مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۳۱ شماره ۲، صفحه ۱۳۶-۱۲۶، (۱۴۰۲)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2023.362164.2102
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350883.1402.31.2.4.7

تأثیر قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب دو گونه صنوبر (*Populus* spp.)

سیده‌معصومه زمانی [۱]، رضا حاجی‌حسنی [۲*] و کامیار صالحی [۱]

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

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

پست الکترونیک: reza.hajihassani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

چکیده

پژوهش پیش‌رو با هدف ارزیابی تأثیر قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب دو گونه صنوبر شامل دلتوئیدس (*Populus deltoides* Marshall) و نیگرا (*P. nigra* L.) در دو حالت شاهد و اصلاح‌شده انجام شد. از تیمار حرارتی نیز برای اصلاح نمونه‌های چوبی استفاده شد. نمونه‌های چوبی شاهد و اصلاح‌شده صنوبر، ۱۶ هفته تحت تأثیر قارچ رنگین‌کمان قرار گرفتند. سپس، ویژگی‌های آن‌ها شامل مقدار لاکاز تولیدشده توسط قارچ، کاهش وزن ناشی از تأثیر قارچ و نیز تغییرات چگالی، مقاومت به ضربه و مقاومت فشاری موازی الیاف تحت اثرات قارچ و فرایند اصلاح اندازه‌گیری شدند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، اثرگذاری آنزیم لاکاز در نمونه‌های شاهد، بیشتر از نمونه‌های اصلاح‌شده بود که سبب کاهش وزن بیشتری در نمونه‌های شاهد شد. همچنین، اصلاح حرارتی موجب کاهش چگالی، کاهش مقاومت به ضربه و افزایش مقاومت فشاری موازی الیاف در هر دو گونه شد. ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های چوبی قرارگرفته در معرض قارچ رنگین‌کمان نیز نشان داد که اصلاح حرارتی سبب محدودیت عملکرد این قارچ در هر دو گونه می‌شود. به‌طوری‌که مقدار افت ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مورد مطالعه شامل کاهش وزن، چگالی، مقاومت فشاری موازی الیاف و مقاومت به ضربه در نمونه‌های شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های اصلاح‌شده بود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح حرارتی، چوب، قارچ عامل پوسیدگی سفید، لاکاز.

مقدمه

ویژگی‌های کاربردی چوب به‌عنوان یک پلیمر طبیعی، تحت تأثیر عوامل متعدد فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی، زیستی و نیز شرایط آب‌وهوایی قرار دارند، بنابراین از زمان‌های دور، تلاش‌های بسیاری برای افزایش دوام و توسعه کاربرد آن انجام شده است. یکی از عیب‌های مهم چوب، تجزیه و تخریب توسط عوامل متعدد زیستی مانند قارچ‌ها، حشره‌ها و باکتری‌ها است که خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به چوب و فراورده‌های چوبی وارد می‌کنند. به همین دلیل برای افزایش طول عمر و دوام این ماده در برابر عوامل مختلف، فرایندهای متعدد حفاظت و اصلاح چوب ابداع شده‌اند. یکی از این روش‌ها، اصلاح حرارتی چوب در دمای زیاد است که برای اولین‌بار به‌صورت علمی در کشورهای آلمان و امریکا بررسی شد، اما جامع‌ترین فعالیت‌های پژوهشی در این زمینه توسط

انجمن بین‌المللی ترمووود در کشور فنلاند انجام گرفته‌اند (Militz, 2002). اصلاح حرارتی سبب تغییر ساختار شیمیایی چوب، تغییر رنگ، بهبود ثبات ابعادی، بهبود خاصیت عایق حرارتی، افزایش مقاومت زیستی و نیز کاهش برخی ویژگی‌های مکانیکی ازجمله مقاومت خمشی می‌شود (Militz, 2002). یکی از مهم‌ترین اثرات اصلاح حرارتی چوب در دماهای زیاد (۱۴۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد)، کاهش غیرقابل‌برگشت جذب رطوبت در چوب است (Obataya & Tomita, 2002; González-Peña *et al*., 2004). این فرایند سبب افزایش پایداری ابعادی، کاهش انتقال رطوبت در چوب و نیز افزایش مقاومت آن در برابر قارچ می‌شود (Gao *et al*., 2016). بااین‌حال، اصلاح حرارتی در دمای زیاد، مقاومت‌های مکانیکی آن را تحت شکل‌های مختلف تنش کاهش می‌دهد (González-Peña & Hale, 2007).

