

بررسی چقرمگی شکست و چسبندگی داخلی در تخته تراشه جهت دار (OSB) ساخته شده از چوب صنوبر

چکیده

در این تحقیق، چقرمگی شکست و چسبندگی داخلی در تخته تراشه جهت دار (OSB) ساخته شده از چوب صنوبر (*Populus nigra*) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، درصد اختلاط رزین اوره فرمالدهید به ملامین فرمالدهید (۲۰ به ۸۰، ۴۰ به ۶۰، ۶۰ به ۴۰ و ۸۰ به ۲۰)، رطوبت کیک (۱۱ و ۱۳ درصد)، زمان پرس (۵ و ۷ دقیقه) و ضخامت فرآورده (۱۲ و ۱۶ میلی متر) به عنوان عوامل متغیر در نظر گرفته شدند. نمونه‌ها بر اساس طرح آزمایشات تاگوچی با آرایه $L8(4^1 2^3)$ ساخته شده و آزمون‌های چقرمگی شکست و چسبندگی داخلی به ترتیب مطابق با استاندارد EN 319 و ASTM E399 انجام شدند. چقرمگی شکست با اندازه‌گیری ضریب شدت تنش و انرژی شکست تعیین شد. نتایج به دست آمده از درصد مشارکت و رتبه‌بندی عوامل متغیر نشان دادند درصد اختلاط رزین بیشترین تأثیر را بر چقرمگی شکست و چسبندگی داخلی OSB داشته است. زمان پرس برای ضریب شدت تنش و چسبندگی داخلی و همچنین ضخامت فرآورده برای انرژی شکست دارای کمترین میزان تأثیرگذاری و درصد مشارکت بودند. درصد اختلاط UF به MF (۶۰ به ۴۰)، رطوبت کیک (۱۱ درصد) و زمان پرس (۷ دقیقه) و ضخامت نهایی فرآورده (۱۲ میلی متر) به عنوان فاکتورهای انتخابی جهت ساخت OSB با بیشترین چقرمگی شکست تعیین شدند. بیشترین مقادیر انرژی شکست و ضریب شدت تنش به ترتیب $2944/12 J/M^2$ و $0/19 MPa m^{1/2}$ اندازه‌گیری شدند. درصد اختلاط UF به MF (۲۰ به ۸۰)، رطوبت کیک (۱۳ درصد)، زمان پرس (۷ دقیقه) و ضخامت نهایی فرآورده (۱۲ میلی متر)، به عنوان بهترین ترکیب شرایط برای ساخت OSB با بیشترین چسبندگی داخلی (۰/۹۵ MPa) انتخاب شدند.

واژگان کلیدی: تخته تراشه جهت دار، چقرمگی شکست، چسبندگی داخلی، چوب صنوبر، طرح آزمایشات تاگوچی.

پیام مرادپور^{۱*}

حمید زارع حسین‌آبادی^۲

حسن تیموریان بلخکانلو^۳

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

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

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

مسئول مکاتبات:

pmoradpour@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲

مکانیک شکست^۱ شرحی کمی بر فرایند شکست یک قطعه بکر توسط رشد ترک می‌باشد که به بررسی ایجاد و گسترش ترک در سازه‌های چوبی و غیرچوبی (سازه‌های

مقدمه

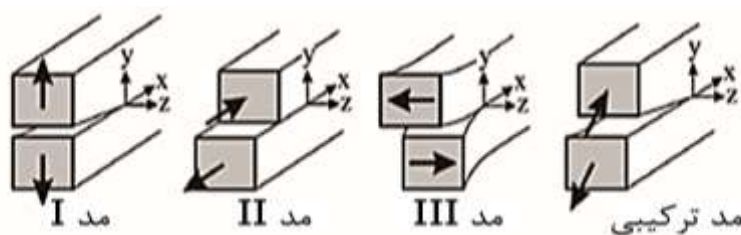
پدیده شکست و ترک خوردگی اجزاء سازه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در گسیختگی سازه‌ای می‌باشد.

بتونی و فلزی) و نحوه تأثیر آن بر تغییر شکل و احیاناً تخریب سازه می‌پردازد. مطالعه مکانیک شکست منجر به ساخت سازه‌های بسیار مقاوم و پایدار در برابر عوامل محیطی مانند زلزله، طوفان، گردباد و غیره خواهد شد. حوزه مکانیک شکست دربرگیرنده روابط میان ماکزیمم تنش مجاز، اندازه و محل ترک، سرعت رشد ترک ناشی از اثرات محیطی، امکان جلوگیری از حرکت ترک‌ها و غیره می‌باشد [۱، ۲]. مبحث مکانیک شکست بر روی این فرض بنا شده است که تمام مواد دارای عیوب شبیه ترک بوده که هسته اولیه آغاز مکانیک شکست در سازه می‌باشد. یکی از اهداف اصلی مکانیک شکست درجایی که ترک وجود داشته باشد، مطالعه ظرفیت تحمل بار سازه‌ها است. طراحی با مکانیک شکست، مستلزم شناخت اندازه ترک بحرانی و پارامتری است که مشخص‌کننده تمایل ترک به گسترش باشد [۳]. بر اساس معیار مکانیک شکست، رشد ترک و پدیده شکست زمانی رخ می‌دهد که ضرایب شدت تنش به یک مقدار بحرانی برسند. در حقیقت انرژی کرنشی آزاد شده (نرخ انرژی آزاد شده برای شروع ترک ناپایدار که در نهایت منجر به شکست می‌گردد) می‌بایست با انرژی سطح ترک برابر باشد. انرژی سطح در واقع مقدار انرژی لازم بر واحد سطح برای گسیختن تمامی پیوندهای بین دو سطح ترک است که در آستانه جدایش قرار دارند [۴]. چقرمگی شکست^۱ به عنوان بارزترین پارامتر شکست بیانگر انرژی مورد نیاز برای آغاز و انتشار ترک می‌باشد. زمانی که در ماده ترک وجود داشته باشد، چقرمگی شکست یک روش محاسباتی برای شکست ترد است که با K_{IC} نشان داده می‌شود. اگر چقرمگی شکست یک ماده کم باشد، آن ماده به صورت ترد^۲ می‌شکند و

