های موازی و متقاطع ساخته‌شده در جدول ۱ آورده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که تأثیر مستقل نوع اتصال

فشرده‌شدن محل اتصال طی فرایند سرهم کردن به‌طور کامل انجام می‌شود. در نتیجه، یکنواختی بیشتری در خط چسب و محل اتصال نیم‌ونیم ایجاد می‌شود. این شرایط برای اتصال مورب کمتر است و برای اتصال ساده سربه‌سر رخ نمی‌دهد. به‌طوری‌که یکی از عوامل اصلی برای ایجاد اتصال مناسب میزان فشار است. طی اعمال فشار برای اتصال دادن دو باریکه از سر به همدیگر، با توجه به شکل اتصال سربه‌سر، میزان پذیرش فشار از سوی اتصالات متفاوت خواهد بود. در اتصال نیم‌ونیم، با توجه به اینکه عمده سطح اتصال در منطقه تار ختنی قرار دارد و این منطقه کمتر از دیگر مناطق، تحت کشش یا فشار در طی خمش تحت تنش قرار می‌گیرد، منطقی است که فرض شود از بین سه اتصال به‌کاررفته، حداقل میزان فشار را اتصال سربه‌سر ساده و حداکثر پذیرش فشار به منظور تشکیل اتصال بهتر بین رزین و چوب را اتصال نیم‌ونیم در نتیجه دریافت فشار و تماس مناسب‌تر بین عناصر چوب و چسب در منطقه اتصال دارد که یکی از عوامل اصلی در ایجاد چسبندگی مطلوب است. همچنین، در اتصال سربه‌سر ساده، اتصال چسب PVAC با چوب در مقطع عرضی تشکیل شده است، با توجه به این نکته که آوندها مسیر اصلی نفوذ چسب‌اند. در اتصال سربه‌سر ساده و مورب امکان ایجاد خط چسب کم‌ضخامت به‌وجود می‌آید و باعث افت مقاومت مکانیکی نسبت به اتصال نیم‌ونیم می‌شود. با توجه به اینکه معمولاً احتمال قرار گرفتن آوندها در مسیر نفوذ چسب در اتصال نیم‌ونیم بسیار کمتر است و امکان استقرار حداکثر میزان چسب در خط چسب ممکن می‌شود، بنابراین اتصال نیم‌ونیم می‌تواند پیوند قوی‌تری را تشکیل دهد [۱۲].

درصد بیشتر است و بیشترین مقاومت در اتصال نیم‌ونیم و برابر با $32/74$ نیوتن بر میلی‌متر مربع به‌دست آمد، زیرا سطح تماس و محدوده خمش آن بیشتر از اتصال ساده و مورب است. همچنین در طراحی اتصالات، فرم هندسی اتصال برای بهبود عملکرد سازه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. هرچه فرم هندسی اتصال به حالتی باشد که درگیری و صلبیت دو قطعه متصل‌شده بیشتر شود، تنش واردشده به قطعه کمتر است. به عبارت دیگر، اتصال می‌تواند بار بیشتری برای رسیدن به تنش حداکثر را، که مسبب شکست خواهد بود، تحمل کند. در نتیجه، محصول نهایی مطلوب‌تری به‌دست می‌آید [۴]. با توجه به سطح تماس ناحیه اتصال و شکل هندسی اتصال نیم‌ونیم نسبت به دو اتصال مورب و ساده، مقاومت خمشی اتصال نیم‌ونیم در حد مطلوب‌تری به‌دست آمد. در تحلیل مقاومت خمشی، سطحی‌ترین لایه‌های رو و زیر، بیشترین تأثیر و لایه‌های نزدیک به لایه مرکزی به‌دلیل استقرار لایه (تار) ختنی در این منطقه کمترین تأثیر را بر مدول گسیختگی دارند [۹]. در واقع، با توجه به اینکه طی بارگذاری، به دلیل تنش، حداقل در لایه میانی که محل اتصال است، میزان بار برای گسیختگی این منطقه اتصال باید خیلی بیشتر باشد تا بتواند تنش لازم برای شکست اتصال را فراهم کند. قراردادن عیوب یا نواحی سست‌تر در صفحه ختنی یکی از تکنیک‌های جدید طبقه‌بندی لایه‌ها در مواد مرکب چوبی است [۸]. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین سطح تماس در اتصال نیم‌ونیم در صفحه ختنی قرار گرفته است. بر این اساس، نیروی واردشده حاصل از فشار در اتصال نیم‌ونیم، حداقل تنش را نسبت به اتصال مورب و ساده دارد. شایان ذکر است که در اتصال نیم‌ونیم،



