

## ارزیابی خواص مهندسی گرما چوب تخریب شده به وسیله قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای

رضا حاجی حسنی<sup>۱\*</sup>، سیده معصومه زمانی<sup>۲</sup>، کامیار صالحی<sup>۳</sup> و سامان قهری<sup>۴</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: Reza.hajihassani@gmail.com

۲- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- مربی پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۱

### چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر تیمار گرمایی بر دوام بیولوژیکی و برخی خواص فیزیکی و مکانیکی گونه چوبی راش و کاج است. بدین منظور از گونه چوبی راش و کاج نمونه‌های گرماچوب بر اساس فرایند ترمو-D تهیه شد. نمونه‌های چوبی شاهد و تیمار شده با فرایند گرمایی تحت تأثیر قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای برای مدت زمان ۱۶ هفته قرار گرفته و بعد ارزیابی شدند. میزان لاکاز تولید شده توسط قارچ و نیز تأثیر قارچ بر کاهش وزن و تغییرات دانسیته نمونه‌ها بررسی گردید. نتایج نشان دادند که میزان بازدارندگی تیمار گرمایی در کاهش وزن ناشی از اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در چوب راش و کاج به ترتیب برابر با ۷۶/۹۲٪ و ۴۴/۳۲٪ بدست آمد. از این رو فعالیت و اثرگذاری آنزیم لاکاز در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با فرایند گرمایی بوده است. همچنین نتایج نشان دادند که تیمار گرمایی در دمای بالا سبب کاهش دانسیته می‌گردد؛ با این حال می‌تواند عاملی بازدارنده در کاهش دانسیته ناشی از فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای باشد. مقاومت به ضربه و مقاومت به فشار موازی الیاف از جمله آزمون‌های مکانیکی هستند که بر روی نمونه‌ها انجام شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که تیمار گرمایی سبب افزایش دوام بیولوژیکی هر دو گونه چوبی راش و کاج می‌گردد. همچنین نتایج بیانگر کاهش خواص مکانیکی در اثر تیمار گرمایی به استثنای مقاومت فشاری موازی الیاف بودند.

واژه‌های کلیدی: چوب، قارچ، لاکاز، دوام بیولوژیکی.

### مقدمه

توسط عوامل مخرب بیولوژیک است. قارچ‌های مخرب چوب از جمله عواملی هستند که سالانه خسارتهای بسیاری در سراسر دنیا به محصولات و مصنوعات چوبی وارد می‌کنند. از این رو، برای بهبود دوام بیولوژیکی چوب و افزایش قابلیت کاربرد آن روش‌های متعددی از فرایندهای اصلاح و حفاظت چوب استفاده شده است. یکی از این روش‌ها، اصلاح گرمایی

چوب به‌عنوان یک پلیمر طبیعی همواره جایگاه ویژه‌ای در زندگی انسان داشته است؛ به طوری که یکی از پرکاربردترین مصالح در ساخت سازه‌های چوبی بوده است. اما این ماده طبیعی دارای برخی معایب می‌باشد که سبب محدودیت کاربرد آن می‌گردد. یکی از مهمترین معایب چوب حمله و تخریب

چوب می‌باشد که با فرایندهای مختلفی انجام می‌شود. تیمار گرمایی چوب برای اولین بار به‌طور علمی در دهه ۱۹۳۰ در کشور آلمان و در دهه ۱۹۴۰ در کشور آمریکا مورد مطالعه قرار گرفت. بیشترین و جامع‌ترین فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه اصلاح گرمایی چوب توسط انجمن بین‌المللی گرماچوب در کشور فنلاند انجام شده است. تیمار گرمایی سبب تغییرات شیمیایی ساختار چوب، تغییرات رنگی، کاهش تغییرات ابعادی، بهبود خاصیت عایق حرارتی، بهبود مقاومت به پوسیدگی (استفاده از دماهای بالا) و کاهش برخی خواص مکانیکی مانند مقاومت خمشی می‌گردد (Militz, 2002).

حرارت‌دهی چوب در دامنه گرمایی ۲۶۰-۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان طولانی سبب کاهش برگشت ناپذیر جذب رطوبت توسط چوب می‌گردد (González-Peña, et al., 2004; Obataya and Tomita, 2002). این کاهش، بهبود مقاومت به تخریب قارچی برای کاربردهای بالای زمین (Welzbacher and Rapp, 2004; Farahani et al., 2001)، ثبات ابعادی بیشتر و حرکت و جابجایی کمتر رطوبت در سرویس (Militz and Tjeerdsma, 2001) را به همراه دارد. باوجوداین، قرار دادن چوب در درجه حرارت بالا، مقاومت آن را به شکل‌های مختلف تنش کاهش می‌دهد (González-Peña and Hale, 2007).

تیمار گرمایی سبب افزایش مقدار لیگنین، سلولز و مواد استخراجی می‌گردد، در حالی که مقدار همی‌سلولز و نیز هولو سلولز کاهش می‌یابد. به‌عبارتی دیگر، با کاهش یکی از اجزاء شیمیایی، افزایش نسبی در سایر اجزای شیمیایی حاصل می‌شود که این پدیده عاملی مؤثر در تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب محسوب می‌شود (Wentzel et al., 2019; Gaff et al., 2019).