بررسی تأثیر تیمار حرارتی با دو دمای ۱۴۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت یک تا سه ساعت تحت خلأ بر ویژگی‌های چوب صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Marshall) نشان داد که افزایش دما و زمان تیمار حرارتی سبب بهبود ثبات ابعادی، تیره‌تر شدن رنگ چوب، کاهش مدول الاستیسیته و افزایش دوام زیستی نمونه‌های تیمارشده در برابر قارچ پوسیدگی سفید در مقایسه با قارچ پوسیدگی قهوه‌ای می‌شود (Gao *et al*., 2016). نتایج ارزیابی دوام زیستی چوب‌های صنوبر (*Populus* sp.) و کاج (*Pinus nigra* J.F.Arnold) تیمارشده با فرایند حرارتی- شیمیایی در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید و قهوه‌ای نشان داد که چوب‌های اصلاح‌شده با فرایند حرارتی نسبت به نمونه‌های شاهد، کاهش وزن کمتری در برابر قارچ‌های مورد نظر داشتند (Kamperidou, 2019). بدین‌مفهوم که اصلاح حرارتی سبب افزایش دوام زیستی چوب می‌شود. در بررسی اثر اصلاح حرارتی بر دوام زیستی یک گونه چوبی کم‌دوام (*Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br.) مشخص شد که تیمار حرارتی به‌دلیل کاهش گروه‌های هیدروکسیل، دوام چوب در برابر عوامل مخرب قارچی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد (Mburu *et al*., 2007). ارزیابی مقاومت به پوسیدگی قارچ در چوب‌های کاج (*P. sylvestris* L.)، راش (*Fagus orientalis* Lipsky) و بلوط (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) تیمارشده با فرایند گرمایی، حاکی از افزایش مقاومت زیستی در چوب‌های تحت تیمار حرارتی بود (Ayata *et al*., 2017). در بررسی تأثیر اصلاح حرارتی بر ویژگی‌های چوب یک گونه آفریقایی (*Pterocarpus soyauxii* Taub.) گزارش شد که تیمار حرارتی در دمای ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند ویژگی‌های خمشی (مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته) را کاهش و ساختار شیمیایی چوب را تغییر دهد (Corleto *et al*., 2020). نتایج دیگر پژوهش مذکور نشان داد که مقدار همی‌سلولز و مواد استخراجی در اثر تیمار حرارتی کاهش می‌یابد، اما درصد سلولز و لیگنین چوب به‌طور نسبی روند افزایشی دارند. به‌عبارتی‌دیگر با کاهش یکی از مؤلفه‌های شیمیایی، افزایش نسبی در مؤلفه‌های شیمیایی دیگر حاصل می‌شود. این پدیده، عاملی مؤثر در تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب محسوب می‌شود (Gaff *et al*., 2019; Wentzel *et al*., 2019; Kozakiewicz *et al*., 2020; Lengowski *et al*., 2021).

در اصلاح حرارتی چوب، سخت و حجیم شدن دیواره سلولی در اثر افزایش اتصال‌های عرضی و واکنش‌های تراکمی در ترکیب‌های شیمیایی لیگنین سبب بهبود مقاومت فشاری موازی الیاف چوب می‌شود (Yildiz *et al*., 2013; Tomak *et al*., 2014). بررسی اثر فشرده‌سازی بر خواص کاربردی چوب صنوبر دلتوئیدس (*P. deltoides*) نشان داد که تیمار حرارتی باعث افزایش سفتی، استحکام نسبی و درنتیجه، سختی چوب می‌شود، اما در چوب تیمارنشده، میکروفیبریل‌های با دیواره سلولی نازک و منعطف در مقابل فشار موازی الیاف، دچار کمانش و لهیدگی می‌شوند (Ghorbani *et al*., 2020). ارزیابی تأثیر کاهش وزن بر ویژگی‌های مکانیکی پالونیا (*Paulownia elongata* S.Y. Hu) تیمارشده با فرایند حرارتی در دماهای ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد که با افزایش دمای تیمار حرارتی، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه‌ها کاهش