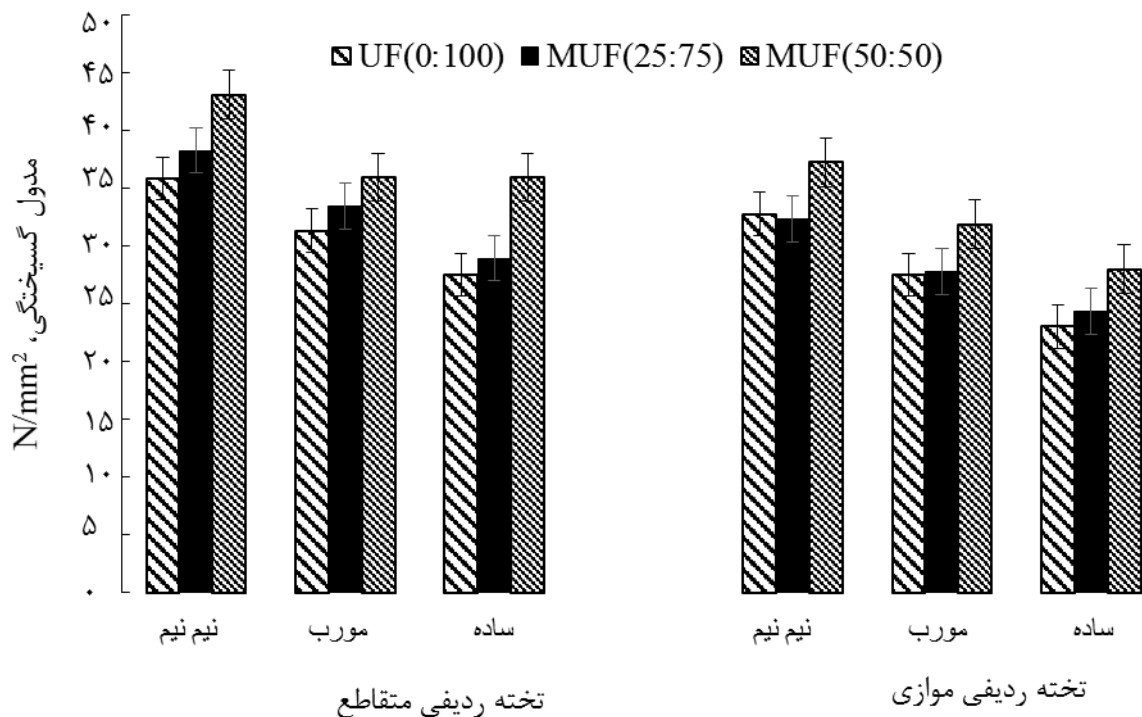
شکل ۲. اثر مستقل نوع گونه روکش (ا)، نوع اتصالات در لایه میانی (ب) و نوع چسب در خط چسب (ج) بر مدول گسیختگی (MOR)

قیمت به نسبت کمی دارد و در پرس گرم واکنش سریعی نشان می‌دهد. ولی عیب عمده این رزین اتصال ضعیف در برابر مقاومت‌های مکانیکی و شرایط جوی است. یکی از راه‌های مؤثر به منظور بهبود عملکرد اتصالات در چسب اوره‌فرمالدئید، افزایش نسبت مولی فرمالدئید به اوره است، اما این روش موجب افزایش انتشار فرمالدئید از فرآورده‌ها می‌شود [۱۳]. بدین منظور، برای بهبود عملکرد اتصالات اوره‌فرمالدئید می‌توان از ترکیب اوره با ملامین استفاده کرد [۱۴]. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که چسب ملامین فرمالدئید + اوره فرمالدئید (۵۰:۵۰) از لحاظ مقاومت خمشی عملکرد بهتری در مقایسه با چسب ملامین فرمالدئید + اوره فرمالدئید (۲۵:۷۵) و چسب اوره فرمالدئید (۰:۱۰۰) داشته است. چون چسب ملامین اوره فرمالدئید در مقایسه با چسب اوره فرمالدئید اتصالات مقاومی به وجود آورده و سبب افزایش مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته شده است. شیمی واکنش رزین ملامین اوره فرمالدئید،

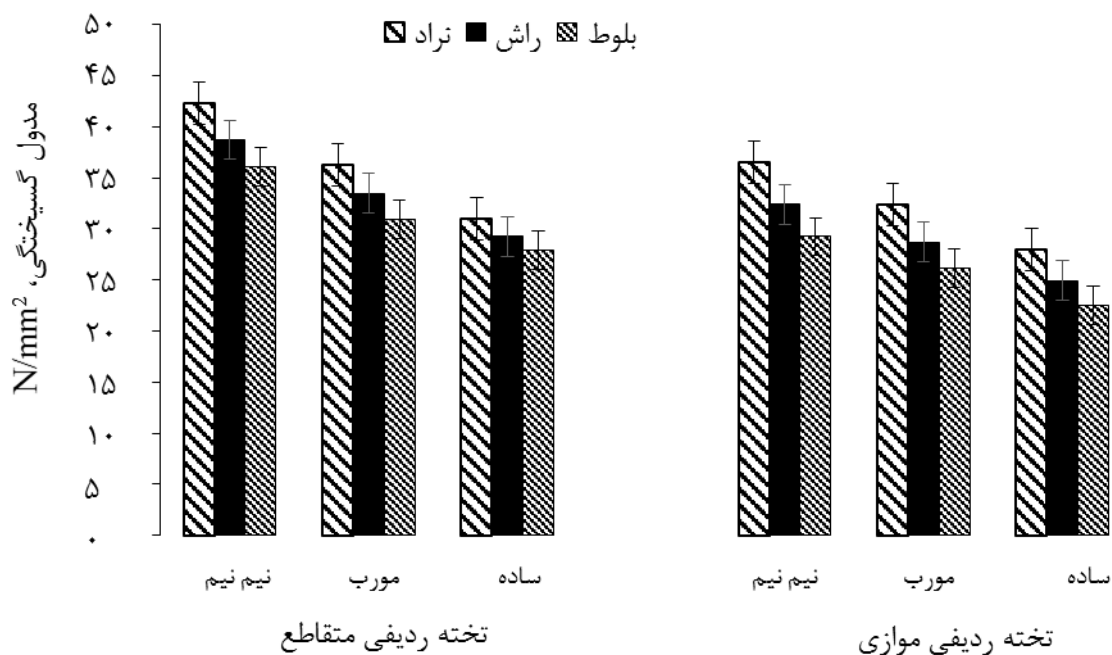
همچنین اثر متقابل نوع اتصال و نوع چسب مصرفی استفاده شده در خط چسب در سطح ۹۵ درصد معنادار است (شکل ۳). با افزایش میزان رزین ملامین فرمالدئید در ترکیب رزینی تا حد ۵۰ درصد مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. با توجه به تجزیه و تحلیل آماری می‌توان گفت حداکثر مقاومت خمشی را تخته‌های متقاطع، که در آن‌ها از چسب ملامین فرمالدئید + اوره فرمالدئید (۵۰:۵۰) در خط چسب استفاده شده و اتصال نیم و نیم در لایه میانی به کار رفته است، داشته‌اند؛ در حالی که حداقل مقاومت خمشی را تخته‌های موازی، که در آن‌ها از چسب اوره فرمالدئید در خط چسب استفاده شده و اتصال ساده در لایه میانی به کار رفته است، داشته‌اند. چسب به منزله یک سیستم اتصال دهنده ذرات لیگنوسلولوزی بر مقاومت‌های مکانیکی فرآورده‌های چوبی تأثیر بسزایی دارد. بیش از ۹۰ درصد از فرآورده‌های مرکب چوبی در جهان با رزین اوره فرمالدئید (UF) ساخته می‌شوند. اوره فرمالدئید علاوه بر سهولت کاربرد،