نتایج تحقیقات Taghiyari و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تیمار گرمایی چوب کاج در دمای ۱۴۵-۱۶۵ درجه سانتی‌گراد دارای اثر تخریبی ناچیزی بر همی‌سلولز و لیگنین بوده، در نتیجه کاهش وزن کمی را به همراه داشته است. مضاف بر اینکه در دماهای پایین تیمار گرمایی، تخریب کم همراه با شاخه‌دار شدن و ایجاد پیوند میان اجزاء لیگنین و

همی‌سلولز منجر به بهبود برخی از خواص چوب می‌گردد. اما در دمای ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد تخریب بالای اجزاء دیواره سلولی بر اثرهای مثبت شاخه‌دار شدن اجزاء دیواره سلولی غلبه کرده، در نتیجه دارای کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی می‌گردد.

در بررسی اثر اصلاح گرمایی بر دوام زیستی یک گونه چوبی کم دوام، مشخص شد که تیمار گرمایی، دوام چوب در برابر عوامل مخرب قارچی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد که به‌دلیل کاهش گروه‌های هیدروکسیل در اثر تیمار گرمایی است (Mburu et al., 2007).

Kamperidou (۲۰۱۹) در یک بررسی دوام بیولوژیکی چوبهای کاج و صنوبر اصلاح شده با فرایند گرمایی - شیمیایی را در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید و قهوه‌ای مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان دادند که چوبهای تیمار شده با فرایند گرمایی نسبت به نمونه‌های شاهد، کاهش جرم کمتری را در برابر قارچ‌های استفاده شده داشتند. به‌عبارتی دیگر، تیمار گرمایی سبب افزایش مقاومت بیولوژیکی چوبها می‌گردد.

Kaygin و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر کاهش وزن بر خواص مکانیکی گونه پالونیا تیمار شده با فرایند گرمایی در دماهای ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان دادند که با افزایش دمای تیمار گرمایی، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. آنان اظهار داشتند که تفاوت در کاهش خواص مکانیکی ارتباط مستقیمی با کاهش وزن نمونه‌ها در اثر تیمار گرمایی دارد.

در مطالعه‌ای دیگر که توسط Icel و همکاران (۲۰۱۵) بر روی ویژگی‌های فیزیکی چوب کاج و نوئل تیمار شده با فرایند گرمایی انجام گردید، نشان داده شد که تیمار گرمایی در دمای ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان ۲ ساعت سبب کاهش وزن ۲/۵۶ و ۶/۱۲ درصدی و افزایش ثبات ابعادی ۵۸ و ۵۲ درصدی به‌ترتیب در نمونه‌های نوئل و کاج می‌گردد.

Ayata و همکاران (۲۰۱۷) مقاومت به پوسیدگی قارچ

شوند. با استفاده از سوزن انتقال، قطعه کوچکی از ریشه‌های قارچ به همراه محیط کشت جدا و بر روی قسمت مرکزی محیط کشت در شیشه kolle قرار داده شد. سپس درب ظروف kolle را بسته و در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی  $75 \pm 5$  قرار داده شدند. قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای طی ۲-۴ هفته سطح محیط کشت داخل kolle را می‌پوشاند که در این مرحله آماده انتقال نمونه‌های چوبی است.

قبل از مجاورت نمونه‌های چوبی مورد نظر با قارچ، ابتدا نمونه‌های چوبی تهیه شده برای استریل شدن به مدت ۲۰ دقیقه در داخل اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع قرار داده شدند. سپس در زیر هود استریل و در مجاورت چراغ الکی دو عدد پایک شیشه‌ای استریل شده در داخل هر ظرف kolle که قارچ خالص شده سطح آن را کاملاً فرا گرفته بود قرار داده شدند. در نهایت نمونه‌های چوبی استریل شده بر روی پایک‌های شیشه‌ای قرار داده شدند و شیشه‌های kolle حاوی نمونه‌های چوبی و قارچ به ژرمیناتور با شرایط رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  و دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. بدین ترتیب نمونه‌ها بر اساس استاندارد EN113 به مدت ۱۶ هفته در شرایط دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  قرار گرفتند. بعد از ۱۶ هفته کلیه نمونه‌ها را از داخل ژرمیناتور خارج کرده و مورد آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی و نیز بررسی مقاومت بیولوژیکی قرار گرفتند. آزمون‌های مورد نظر شامل بررسی میزان لاکاز، اندازه‌گیری کاهش وزن، دانسیته، مقاومت به ضربه و مقاومت به فشار موازی الیاف بودند. استانداردهای مورد استفاده برای آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی و مقاومت بیولوژیکی شامل EN113، ASTM D143-09 و ASTM D256 بودند.

آنزیم لاکاز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد طی دو چرخه استخراج (۵ ساعت و ۲۴ ساعت) با بافر ۵۰ میلی‌مولار استات سدیم با pH = ۵/۵ همراه با Tween 20 (۱/۰ گرم در لیتر) استخراج شد. در مرحله اول، نمونه‌های چوب قرار گرفته در معرض قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای با ۵۰ میلی‌لیتر بافر استخراج به مدت ۵ ساعت خیس شدند. سپس استخراج دوم با ۲۵ میلی‌لیتری بافر استخراج به مدت ۲۴ ساعت انجام شد.

در گونه‌های چوبی راش، بلوط و کاج تیمار گرمایی شده را مورد بررسی قرار دادند. دمای استفاده شده برای اعمال تیمار گرمایی ۱۹۰ و ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان ۱ و ۲ ساعت بود. نتایج کاهش وزن نمونه‌ها در برابر پوسیدگی قارچی در فاصله زمانی ۱۲ هفته بیانگر افزایش مقاومت بیولوژیکی در اثر تیمار گرمایی بود. از این رو، هدف از این بررسی از یکسو ارزیابی مقاومت بیولوژیک نمونه‌های گرم‌چوب و شاهد گونه‌های چوبی راش و کاج و بررسی مقایسه‌ای آنها و از سوی دیگر بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های گرم‌چوب و شاهد در اثر مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای است.