می‌یابد (Kaygin *et al.*, 2009). نتایج دیگر پژوهش مذکور حاکی از ارتباط مستقیم تفاوت در کاهش ویژگی‌های مکانیکی با کاهش وزن نمونه‌ها بود. پژوهش پیش‌رو سعی دارد تا با به‌کارگیری اصلاح حرارتی ازیک‌طرف به ارزیابی تأثیر این فرایند بر ویژگی‌های کاربردی دو گونه از چوب صنوبر بپردازد. ازطرف دیگر، تأثیر اصلاح حرارتی بر عملکرد قارچ رنگین‌کمان یا عامل پوسیدگی سفید (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) در تغییر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این چوب‌ها بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش پیش‌رو، از چوب دو گونه صنوبرهای دلتوئیدس (*P. deltoids*) و نیگرا (*P. nigra* L.) استفاده شد. به‌منظور اصلاح حرارتی، نمونه‌های تهیه شده در داخل کوره قرار داده شدند. دمای کوره همراه با تزریق بخارآب به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. سپس، این دما به‌طور یکنواخت تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد تا رطوبت چوب به حدود صفر درصد برسد. پس‌ازاین مرحله، دمای کوره به ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد و نمونه‌ها به‌مدت سه ساعت در این دما نگهداری شدند. پس از پایان زمان تیمار، دمای نمونه‌های چوبی با استفاده از اسپری آب و رطوبت‌دهی کاهش یافت و آن‌ها از کوره خارج شدند. به‌منظور بررسی ویژگی‌های کاربردی مورد نظر و نیز دوام زیستی از چوب‌های اصلاح‌شده و شاهد، تعداد شش نمونه آزمونی تهیه شد.

در این بررسی از قارچ رنگین‌کمان (*T. versicolor*) خالص‌سازی‌شده از نمونه‌های جنگلی به‌منظور ارزیابی دوام زیستی چوب‌های شاهد و اصلاح‌شده استفاده شد. به‌منظور تهیه محیط کشت قارچ مورد نظر، ابتدا ۴۸ گرم از ماده Malt Extract Agar در یک ارلن ریخته شد. سپس با اضافه کردن آب مقطر، حجم آن به ظرفیت یک لیتر رسانده شد. با هم زدن محتویات درون ارلن با استفاده از یک اجاقک (Heater) مغناطیسی، محلولی یکنواخت به‌دست آمد. پس از ریختن ۵۰ سی‌سی از مایع کشت تهیه‌شده در هر شیشه Kolle، دهانه آن با پنبه مسدود شد. به‌منظور استریل کردن محیط کشت، شیشه‌های Kolle در درون دَم‌فشار (Autoclave) به‌مدت ۲۰ دقیقه با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع قرار داده شدند. سپس، شیشه‌ها از دَم‌فشار خارج و در داخل گرم‌خانه (Incubator) و سپس، در دمای محیط خنک شدند. به‌منظور انتقال ریسه‌های قارچ رنگین‌کمان بر روی محیط کشت از هود استریل مجهز به لامپ UV و تهویه هوا استفاده شد. پس از بستن درب ظرف‌های Kolle با پنبه استریل، آن‌ها در داخل تَندانه (Germinator) (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۷۵ درصد) قرار داده شدند. قارچ رنگین‌کمان طی مدت یک تا دو هفته، سطح محیط کشت را پوشاند. نمونه‌های چوبی پس از استریل شدن روی پایک‌های شیشه‌ای درون ظرف‌های Kolle حاوی قارچ خالص‌شده قرار داده شدند و به تَندانه (رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد) منتقل شدند. این نمونه‌ها براساس استاندارد EN113 به‌مدت ۱۶ هفته در این شرایط قرار گرفتند (BS EN, 1997). سپس، همه نمونه‌ها از داخل تَندانه خارج شدند و آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی و نیز بررسی دوام زیستی بر روی آن‌ها انجام گرفت. این آزمون‌ها شامل بررسی مقدار لاکاز، کاهش وزن، تغییرات چگالی، مقاومت به ضربه و مقاومت فشاری موازی الیاف بودند. استانداردهای مورد استفاده برای آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی و مقاومت زیستی به‌ترتیب شامل ASTM D143-09 (ASTM, 2014)، ASTM D256 (ASTM, 2018) و EN113 بودند. گفتنی است که ابعاد نمونه‌های چوبی برای آزمون‌های مقاومت به ضربه، مقاومت فشاری موازی الیاف، تعیین چگالی و کاهش وزن براساس استانداردهای اشاره‌شده به‌ترتیب برابر با ۷×۱×۱، ۶×۲×۲، ۲×۲×۲ و ۵×۲/۵×۱/۵ سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شدند.