ملامین‌اوره‌فرمالدئید نسبت به چسب اوره‌فرمالدئید مقاومت‌های مکانیکی بیشتری دارد [۱۵]. ملامین با نام شیمیایی ۱ و ۳ و ۵ تری‌آزین ۲ و ۴ و ۶ تری‌آمین، پیوند محکم C-N تشکیل می‌دهد و از طرفی هرچه تعداد گروه‌های آمین در چسب بیشتر باشد پیوندهای برقرار شده بیشتر و محکم‌تر خواهد بود؛ به طوری که در چسب اوره ۲ گروه آمین و در چسب ملامین ۳ گروه آمین وجود دارد. بنابراین، هرچه نسبت ملامین به اوره بیشتر شود، اتصالات حلقوی بیشتری به وجود می‌آید و سبب افزایش مقاومت خمشی محصول می‌شود [۱۰؛ ۱۴].

مشابه واکنش فرمالدئید با گروه‌های آمینو در تشکیل گروه‌های متیلول در رزین‌اوره‌فرمالدئید است. این گروه متیلول مشابه اوره متراکم می‌شود و پل‌های متیلنی را تشکیل می‌دهد. در مورد ملامین، گروه‌های آمین بخشی از ساختار حلقوی با اتم‌های یک در میان کربن و نیتروژن به نام انامین هستند. این ساختار حلقوی هم پایداری بیشتری به اتصال‌های به وجود آمده می‌دهد، هم امکان تشکیل تعداد زیادی گروه‌های تری‌متیلول را می‌دهد که عملاً در فرایند پلی‌کندانسیون رزین‌اوره‌فرمالدئید اتفاق نمی‌افتد. در نتیجه، محصول ساخته شده با چسب



شکل ۳. اثر متقابل نوع اتصال و نوع چسب مصرفی در خط چسب بر مدول گسیختگی (MOR)



شکل ۴. اثر متقابل نوع اتصال و نوع گونه روکش چوبی بر مدول گسیختگی (MOR)

اشعه چوبی پرسلولی با ارتفاع زیادتر و نیز عرض بیشتر (تا بیش از ۳۰ سلول) از اشعه چوبی در روکش چوب راش (کمتر از ۲۵ سلول) دارد. در این شرایط، رزین بیش از حد در لایه بلوط می‌تواند نفوذ کند و سبب استقرار کم رزین در خط چسب شود. همچنین لایه‌های چوبی با دانسیته سنگین‌تر بعد از لایه‌گیری و در هنگام خشک‌سازی میکروتراک‌های بیشتری نسبت به لایه‌های چوبی دانسیته سبک‌تر دارند. این میکروتراک‌ها باعث نفوذ بیش از حد چسب به داخل این تراک‌ها، استقرار ناکافی رزین در خط چسب، و کاهش استحکام محل اتصال لایه با چوب می‌شود. بر این اساس، روکش و لایه به‌دست‌آمده، به‌ترتیب از گونه‌های چوبی نراد با دانسیته ۰/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، راش با دانسیته ۰/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، و بلوط با دانسیته ۰/۶۷ گرم بر

همچنین اثر متقابل نوع اتصال و نوع گونه چوبی روکش در سطح ۹۵ درصد معنادار بوده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین مقاومت خمشی در نوع اتصال نیم‌ونیم با استفاده از روکش نراد با مقدار ۴۲/۲۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع و کمترین مقاومت خمشی ۲۲/۴۸ میلی‌متر مربع در تخته ساخته‌شده به‌صورت موازی با اتصال ساده و روکش نراد است.

