



دانشگاه گیلان، دانشکده مهندسی چوب و فناوری چوب و جنگل

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## تأثیر نانو اکسیدروی و نوع چسب بر خواص فیزیکی و مکانیکی الوار تراشه لایه‌ای (LSL)

\* حسین محمدی<sup>۱</sup>، محمدرضا ماستری فراهانی<sup>۲</sup>، حسین یوسفی<sup>۳</sup> و بهزاد حبیب‌پور<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری فرآورده‌های چندسازه چوب، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،

<sup>۳</sup> استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،

<sup>۴</sup> دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** در اثر کاهش چوب‌های با کیفیت برای ساخت‌وساز، صنایع تولیدات چوبی، محصولات جدیدی را براساس تحقیقات پیشرفته معرفی نموده‌اند. تلاش برای تولید چندسازه‌های چوبی مقاوم، پایدار و مقاوم به رطوبت به منظور بهبود خواص فیزیکی از قبیل جذب آب، پایداری و واکنش‌پذیری ضخامت، عمدتاً بر نوع تکنولوژی و تکامل چسب چوب‌ها به‌ویژه استفاده از ایزوسیانات‌ها (MDI و pMDI) تمرکز دارند. یکی از محصولات چوبی پرکاربرد که در ساختمان‌های چوبی به‌کار می‌روند الوارهای تراشه لایه‌ای (LSL) می‌باشد. نانو اکسیدروی ماده شیمیایی است که پتانسیل حفاظت LSL را دارد و می‌تواند به‌عنوان یک ماده افزودنی بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی آن تأثیرگذار باشد. در این تحقیق به بررسی تأثیر سطوح مختلف نانو اکسیدروی و نوع چسب (PF و pMDI)، بر خواص فیزیکی و مکانیکی LSL پرداخته شده است.

**مواد و روش‌ها:** برای انجام این پژوهش لایه‌هایی از چوب راش منابع داخلی (*Fagus Orientalis*) با ضخامت ۲ میلی‌متر تهیه و به محل آزمایشگاه منتقل و سپس به تراشه‌هایی به طول ۴۰ و عرض ۲ سانتی‌متر برش داده شدند، سپس چندسازه‌های LSL با استفاده از چسب‌های فنل فرمالدئید (PF) و ایزوسیانات (pMDI) و چهار سطح نانو اکسیدروی (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) در دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه ساخته شدند. در فرایند ساخت پانل‌های چوبی، تراشه‌ها درون یک چسب زن استوانه‌ای دوار ریخته شده و براساس وزن خشک با ۱۵ درصد از چسب‌های فنول فرمالدئید و pMDI به‌صورت اسپری توسط یک پیستوله آغشته شدند. در حین فرایند چسب‌زنی مقادیر مختلف نانو اکسیدروی (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزن خشک تراشه‌های چوب) به‌صورت پودر به داخل محفظه چسب‌زن اضافه شدند. خواص فیزیکی (جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت) و مکانیکی (چسبندگی داخلی، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی) چندسازه‌های LSL به‌ترتیب مطابق استاندارد ASTM D 1037 اصلاح شده و ASTM D 5459 اندازه‌گیری شدند.

\*مسئول مکاتبه: mohamadi.hoseine@gmail.com

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که اثر متقابل بین تیمار نانوآکسیدروی و نوع چسب برای چسبندگی داخلی و مدول الاستیسته معنی‌دار می‌باشد ولی اثر متقابل بین تیمار نانوآکسیدروی و نوع چسب برای مدول گسیختگی در سطح آلفای ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. نانوآکسیدروی نه تنها خواص مکانیکی LSL ساخته شده را به‌طور معنی‌دار کاهش نداد بلکه در اکثر موارد خواص مکانیکی مورد مطالعه را تا حدی افزایش داد. نانوآکسیدروی با کمترین میزان (۰/۵ درصد) واکنشیدگی ضخامت را کاهش داد و ثبات ابعادی را بهبود بخشید، اما با مقادیر بیشتر نانوآکسیدروی، بهبود بیشتری حاصل نگردید.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که از سطوح مختلف نانوآکسیدروی همراه با هر دو نوع چسب فنل فرمالدئید و ایزوسیانات بدون تأثیر منفی معنی‌دار بر خواص مکانیکی چندسازه LSL می‌توان استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** چندسازه‌های چوبی، الوار تراشه لایه‌ای، چسب ایزوسیانات، چسب فنول فرمالدئید، نانوآکسیدروی

### مقدمه

رایج به بازار معرفی شد. از کاربردهای آن می‌توان به ساخت درب و پنجره، ساخت مبلمان، تیر، ستون و غیره اشاره نمود (۱۷). تلاش برای تولید چندسازه‌های چوبی مستحکم، پایدار و مقاوم به رطوبت به‌منظور بهبود خواص فیزیکی از قبیل جذب آب، پایداری و واکنشیدگی ضخامت، عمدتاً بر نوع تکنولوژی و تکامل چسب چوب‌ها بویژه استفاده از ایزوسیانات‌ها (MDI و pMDI) تمرکز دارند. مزایایی از قبیل مقاومت چسبندگی و چسبناکی بالا، انعطاف‌پذیری در فرمول‌بندی، خواص ساختمانی بسیار عالی (به‌دلیل امکان فرمول‌بندی آن‌ها با پلیمرهای مختلف با قابلیت ایجاد اتصال عرضی و شبکه‌ای شدن)، توانایی ایجاد اتصال در محصولاتی با رطوبت بالا و قابلیت تهیه برپایه آب موجب ارجحیت آن‌ها شده است، همچنین سرعت‌گیرایی سریعتر نسبت به چسب‌های فنول فرم‌آلدئید PF انجام سریعتر فرایند را ممکن می‌سازد (۱۲). از آنجایی که LSL در سازه‌های بیرونی و محلهایی که در معرض عوامل بیولوژیکی و غیربیولوژیکی قرار دارند کاربرد گسترده‌ای دارد لذا یکی از جنبه‌های بسیار مهم این محصول که باید در نظر گرفته شود، مقاومت آن در مقابل عوامل مخرب