هرچه چقرمگی شکست بالاتر رود احتمال شکست نرم^۳ افزایش می‌یابد. در طراحی اتصالات باید از مدهای ترد جلوگیری کرد، زیرا آن‌ها می‌توانند شکست فاجعه‌بار ناگهانی را به بار آورند. از ضریب شدت تنش و نرخ آزادسازی انرژی^۴ برای بیان چقرمگی شکست و محاسبات مربوط به ترک استفاده می‌شود. انرژی لازم برای رشد ترک باید به صورت آزاد شدن انرژی الاستیک انجام شود [۵، ۶]. مکانیسم‌های متداول شکست در دهه ۱۹۶۰ در مورد چوب مورد استفاده قرار گرفتند [۷]. یک جسم دارای ترک می‌تواند در سه مد مختلف تحت تنش قرار گیرد. تنش‌های عمودی (نرمال) که باعث باز شدن دهانه ترک یا مد I (مد کششی) می‌گردند. تنش‌های برشی که در امتداد صفحه ترک اعمال می‌گردند و باعث گسترش ترک در مد II (مد لغزشی) می‌شوند و مد III (مد پارگی) که در اثر اعمال تنش‌های برشی خارج از صفحه به وجود می‌آید. جسم دارای ترک ممکن است در حالت کلی تحت ترکیبی از مدهای فوق قرار گیرد. بررسی مد I از ارزش بسیار زیادی در مباحث مربوط به مکانیک شکست برخوردار است، ولی شکاف‌ها و ترک‌ها در تیرهای چوبی سازه‌ها اغلب در معرض مد ترکیبی از بارگذاری‌های مد I و II یعنی ترکیبی از کشش و برش است [۵]. Moura و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی ویژگی‌های شکست مد ترکیبی اتصالات چوبی اظهار داشتند، معیار شکست تحت بارگذاری مد ترکیبی منجر به طراحی مناسب‌تر و ایمن‌تر اتصالات چوبی می‌شود. مشاهدات آنها نشان داد که معیارهای خطی شکست تشریح مناسب‌تری از شکست را فراهم ساخت [۸]. در شکل ۱، انواع مدهای شکست در مواد مهندسی دیده می‌شود.

3 Ductile fracture
4 Energy release rate

1 Fracture toughness
2 Brittle fracture



شکل ۱- انواع مدهای شکست برای آزمون مکانیک شکست [۵]

بیشتری همراه گردیده است. به دلیل کمبود منابع چوبی و همچنین لزوم کاهش برداشت چوب از جنگل‌های طبیعی، نیاز به تأمین چوب با استفاده از گونه‌های دست کاشت و تند رشد (سنوبر، پالونیا و اکالیپتوس) امری اجتناب‌ناپذیر است. صنوبرها به دلیل سهولت در زراعت، دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت (۱۰ تا ۲۰ ساله) و همچنین کاربرد گسترده در صنایع مختلف چوبی به‌ویژه در مناطق غیر برخوردار از جنگل، قادرند با تولید بیش از دو میلیون مترمکعب چوب در سال نقش ارزنده‌ای در تأمین منابع چوبی و کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی ایفا کنند [۱۶، ۱۷].

با توجه به مطالبی که ذکر شد، توجه به پدیده شکست و خستگی در سازه‌های چوبی که در برابر عواملی مانند زلزله، طوفان و گردباد و غیره قرار می‌گیرند، جهت کاهش خطرات جانی و مالی امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه OSB فرآورده‌ای ساختمانی و مقرون‌به‌صرفه در ساخت سازه‌های چوبی می‌باشد، لذا هدف از این تحقیق، بررسی چقرمگی شکست و چسبندگی داخلی در OSB ساخته‌شده از تراشه‌های صنوبر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از چوب صنوبر (*Populus nigra*) خریداری‌شده از بازار چوب کرج جهت تولید تراشه‌های موردنیاز در ساخت OSB استفاده شد. رزین‌های اوره فرمالدهید (UF) و ملامین فرمالدهید (MF) به‌عنوان ماده اتصال‌دهنده از کارخانه تیران شیمی تهیه شدند. مشخصات رزین‌های مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

Nairn و Matsumoto (۲۰۰۹)، در بررسی انرژی شکست در تخته فیبر با دانسیته متوسط بر اساس طول ترک اظهار داشتند با افزایش دانسیته و ضخامت تخته فیبر به دلیل تراکم بالا و اتصال بهتر و بیشتر الیاف در لایه میانی، انرژی شکست افزایش پیدا می‌کند [۹]. همچنین Rathke و همکاران (۲۰۱۲)، نشان دادند که در OSB، جهت فرارگیری تراشه‌ها در لایه میانی اختلاف معنی‌داری بر انرژی شکست و ضریب شدت تنش داشته است، به طوری که انرژی شکست و ضریب شدت تنش در حالتی که تراشه‌ها در جهت طولی (بر اساس لایه بالا و پایین) قرار گیرند بالاتر از حالت عرضی می‌باشد [۱۰].