روکش گونه‌های چوبی مختلف زبری، تخلخل، قطر آوند، سلول‌های چوبی، و کیفیت سطحی متفاوتی دارند و تأثیرات متفاوتی بر ضخامت خط چسب، میزان نفوذپذیری و در نتیجه مقاومت مکانیکی می‌گذارند. روکش‌های حاصل از فرایند لوله‌بری استفاده‌شده در لایه‌های سطحی تخته‌ردیفی برش کاملاً مماسی دارند. در این برش، روکش چوب بلوط

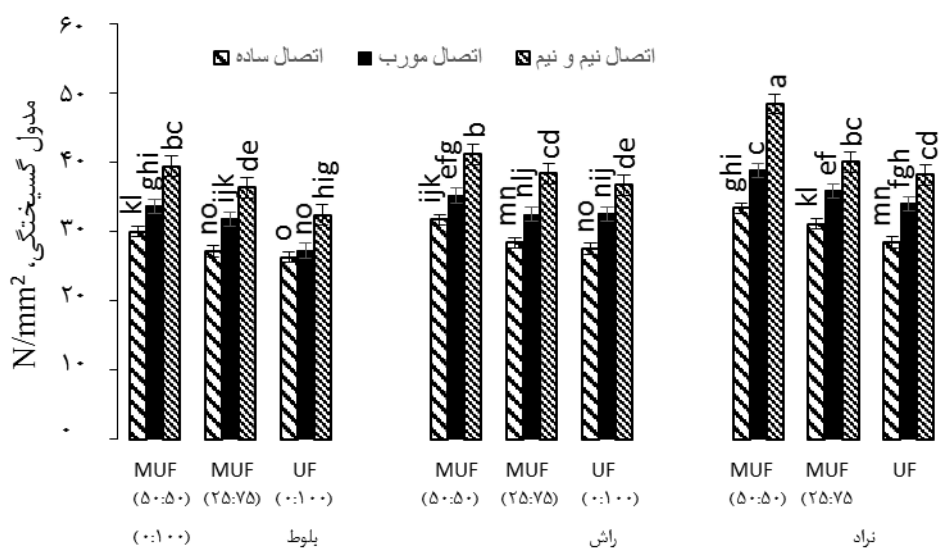
ساخته شده با گونه روکش چوبی نراد نسبت به دو گونه روکش چوبی راش و بلوط بیشتر است. با توجه به تأثیرپذیری مدول الاستیسیته تخته‌ردیفی از مدول الاستیسیته لایه‌های سطحی زیرین و رویی، با افزایش مدول الاستیسیته لایه‌های سطحی، مدول الاستیسیته کل تخته‌ردیفی افزایش می‌یابد. براساس گزارش آزمایشگاه تولیدات جنگلی امریکا (۲۰۱۰) میزان مدول الاستیسیته نراد، راش، و بلوط به ترتیب برابر ۱۳۴۴۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع، ۱۱۸۶۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع، و ۱۱۳۱۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع است. از این رو، می‌توان انتظار داشت مدول الاستیسیته تخته‌ردیفی حاصل از روکش نراد با توجه به اینکه مقاومت سطحی‌ترین لایه‌ها مؤثرترین فاکتور بر روی مقاومت‌های خمشی است، بیشتر از راش و بلوط باشد [۱۶].

در تخته‌های ردیفی موازی، تأثیر متقابل نوع اتصال، نوع چسب مصرفی در خط چسب، و نوع گونه روکش مصرفی بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در سطح ۹۵ درصد معنادار بوده است (جدول ۱). همچنین، تأثیر مستقل هر یک از متغیرهای بررسی شده بر روی مدول الاستیسیته تخته‌های متقاطع در سطح ۹۵ درصد معنادار بوده است. در حالی که اثر متقابل سه گانه و دوگانه این متغیرها بر روی مدول الاستیسیته تخته‌های متقاطع معنادار نبوده است. حداکثر مقاومت خمشی برای تخته‌ردیفی ساخته شده متقاطع با اتصال نیم‌ونیم در لایه‌های میانی، گونه روکش نراد در لایه‌های رویی و چسب ملامین فرمالدئید + اوره فرمالدئید (۵۰:۵۰) در خط چسب با مقدار ۴۸/۴۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع است (شکل ۵). این مقدار برای تخته‌های موازی برابر ۴۰/۵۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع بوده است.

سانتی‌متر مکعب با کیفیت‌ترند. شایان ذکر است که pH گونه‌های چوبی مختلف متغیر بوده و اغلب بین ۳ تا ۶ است. گونه چوبی بلوط با pH ۴/۳۰ از دو گونه راش و نراد اسیدی‌تر است. این امر موجب می‌شود که سرعت پلیمریزاسیون رزین قبل از فشرده‌سازی نهایی افزایش یابد و پیوندهای ضعیفی در خط چسب تشکیل شود [۱۶]. شایان ذکر است که بر اثر اعمال توأم حرارت و فشار پرس به تخته‌ردیفی لایه‌های رویی فشرده و بخشی از فضاها خالی و حفره‌های هوا توسط رزین و خود ماده چوبی جایگزین می‌شود. این امر سبب می‌شود که بسیاری از خصوصیات مکانیکی، از جمله MOR و MOE، در نتیجه افزایش دانسیته لایه‌های سطحی، که در خمش بسیار مؤثر است، در تخته بهبود یابد [۱۷]. این روند برای گونه‌های کمتر از ۰/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، با به‌کارگیری فشاری تا حد ۱۰ مگاپاسگال، ملموس‌تر است. بر این اساس، با توجه به جرم ویژه راش و بلوط، با دانسیته بالاتر از ۰/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، به ترتیب قابلیت فشرده‌گری کمتری نسبت به نراد دارند؛ در نتیجه تخته‌های روکش شده با این گونه‌ها، با توجه به میزان کمتر فشار اعمال شده، مقاومت‌های مکانیکی پایین‌تری نیز دارند. با توجه به نتایج یادشده، اگر در ساخت تخته‌ردیفی از فشار پرس بالاتری استفاده می‌شد، شاید مقاومت خمشی تخته‌های پوشیده شده از گونه چوبی بلوط بیشتر از دو گونه نراد و راش می‌شدند. اما در این صورت، به علت اعمال فشار زیاد اتصالات باریک‌ها در لایه میانی، به خصوص اتصال مورب و ساده، صدمه می‌دیدند. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، مدول الاستیسیته تخته‌ردیفی