در اثر کاهش چوب‌های با کیفیت برای ساخت‌وساز، صنایع تولیدات چوبی، محصولات جدیدی را براساس تحقیقات پیشرفته معرفی نموده‌اند. محصولات چوبی مهندسی شده به چند دلیل مهم آینده روشنی خواهند داشت. این دلایل عبارتند از کاهش قابلیت دسترسی به چوب‌هایی با اندازه بزرگ، افزایش قابل توجه قیمت تخته لایه و الوارهای رایج و نیاز روز افزون به سازه‌های چوبی با طول و عرض بسیار زیاد (۱۰). توسعه محصولات چوبی مهندسی شده عموماً ویژگی‌های خوبی از قبیل سفتی و مقاومت بالا، ثبات و یکنواختی محصول، قابلیت دسترسی در اندازه‌های بزرگ و هزینه‌های نصب پائین دارند. همچنین، الوارهایی با اندازه بزرگ را می‌توان از درختان و گرده بینه‌های سریع‌الرشد و با کیفیت پایین تولید نمود که خود کیفیت و اندازه مناسبی برای اینکه مستقیماً به الوار تبدیل شوند را ندارند. الوارهای چندسازه هم از نظر یکنواختی کیفیت و هم یکپارچه بودن، برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به الوارهای چوب ماسیو دارند. چندسازه LSL در سال ۱۹۹۲ به‌عنوان جایگزین برای الوارهای ماسیو

است بنابراین در هنگامی که احتمال تخریب LSL توسط عوامل مخرب وجود دارد استفاده از مواد حفاظتی ضروری می‌باشد. از آنجائی که چندسازه‌های چوبی تحت پرس با دمای بالا تهیه می‌شوند، مواد حفاظتی به کار رفته در این محصولات باید بتوانند دمای بالای پرس را تحمل نموده و خواص حفاظتی خود را حفظ نمایند (۱۲). از جمله موادی که این دماها تحمل می‌کنند، می‌توان به نانوآکسیدروی اشاره کرد (۹). تحقیقات نشان داده‌اند که نانوآکسیدروی اثر حفاظتی در برابر موریانه، هوازدگی، قارچ‌های پوسیدگی سفید و بعضی از قارچ‌های قهوه‌ای دارد (۵، ۶، ۷ و ۱۱).

آریلمیش و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی، مقاومت به آتش، موریانه و پوسیدگی تخته تراشه جهت دار تیمار شده با غلظت‌های مختلف دی سدیم اوکتابورات تتراهیدرات، اسید بوریک، ملامین فسفات و مخلوط اسید بوریک با دی سدیم اوکتابورات تتراهیدرات پرداختند. نتایج نشان دادند که در رابطه با ویژگی‌های مکانیکی تمامی پانل‌های تیمار شده به غیر از آنهایی که با مخلوط اسید بوریک و دی سدیم اوکتابورات تتراهیدرات تیمار شده بودند، حداقل نیازهای استاندارد CSA 0437 برای خواص مکانیکی چندسازه را در غلظت ۲ درصد فراهم نمودند. اما مقادیر جذب آب و واکنش ضخامت بالاتر از حد استاندارد بودند (۱).

تحقیقات پیشین نشان دادند که نانو ذرات می‌توانند مقاومت‌های مکانیکی (سفتی و مقاومت به سایش)، مقاومت در برابر آتش و مقاومت در برابر اشعه فرابنفش (UV) پلیمرهای چوب را افزایش دهند (۱۱). مواد حفاظتی که به فراورده چندسازه مهندسی اضافه می‌شوند ممکن است خواص مکانیکی این محصولات را تحت تأثیر قرار دهند. در تحقیقی که

توسط تانکوت و همکاران (۲۰۰۴) انجام شد، اثر تیمار با مواد شیمیایی کندسوز کننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی LSL‌های تجاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان دادند که تیمار LSL با مواد کندسوز کننده، MOE و MOR چندسازه‌ها را به ترتیب ۱۷ و ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. در آزمون فشار موازی الیاف، تیمار با آب و مواد کندسوز کننده به ترتیب مقاومت را ۱۳ و ۱۶ درصد کاهش دادند اما این اختلاف از لحاظ آماری معنادار نبود. این نشان می‌دهد که کاهش این ویژگی عمدتاً به دلیل جذب آب می‌باشد نه مواد شیمیایی کندسوز کننده. هر دو نمونه تیمار شده با آب و مواد کندسوز کننده رطوبت تعادل بالاتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند. همچنین نمونه‌های تیمار شده با کندسوز کننده‌ها در هر دو جهت عرض و ضخامت واکنش بیشتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده با آب داشتند (۱۳). کومار و همکاران (۲۰۱۳) اثر نانو ذرات اکسید آلومینیوم بر روی خواص انتقال حرارت تخته فیبر دانسیته متوسط بررسی کردند و گزارش دادند که نانو ذرات اکسید آلومینیوم سبب بهبود هدایت حرارتی چسب اوره فرمالدئید می‌گردد. این محققین گزارش دادند که واکنش ضخامت به ازای مقدار کم این نانو ذره (۰/۵ درصد) کاهش می‌یابد. با افزایش میزان نانوآکسید آلومینیوم به یک درصد، میزان بهبود ثبات ابعادی کاهش یافت. مقادیر زیاد نانوآکسیدروی (۱ درصد و ۳ درصد) سبب افزایش میزان واکنش ضخامت و میزان جذب آب تخته خرده چوب ساخته شده با چسب اوره فرمالدئید گردید (۲).

در تحقیقی دیگر که به بررسی خواص مکانیکی LSL و OS� حاصل از چوب‌های صنوبر و پالونیا با چسب اوره فرمالدئید حاوی مقادیر مختلف نانورس پرداخته است مشخص شد که افزودن نانورس به چسب اوره فرمالدئید موجب بهبود معنی‌دار در

فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های LSL حاصل از چوب راش ایرانی (*Fagus orientalis*) پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و فرایند ساخت چندسازه‌های چوبی: برای انجام این پژوهش لایه‌هایی از چوب راش ایرانی با ضخامت ۲ میلی‌متر تهیه و به محل آزمایشگاه منتقل و سپس به تراشه‌هایی به طول ۴۰ و عرض ۲ سانتی‌متر برش خوردند. سپس این تراشه‌ها تا رطوبت ۶ الی ۸ درصد درون آن خشک شده و سپس جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی با محیط در کیسه‌های پلاستیکی دوجداره نگهداری شدند. در فرایند ساخت پانل‌های چوبی، تراشه‌ها درون یک چسب زن استوانه‌ای دوار ریخته شده و براساس وزن خشک با ۱۵ درصد از چسب‌های فنول فرمالدئید و PMDI و مقادیر موردنیاز از نانوآکسیدروی (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد که به صورت پودر به داخل محفظه چسب زن اضافه شدند) به صورت اسپری توسط یک پیستوله آغشته شدند. چسب فنول فرمالدئید (PF) با درصد مواد جامد ۵۹ درصد و pH ۸ از کارخانه عایق الکتریک گرگان و چسب ایزوسیانات با درصد مواد جامد ۱۰۰ درصد و pH ۵/۷ ساخت شرکت بولباند ایتالیا تهیه شدند. بعد از جهت‌گیری دستی تراشه‌های چوبی در راستای طولی یکدیگر (حداکثر انحنای از محور طولی ۱۵ درجه) درون یک قالب فلزی با ابعاد داخلی ۴۰ در ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت ۲/۵۴ سانتی‌متر، کیک آماده شده به مدت ۳۰ دقیقه تحت پرس گرم با دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس و فشار ۳۵ بار قرار گرفت. ابعاد نهایی نمونه‌های ساخته شده ۴۰×۲۰×۲/۵۴ سانتی‌متر و دانسیته اسمی آن‌ها ۰/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد (۱۲ و ۲۴).