## مواد و روش‌ها

در این بررسی نمونه‌های مورد نظر از گونه چوبی راش (*Fagus Sp.*) و کاج (*Pinus Sp.*) تهیه شد. سپس تیمار گرمایی نمونه‌های مورد نظر با توجه به نوع فرایند گرمایی (Thermo-D) بر اساس دستورالعمل اتحادیه گرم‌چوب فنلاند انجام شد. برای بررسی مقاومت بیولوژیکی و نیز خواص فیزیکی و مکانیکی، از چوب‌های تیمار شده و شاهد نمونه‌های آزمون استفاده گردید.

برای بررسی مقاومت بیولوژیک نمونه‌های شاهد و تیمار شده از قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای (*Coniophora puteana*) استفاده شد. در این تحقیق از مالت اکستراکت آگار (Malt Extract Agar) با غلظت ۴/۸٪ به عنوان محیط کشت قارچ استفاده شد. از مایع کشت به میزان ۵۰cc در هر شیشه kolle ریخته و دهانه آن با پنبه مسدود گردید و برای استریل شدن به مدت ۲۰ دقیقه در داخل اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع قرار داده شد. سپس شیشه‌های kolle از اتوکلاو خارج و در دمای محیط خنک گردید. برای عدم آلودگی، شیشه‌ها تا هنگام کشت قارچ در انکوباتور نگهداری شدند.

انتقال نمونه‌های قارچ بر روی محیط کشت، در زیر هود استریل مجهز به لامپ UV و تهویه هوا انجام شد. در هنگام کار نیز دست و سایر وسایل مورد نیاز با الکل ضدعفونی می‌شد.

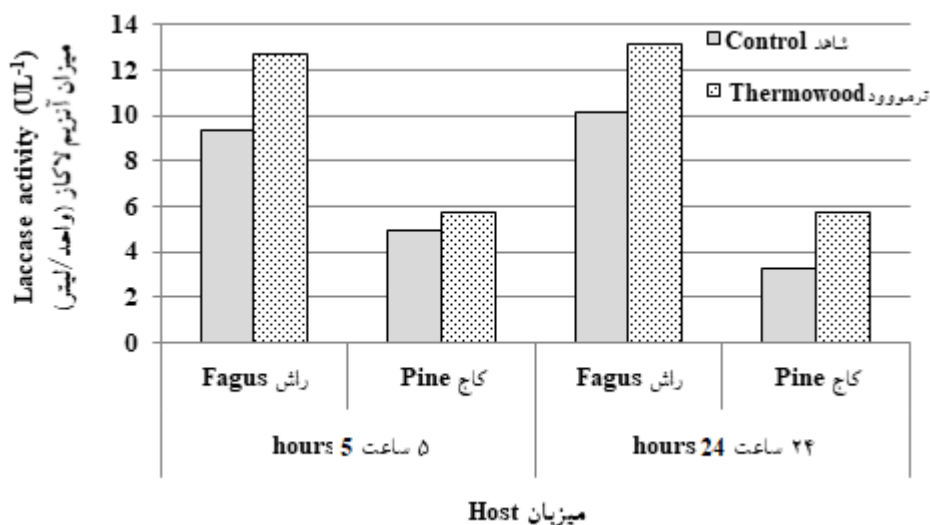
آزمون تجزیه واریانس ANOVA نیز برای مقایسه بین گروه‌ها استفاده شد.

### نتایج

#### فعالیت لاکاز

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان لاکاز ۵ و ۲۴ ساعت نمونه‌های چوبی پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نشان داد که میزان لاکاز موجود در نمونه‌های شاهد کمتر از نمونه‌های گرم‌چوب است (شکل ۱). در حقیقت کاهش میزان این آنزیم در نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های گرم‌چوب بیانگر مصرف و تأثیرگذاری بیشتر این آنزیم در نمونه‌های شاهد می‌باشد.

در هر مرحله، مایع رویی جمع‌آوری شده از استخراج‌ها با کاغذ صافی فیلتر شده، سپس با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ و برای آزمون فعالیت آنزیم استفاده شد. فعالیت آنزیم لاکاز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ۲ و ۶-دی متوکسی فنل (DMP) ۵ میلی‌مولار در بافر استات سدیم ۰/۱ مولار با  $\text{pH} = 3/6$  اندازه‌گیری شد. جذب در ۴۶۹ نانومتر ( $E_{469} = 27.5 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) توسط اسپکتروفتومتر بررسی شد. یک واحد فعالیت لاکاز به صورت مقدار آنزیم مورد نیاز برای اکسید کردن ۱ میکرومول از DMP در دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تعریف شد (Field et al., 1993). نتایج بدست آمده جمع‌آوری و مورد آنالیز قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. از



شکل ۱- تأثیر تیمار گرمایی بر میزان آنزیم لاکاز پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای

Figure 1. Effect of heat treatment on laccase activity after 16 weeks exposing to brown rot fungus

خلاصه تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی گونه چوبی راش و کاج را نشان می‌دهد.