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عامل‌های متغیر بر مدول گسیختگی و الاستیسیته

Sig.	F	مربع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات	مدول گسیختگی (مدول الاستیسیته)، N/mm ²	منابع تغییر
۰/۰۰۱	۲/۲	۷۵/۲	۲۶	۱۹۵۶/۲	موازی (MOR)	مدل کنترل
۰/۰۰۱	(۱۵۶)	(۳۱۲۳۹۰)	۲۶	(۸۱۲۲۰۰۰)	موازی (MOE)	
۰/۰۱	۶۱/۶	۸۰/۸	۲۶	۱۰۲/۱	متقاطع (MOR)	
۰/۰۱	(۱۲/۵)	(۵۳۰۷۱۶)	۲۶	(۱۳۸۰۰۰۰۰)	متقاطع (MOE)	
۰/۰۰۱	۱/۱	۳۹۱/۳	۲	۷۸۲/۶	موازی (MOR)	نوع اتصال
۰/۰۱	(۷۱۰)	(۱۴۱۷۰۰)	۲	(۲۸۳۴۰۰۰)	موازی (MOE)	
۰/۰۱	۴۸۳/۱	۶۳۳/۷	۲	۱۲۶۷/۵	متقاطع (MOR)	
۰/۰۱	(۸۸/۷)	(۳۷۵۲۰۰۰)	۲	(۷۵۰۴۰۰۰)	متقاطع (MOE)	
۰/۰۰۱	۷/۵	۲۵۳/۲	۲	۵۰۶/۴	موازی (MOR)	نوع رزین
۰/۰۱	(۱۲۴۶)	(۲۴۸۵۷۳)	۲	(۴۹۷۱۴۶)	موازی (MOE)	
۰/۰۱	۱۵۲/۱	۱۹۹/۵	۲	۳۹۹/۰	متقاطع (MOR)	
۰/۰۱	(۹/۴)	(۳۹۸۵۱۰)	۲	(۷۹۷۰۲۰)	متقاطع (MOE)	
۰/۰۱	۸/۱	۲۷۲/۳	۲	۵۴۴/۷	موازی (MOR)	نوع روکش
۰/۰۱	(۹۳۱)	۱۸۵۸۰۰۰	۲	(۳۷۱۶۰۰۰)	موازی (MOE)	
۰/۰۰۱	۱۲۳/۷	۱۶۲/۳۳۱	۲	۳۲۴/۶۶۳	متقاطع (MOR)	
۰/۰۰۱	(۵۶)	(۲۳۷۱۰۰۰)	۲	(۴۴۷۲۰۰۰)	متقاطع (MOE)	
۰/۰۱	۳۷۷/۴	۱۲/۷۴۰	۴	۵۰/۹۵۹	موازی (MOR)	نوع اتصال و نوع رزین
۰/۰۱	(۳۷۶)	(۷۵۰۶۲)	۴	(۳۰۰۲۵۰)	موازی (MOE)	
۰/۰۱	۵/۱	۵/۶۱۰	۴	۲۶/۶۸۵	متقاطع (MOR)	
۰/۶۸	(۰/۵۷)	(۲۸۳۴۰)	۴	(۹۷۵۲۰)	متقاطع (MOE)	
۰/۰۱	۶۰/۳۴۴	۳/۸۲۵	۴	۸/۱۴۶	موازی (MOR)	نوع اتصال و نوع روکش
۰/۰۰۱	(۳۴۲)	(۶۸۴۲۱)	۴	(۲۷۳۶۸۵)	موازی (MOE)	
۰/۰۱	۴/۳	۶/۹۳۴	۴	۲۲/۴۳۹	متقاطع (MOR)	
۰/۰۶	(۲/۳)	(۱۰۱۱۲۷)	۴	(۴۰۴۵۱۰۰)	متقاطع (MOE)	
۰/۰۱	۱۱۳	۵/۹۹۴	۴	۱۵/۳۰۲	موازی (MOR)	نوع رزین و نوع روکش
۰/۰۱	(۱۸۸)	(۳۷۶۷۳)	۴	(۱۵۰۶۹۵)	موازی (MOE)	
۰/۰۱	۵/۲۸۷	۴/۲۵۳	۴	۲۷/۷۳۷	متقاطع (MOR)	
۰/۸۲	(۰/۳۹)	(۱۶۳۴۷)	۴	(۶۵۳۸۹)	متقاطع (MOE)	
۰/۰۱	۱۷۷/۶	۰/۰۳۴	۸	۴۷/۹۵۴	موازی (MOR)	نوع اتصال، نوع رزین و روکش
۰/۰۱	(۲۱۹)	(۴۳۷۳۰)	۸	(۳۴۹۸۴۷)	موازی (MOE)	
۰/۰۱	۳/۲	۱/۳۱۲	۸	۳۴/۰۲۰	متقاطع (MOR)	
۰/۸	(۰/۵۶)	(۲۳۵۵۹)	۸	(۱۸۸۴۸۹)	متقاطع (MOE)	
		۰/۰۳۴	۵۴	۱/۸۲	خطا (موازی، MOR)	
		(۱۹۹)	(۵۴)	(۱۰۷۷۶)	خطا (موازی، MOE)	
		۱/۳	۵۴	۷۰/۸۳	خطا (متقاطع، MOR)	
		(۴۲۲۸۰)	(۵۴)	(۲۲۸۳۰۰۰)	خطا (متقاطع، MOE)	