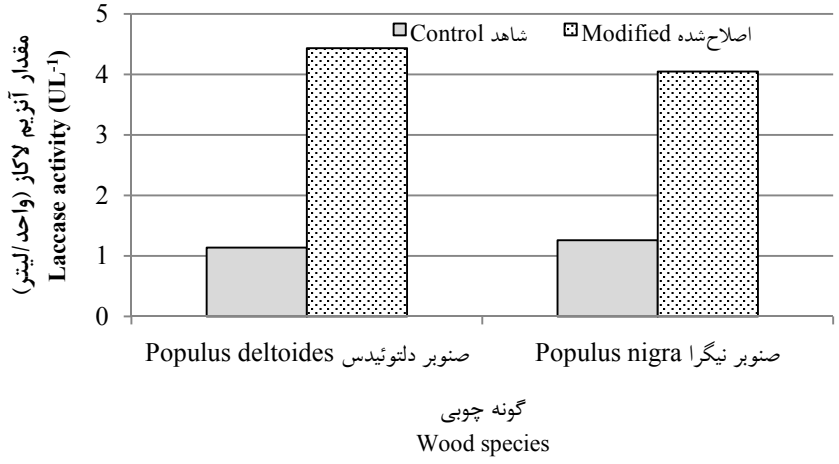
آنزیم لاکاز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد طی مدت ۲۴ ساعت با بافر ۵۰ میلی مولار استات‌سدیم و pH برابر با ۵/۵ همراه با Tween 20 (۰/۱ گرم در لیتر) استخراج شد. بدین منظور، ابتدا نمونه‌های چوب قرارگرفته در معرض قارچ

رنگین‌کمان با ۵۰ میلی‌لیتر بافر استخراج به‌مدت ۲۴ ساعت خیس شدند. سپس، مایع رویی جمع‌آوری‌شده از استخراج با استفاده از کاغذ صافی فیلتر شد و با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه گریز داده شد (Centrifuge) و برای انجام آزمون ارزیابی فعالیت آنزیم لاکاز استفاده شد. فعالیت آنزیم لاکاز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ۲ و ۶-دی‌متوکسی‌فنل (DMP) پنج میلی‌مولار در بافر استات‌سدیم ۰/۱ مولار با pH برابر با ۳/۶ اندازه‌گیری شد. مقدار جذب در ۴۶۹ نانومتر (E_{469} = 27.5 $mM^{-1}cm^{-1}$) توسط طیف‌نورسنج (Spectrophotometer) بررسی شد. یک واحد فعالیت لاکاز به‌صورت مقدار آنزیم مورد نیاز برای اکسید کردن یک میکرومول از DMP در دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تعریف شد (Field *et al*., 1993). به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ارزیابی اثرگذاری اصلاح حرارتی بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نیز دوام زیستی نمونه‌ها از نرم‌افزار SPSS و آزمون تجزیه واریانس One-Way ANOVA استفاده شد.