مقاومت‌های مکانیکی چندسازه می‌شود. همچنین نتایج حاکی از آن بودن که گونه چوبی صنوبر نسبت به پالونیا خواص مکانیکی بهتری ایجاد می‌کند (۱۸) پریچاتی وانگ و همکاران (۲۰۰۷) اثر ترکیبی چسب‌های فنول فرمالدئید/ ایزوسیانات را بر خواص الوار تراشه جهت دار (OSL) ساخته شده از ضایعات چوب کائوچو به‌منظور تعیین نسبت بهینه هردو چسب مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که OSL ساخته شده از چسب‌های خالص و ترکیبی (سه مخلوط ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵) خواص مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی مطابق با استاندارد CSA O437.1 را دارا بودند. با این وجود OSL ساخته شده با چسب خالص ایزوسیانات قادر به تأمین استاندارد واکنشیدگی ضخامت و پایداری اتصال نبود. بهترین ترکیب مخلوط ۷۵ درصد PF با ۲۵ درصد MDI می‌باشد (۱۶). در همین راستا محمدابراهیم و همکاران (۲۰۰۷) به فرمول‌بندی رزین لیگنین فنول فرمالدئید به‌عنوان چسب چوب به‌منظور کاهش میزان فنول در چسب فنول فرمالدئید پرداختند، نتایج نشان داد که استفاده از لیگنین در ترکیب چسب فنول فرمالدئید باعث بهبود مقاومت کششی چندسازه می‌شود (۱۴). با وجود اطلاعات محدود در رابطه با LSL تیمار شده با مواد حفاظتی و مواد کندسوزکننده، بررسی این مباحث به‌منظور استفاده از محصولات چندسازه چوبی تیمار شده با مواد حفاظتی در توسعه سازه‌های چوبی اهمیت بسیار زیادی دارد (۱۲ و ۱).

از آنجایی‌که در هیچ تحقیقی از نانوآکسیدروی برای بهبود خواص LSL استفاده نشده است بنابراین در این تحقیق به بررسی تأثیر نوع چسب (فنول فرمالدئید و ایزوسیانات) و میزان مصرف نانوآکسیدروی (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی تراشه‌های چوبی) بر خواص

بعد از برش به ابعاد موردنظر بر اساس استاندارد ASTM-D5456 مورد آزمون قرار گرفتند (۲۰).

### روش تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش برای بررسی عامل‌های موردنظر از آزمون تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. جدول ۱ تیمارهای آزمایش را نشان می‌دهد.

آزمون جذب آب و واکنش‌دهی حجمی: بعد از ساخت نمونه‌ها به مدت دو هفته در دمای محیط ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد برای رسیدن به حالت تعادل با محیط در اتاق کلیما نگهداری شدند. جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت ۰/۵، ۱، ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM-D1037 اصلاح شده اندازه‌گیری شد (۱۹).  
آزمون خواص مکانیکی: خواص مکانیکی از قبیل مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و چسبندگی داخلی

جدول ۱- تیمارهای آزمون.

Table 1. Test treatments.

تکرار Repeat	زمان و دمای پرس Press time and temp min/180 <sup>o</sup> c	نانوآکسیدروی (درصد) Nano-zinc oxide	نوع چسب Adhesive type	کد Code
3	30	0	PF	P0
3	30	0.5	PF	P1
3	30	1	PF	P2
3	30	1.5	PF	P3
3	30	0	pMDI	M0
3	30	0.5	pMDI	M1
3	30	1	pMDI	M2
3	30	1.5	pMDI	M3

چسب pMDI بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، نمونه‌های محتوی نانوآکسیدروی به میزان ۰/۵ و یک درصد، کمترین مقدار واکنش‌دهی ضخامت (۹ درصد) نشان دادند درحالی‌که نمونه‌های محتوی مقادیر بیشتر نانوآکسیدروی واکنش‌دهی ضخامت بیشتری را داشتند. بهبود واکنش‌دهی ضخامت در اثر افزودن نانو فلزات به بهبود انتقال حرارت و در نتیجه پلیمریزاسیون کاملتر رزین نسبت داده شده است (۲). در این تحقیق با چسب فنل فرمالدئید، نانوآکسیدروی در سطوح بالاتر از ۰/۵ درصد، ثبات ابعادی را بیشتر بهبود بخشید ولی فرآورده‌های دارای نانوآکسیدروی در سطوح بیشتر از ۰/۵ درصد، دارای واکنش‌دهی ضخامت کمتری نسبت به شاهد بودند. با چسب pMDI،