در این بررسی نتایج حاصل از تأثیر تیمار گرمایی بر عملکرد و تأثیر قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های چوبی ارزیابی شد. جدول ۱

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مکانیکی گونه چوبی راش و کاج

Table 1. Summarized result of ANOVA for physical and mechanical properties of Fagus and Pine

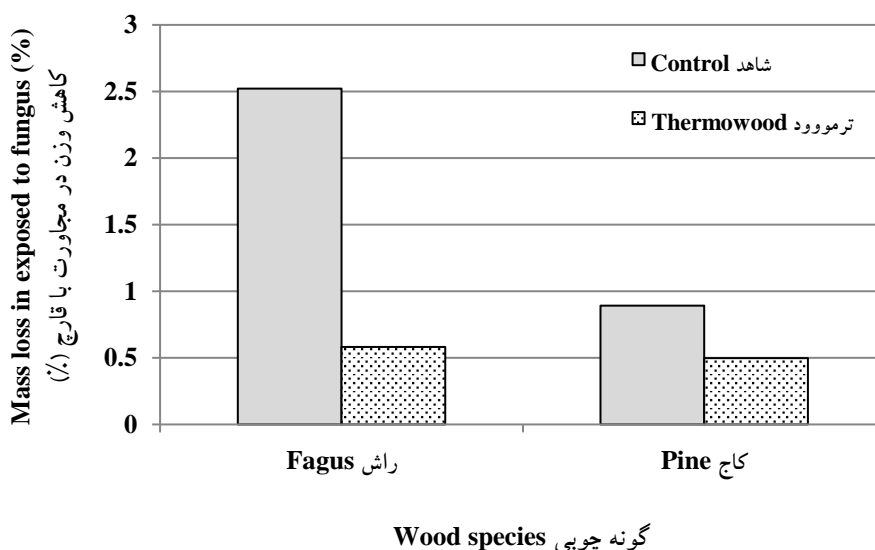
منبع تغییرات Source of variation	گونه چوبی Wood species	بدون مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای Unexposed to brown rot fungus			مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای Exposed to brown rot fungus			
		دانسیتته (گرم بر سانتی متر مکعب) Density (g/cm <sup>3</sup> )	مقاومت فشاری موازی الیاف (مگاپاسکال) Compression parallel to grain (Mpa)	مقاومت به ضربه (کیلو ژول بر مترمربع) Impact strength (Kj/m <sup>2</sup> )	کاهش وزن (%) Mass loss (%)	دانسیتته (گرم بر سانتی متر مکعب) Density (g/cm <sup>3</sup> )	مقاومت فشاری موازی الیاف (مگاپاسکال) Compression parallel to grain (Mpa)	مقاومت به ضربه (کیلو ژول بر مترمربع) Impact strength (Kj/m <sup>2</sup> )
تیمار گرمایی Heat treatment	راش <i>Fagus Sp.</i>	* 0.000	ns 0.418	* 0.001	** 0.014	* 0.001	ns 0.064	* 0.001
	کاج <i>Pinus Sp.</i>	** 0.026	ns 0.318	* 0.007	** 0.017	ns 0.845	ns 0.753	** 0.024

\*: معنی دار در سطح ۱ درصد      \*\*: معنی دار در سطح ۵ درصد      NS: معنی دار نیست

## کاهش وزن

است (جدول ۱). به طوری که میزان بازدارندگی تیمار گرمایی در کاهش وزن ناشی از اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در چوب راش و کاج به ترتیب برابر با ۷۶/۹۲٪ و ۴۴/۳۲٪ بدست آمد (شکل ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تیمار گرمایی بر کاهش وزن ناشی از فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در گونه چوبی راش و کاج نشان داد که تیمار گرمایی دارای تأثیر معنی داری بر کاهش وزن ناشی از عملکرد قارچ قهوه‌ای بوده



شکل ۲- تأثیر تیمار گرمایی بر کاهش وزن پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای

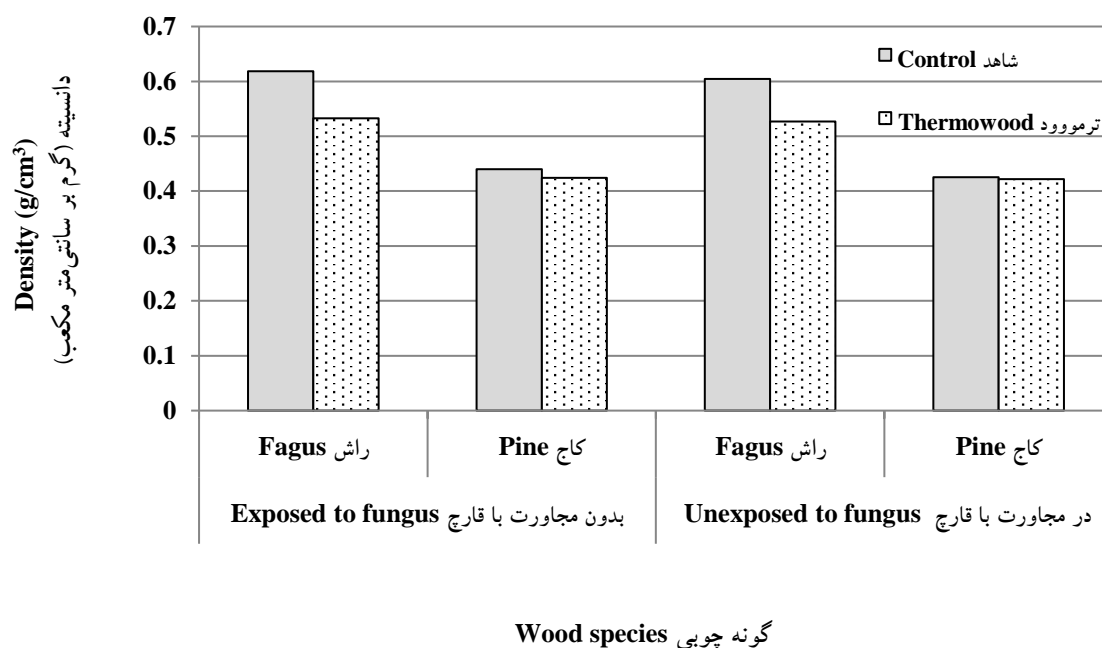
Figure 2. Effect of heat treatment on laccase activity after 16 weeks exposing to brown rot fungus