نتایج

فعالیت لاکاز

نتایج ارزیابی آنزیم لاکاز ۲۴ ساعت در نمونه‌های چوبی مورد مطالعه پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ رنگین‌کمان نشان داد که مقدار این آنزیم در نمونه‌های شاهد، کمتر از نمونه‌های اصلاح‌شده بودند. به‌طوری‌که مقدار لاکاز در نمونه‌های شاهد صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا به‌ترتیب برابر با ۱/۱۴ و ۱/۲۶ درصد و در نمونه‌های اصلاح‌شده برابر با ۴/۴۴ و ۴/۰۵ درصد به‌دست آمد (شکل ۱). این نتایج حاکی از مصرف بیشتر این آنزیم در نمونه‌های شاهد است.



شکل ۱- مقدار آنزیم لاکاز پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ رنگین‌کمان در نمونه‌های چوب صنوبرهای شاهد و اصلاح‌شده

Figure 1. Laccase enzyme value in control and modified poplar wood specimens after 16 weeks exposure to white rot fungus

نتایج تجزیه واریانس حاصل از بررسی تأثیر قارچ رنگین‌کمان و نیز اصلاح حرارتی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های چوبی از صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ – خلاصه تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی در نمونه‌های چوب صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا

Table 1. Summarized results of ANOVA for physical and mechanical properties of two poplar wood species

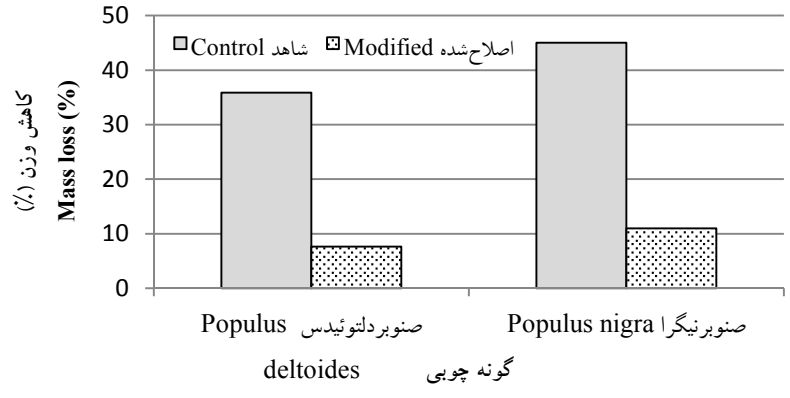
منبع تغییرات S.V	گونه چوبی Wood species	بدون مجاورت با قارچ رنگین‌کمان Unexposed to fungus			مجاورت با قارچ رنگین‌کمان Exposed to fungus			
		چگالی Density	مقاومت فشاری موازی الیاف Compression strength parallel to grain	مقاومت به ضربه Impact strength	کاهش وزن Mass loss	چگالی Density	مقاومت فشاری موازی الیاف Compression strength parallel to grain	مقاومت به ضربه Impact strength
اصلاح حرارتی Thermal modification	صنوبر دلتوئیدس *Populus deltoids*	**0.001	*0.017	*0.025	**0.000	**0.000	*0.023	**0.000
	صنوبر نیگرا *Populus nigra*	*0.013	0.231^{ns}	*0.028	**0.000	**0.002	*0.027	**0.000

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ^{ns} غیرمعنی‌دار

**: Significant at p<0.01; *: Significant at p<0.05; ns: non-significant

کاهش وزن

تأثیر اصلاح حرارتی بر کاهش وزن ناشی از عملکرد قارچ رنگین‌کمان در سطح اطمینان ۹۹ درصد، معنی‌دار بود (جدول ۱). به‌طوری‌که میانگین کاهش وزن ناشی از اثرگذاری این قارچ در نمونه‌های شاهد صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا به‌ترتیب برابر با ۳۵/۸۹ و ۴۵/۰۶ درصد و در نمونه‌های اصلاح‌شده به‌ترتیب برابر با ۷/۶۲ و ۱۱ درصد به‌دست آمد (شکل ۲). این نتایج نشان‌دهنده اثر بازدارندگی اصلاح حرارتی در عملکرد قارچ رنگین‌کمان است.