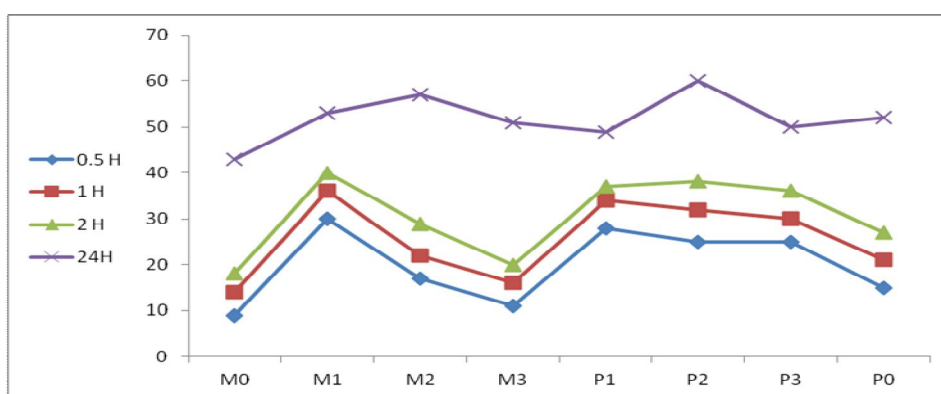
### نتایج و بحث

در شکل ۱ و ۲ نتایج جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت چندسازه‌های LSL در زمان‌های ۰/۵، ۱، ۲ و ۲۴ ساعت آورده شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود واکنش‌دهی ضخامت نمونه‌ها خیلی زیاد نیست و حداکثر ۱۱ درصد می‌باشد. این واکنش‌دهی ضخامت کم با توجه به چسب‌های مورد استفاده دور از انتظار نبوده است. برای چسب فنل فرمالدئید بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، نمونه‌های بدون نانوآکسیدروی بیشترین میزان واکنش‌دهی ضخامت (۹ درصد) را نشان دادند و نمونه‌های محتوی نانوآکسیدروی به میزان ۰/۵ و ۱/۵ درصد نیز کمترین مقدار (۵ درصد) را نشان دادند. با افزایش میزان نانوآکسیدروی بهبود بیشتری حاصل نگردید. برای

ساختار متخلخل چندسازه (وجود فضا بین تراشه‌ها) می‌باشد که در حین فرایند تولید ایجاد می‌شود. آب مایع به راحتی به داخل این منافذ نفوذ می‌کند. صرفاً حضور آب در این منافذ و لومن سلول چوب سبب واکنشیدگی ضخامت نمی‌گردد. بنابراین در اکثر موارد، جذب آب بیشتر به معنی واکنشیدگی ضخامت بیشتر نمی‌باشد.

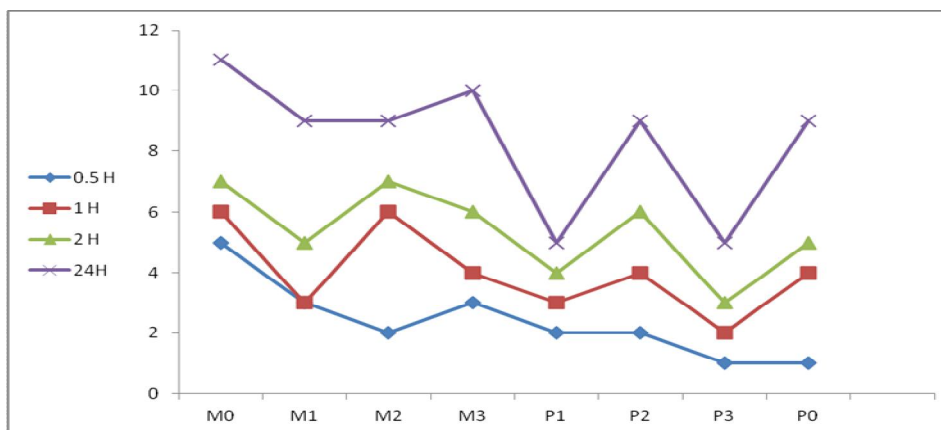
نانو اکسیدروی در سطوح بیشتر از ۰/۵ درصد ثابت ابعادی را بهبود نبخشد.

برخلاف واکنشیدگی ضخامت، جذب آب نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری مقادیر بالایی را نشان می‌دهند از حدود ۴۳ درصد برای تیمار شماره M۰ تا حدود ۶۰ درصد برای تیمار شماره P۲ متغیر می‌باشند. این میزان جذب آب بالای نمونه‌ها به دلیل



شکل ۱- تأثیر نوع چسب و میزان نانو اکسیدروی بر جذب آب چندسازه‌های LSL.

Figure 1. Effect of adhesive type and nano-zinc oxide loading on lsl water absorption.



شکل ۲- تأثیر نوع چسب و میزان نانو اکسیدروی بر واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌های LSL.

Figure 2. Effect of adhesive type and nsno-zinc oxide loading on lsl thickness swelling.

معنی‌دار نمی‌باشد اما اثر متقابل نوع چسب و نانو اکسیدروی معنی‌دار می‌باشد. این بدین مفهوم است که اثر نانو اکسیدروی بر روی چسبندگی وابسته به نوع چسب می‌باشد.

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس برای متغیرهای مختلف در چسبندگی داخلی نشان داده است، همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود اثرات مستقل نوع چسب و میزان نانو اکسیدروی بر چسبندگی داخلی چندسازه‌های LSL از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵

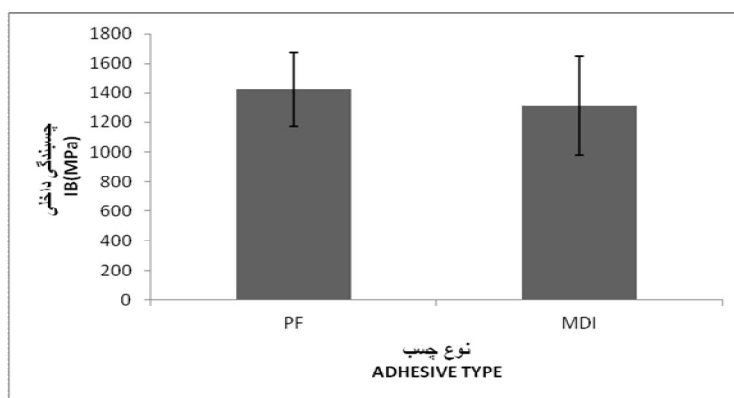
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برای چسبندگی داخلی.

Table 2. Analyses of variance results for internal bonding.

Sig	F	میانگین مربعات Average of squares	مجموع مربعات Total squares	درجه آزادی Degrees of freedom	متغیرها Variables
0.23	1559	69984	69984	1	چسب Adhesive
0.314	1284	57628	172884	3	نانوآکسیدروی Nano-zinc oxide
0.002	7635	342692	1028077	3	چسب*نانو Nano*Adhesive

اندکی بیشتر از نمونه‌های حاصل از ایزوسیانات (۱۳۱۴ MPa) می‌باشد. جدول تجزیه واریانس چسبندگی داخلی (جدول ۲) نشان می‌دهد که این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

شکل ۳ اثر نوع چسب بر چسبندگی داخلی چندسازه‌های LSL را نشان می‌دهد، همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود چسبندگی داخلی چندسازه‌های ساخته شده با چسب فنول فرمالدئید (۱۴۲۲ MPa)

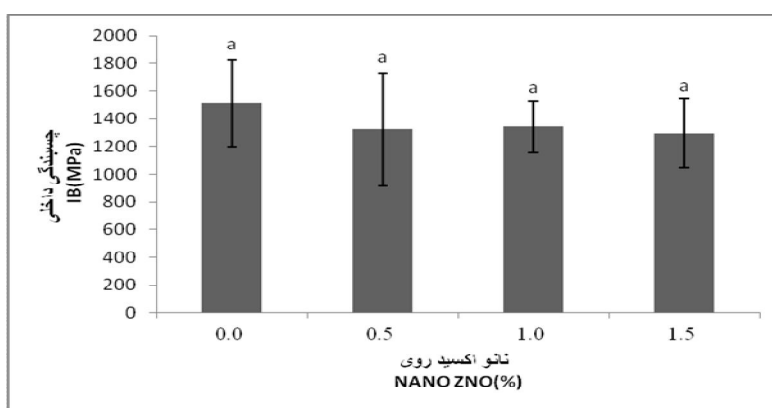


شکل ۳- اثر نوع چسب بر چسبندگی داخلی.