تخته تراشه جهت‌دار (OSB)، یکی از فرآورده‌های مرکب چوبی است که مصارف متنوعی اعم از کاربرد در ساختمان‌سازی، صنایع مبلمان، صنایع بسته‌بندی و غیره دارد [۱۱]. تولید صنعتی OSB به دلیل استفاده از منابع چوبی ارزان با قابلیت دستیابی آسان، برای ساخت یک محصول بادوام و با ارزش افزوده بالا رو به افزایش بوده و گام مهمی در جهت توسعه پایداری می‌باشد [۱۲]. خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی OSB، تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله: نوع گونه چوبی و جرم ویژه آن، ابعاد و شکل تراشه‌ها و نحوه جهت‌گیری آن‌ها، نوع و مقدار رزین مصرفی، میزان رطوبت کیک، زمان پرس، درجه حرارت پرس و غیره می‌باشد [۱۳، ۱۴]. البته تحقیقات فراوانی در رابطه با عوامل تأثیرگذار بر خواص کاربردی تخته تراشه جهت‌دار به منظور بهبود خواص محصول نهایی و اقتصادی کردن این فرآورده نسبت به مراحل آغازین تولید آن انجام شده است [۱۵]. همچنین در OSB بعنوان یک فرآورده ساختمانی، تخمین مقدار چقرمگی شکست جهت فهم رفتار سازه‌ای آن می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

با افزایش روزافزون جمعیت و سهم سرانه مصرف چوب، بهره‌برداری از جنگل‌ها به‌عنوان منبع تولید چوب با شدت

جدول ۱- ویژگی رزین‌های مورد استفاده در این تحقیق

نوع رزین	اسیدیتته	ویسکوزیته (s)	چگالی (gr/cm ³)	زمان ژله ای شدن (s)	مواد جامد (%)
UF	۷/۵	۴۵-۶۵	۱/۲۷	۵۵	۶۴
MF	۹	۱۳-۱۱	۱/۲۰	۳۶۰-۳۸۰	۵۴

فرآیند ساخت تخته‌های OSB و تهیه نمونه‌های

آزمونی

در این تحقیق درصد اختلاط رزین UF به MF (۸۰ به ۲۰، ۶۰ به ۴۰، ۴۰ به ۶۰ و ۲۰ به ۸۰)، رطوبت کیک (۱۱ و ۱۳ درصد)، زمان پرس (۵ و ۷ دقیقه) و ضخامت فرآورده (۱۲ و ۱۶ میلی‌متر) به‌عنوان عوامل متغیر در نظر گرفته شدند. امروزه طراحی آزمایشات نوین یک ابزار قوی برای افزایش کیفیت محصولات می‌باشد. طرح آزمایشات تاگوچی به‌عنوان یکی از روش‌های نوین، می‌تواند با کمترین تعداد آزمایشات، شرایط بهینه را تعیین کرده و باعث کاهش چشمگیر زمان و هزینه انجام آزمایشات

موردنیاز گردد. در روش تاگوچی با توجه به تعدد پارامترهای انتخابی و سطوح مربوطه، از آرایه‌های متعامد مختلفی به‌عنوان ماتریس آزمایشات استفاده می‌شود. در این روش تغییرات با عاملی به نام نسبت سیگنال به نویز (S/N) معرفی شده و شرایط آزمایشی که دارای بالاترین نسبت S/N باشد به‌عنوان شرایط بهینه انتخاب می‌گردد [۱۸، ۱۹]. در این تحقیق از طرح آزمایشات تاگوچی با آرایه L8(4^۱ 2^۳) استفاده و در مجموع ۸ عدد تخته با ابعاد آزمایشگاهی ساخته شد. جدول ۲ طرح آزمایشات تاگوچی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- طرح آزمایشات تاگوچی مورد استفاده در تحقیق

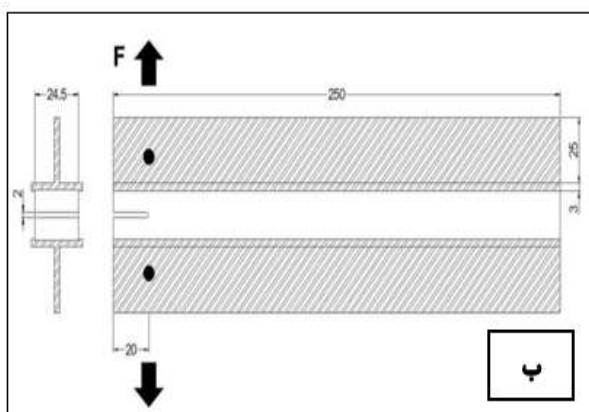
تیمار	درصد اختلاط رزین UF به MF (%)	رطوبت کیک (%)	زمان پرس (min)	ضخامت تخته (mm)
۱	۸۰ به ۲۰	۱۱	۵	۱۲
۲	۸۰ به ۲۰	۱۳	۷	۱۶
۳	۶۰ به ۴۰	۱۱	۵	۱۶
۴	۶۰ به ۴۰	۱۳	۷	۱۲
۵	۴۰ به ۶۰	۱۱	۷	۱۲
۶	۴۰ به ۶۰	۱۳	۵	۱۶
۷	۲۰ به ۸۰	۱۱	۷	۱۶
۸	۲۰ به ۸۰	۱۳	۵	۱۲

برای تولید تراشه‌های موردنیاز از تراشه گیر دیسکی استفاده شد. تراشه‌ها پس از تولید، الک شده و به دلیل داشتن رطوبت بالا توسط خشک‌کن آزمایشگاهی در درجه حرارت ۱۰۳+۲ درجه سانتی‌گراد تا رطوبت ۲٪ خشک شدند. ابعاد تراشه‌های انتخابی ۱۰×۲×۰/۱ سانتی‌متر بودند. چسب زنی تراشه‌های خشک‌شده توسط پیستوله Walter مدل WA500، درون چسب زن استوانه‌ای دوار با سرعت ۶۰ دور بر دقیقه و به میزان ۱۰ درصد بر اساس وزن خشک تراشه‌ها انجام شد. سپس کیک تراشه‌ها به‌صورت دستی در داخل قالبی با ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر تشکیل شده و برای رسیدن به تخته‌ای با دانسیته ۷۵۰