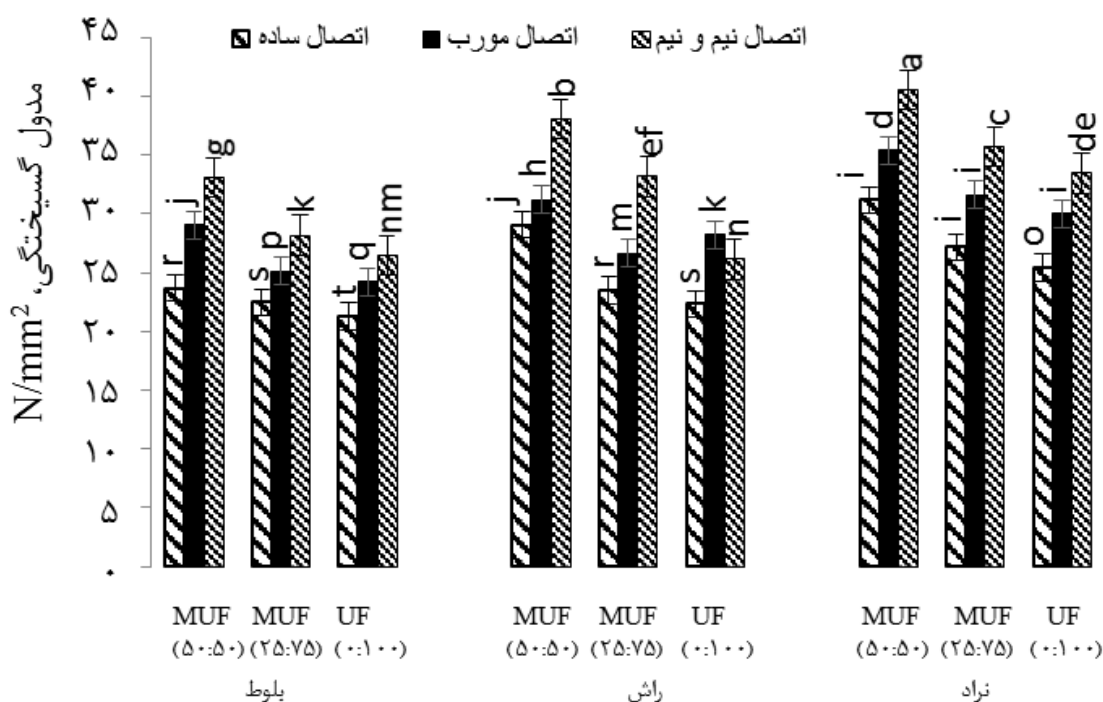


شکل ۵. اثر متقابل نوع اتصال و نوع گونه روکش چوبی و نوع چسب بر MOR تخته‌های متقاطع

برای تخته‌ردیفی ساخته‌شده موازی با اتصال نیم‌ونیم در لایه‌های میانی، گونه روکش نراد در لایه‌های رویی و چسب ملامین‌اوره‌فرمالدئید (۵۰:۵۰) در خط چسب با مقدار ۴۰/۵۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع است (شکل ۶). همچنین بیشترین مدول الاستیسیته برای تخته‌ردیفی ساخته‌شده موازی با اتصال نیم‌ونیم در لایه‌های میانی، گونه روکش نراد در لایه‌های رویی و چسب ملامین‌اوره‌فرمالدئید (۵۰:۵۰) در خط چسب با مقدار ۹۱۵۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع به‌دست آمده است.

باتوجه به شکل‌های ۵ و ۶ و آزمون t، تخته‌ردیفی متقاطع نسبت به تخته‌ردیفی موازی مقاومت خمشی بیشتری دارد. در جریان مونتاژ و ساخت تخته‌ها، عملاً هیچ‌گونه اتصال یا رزینی بین باریک‌ها استفاده نشد (به‌استثنای دوخت پنوماتیک).