Figure 3. The effect of adhesive type on internal bonding.

می‌دهند اما با توجه به جدول تجزیه واریانس مربوطه این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

همان‌طوری که در شکل ۴ مشاهده می‌شود نمونه شاهد نسبت به چندسازه‌های حاوی نانوآکسیدروی در سطوح مختلف چسبندگی داخلی بالاتری را نشان

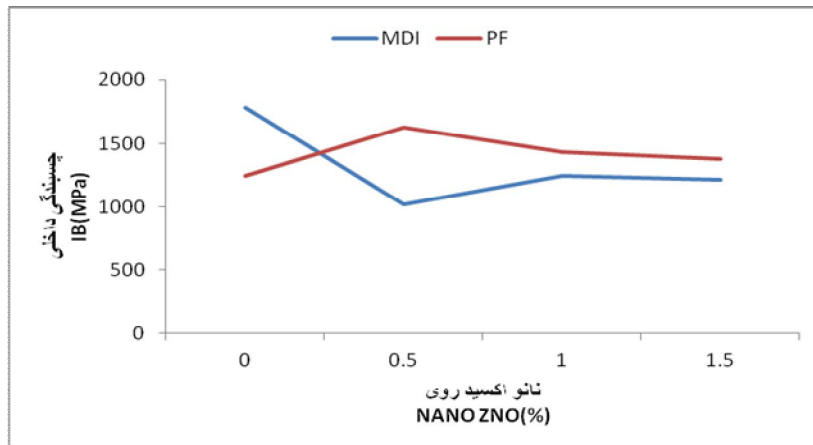


شکل ۴- اثر نانو اکسیدروی بر چسبندگی داخلی.

Figure 4. The effect of nano-zinc oxide loading on internal bonding.

و در مقادیر ۱ درصد و ۱/۵ با کمی کاهش هنوز بیشتر از شاهد بود ولی برای چسب pMDI، در مقدار ۰/۵ درصد نانو اکسیدروی چسبندگی داخلی کاهش داشت ولی برای مقادیر ۱ درصد و ۱/۵ درصد کمی افزایش داشت ولی هنوز کمتر از شاهد بود.

همان طوری که در نمودار اثر متقابل نوع چسب و نانو اکسیدروی برای چسبندگی داخلی چندسازه‌های LSL (شکل ۵) ملاحظه می‌شود دو خط یکدیگر را قطع کردند و اثر متقابل بین این دو فاکتور مشهود می‌باشد. برای چسب PF در مقدار ۰/۵ درصد نانو اکسیدروی، چسبندگی داخلی کمی افزایش یافت



شکل ۵- اثر متقابل نوع چسب و میزان نانو اکسیدروی بر چسبندگی داخلی.

Figure 5. Adhesive type and nano-zinc oxide interaction on internal bonding.

داخلی بیشتری بودند. اما با چسب pMDI، نمونه‌های محتوی نانو اکسیدروی در تمامی درصدهای مورد مطالعه به ویژه ۰/۵ درصد نسبت به شاهد دارای چسبندگی داخلی کمتری بودند. برخی از محققین کاهش خواص مکانیکی نظیر IB برای OSB ساخته

نتایج نشان دادند که اثر نانو اکسیدروی بر چسبندگی داخلی بسته به نوع چسب، کاملاً متفاوت می‌باشد. با چسب فنل فرمالدئید، نمونه‌های محتوی نانو اکسیدروی در تمامی درصدهای مورد مطالعه به-ویژه ۰/۵ درصد نسبت به شاهد دارای چسبندگی



pMDI ممکن است گپرا شدن زود هنگام چسب تا حد کمی اتفاق افتاده باشد.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس مدول گسیختگی نشان داده است، همان‌طوری که مشاهده می‌شود برخلاف ویژگی چسبندگی داخلی، اثرات مستقل نوع چسب و میزان نانوآکسیدروی بر مدول گسیختگی چندسازه‌های LSL از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد اما اثر متقابل چسب و نانوآکسیدروی معنی‌دار نشد.

شده از چسب فنل فرمالدئید در اثر اضافه شدن بورات روی را به اثر متقابل بین گروه متیل و اکنتی و یون بورات که سبب نیمه جامد شدن رزین قبل از تشکیل اتصال مؤثر می‌گردد، نسبت دادند (۲۱). در این تحقیق با افزودن نانوآکسیدروی به چندسازه تهیه شده با چسب فنول فرمالدئید کاهش IB مشاهده نگردید و ظاهراً مشکل گپرا شدن زود هنگام چسب مانند بورات روی وجود ندارد، ولی برای چسب

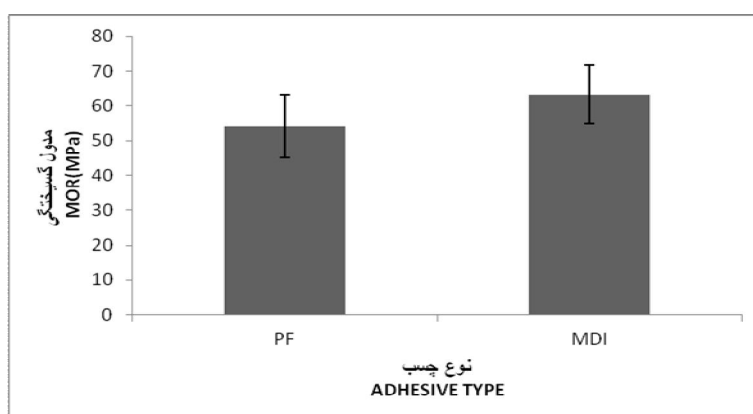
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای مدول گسیختگی.