کیلوگرم بر متر مکعب، به مدت ۵ و ۷ دقیقه در پرس گرم با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار حداکثر ۲۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع قرار داده شدند. از تخته‌های OSB ساخته‌شده، نمونه‌های آزمونی تهیه شده و نمونه‌ها جهت متعادل‌سازی رطوبت، به مدت دو هفته در اتاق مشروط‌سازی (در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در رطوبت نسبی ۶۵ درصد) قرار داده شدند. آزمون چقرمگی شکست در مد I مطابق با استاندارد ASTM E399 و به روش DCIB^۱ (شکل ۲) و آزمون چسبندگی داخلی (IB)، مطابق با استاندارد EN319 انجام شد. با توجه به اینکه

^۱. Double cantilever I-beam

چقرمگی شکست و چسبندگی داخلی از ماشین آزمایشگاهی اینسترون مدل ۴۴۸۶ به ترتیب با سرعت بارگذاری ۱۰ و ۵ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد [۱۰].



شکل ۲- آزمون چقرمگی شکست: الف) نمونه واقعی DCIB ب) طرح شماتیک از نمونه آزمونی

استفاده از رابطه ۳ (برای حالت بزرگتر بهتر) قابل محاسبه است.

$$\text{رابطه ۳} \quad S/N = -10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{n} \right) \times \sum (1/y_i^2) \right]$$

که (y): مقدار داده‌ها و (n): تعداد داده‌ها می‌باشد. در نهایت از نسبت سیگنال به نویز برای محاسبه دلتا و رتبه-بندی عوامل متغیر استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس و همچنین درصد مشارکت عوامل متغیر را بر ضریب شدت تنش، انرژی شکست و چسبندگی داخلی (IB) نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس نشان دادند اثر عوامل متغیر بر ضریب شدت تنش، انرژی شکست و چسبندگی داخلی (IB)، از لحاظ آماری معنی‌داری نبوده است.

انرژی شکست و ضریب شدت تنش به ترتیب از روابط ۱ و ۲ به دست آمدند [۱۰]:

$$\text{رابطه ۱} \quad G_F = \frac{1}{(L-a)B} + \int_0^{L-a} F dz$$

در رابطه فوق، G_F : انرژی شکست، F : نیروی وارده، z : جابه‌جایی، a : طول ترک اولیه، L و B به ترتیب طول و پهنای نمونه می‌باشند.

$$\text{رابطه ۲} \quad + \left(\frac{k_{init}}{B} \right)^2 + (5253 \times 10^{-14}) \left(\frac{k_{init}}{B} \right)^3 + (2.082 \times 10^{-7}) \frac{k_{init}}{B} (-1.498 \times 10^{-10})$$

$$K_{IC} = F_{max} [(6.562 \times 10^{-5})$$

که در معادله فوق، k_{IC} : ضریب شدت تنش، F_{max} : حداکثر بار وارده، k_{init} : شیب اولیه و B : ضخامت نمونه می‌باشند.

پس از به دست آوردن مقادیر پارامترهای موردنظر، به منظور تجزیه واریانس میانگین‌ها و محاسبه نسبت سیگنال به نویز و همچنین محاسبه درصد خطا از نرم افزار Minitab 17 استفاده شد. نسبت سیگنال به نویز (S/N) با

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای ضریب شدت تنش، انرژی شکست و چسبندگی داخلی

چسبندگی داخلی				انرژی شکست				ضریب شدت تنش				عوامل متغیر
F	PC	MS	DF	F	PC	MS	DF	F	PC	MS	DF	
۱/۴۷ (ns)	۶۴/۸۸	۴/۶۹	۳	۰/۲۶ (ns)	۴۰/۵۶	۹/۸۱	۳	۰/۶۴ (ns)	۵۸/۵۶	۷/۱۰	۳	درصد اختلاط رزین
۰/۱۷ (ns)	۲/۵۵	۰/۵۵	۱	۰/۰۸ (ns)	۳/۹۰	۲/۸۳	۱	۰/۰۵ (ns)	۱/۵۷	۰/۵۷	۱	رطوبت کیک
۰/۱۵ (ns)	۲/۱۴	۰/۴۶	۱	۰/۰۴ (ns)	۱/۸۷	۱/۳۵	۱	۰/۰۳ (ns)	۰/۸۳	۰/۳۰	۱	زمان پرس
۱/۰۷ (ns)	۱۵/۷۷	۳/۴۲	۱	۰/۰۲ (ns)	۱/۱۸	۰/۸۵	۱	۰/۲۸ (ns)	۸/۶۴	۳/۱۴	۱	ضخامت فرآورده
-	۱۴/۶۶	۳/۱۸	۱	-	۵۲/۴۹	۳۸/۱۳	۱	-	۳۰/۳۸	۱۱/۰۶	۱	خطا
-	-	-	۷	-	-	-	۷	-	-	-	۷	مجموع

DF: درجه آزادی، MS: میانگین مربعات، PC: درصد مشارکت، (ns): عدم معنی‌داری.

اختلاط رزین با بیشترین مقدار دلتا و درصد مشارکت، دارای بیشترین تأثیر بر ضریب شدت تنش، انرژی شکست و چسبندگی داخلی (IB) می‌باشد. زمان پرس برای ضریب شدت تنش و چسبندگی داخلی و همچنین برای انرژی شکست، ضخامت فرآورده با رتبه (۴) دارای کمترین میزان تأثیرگذاری بودند.