براساس آزمون t، اختلاف بین مقاومت‌های نمونه‌های تخته‌ردیفی با آرایش موازی و متقاطع در سطح ۹۵ درصد اطمینان آماری (برای مدول گسیختگی مقدار t برابر ۲۱/۸۶۳ و برای مدول الاستیسیته مقدار t برابر ۲۱/۷۲۹) معنادار بوده است. همچنین مشهود است خصوصیات مکانیکی تخته‌ردیفی متقاطع نسبت به تخته‌ردیفی موازی بالاتر است. بیشترین مدول الاستیسیته برای تخته‌ردیفی ساخته‌شده متقاطع با اتصال نیم‌ونیم در لایه‌های میانی، گونه روکش نراد در لایه‌های رویی و چسب ملامین‌اوره‌فرمالدئید (۵۰:۵۰) در خط چسب و به مقدار ۹۱۵۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع و کمترین مدول الاستیسیته مربوط به تخته‌ردیفی ساخته‌شده موازی با اتصال ساده، چسب اوره‌ملامین‌فرمالدئید (۲۵:۷۵) و گونه روکش راش و به مقدار ۲۷۱۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع بوده است. بیشترین مقاومت خمشی



شکل ۶. اثر متقابل نوع اتصال، نوع گونه روکش چوبی، و نوع چسب بر MOR تخته‌های موازی

اینکه الیاف چوبی به دلیل استقرار زنجیره‌های مستحکم سلولزی در راستای طول الیاف مقاومت بیشتری دارند [۱۸]، سبب خواهد شد تحمل بار برای این تخته‌ها افزایش یابد. در واقع، تنش ایجاد شده در نتیجه ضعف مقاومت چسبندگی بین الیاف و لایه‌های چوبی موجب می‌شود تنش برشی بین لایه‌ها (بین الیاف) به گسیختگی لایه در راستای استقرار طول الیاف [۱۹] در تخته‌های موازی منجر شود.

طی بارگذاری خمشی، لایه‌های سطحی تخته‌های موازی در نتیجه ایجاد نیروی برشی ایجاد شده در بین باریک‌ها توان کمتری در تحمل بار کششی و فشاری ایجاد شده در لایه‌های زیرین و رویی را دارند، زیرا به‌طور کلی مقاومت کششی لایه‌های چوبی در جهت عمود بر استقرار الیاف در نتیجه تأثیرگذاری تنها اتصال‌دهنده طبیعی همچون لیگنین موجود بین الیاف، که ماده‌ای نه‌چندان محکم است، کم است. از این رو، لایه‌های سطحی در راستای استقرار الیاف با اعمال بار کمتر گسیخته خواهند شد. در حالی که در تخته‌های متقاطع به دلیل آنکه بار کششی و فشاری اعمال شده در آزمون خمش به لایه‌های سطحی پایینی و بالایی در جهت استقرار الیاف این لایه‌ها بوده و با توجه به

جدول ۲. گروه‌بندی دانکن مقاومت مکانیکی تخته‌ردیفی*

مدول گسیختگی، N/mm ²		مدول الاستیسیته، N/mm ²		نوع اتصال	متغیرهای مستقل		تیمار
موازی	مقاطع	موازی	مقاطع		نسبت MF/UF	گونه روکش	
۲۵/۴۴o	۲۸/۴۹mn	۴۲۱۷l	۵۵۴۰gh	ساده	UF	نراد	۱
۲۲/۳۲s	۲۷/۵۸no	۲۷۱۳r	۳۷۰۹j			راش	۲
۲۱/۲۹t	۲۶/۳۵o	۲۲۲۶s	۴۰۰۴j			بلوط	۳
۲۷/۱۷l	۳۱/۱۶kl	۴۵۰۰i	۶۱۱defg		MUF (۲۵:۷۵)	نراد	۴
۲۳/۴۹r	۲۸/۴۵mn	۳۰۲۸q	۴۴۱fj			راش	۵
۲۲/۴۷s	۲۷/۱۹no	۲۱۴۸t	۴۱۹۵j			بلوط	۶
۳۱/۱۹i	۳۳/۴۱ghi	۵۰۴۱de	۶۹۹۹ cdef		MUF (۵۰:۵۰)	نراد	۷
۲۹/۰۸j	۳۱/۷۶ijk	۳۹۳۳n	۴۵۵۱hj			راش	۸
۲۳/۶۹r	۳۰/۰۶kl	۳۶۲۷q	۴۵۲۲ hj			بلوط	۹
۳۰/۰۳i	۳۴/۰۶fgh	۴۹۲۴g	۷۰۳۲ cdef		مورب	نراد	۱۰
۲۸/۲۳k	۳۲/۶۱hij	۴۷۰۷h	۶۴۹۴ defg			راش	۱۱
۲۴/۲۳q	۲۷/۲۵no	۳۶۱۴q	۵۵۱۶gh			بلوط	۱۲
۳۱/۶۳i	۳۵/۹۲ef	۵۰۶۴de	۷۰۳۱cdef	MUF (۲۵:۷۵)		نراد	۱۳
۲۶/۶۴m	۳۲/۵۶hij	۴۵۳۸i	۶۰۱۶efg			راش	۱۴
۲۵/۱۰p	۳۱/۸۴ijk	۳۵۶۸q	۵۷۵۵fg			بلوط	۱۵
۳۵/۳۸d	۳۸/۸۷c	۵۱۰۷d	۷۳۷۲bcd	MUF (۵۰:۵۰)		نراد	۱۶
۳۱/۲۱h	۳۵/۲۳efg	۵۰۲۱f	۶۶۷۴ cdefg			راش	۱۷
۲۹/۰۳j	۳۳/۷۱ghi	۳۷۲۳o	۶۷۵۵ defg			بلوط	۱۸
۳۳/۴۵de	۳۸/۲۷cd	۵۶۵۵c	۷۷۶۶bc	UF		نراد	۱۹
۲۶/۱۲n	۳۶/۷۵de	۴۰۵۰m	۶۲۳۴ defg			راش	۲۰
۲۶/۴۲nm	۳۲/۴۴hij	۴۳۰۵k	۶۳۰۷ defg			بلوط	۲۱
۳۵/۷۲c	۴۰/۱۱bc	۵۷۳۰b	۸۳۶۵ab	MUF (۲۵:۷۵)	نراد	۲۲	
۳۳/۱۶ef	۳۸/۴۵cd	۴۷۷۸h	۶۷۲۰ defg		راش	۲۳	
۲۸/۱۷k	۳۶/۴۱de	۴۴۲۰j	۶۵۱۰ defg		بلوط	۲۴	
۴۰/۵۰ a	۴۸/۴۸a	۵۹۶۲a	۹۱۵۳a	MUF (۵۰:۵۰)	نراد	۲۵	
۳۸/۰۱b	۴۱/۲۳b	۵۶۱۸c	۷۱۶۵ cde		راش	۲۶	
۳۳/۱۳g	۳۹/۴۶bc	۳۶۴۰p	۶۵۵۸ cdefg		بلوط	۲۷	