## دانسیته

پوسیدگی قهوه‌ای قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار گرمایی بر دانسیته نمونه‌های قرار گرفته در مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نشان داد که تیمار گرمایی دارای تأثیر معنی داری بر عملکرد قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در کاهش دانسیته چوب راش بوده است اما در چوب کاج تأثیر معنی داری ملاحظه نشد (جدول ۱). با این حال، مقایسه میانگین نتایج به دست آمده در نمونه‌های شاهد و گرم‌چوب نشان دادند که تیمار گرمایی می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در هر دو گونه چوبی گردد، به طوری که میزان کاهش دانسیته در اثر فعالیت قارچ در نمونه‌های شاهد و گرم‌چوب چوب راش به ترتیب برابر با ۳/۲۳ و ۱/۰۹ درصد و در نمونه‌های شاهد و گرم‌چوب چوب کاج به ترتیب برابر با ۲/۲۷ و ۰/۴۸ درصد بدست آمد (شکل ۳).

دانسیته گونه چوبی مورد نظر به دو شکل الف- تأثیر تیمار گرمایی بر دانسیته و بدون مجاورت با قارچ و ب- در مجاورت با قارچ و تأثیر عملکرد قارچ بر دانسیته، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار گرمایی بر دانسیته گونه چوبی راش و کاج نشان دادند که تیمار گرمایی دارای تأثیر معنی داری بر دانسیته این دو گونه چوبی بوده است (جدول ۱)؛ به طوری که فرایند گرم‌چوب کردن سبب کاهش دانسیته شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که دانسیته چوب راش و کاج در اثر تیمار گرمایی به ترتیب به میزان ۱۴/۵ و ۴/۵ درصد کاهش یافته است.

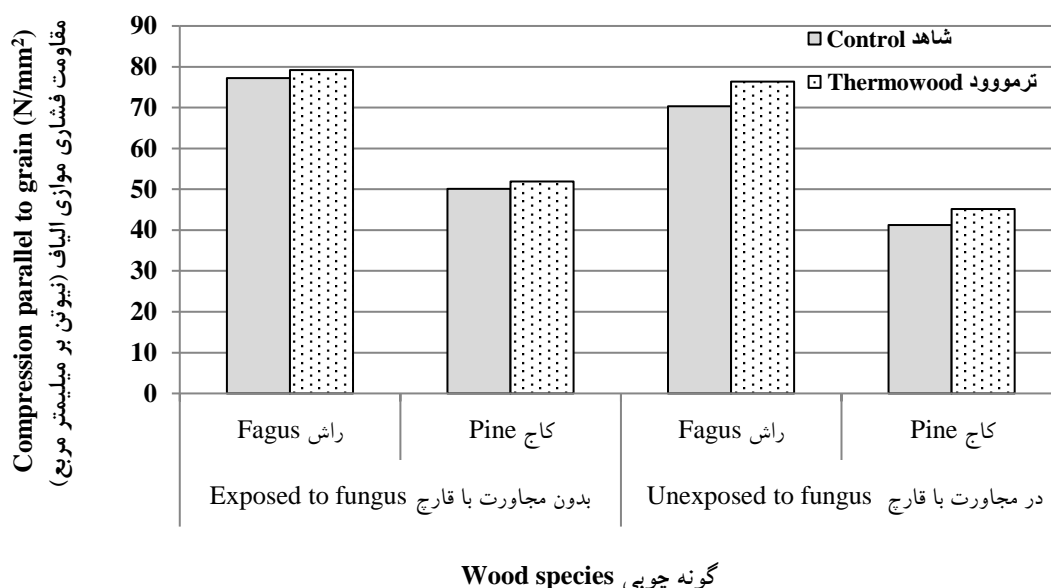
پس از اندازه‌گیری میزان دانسیته نمونه‌های شاهد و تیمار شده با فرایند گرمایی، این نمونه‌ها در مجاورت قارچ عامل



شکل ۳- تغییرات دانسیته گونه چوبی راش و کاج در اثر تیمار گرمایی و مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای  
**Figure 3. Density variation of Fagus and Pine due to heat treatment and expose to brown rot fungus**

ولی باعث افزایش میزان مقاومت فشاری موازی الیاف در این گونه چوبی شده است که بیانگر اثر مثبت تیمار گرمایی بر این ویژگی مکانیکی می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت فشاری موازی الیاف نمونه‌های قرار گرفته در معرض قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نشان داد که تیمار گرمایی دارای تأثیر معنی‌داری بر عملکرد قارچ بر روی مقاومت فشاری موازی الیاف دو گونه چوبی راش و کاج نبوده است (جدول ۱). مقایسه میانگین نتایج به دست آمده در نمونه‌های شاهد و گرماچوب نشان دادند که هرچند تیمار گرمایی دارای اثر معنی‌داری بر مقاومت فشاری موازی الیاف نمونه‌های تحت تیمار قارچ نمی‌باشد اما می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در گونه‌های چوبی مورد مطالعه گردد (شکل ۴).