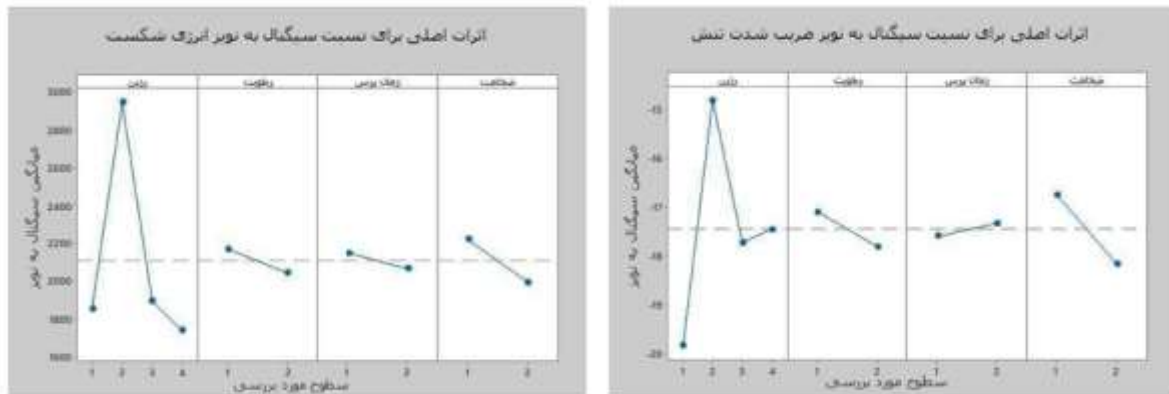
نتایج مربوط به رتبه‌بندی اثر عوامل متغیر بر ضریب شدت تنش، انرژی شکست و چسبندگی داخلی (IB)، در جدول ۴ آمده است. با مقایسه مقدار دلتا که از تفاضل بیشترین و کمترین مقدار نسبت سیگنال به نویز (S/N) به دست می‌آید، می‌توان متغیرها را بر اساس بیشترین تأثیرگذاری رتبه‌بندی کرد. نتایج نشان دادند، درصد

جدول ۴- نسبت دلتا و رتبه‌بندی عوامل متغیر برای ضریب شدت تنش، انرژی شکست و چسبندگی داخلی

آزمون	متغیرها	درصد اختلاط رزین	رطوبت کیک	زمان پرس	ضخامت فرآورده
ضریب شدت تنش	دلتا	۴/۵۵	۰/۵۴	۰/۳۹	۱/۲۵
	رتبه	۱	۳	۴	۲
انرژی شکست	دلتا	۴/۶۷	۱/۲۰	۰/۸۲	۰/۶۵
	رتبه	۱	۲	۳	۴
چسبندگی داخلی (IB)	دلتا	۳/۶۵	۰/۵۲	۰/۴۸	۱/۳۰
	رتبه	۱	۳	۴	۲

میلی‌متر باعث افزایش ضریب شدت تنش شده است. با افزایش زمان پرس و کاهش ضخامت تخته، شرایط جهت انتقال حرارت به لایه میانی بهتر می‌شود، که این عامل باعث کامل‌تر شدن پلیمریزاسیون رزین در این لایه شده و اتصال کارآمد در سطوح و ضخامت تخته ایجاد می‌گردد. Rathke و همکاران (۲۰۱۲)، علت اصلی افزایش ضریب شدت تنش در تخته خرده چوب و تخته‌تراشه‌جهت‌دار را ناشی از تراکم و اتصال بهتر بین خرده‌ها و تراشه‌ها در لایه میانی دانسته‌اند [۱۰].

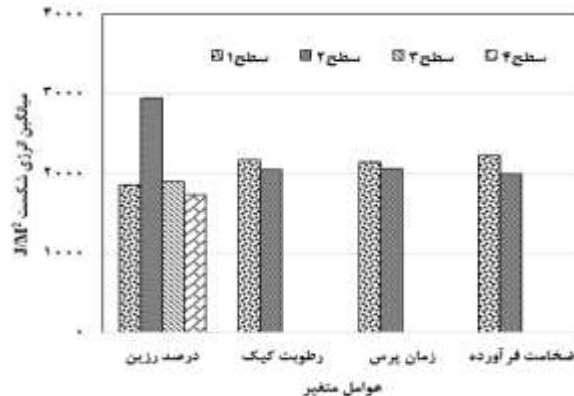
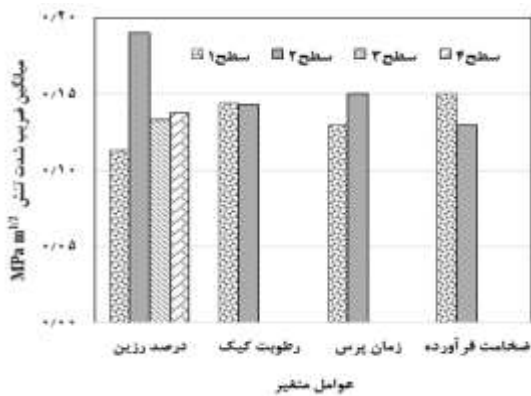
شکل ۳، تأثیر عوامل متغیر را برای نسبت S/N ضریب شدت تنش و انرژی شکست نشان می‌دهد. بیشترین ضریب شدت تنش در تخته‌تراشه‌جهت‌دار ساخته‌شده با درصد اختلاط رزین UF به MF (۶۰ به ۴۰) مشاهده و کمترین مقدار آن برای درصد اختلاط رزین UF به MF (۸۰ به ۲۰) به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، تغییرات رطوبت کیک از ۱۱ درصد به ۱۳ درصد تأثیر چندانی بر ضریب شدت تنش نداشته است. به‌علاوه افزایش زمان پرس از ۵ دقیقه به ۷ دقیقه و کاهش ضخامت تخته‌تراشه‌جهت‌دار از ۱۶ میلی‌متر به ۱۲