* ضریب تغییرات همه تیمارها کمتر از ۰/۱ بوده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، در ساخت تخته‌ردیفی برای داشتن حداکثر ظرفیت تحمل بار بر روی محل اتصال، کاربرد تخته‌ردیفی متقاطع و اتصال سربه‌سر نیم‌ونیم در لایه میانی، به کاربرد دو اتصال مورب و ساده سربه‌سر ترجیح داده می‌شود. همچنین، استفاده

از روکش یا لایه حاصل از گونه‌های سبک همچون نراد برای لایه‌های بیرونی و به‌کارگیری چسب ملامین‌اوره‌فرمالدئید تا حد ۲۵ تا ۵۰ درصد نسبت به رزین‌اوره در خط چسب برای دستیابی به خواص مکانیکی مناسب جهت هم مصارف داخلی و هم بیرونی ایده‌آل‌ترین حالت ممکن است.

References

- [1]. Mantanis, G.I., and Birbilis, D. (2012). Experimental characterization of shrinkage and density of *Tamarix aphylla* wood. *Cellulose Chemistry and Technology*, 46(5-6): 369-373.
- [2]. Laufenberg, T., Ayrilmis, N., and White, R. (2006). Fire and bending properties of blockboard with fire retardant treated veneers. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64: 137-143.
- [3]. Tabarsa, T., and Farsi, M. (2003). Examine the possibility of making the beam layer (LVL) connections. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 1(3): 68-71.
- [4]. Ozciftc, A. (2007). Effects of scarf joints on bending strength and modulus of elasticity to laminated veneer lumber (LVL). *Building and Environment*, 42: 1510-1514.
- [5]. Bayatkashkoli, A., Shamsian, M., and Mansourfard, M. (2012). The effect of number of joints on bending properties of laminated lumber made from poplar (*Populus nigra* L.). *Forest Studies in China*, 14(3): 246-250.
- [6]. Walford, G.B., (2000). Effect of finger length on finger-joint strength in radiata pine. In: *World Conference on Timber Engineering*, Jul.-Aug. 31-3 Whistler Resort, British Columbia, Canada, pp. 1-8.
- [7]. Vassilios, V., Ioannis, B., and Sotorios, K. (2007). Effect of PVAc bonding on finger-joint strength of steamed and unsteamed beech wood (*Fagus sylvatica*). *Journal of Applied Polymer Science*, 103(3): 1665-1669.
- [8]. Nazerian, M. (2013). The lamination influence on properties of agro-based particleboard. *Wood Material Science and Engineering*, 8(2): 129-138.
- [9]. Norvydas, V., and Minelga, D. (2006). Strength and stiffness properties of furniture panels covered with different coatings. *Materials Science*, 12(4): 328-332.
- [10]. Mao, A., Hassan, E.B., and Kim, M.G. (2013). Investigation of low mole ratio UF and UMF resins aimed at lowering the formaldehyde emission potential of wood composite boards. *BioResources*, 8(2): 2453-2469.
- [11]. Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions. *Annual Books of ASTM Standards*, C 393-00. 2000.
- [12]. Nazerian, M., and Dahmardeh Ghalehno, M. (2011). *Technology of Plywood Manufacturing*. Jihad – e –Daneshgahii Press. Tehran.
- [13]. Fan, D.B., Li, J.Z., and Mao, A. (2006). Curing characteristics of low molar ratio urea formaldehyde resins. *Journal of Adhesive and Interfaces*, 7(4): 45-52.
- [14]. Zhang, J., Wang, X., Zhang, S., Gao, Q., and Li, J. (2013). Effects of melamine addition stage on the performance and curing behavior of melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin. *BioResources*, 8(4): 5500-5514.
- [15]. Hse, C.Y. (2009). Development of melamine modified urea formaldehyde resins based on strong acidic pH catalyzed urea formaldehyde polymer. *Forest Products journal*, 59(5): 19-24.
- [16]. Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook—Wood as an engineering material*. General technical report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. PP 508.
- [17]. Wang, X., Ross, R.J., Brashaw, B.K., Verhey, S.A., Formsan, J.W., and Ericson, J.R. (2003).

Flexural properties of laminated veneer lumber manufactured from ultrasonically rated red maple veneer. Forest Product Laboratory, FPL-RN-0288.

- [18]. Kretschmann, D.E., and Green, D.W. (1996). Modeling moisture content- property relationships for clear southern pine. *Wood and Fiber Science*, 28(3): 320-337.
- [19]. Mark, R.E. (1967). *Cell Wall Mechanics of Tracheids*, Yale University Press, New Haven, USA.