Table 3. Analysis of variance results for rupture modulus.

Sig	F	میانگین مربعات Average of squares	مجموع مربعات Total squares	درجه آزادی Degrees of freedom	متغیرها Variables
0.002	13	494	494	1	چسب Adhesive
0.003	7.1	270	810	3	نانوآکسیدروی Nano-zinc oxide
0.124	2.2	84	253	3	چسب*نانو Nano*Adhesive

تحمیل بار در نقاط کشش و فشار در مرحله شکست مربوط می‌باشد، هرچه چندسازه در مقابل نیروی وارد شده مقاومت بیشتری از خود نشان دهد و کمتر دچار کرنش شود این ویژگی عدد بالاتری را نشان خواهد داد. همان‌طوری که در بخش نتایج نشان داده شد چندسازه حاصل از چسب ایزوسیانات نسبت به فنول فرمالدئید مدول گسیختگی بالاتری دارد (شکل ۶).

شکل ۴ اثر نوع چسب بر مدول گسیختگی چندسازه‌های LSL را نشان می‌دهد، همان‌طوری که ملاحظه می‌شود مقاومت چندسازه‌های ساخته شده با چسب فنول فرمالدئید (۵۴ MPa) کمتر از نمونه‌های حاصل از ایزوسیانات (۶۳ MPa) می‌باشد. جدول تجزیه واریانس مدول گسیختگی (جدول ۳) نشان می‌دهد که این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد. ویژگی مدول گسیختگی چندسازه به میزان

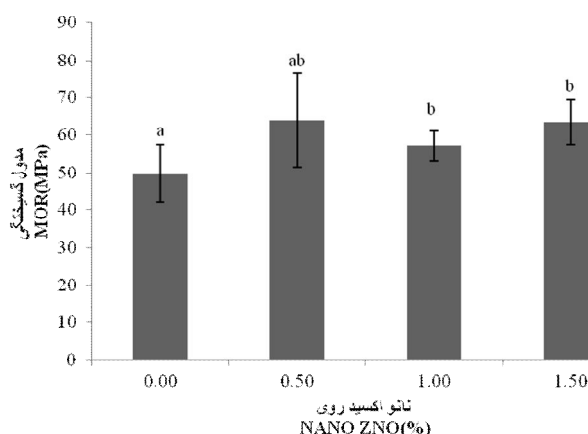


شکل ۶- اثر نوع چسب بر مدول گسیختگی.

Figure 6. Effect of adhesive type on modulus of rupture.

های حاوی نانو اکسیدروی در سطوح مختلف به استثنای چندسازه محتوی ۰/۵ درصد نانو اکسیدروی نشان داد. افزودن نانو اکسیدروی می تواند به دلیل بهبود انتقال حرارت از سطح به عمق این فراورده، سبب بهبود مدول گسیختگی چندسازه شود (۲۲ و ۸).

همان طوری که در شکل ۵ مشاهده می شود نمونه های شاهد نسبت به چندسازه های حاوی نانو اکسیدروی در سطوح مختلف، مقاومت خمشی کمتری را نشان می دهند، نتایج آزمون دانکن اختلاف های معنی داری را بین نمونه های شاهد و چندسازه-

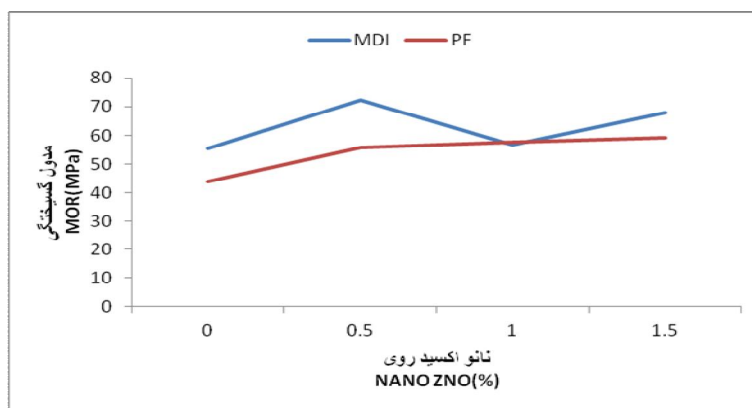


شکل ۷- اثر نانو اکسیدروی بر مدول گسیختگی.

Figure 7. Effect of nano-zinc oxide loading on modulus of rupture.

شیب ملایم افزایش یافته است اما در چندسازه های ساخته شده با چسب ایزوسیانات روند یکنواختی مشاهده نمی شود.

همان طور که در نمودار اثر متقابل نوع چسب و نانو اکسیدروی (شکل ۸) بر مدول گسیختگی ملاحظه می شود با افزودن نانو اکسیدروی در چندسازه های تهیه شده با چسب فنول فرمالدئید، مدول گسیختگی با



شکل ۸- اثر متقابل نوع چسب و میزان نانو اکسیدروی.

Figure 8. Interaction between adhesive type and nano-zinc oxide.

میزان نانو اکسیدروی بر مدول الاستیسیته چندسازه‌های LSL از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ معنی دار می‌باشد.

در جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس برای مدول الاستیسیته نشان داده شده است، همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود اثرات مستقل و متقابل نوع چسب و

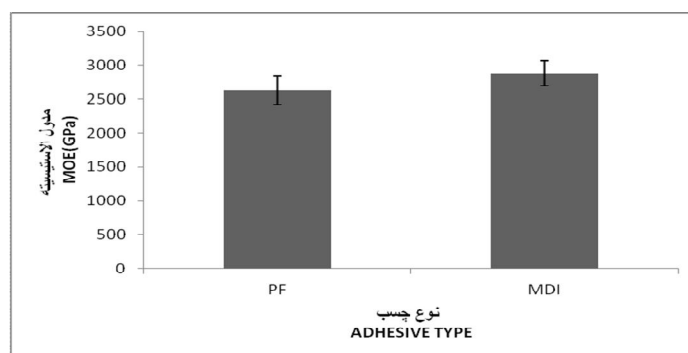
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس برای مدول الاستیسیته.

Table 3. Variance analysis results for modulus of elasticity.

Sig	F	میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	متغیرها Variables
000	35.6	381936	381936	1	چسب Adhesive
000	16.8	180062	540186	3	نانو اکسیدروی Nano-zinc oxide
0.01	5.2	56396	169189	3	چسب*نانو Nano*Adhesive

های حاصل از ایزوسیانات (۲۸۷۶ GPa) می‌باشد. جدول تجزیه واریانس مدول الاستیسیته (جدول ۴) نشان می‌دهد که این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار می‌باشد.