مقاومت فشاری موازی الیاف اصلاح چوب با فرایندهای گرمایی، مقاومت‌های مکانیکی آن را تحت اشکال مختلف تنش تغییر می‌دهد (González-Peña and Hale, 2007). مقاومت فشاری موازی الیاف گونه چوبی راش و کاج نیز به دو شکل الف- تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت فشاری موازی الیاف و بدون مجاورت با قارچ و ب- در مجاورت با قارچ و تأثیر عملکرد قارچ بر مقاومت فشاری موازی الیاف، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحلیل داده‌ها نشان دادند که تیمار گرمایی تأثیر معنی‌داری بر مقاومت فشاری موازی الیاف این دو گونه چوبی نداشته است (جدول ۱). بالاین‌حال، مقایسه مقاومت فشاری موازی الیاف نمونه‌های شاهد و گرماچوب در شکل ۴ نشان می‌دهد که هرچند تیمار گرمایی اثر معنی‌داری بر این ویژگی مکانیکی نداشته است



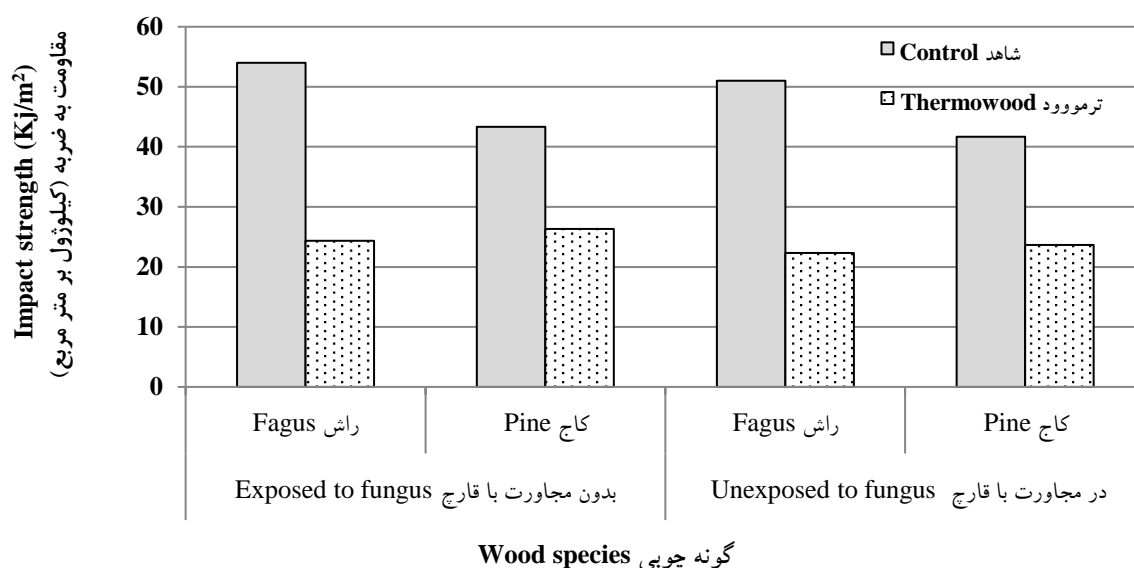
شکل ۴- تغییرات مقاومت فشاری موازی الیاف گونه چوبی راش و کاج در اثر تیمار گرمایی و مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای

Figure 4. Variation of compression parallel to grain of Fagus and Pine due to heat treatment and expose to brown rot fungus

پوسیدگی قهوه‌ای نیز نشان داد که تیمار گرمایی دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد قارچ بوده است (جدول ۱). شکل ۵ تأثیر تیمار گرمایی بر عملکرد قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای روی مقاومت به ضربه نمونه‌های چوبی راش و کاج را نشان می‌دهد که بیانگر کاهش مقاومت به ضربه است. مقایسه میانگین نتایج به دست آمده در نمونه‌های شاهد و گرماچوب نشان دادند که هرچند تیمار گرمایی می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای گردد، اما میزان کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های گرماچوب بیشتر از نمونه‌های شاهد بود (شکل ۵). به طوری که میزان کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های شاهد و گرماچوب گونه چوبی راش به ترتیب برابر با ۵/۵۵ و ۸/۲۲ درصد و در نمونه‌های شاهد و گرماچوب گونه چوبی کاج به ترتیب برابر با ۴/۰۲ و ۱۰/۱ درصد بدست آمد.

مقاومت به ضربه همان طور که قبلاً اشاره شد مقاومت به ضربه گونه چوبی راش و کاج به دو شکل الف- تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت به ضربه و بدون مجاورت با قارچ و ب- در مجاورت با قارچ و تأثیر عملکرد قارچ بر مقاومت به ضربه، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل داده‌ها نشان دادند که تیمار گرمایی تأثیر معنی‌داری بر مقاومت به ضربه هر دو گونه چوبی داشته است (جدول ۱). مقایسه مقاومت به ضربه نمونه‌های شاهد و گرماچوب در شکل ۵ نشان می‌دهد که تیمار گرمایی باعث کاهش این ویژگی مکانیکی در هر دو گونه چوبی راش و کاج به ترتیب برابر با ۵۴/۹ و ۳۹/۲ درصد شده است که بیانگر اثر منفی تیمار گرمایی بر مقاومت به ضربه می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت به ضربه نمونه‌های قرار گرفته در معرض قارچ عامل





شکل ۵- تغییرات مقاومت به ضربه گونه چوبی راش و کاج در اثر تیمار گرمایی و مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای  
**Figure 5. Variation of impact strength of Fagus and Pine due to heat treatment and expose to brown rot fungus**

## بحث

*Ceriporiopsis* در معرض قارچ *Eucalyptus grandis* در بیشترین کاهش وزن *subvermisporaon* قرار داده شد، همراه بود. تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهند که تیمار گرمایی، دوام چوب در برابر عوامل مخرب قارچی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد که به دلیل کاهش گروه‌های هیدروکسیل در اثر تیمار گرمایی می‌باشد (Mburu et al., 2007). بر همین اساس، میزان کاهش وزن ناشی از فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نیز در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با فرایند گرمایی بدست آمد. از این رو تیمار گرمایی می‌تواند عاملی مؤثر در افزایش مقاومت بیولوژیکی باشد.