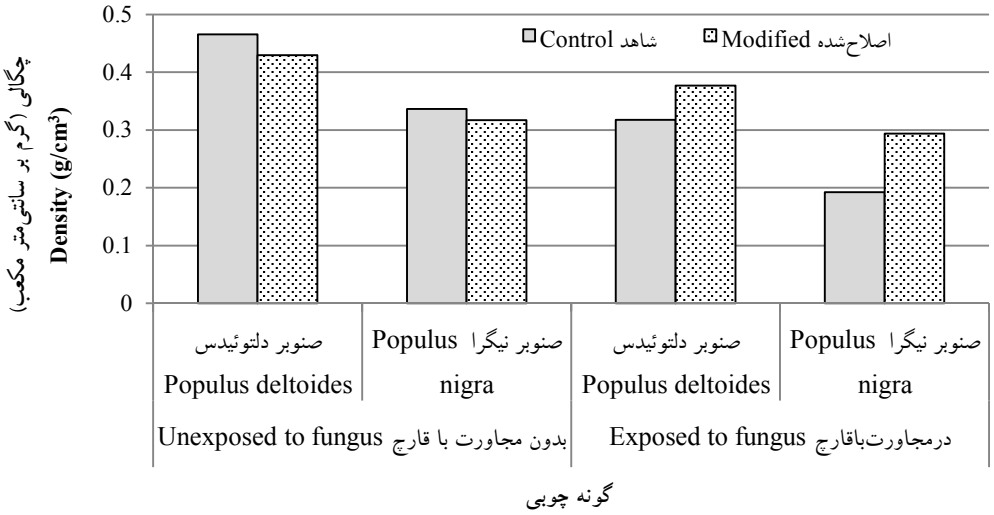
شکل ۲– کاهش وزن در نمونه‌های چوبی شاهد و اصلاح‌شده دو گونه صنوبر پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ رنگین‌کمان

Figure 2. Mass loss of control and modified specimens of two poplar wood species after 16 weeks exposure to white rot fungus

چگالی

چگالی نمونه‌های چوبی در دو حالت شامل تأثیر اصلاح حرارتی بر چگالی و تأثیر عملکرد قارچ رنگین‌کمان بر چگالی ارزیابی شد. نتایج جدول ۱ نشان داد که اثر اصلاح حرارتی بر چگالی نمونه‌های هر دو گونه چوب در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد معنی‌دار بود. به‌طوری‌که این فرایند سبب کاهش چگالی به مقدار ۷/۷۸ و ۵/۸۵ درصد به‌ترتیب در نمونه‌های چوب دلتوئیدس و نیگرا شد (شکل ۳).

پس از ارزیابی مقدار چگالی نمونه‌های شاهد و اصلاح‌شده، این نمونه‌ها در مجاورت قارچ رنگین‌کمان قرار گرفتند. طبق نتایج جدول ۱، اصلاح حرارتی بر عملکرد این قارچ در کاهش چگالی هر دو گونه چوبی به‌طور معنی‌داری اثرگذار بود ($p<0.01$). این فرایند، اثر بازدارندگی بر کاهش چگالی نمونه‌های چوبی تحت تأثیر قارچ رنگین‌کمان نشان داد. به‌طوری‌که اثر بازدارندگی اصلاح حرارتی در کاهش چگالی ناشی از قارچ رنگین کمان در نمونه‌های چوبی دلتوئیدس و نیگرا به‌ترتیب ۶۱/۴ و ۸۳/۰۴ درصد بوده است (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات چگالی در چوب دو گونه صنوبر بر اثر فرایند اصلاح حرارتی و مجاورت با قارچ رنگین‌کمان

Figure 3. Density changes of two poplar wood species due to thermal modification and exposure to white rot fungus