شکل ۳- تأثیر عوامل متغیر بر روی نسبت S/N ضریب شدت تنش و انرژی شکست

بر انرژی شکست تخته تراشه جهت دار داشته که می‌تواند به علت تجمع بخار در لایه میانی در زیر پرس باشد که بعد از باز شدن پرس تخته ساخته شده دچار برگشت ضخامت فنی و ترک‌های ریز در ساختار خود شده و این ترک‌های ریز باعث کاهش مقاومت و کاهش انرژی شکست شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج Matsumoto و Nairn (۲۰۰۹) و Rathke و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد [۹، ۱۰]. شکل ۴، میانگین ضریب شدت تنش و انرژی شکست را تحت تاثیر عوامل متغیر نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۳، بیشترین و کمترین مقدار انرژی شکست به ترتیب با درصد اختلاط رزین UF به MF (۶۰) به نشان داد، کاهش رطوبت، زمان پرس و ضخامت تخته تراشه جهت دار اثر مثبت بر انرژی شکست داشته و باعث افزایش آن شده است. کاهش ضخامت تخته تراشه جهت دار باعث انتقال سریع حرارت از لایه سطحی به لایه میانی می‌شود که این عامل باعث بهبود گیرایی رزین در لایه میانی می‌شود، در نتیجه انرژی شکست افزایش می‌یابد. افزایش رطوبت کیک تأثیر منفی



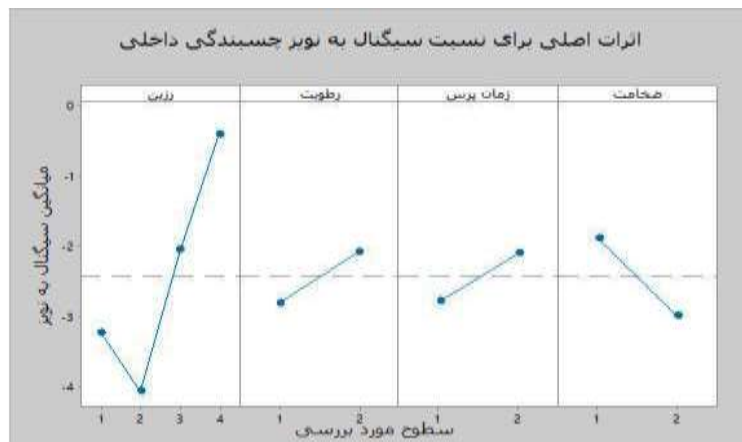
شکل ۴- تاثیر عوامل متغیر بر میانگین ضریب شدت تنش و انرژی شکست

همچنین نفوذ بهتر این رزین در بافت تراشه‌ها می‌تواند از دلایل افزایش چسبندگی داخلی تخته تراشه جهت دار باشد. عدالت و همکاران (۲۰۱۴)، بیان کردند که افزایش میزان چسبندگی داخلی رابطه مستقیمی با میزان نفوذپذیری چسب فنل فرمالدهید به داخل بافت بستر چوب دارد [۲۰]. مقدار چسبندگی داخلی با افزایش رطوبت کیک از ۱۱ درصد به ۱۳ درصد و همچنین زمان پرس از ۵ دقیقه

تأثیر عوامل متغیر بر روی نسبت S/N چسبندگی داخلی در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند بیشترین مقدار چسبندگی داخلی برای تخته تراشه جهت دار ساخته شده با درصد اختلاط رزین UF به MF (۲۰ به ۸۰) و کمترین مقدار چسبندگی داخلی با درصد اختلاط رزین UF به MF (۴۰ به ۶۰) به دست آمد. افزایش مقدار MF به عنوان رزینی با استحکام اتصال بیشتر نسبت به UF

میلی متر دارای بیشترین چسبندگی داخلی بودند. با کاهش ضخامت تخته تراشه از ۱۶ میلی متر به ۱۲ میلی متر، نرخ سرعت انتقال حرارت افزایش پیدا می کند که این افزایش باعث بهبود گیرایی رزین در لایه میانه تخته تراشه جهت دار شده است.

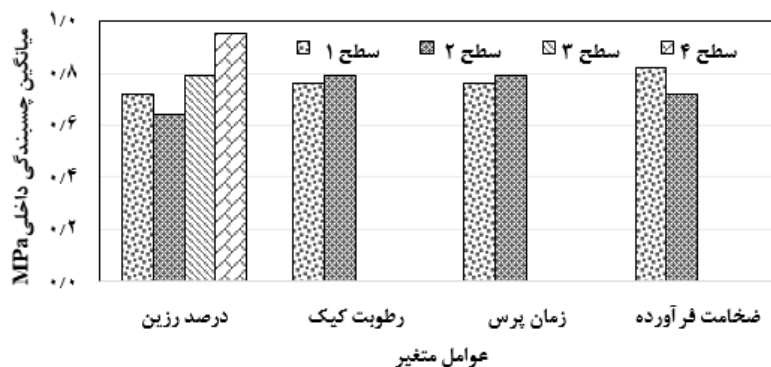
به ۷ دقیقه افزایش یافت. افزایش زمان پرس، باعث گیرایی بهتر رزین و تراکم بهتر تراشه ها در لایه میانی می شود. افزایش رطوبت کیک باعث انتقال سریع حرارت به لایه میانی تخته تراشه جهت دار می شود که این عامل باعث افزایش مقاومت چسبندگی داخلی شده است. تخته های با ضخامت نهایی ۱۲ میلی متر در مقایسه با تخته های ۱۶



شکل ۵- تأثیر عوامل متغیر بر روی نسبت S/N چسبندگی داخلی

این لایه فراهم می نماید [۲۱]. نتایج Kamrani و همکاران (۲۰۱۳)، با نتایج به دست آمده از این تحقیق مطابقت دارند [۲۲]. شکل ۶، تاثیر عوامل متغیر را بر روی میانگین چسبندگی داخلی نشان می دهد.