نتایج نشان دادند که فرایند اصلاح گرمایی سبب کاهش دانسیته چوب راش و کاج می‌گردد. کاهش دانسیته در اثر تیمار گرمایی به دلیل تخریب و تغییر ساختار شیمیایی چوب است و با افزایش دمای تیمار این موضوع شدت می‌یابد (Militz, 2002). از سوی تیمار گرمایی می‌تواند عاملی بازدارنده در کاهش دانسیته ناشی از فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نیز باشد که این موضوع به دلیل کاهش یا

نتایج به دست آمده نشان دادند که تیمار گرمایی می‌تواند سبب افزایش مقاومت بیولوژیکی و برخی تغییرات در خواص فیزیکی و مکانیکی گونه چوبی راش و کاج گردد. بررسی میزان لاکاز موجود در نمونه‌های شاهد و گرماچوب چوب راش و کاج پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نشان داد که فعالیت و اثرگذاری این آنزیم در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با فرایند گرمایی بوده است. از این رو، میزان آنزیم لاکاز موجود در نمونه‌های شاهد کمتر از نمونه‌های گرماچوب بود که مصرف و تأثیرگذاری بیشتر این آنزیم در نمونه‌های شاهد را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تیمار گرمایی سبب تخریب و کاهش میزان همی سلولز و هولو سلولزها می‌گردد، بنابراین میزان گروه های هیدروکسیل که جایگاه فعالیت و شروع واکنش‌های شیمیایی هستند کاهش یافته، در نتیجه فعالیت و اثرگذاری آنزیم لاکاز تولید شده توسط قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای کاهش می‌یابد (Gaff et al., 2019; Mburu et al., 2007; Ferraz et al., 2019; Wentzel et al., 2019). مطابق با نتایج این تحقیق، و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند زمانی که تراشه‌های چوب

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌طور کلی می‌توان گفت که تیمار گرمایی می‌تواند سبب بهبود مقاومت بیولوژیکی گونه چوبی راش و کاج گردد. همچنین با وجود افت خواص فیزیکی و مکانیکی در اثر تیمار گرمایی، این فرایند می‌تواند سبب پایداری بیشتر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب قرار گرفته در معرض قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده شود.

### سپاسگزاری

بر حسب ادب و احترام از کلیه استادان و کارکنان مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور و نیز شرکت مازند چوب آریا و حمایت‌های مادی و معنوی آنها در انجام شدن این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارم.

### منابع مورد استفاده

- American society for testing of materials. ASTM D 143-09. 2014. Standard methods of testing small clear specimens of timber.
- American society for testing of materials. ASTM D256. 2018. Standard test methods for determining the Izod pendulum impact strength of plastics.
- Ayata, U., Akcay, C. and Esteves, B., 2017. Determination of decay resistance against *Pleurotus ostreatus* and *Coniophora puteana* fungus of heat-treated scotch pine, oak and beech wood species. *Maderas, Ciencia y tecnología*. 19: 3. 309-316.
- Farahani, M.R.M., Hill, C.A.S. and Hale, M.D.C., 2001. The effect of heat treatment on the decay resistance of Corsican pine sapwood. In: *Proceedings 5th european panel products symposium*. Pp: 303-308.
- Ferraz, A., Córdova, A. M. and Machuca, A., 2003. Wood biodegradation and enzyme production by *Ceriporiopsis subvermispora*. *Enzyme and Microbial Technology*. 32: 1. 59-65.
- Field, J.A., Jong, E., Feijoo-Costa, G. and Bont, J.A.M., 1993. Screening for ligninolytic fungi applicable to the biodegradation of xenobiotics. *Trends Biotechnol*. 11: 44-49.
- Gaff, M., Babiak, M., Kačík, F., Sandberg, D., Turčani, M., Hanzlík, P. and Vondrová, V., 2019. Plasticity properties of thermally modified timber in bending—the effect of chemical changes during modification of

حذف گروه‌های هیدروکسیل در اثر تیمار گرمایی و کاهش اثرگذاری قارچ مورد نظر می‌باشد (Mburu *et al.*, 2007). همچنین نتایج این بررسی نشان داد که تیمار گرمایی می‌تواند سبب افزایش مقاومت فشاری موازی الیاف چوب راش و کاج گردد. در حقیقت فرایندهای گرمایی در دمای بالا سبب تغییر اجزای شیمیایی چوب می‌گردد، به‌طوری‌که تیمار گرمایی با ایجاد پیوندهای عرضی در لیگنین و نیز افزایش مقدار لیگنین و سلولز در ساختار چوب، می‌تواند سبب بهبود مقاومت فشاری موازی الیاف گردد. به‌عبارتی دیگر، تغییرات اجزاء شیمیایی چوب در اثر حرارت عاملی مؤثر در تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب محسوب می‌شود (Wentzel *et al.*, 2019; Gaff *et al.*, 2019). از سویی حرارت‌دهی چوب در دمای بالا سبب محدودیت فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای می‌گردد، ازاین‌رو کاهش میزان مقاومت فشاری موازی الیاف در اثر فعالیت این قارچ در نمونه‌های گرماچوب کمتر از نمونه‌های شاهد بدست آمد. حرارت‌دهی چوب در دمای بالا سبب کاهش یا حذف گروه‌های هیدروکسیل و کاهش میزان آبکافت آنزیم لاکاز می‌گردد که در نهایت محدودیت فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای را به همراه دارد (Mburu *et al.*, 2007). این موضوع نشان می‌دهد که تیمار گرمایی می‌تواند عاملی بازدارنده در عملکرد قارچ مورد نظر باشد.