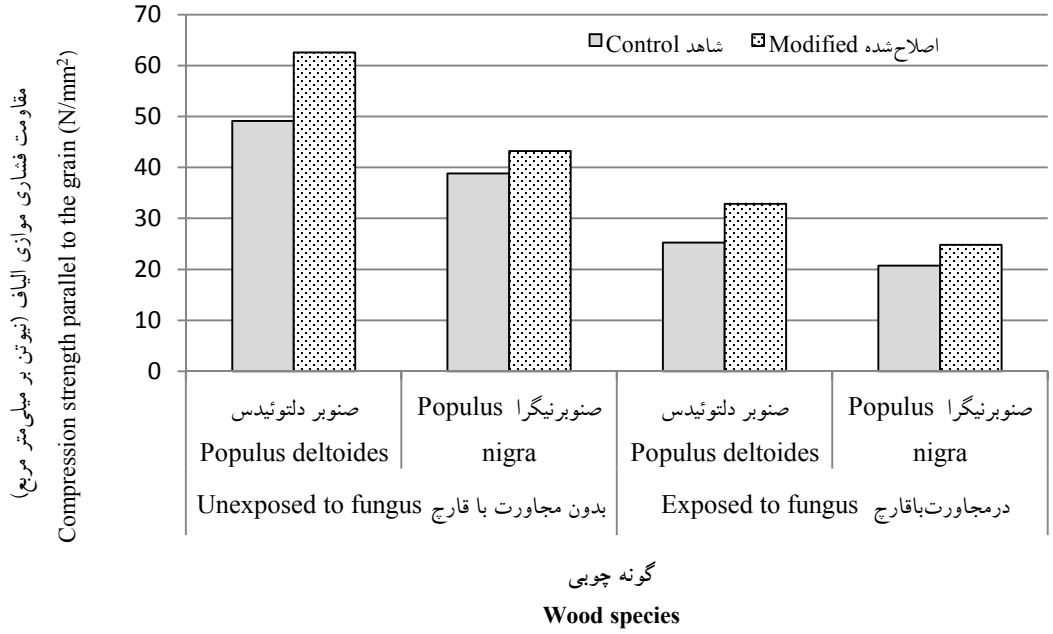
مقاومت فشاری موازی الیاف

مقاومت فشاری موازی الیاف در نمونه‌های چوبی صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا به دو شکل شامل تأثیر اصلاح حرارتی بر مقاومت فشاری موازی الیاف و تأثیر عملکرد قارچ رنگین‌کمان بر این مقاومت بررسی شد. مقاومت فشاری موازی الیاف در نمونه‌های چوبی اصلاح‌شده صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا به‌ترتیب برابر با ۲۷/۴۶ و ۱۱/۲۱ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش یافت (شکل ۴). بااین‌حال طبق نتایج جدول ۱، این افزایش فقط در صنوبر دلتوئیدس، معنی‌دار بود ($p<0.05$). طبق نتایج دیگر این جدول، مقاومت فشاری موازی الیاف در نمونه‌های چوبی هر دو گونه مورد مطالعه که در معرض قارچ رنگین‌کمان بودند، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اصلاح حرارتی قرار گرفتند ($p<0.05$). به‌طوری‌که نمونه‌های اصلاح‌شده، مقاومت بیشتری نسبت به چوب‌های شاهد داشتند (شکل ۴). اثر بازدارندگی اصلاح حرارتی در کاهش این ویژگی ناشی از فعالیت قارچ رنگین‌کمان در صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا به‌ترتیب ۲/۳۶ و ۸/۵۱ درصد به‌دست آمد (شکل ۴).