شکل ۹ اثر نوع چسب بر مدول الاستیسیته چندسازه‌های LSL را نشان می‌دهد، همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود مدول چندسازه‌های ساخته شده با چسب فنول فرمالدئید (۲۶۲۳ GPa) کمتر از نمونه-

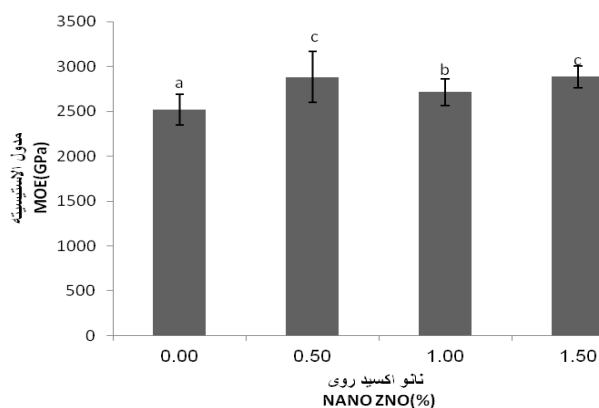


شکل ۹- اثر نوع چسب بر مدول الاستیسیته.

Figure 9. Effect of adhesive type on modulus of elasticity.

می‌دهند، نتایج آزمون دانکن مربوطه نیز این اختلاف را از لحاظ آماری معنی‌دار نشان می‌دهد.

همان‌طوری که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود نمونه شاهد نسبت به چندسازه‌های حاوی نانو اکسیدروی در سطوح مختلف مدول الاستیسیته کمتری را نشان

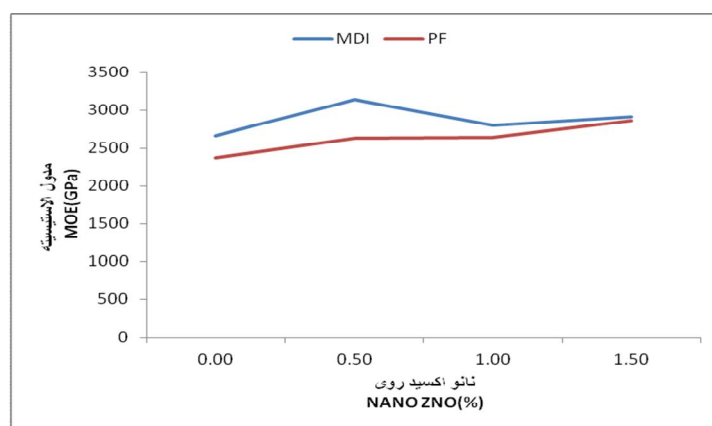


شکل ۱۰- اثر نانو اکسیدروی بر مدول الاستیسیته.

Figure 10. Effect of nano-zinc oxide loading on modulus of elasticity.

افزایش میزان نانو اکسیدروی مدول الاستیسیته با شیب ملایم افزایش یافت به طوری که در میزان ۱/۵ درصد، مدول الاستیسیته برای هر دو چسب تقریباً یکسان بود. مدول الاستیسیته نیز مشابه مدول گسیختگی عمل می‌کند و هرچه چندسازه در مقابل نیروی وارد شده مقاومت بیشتری از خود نشان دهد و کمتر دچار کرنش شود این ویژگی عدد بالاتری را نشان خواهد داد. بعضی از محققین بهبود مدول الاستیسیته بعضی از فرآورده‌های چوبی در اثر تیمار با نانو فلزات را به انتقال حرارت از لایه‌های سطحی به لایه‌های داخلی‌تر و مرکز فرآورده نسبت دادند (۲۲ و ۸).

در نمودار اثر متقابل چسب و نانو اکسیدروی بر مدول الاستیسیته چندسازه‌های LSL (شکل ۱۱) ملاحظه می‌شود که در مقادیر کم نانو اکسیدروی، اختلاف مدول الاستیسیته بین نمونه‌های ساخته شده از دو چسب مورد مطالعه بیشتر می‌باشد ولی با افزایش میزان نانو اکسیدروی به ۱/۵ درصد تقریباً اختلافی مشاهده نشد. برای چسب pMDI در مقدار نیم درصد نانو اکسیدروی، بیشترین مقدار مدول الاستیسیته به دست آمد. با افزایش میزان نانو از ۰/۵ به ۱ درصد میزان مدول الاستیسیته کاهش یافت ولی هنوز بیشتر از میزان مدول الاستیسیته نمونه شاهد (میزان نانو اکسیدروی ۰ درصد) بود. اما با چسب PF



شکل ۱۱- اثر متقابل نوع چسب و میزان نانو اکسیدروی.

Figure 11. Adhesive type Nano-Zinc Oxide Interaction on modulus of elasticity.

نانو اکسیدروی در مقدار کم سبب بهبود ثبات ابعادی می‌گردد ولی در مقادیر زیاد نه تنها بهبود بیشتری حاصل نمی‌گردد بلکه بسته به نوع چسب ممکن است بهبودی در ثبات ابعادی حاصل نگردد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از نانو اکسیدروی همراه با چسب فنول فرمالدئید برای ساخت چندسازه LSL مناسب‌تر می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان دادند که اثر نانو اکسیدروی بر روی چسبندگی داخلی و مدول الاستیسیته وابسته به نوع چسب می‌باشد ولی تیمار نانو اکسیدروی صرف‌نظر از نوع چسب، مدول گسیختگی را افزایش می‌دهد. نانو اکسیدروی نه تنها هیچ تأثیر منفی بر روی خواص مکانیکی LSL ساخته شده با چسب فنول فرمالدئید نداشت بلکه کلیه خواص مکانیکی مورد مطالعه را تا حدی افزایش داد.