بررسی مقاومت به ضربه نمونه‌های شاهد و گرماچوب گونه‌های چوبی مورد مطالعه نشان داد که تیمار گرمایی باعث افت این ویژگی مکانیکی می‌گردد. تغییرات ساختار شیمیایی چوب در اثر حرارت‌دهی با دمای بالا و نیز ترد و شکننده شدن ساختار چوب می‌تواند دلیل کاهش این ویژگی مکانیکی باشد. بعلاوه اینکه هرچند تیمار گرمایی می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای گردد، اما میزان کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های گرماچوب بیشتر از نمونه‌های شاهد بود. در حقیقت تفاوت در کاهش این ویژگی مکانیکی ارتباط مستقیمی با کاهش وزن نمونه‌ها در اثر تیمار گرمایی دارد (Kaygin *et al.*, 2009).

- wood by the PLATO process. In: Rapp AO, Editor, Review on heat treatments of wood. COST ACTION E22: Environmental optimisation of wood protection. Pp: 27–38.
- Militz, H., 2002. Thermal treatment of wood. European processes and their background, IRG/WP 02-40241. 33rd Annual Meeting, 12-17 May, Cardiff-Wales, 4: 1-17.
- Obataya, E. and Tomita, B., 2002. Hygroscopicity of heat-treated wood II, Reversible and irreversible reductions in the hygroscopicity of wood due to heating. *Mokuzai Gakkaishi*. 48: 4. 288–95.
- Taghiyari, H.R., Bayani, S., Militz, H. and Papadopoulos, A.N., 2020. Heat treatment of pine wood: Possible effect of impregnation with silver nanosuspension. *Forests*, 11, 466. doi: 10.3390/f11040466
- The European Standard EN 113. 1997. Wood preservatives. Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes.
- Welzbacher, C.R. and Rapp, A.O., 2004. Determination of the water sorption properties and preliminary results from field tests above ground of thermally modified material from industrial scale processes. In: 35th Annual Meeting, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 04–40279.
- Wentzel, M., Fleckenstein, M., Hofmann, T. and Militz, H., 2019. Relation of chemical and mechanical properties of *Eucalyptus nitens* wood thermally modified in open and closed systems. *Wood Material Science & Engineering*. 14: 3. 165-173.
- European oak and Norway spruce. *Composites Part B: Engineering*. 165: 5. 613-625.
- González-Peña, M.M. and Hale, M.D.C., 2007. The relationship between mechanical performance and chemical changes in thermally modified wood. In: Proceedings 3rd european conference on wood modification. Pp: 169–172.
- González-Peña, M.M., Breese, M.C. and Hill, C.A.S., 2004. Hygroscopicity in heat treated wood: Effect of extractives. In: Proceedings 1st international conference on environmentally- compatible forest products. Pp: 105–119.
- Icel, B., Guler, G., Isleyen, O., Beram, A. and Mutlubas, M., 2015. Effects of industrial heat treatment on the properties of spruce and pine woods. *BioResources*. 10: 3. 5159-5173.
- Kamperidou, V., 2019. The biological durability of thermally-and chemically modified black pine and poplar wood against basidiomycetes and mold action. *Forests*. 10: 12. 1111-1128.
- Kaygin, B., Gunduz, G. and Aydemir, D., 2009. The effect of mass loss on mechanical properties of heat treated *Paulownia* wood. *Wood Research*. 54: 2. 101-108.
- Mburu, F., Dumarçay, S., Huber, F., Petrisans, M. and Gérardin, P., 2007. Evaluation of thermally modified *Grevillea Robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya. Characterisation of physicochemical properties and improvement of bio-resistance. *Bioresource Technology*. 98: 18. 3478–3486.
- Militz, H. and Tjeerdsma, B., 2001. Heat treatment of

## Evaluation of engineering characteristics of decayed thermo-wood decayed by brown rot fungus

R. Hajihassani<sup>1\*</sup>, S. M. Zamani<sup>2</sup>, K. Salehi<sup>3</sup> and S. Ghahri<sup>4</sup>

1\*- Corresponding author, Assistant Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran, Email: Reza.hajihassani@gmail.com

2-Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3-Senior research expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4-Assistant Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: June, 2022

Accepted: Sep., 2022

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of thermos-heat treatment on bio-durability and some physical and mechanical properties of beech (*Fagus sp.*) and pine (*Pinus sp.*) woods. Thermo-wood samples were prepared from beech and pine species based on thermo-D process. Heat-treated and untreated wood specimens were evaluated after exposing to brown rot fungus for 16 weeks. The laccase activity and its effect on mass loss and wood density were investigated. Results showed that deterrence value of heat treatment on mass loss caused by brown rot fungus have been 76.92% and 44.32% in beech and pine wood, respectively. So, laccase activity and its efficiency on mass loss of control specimens was more than heat treated wood. The results also showed that thermal modification at high temperatures reduced wood density. However, it had deterrent effect on the reduction of wood density caused by brown rot fungus activity. Moreover, some mechanical properties including impact strength and compression parallel to grain of wood specimens were measured. The results generally showed that thermal modification improves the bio-durability of both wood species. The results also revealed reduction of mechanical properties due to heat treatment except compression parallel to grain.

**Keywords:** Wood, fungus, laccase, bio-durability.