Yadollahi و Tabarsa (۲۰۰۵)، اظهار داشتند که افزایش زمان پرس و کاهش ضخامت تخته تراشه ساخته شده از ضایعات روکش شرایط انتقال بیشتر حرارت به لایه میانی و کامل تر شدن پلیمریزاسیون رزین را در



شکل ۶- تأثیر عوامل متغیر بر روی میانگین چسبندگی داخلی

بهبود جهت ساخت OSB با حداکثر چسبندگی داخلی انتخاب شدند. درصد اختلاط UF به MF (۶۰ به ۴۰)، رطوبت کیک (۱۱ درصد)، زمان پرس (۷ دقیقه) و ضخامت نهایی فرآورده (۱۲ میلی متر)، می توانند بهترین ترکیب برای ساخت OSB با بیشترین چقرمگی شکست باشند.

نتایج مربوط به مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای چسبندگی داخلی، ضریب شدت تنش و انرژی شکست به همراه درصد خطای نسبی در جدول ۵ آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده، درصد اختلاط UF به MF (۲۰ به ۸۰)، رطوبت کیک (۱۳ درصد)، زمان پرس (۷ دقیقه) و ضخامت نهایی فرآورده (۱۲ میلی متر)، به عنوان شرایط

جدول ۵- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط طرح آزمایشات تاگوچی برای آزمون‌های مختلف

تیمار	چسبندگی داخلی			ضریب شدت تنش			انرژی شکست		
	آزمایش (MPa)	پیش‌بینی (MPa)	خطا نسبی (%)	آزمایش (MPa m ^{1/2})	پیش‌بینی (MPa m ^{1/2})	خطا نسبی (%)	آزمایش (MPa)	پیش‌بینی (MPa)	خطا نسبی (%)
۱	۰/۷۹	۰/۷۴	۶/۳۳	۰/۱۳	۰/۱۱	۱۵/۳۶	۲۵۶۷/۴۴	۲۰۷۲/۸۵	۱۹/۲۶
۲	۰/۶۶	۰/۷۰	۶/۰۶	۰/۰۸	۰/۱	۲۵	۱۱۴۱/۷۶	۱۶۳۶/۳۴	۴۳/۳۱
۳	۰/۵۱	۰/۵۵	۷/۸۴	۰/۱۵	۰/۱۷	۱۳/۳۳	۲۴۴۰/۶۶	۲۹۳۵/۲۴	۲۰/۲۶
۴	۰/۷۷	۰/۷۲	۷/۷۹	۰/۲۲	۰/۲۰	۹/۰۹	۳۴۴۷/۵۹	۲۹۵۳/۰۱	۱۴/۳۴
۵	۰/۷۹	۰/۸۳	۵/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۵	۱۵/۳۶	۱۵۳۴/۵۵	۲۰۲۹/۹	۳۲/۲۲
۶	۰/۷۹	۰/۷۴	۶/۳۳	۰/۱۳	۰/۱۱	۱۵/۳۸	۲۲۵۳/۸۲	۱۷۵۹/۲۵	۲۱/۹۴
۷	۰/۹۵	۰/۹۰	۵/۲۶	۰/۱۵	۰/۱۳	۱۳/۳۳	۲۱۴۳/۰۹	۱۶۴۸/۵۱	۲۳/۰۷
۸	۰/۹۶	۱	۴/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۴	۱۶/۶۶	۱۳۳۸/۳۳	۱۸۳۲/۹۱	۳۴/۹۵

ضخامت فرآورده و همچنین برای انرژی شکست، فاکتور زمان پرس با رتبه (۴) دارای کمترین میزان تأثیرگذاری بودند. درصد اختلاط اوره فرمالدهید به ملامین فرمالدهید (۲۰ به ۸۰)، رطوبت کیک (۱۳ درصد)، زمان پرس (۷ دقیقه) و ضخامت نهایی فرآورده (۱۲ میلی‌متر)، به‌عنوان شرایط بهینه جهت ساخت OSB با حداکثر چسبندگی داخلی انتخاب شدند. درصد اختلاط اوره فرمالدهید به ملامین فرمالدهید (۶۰ به ۴۰)، رطوبت کیک (۱۱ درصد)، زمان پرس (۷ دقیقه) و ضخامت نهایی فرآورده (۱۲ میلی‌متر)، می‌توانند بهترین ترکیب برای ساخت OSB با بیشترین چقرمگی شکست باشند. از نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد، روش تاگوچی توانسته است مقدار انرژی شکست و ضریب شدت تنش را به‌خوبی پیش‌بینی نماید.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح تحقیقاتی با حمایت مالی معاونت علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران با شماره طرح ۳۰۵۴۱/۱/۲ از محل گرنت انجام شده است.

با توجه به اینکه تیمارهای بهینه در بین ۸ تیمار ارائه‌شده توسط طرح آزمایشات تاگوچی وجود نداشت، مقادیر حداکثر چسبندگی داخلی، ضریب شدت تنش و انرژی شکست با استفاده از روش تاگوچی به ترتیب $0.19 \text{ MPa m}^{1/2}$ و $2944/12 \text{ J/M}^2$ پیش‌بینی گردید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق چقرمگی شکست، در تخته‌تراشه‌جهت‌دار (OSB) ساخته‌شده از چوب صنوبر مورد بررسی قرار گرفت. از روش طرح آزمایشات تاگوچی برای تعیین میزان بهینه متغیرهای تولید شامل درصد اوره فرمالدهید به ملامین فرمالدهید، رطوبت کیک، زمان پرس و ضخامت نهایی تخته‌تراشه‌جهت‌دار استفاده شد. درصد اختلاط رزین با بیشترین مقدار دلتا و درصد مشارکت، دارای بیشترین تأثیرگذاری بر چسبندگی داخلی (IB)، ضریب شدت تنش و انرژی شکست می‌باشد. برای چسبندگی داخلی و ضریب شدت تنش، فاکتور

منابع

- [1] Smith, I., Landis, E. and Gong, M., 2003. Fracture and fatigue in wood, John Wiley & Sons Ltd, England.
- [2] Anderson, T.L., 1995. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, CRC Press.
- [3] Aminian, M., 2014. Fracture Mechanic. Journal of Manufacturing Engineering, 45: 121-118.