### منابع

1. Ayrilmis, N., Kartal, S.N., Laufenberg, T.L., Winandy, J.E., and White, R.H. 2005. Physical and mechanical properties and fire, decay, and termite resistance of treated oriented strand board. *Forest Prod. J.* 55: 74-81.
2. Bayat kashkoli, A., and Faegh, M. 2014. Evaluation of mechanical properties of laminated strand lumber and oriented strand lumber made from Poplar wood (*Populus deltoides*) and Paulownia (*Paulownia fortunei*) with urea formaldehyde adhesive containing nanoclay. *International Wood Products Journal.* VOL 5. NO 4.
3. Candan, T., and Akbulut, Z. 2015. Physical and mechanical properties of nano reinforced particleboard composites. *Maderas. Ciencia y tecnología.* 17(2): 319-334, 2015.
4. Clausen, C.A. 2007. Nanotechnology: Implications for the Wood Preservation Industry. *International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 07 30415.* 15p.
5. Clausen, C., Yang, V., Arango, R., and Green, F. 2009. Feasibility of Nano zinc Oxide as a Wood Preservative. *American Wood Protection Association.* 105, Pp: 255-260.
6. Clausen, C.A., Green, F., and Kartal, S.N. 2010. Weatherability and Leach Resistance of Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide. *Nanoscale Res Lett.* 5(9): 1461-1467.
7. Clausen, C.A., Yang, V.W., Katel, S.N., Arango, R.A., and Green, F. 2011. The role of particle size of particulate nano zinc oxide wood preservatives on termite mortality and leach resistance. *Nano scale research Letter,* 6(1): 427-433.

8. Farajallahpour, M., Doosthoseini, K., Layeghi, M., and Kargarfard, A. 2011. Ag nanoparticles effects on heat transfer in press cycle and physical and mechanical properties of particleboard *Journal of Forest and Wood Product Iranian Journal of Natural Resources*, Vol. 65, No. 3, Pp: 339-349. (In Persian)
9. Farahani, M.R.M., and Banikarim, F. 2013. Effect of nano-zinc oxide on decay resistance of wood-plastic composites. *Bio Resources*. 8(4): 5715-5720.
10. Grace, J.K., Yamamoto, R.T., and Tamashiro, M. 1994. Resistance of borate-treated Douglas-fir to the Formosan subterranean termite. *Forest Prod.* 42: 61–65.
11. Green, F., and Arango, R. 2007. Wood protection by commercial silver formulations against eastern subterranean termites. *International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 07- 30422*.
12. Klyosov, A. 2007. *Wood-Plastic Composites*. John Wiley and Sons, 720p.
13. Kumar, A., Gupta, A., Sharma, K.V., and Nasir, M. 2013. Use of aluminum oxide Nano particles in wood composites to enhance the heat transfer during hot-pressing. *Eur. J. Wood Prod.*, 71: 193–198.
14. Kurt, R., and Cavus, V. 2011. Manufacturing of parallel strand lumber (psl) from rotary peeled hybrid poplar i-214 veneers with phenol formaldehyde and urea formaldehyde adhesives. *Wood Research*, 56(1): 137-144.
15. Lee, S., Wu, Q., and Strickland, B. 2001. The influence of flake chemical properties and zinc borate on the gel time of phenol resin for oriented strand board. *Wood Fiber Sci.*, 33: 425-436.
16. Mohamad Ibrahim, M., Ghani, N., and Nen, N. 2007. Formulation of lignin phenol formaldehyde resins as a wood adhesive. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, Vol 11, No 1: 213-218.
17. Moses, M., and Prion, G.L. 2003. The effect of lay-up on strength and behavior of steel dowels in laminated strand lumber. *World Conference on Timber Engineering*.
18. Preechatiwong, W., Yingprasert, W., and Kyokong, B. 2007. Effects of phenol-formaldehyde/ isocyanate hybrid adhesives on properties of oriented strand lumber (OSL) from rubberwood waste. *Songklanakarini J. Sci. Technol.* Vol. 29 No. 5.
19. Standard test methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. ASTM D 1037-12. 2003
20. Standard test methods for Evaluation of Structural Composite Lumber Products. ASTM 5456. 2003
21. Sean, T., Brunette, G., and F. Cote. 1999. Protection of oriented strandboard with borate. *Forest Prod. J.* 49(6): 47-51.
22. Taghiyari, H.R., Rangavar, H., and Farajpour, B. 2011. Effect of nano-silver on reduction of hot-pressing time and improvement in physical and mechanical properties of particleboard. *Bio Resources*, 6: 4067-4075.
23. Tankut, D., Smith, N., Leonard, A., Smith, W., and Tankut, A. 2004. Physical and mechanical properties of laminated strand lumber treated with fire retardant. *Forest Products Journal*.
24. WEIGHT, S., and WILLIS. 2007. A novel wood-strand composite laminate using small-diameter timber. M.Sc. thesis, University of Washington state.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 25 (1), 2018  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## Effect of Nano-zinc oxide and adhesive type on Physical and Mechanical Properties of Laminated Strand Lumber

\***H. Mohammadi**<sup>1</sup>, **M.R. Mastary Farahani**<sup>2</sup>, **H. Yousefi**<sup>3</sup> and **B. Habibpour**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept., of Wood Composites, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept., of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>3</sup>Assistance Prof., Dept., of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, <sup>4</sup>Associate Prof., of Entomology, Dept., of Plant Protection, College of Agriculture, Shahid-Chamran University of Ahvaz, Iran

Received: 08/06/2017; Accepted: 08/06/2017

### Abstract

**Background and objectives:** One of the most widely used wood products applied in wooden buildings as load bearing posts or beams is laminated strand lumber (LSL). Nano-zinc oxide is a chemical that has the potential to be used in the protection of LSL. The use of nano-zinc oxide as an additive in LSL may affect its mechanical and physical properties. In this study, the effect of adhesive type (PF and pMDI) and nano-zinc oxide amount (0, 0.5, 1, 1.5 % based on strands weight) on the physical and mechanical properties of LSL was investigated.

**Materials and methods:** For this purpose, LSLs were made from Iranian beech using either a phenol formaldehyde (PF) or a polymeric methylene diphenyl diisocyanate (pMDI) adhesive and four loading levels of nano-zinc oxide. The mechanical and physical properties of the LSLs were then measured according to ASTM-D5456 and modified ASTM-D1037 respectively.

**Results:** The results showed that the interaction between nano-zinc oxide treatment and the adhesive type was significant for MOE and IB while the interaction was not significant for MOR at the alpha level of 5%. Not only did nano-zinc oxide not reduce significantly the mechanical properties of the composites but it also increased partially the studied properties in most cases. Nano-zinc oxide with the lowest loading decreased the thickness swelling and improved the dimensional stability. The higher loadings did not result in any further improvement.

**Conclusion:** In general, it can be concluded that the different levels of nano-zinc oxide can be used in treating laminated strand lumber composites made with PF and pMDI adhesives without having any negative effect on mechanical properties of the composites.

**Keywords:** Wood based composites, Laminated strand lumber, Phenol formaldehyde, Polymeric methylene diphenyl diisocyanate, Nano Zinc Oxide

---

\*Corresponding author: mohamadi.hoseine@gmail.com