- [4] Fereydoun, A. and yekta kia, F., 2010. The analysis of cracks in composite materials by method energy. The Journal of Modeling in Engineering, 7(17):55-65.
- [5] Abdolzadeh, H., Ebrahimi, Gh., Layeghi, M., Ghassemieh, M. and Mirshokraie, S.A., 2015. Fracture behavior of beech-furan wood/polymer under mode I. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 29 (4): 605-618-2015.
- [6] Alexander, B., 2012. Applied Fracture Mechanics, Published by InTech, Croatia.
- [7] Wu, E.M., 1967. Application of fracture mechanics to anisotropic plates. Journal of applied Mechanics, 34(4): 967-974.
- [8] Moura, M.F.S.F., Morais, J.J.L. and Dourado, N., 2011. Mixed-mode (I + II) fracture characterization of wood bonded joints. Construction and Building Materials, 25(4): 1956- 1962.
- [9] Matsumoto, N. and Nairn, J.A., 2009. The fracture toughness of medium density fiberboard (MDF) including the effects of fiber bridging and crack-plane interference. Engineering Fracture Mechanics, 76:2748–2757.
- [10] Rathke, J., Sinn, G., Weigl, M. and Muller, U., 2012. Analyzing orthotropy in the core layer of wood based panels by means of fracture mechanics. European Journal of Wood and Wood Products, 70:851–856.
- [11] Rebollar, M., Perez, R. and Vidal, R., 2007. Comparison between oriented strand boards and other wood-based panels for the manufacture of furniture. Materials and Design, 28:882-888.
- [12] Banoun, F., Morgan, D., Viart, M. and Zsuffa, L., 1984. The poplar: A multi-purpose tree for forestry development. Unasylya (FAO), 36(3): 23-33.
- [13] Thoemen, H., Irle, M. and Sernek, M., 2010. Wood- Based Panels, An Introduction for Specialists, Published by Brunel University Press, London, England.
- [14] Gunduz, G., Yapici, F., Ozcifci, A. and Kalaycioglu, H., 2011. The Effects of Adhesive Ratio and Pressure Time on Some Properties of Oriented Strand Board. BioResources, 6(2): 2118-2124.
- [15] Valentina, D., Ciobanu, O., Zeleniuc A. and Dumitrascu E., 2014. The Influence of Speed and Press Factor on Oriented Strand Board Performance in Continuous Press. BioResources, 9 (4): 6805-6816
- [16] Modirrahmati, A.R. and Bagheri, R., 2004. Poplar Clones Trial for three-year short rotation system. Iranian journal of Forests and Poplar Research, 11(4): 613-637.
- [17] Ghasemi, R., Asadi, F. and Torabi, A., 2009. Evaluation of height and diameter growth of indigenous and exotic poplar clones in one growing season. Iranian Journal of Forest, 1(4): 333-343.
- [18] Roy, R.K., 2010. A primer on the Taguchi method. 2nd ed, society of manufacturing engineers.
- [19] Antony, J., and Antony, J, F., 2001. Teaching the Taguchi method to industrial engineers. University Press, 50(4):141-149.
- [20] Edalat1, H.R., Faezipour, M., Doost Hoseini, K., Tabarsa, T. and Mirshokraie, S.A., 2014. Evaluation of Penetration Effect of Phenol Formaldehyde Resin on Internal Bonding and Tensile Strength Parallel to Surface of Oriented Strand Board. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 21 (1):149-164.
- [21] Tabarsa, T. and Yadollahi, S., 2005. Effects of strand orientation and press cycle on properties of OSB made from Iranian beech strands. Journal of Agricultural sciences and Natural Resources, 12(4):162-167.
- [22] Kamrani1, S., Moradifar, A., Yadollahi, S. and Saraeyan, A. R., 2013. The Investigation on Feasibility of Oriented Strand Boards to Parquet Production from Mixed Residual Veneer Poplar and Beech. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 3(2):25-38.

Investigation on fracture toughness and internal bonding of oriented strand board (OSB) made from poplar

Abstract

In this study, fracture toughness and internal bonding of OSB made from Poplar (*Populus nigra*) was studied. For this aim, ratio of UF to MF (20; 80, 40:60, 60:40 and 80:20), mat moisture (11 and 13), press time (5 and 7 min) and the panel thickness (12 and 16 mm) were chosen as variables. Specimens based on Taguchi design of experiments with the array of L8 ($4^1 2^3$) were produced and fracture toughness and internal bonding were determined following ASTM E399 and EN 319, respectively. Fracture toughness was determined using stress intensity factor and fracture energy. The result of percentage contribution and the variables ranking showed that the most determining factor on fracture toughness is the ratio of UF to MF. The effect of press time on stress intensity and internal bonding and the effect of panel thickness on fracture energy had the least importance. The highest fracture toughness belonged to OSBs made with UF to MF ratio of 60:40, mat moisture of 11%, press time of 7 min and the panel thickness of 12 mm. The highest fracture energy and stress intensity factor was 2944 J/m^2 and 0.19 MPa , respectively. The optimum treatment was UF to MF ratio of 80:20, mat moisture of 13%, press time of 7 min and the panel thickness of 12 mm in light of gaining the highest internal bonding (0.95 MPa).

Keywords: oriented strand board, fracture toughness, internal bonding, poplar, Taguchi design of experiments.

P. Moradpour^{1*}
H. Zarea Hosseinabadi²
H. Teymoriyan Balkhkanlo³

¹ Assistant prof., Department of wood and paper sciences & technology, Faculty of natural resources, College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Assistant prof., Department of wood and paper sciences & technology, Faculty of natural resources, College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ M.Sc., graduated, Department of wood and paper sciences & technology, Faculty of natural resources, College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
pmoradpour@ut.ac.ir

Received: 2018/03/14
Accepted: 2018/06/23