مقاومت به ضربه

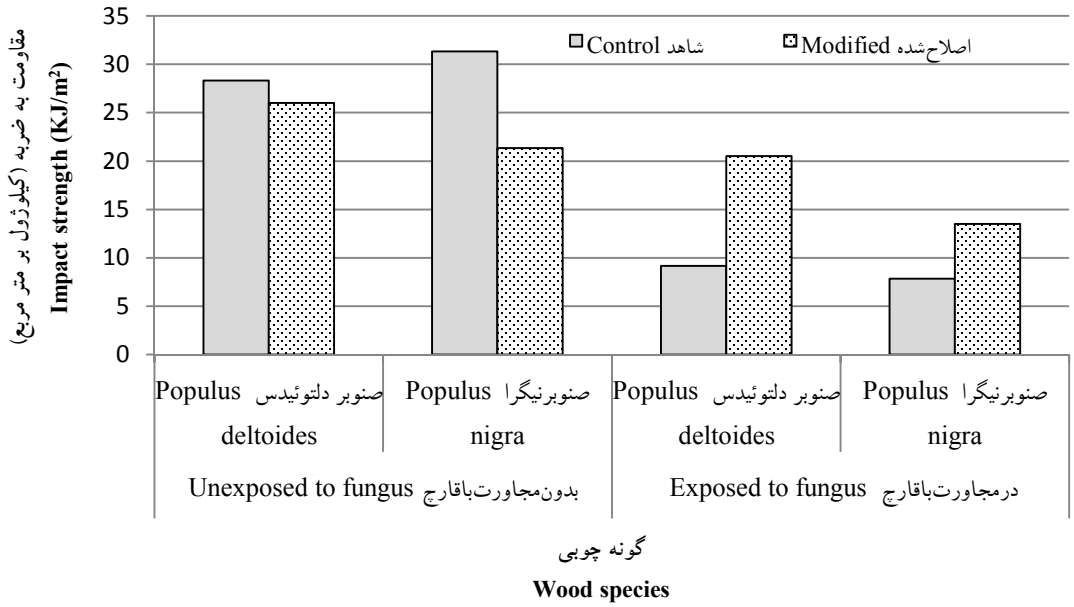
مقاومت به ضربه در نمونه‌های چوبی از صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا نیز همانند بقیه ویژگی‌های مکانیکی اشاره‌شده به دو صورت شامل تأثیر اصلاح حرارتی بر مقاومت به ضربه و تأثیر عملکرد قارچ رنگین‌کمان بر این مقاومت بررسی شد. نتایج جدول ۱ نشان دادند که اصلاح حرارتی، تأثیر معنی‌داری بر مقاومت به ضربه در نمونه‌های

هر دو گونه داشت ($p<0.05$). به‌طوری‌که این فرایند سبب کاهش مقاومت به ضربه چوب‌های دلتوئیدس و نیگرا به‌ترتیب به‌مقدار ۸/۲۴ و ۳۱/۹۱ درصد شد. نتایج مذکور بیانگر تأثیر مخرب اصلاح حرارتی بر مقاومت به ضربه است.



شکل ۴- تغییرات مقاومت فشاری موازی الیاف در چوب دو گونه صنوبر بر اثر فرایند اصلاح و مجاورت با قارچ رنگین‌کمان

Figure 4. Changes of compression strength parallel to grain of two poplar wood species due to thermal modification and exposure to white rot fungus



شکل ۵- تغییرات مقاومت به ضربه در دو گونه چوب صنوبر بر اثر فرایند اصلاح و مجاورت با قارچ رنگین‌کمان

Figure 5. Impact strength changes of two poplar wood species due to thermal modification and exposure to white rot fungus

بررسی تأثیر اصلاح حرارتی بر مقاومت به ضربه نمونه‌های قرارگرفته در معرض قارچ رنگین‌کمان نشان داد که این فرایند، اثر معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر مقاومت به ضربه چوب‌های مورد مطالعه داشته است (جدول ۱). به‌طوری‌که اصلاح حرارتی می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ رنگین‌کمان بر این ویژگی گونه‌های چوبی مورد مطالعه شود. اثر بازدارندگی اصلاح حرارتی بر کاهش مقاومت فشاری موازی الیاف ناشی از فعالیت قارچ رنگین‌کمان در صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا به‌ترتیب به مقدار ۶۸/۷۳ و ۵۱/۰۴ درصد به‌دست آمد (شکل ۵).

بحث

هدف از پژوهش پیش‌رو، بررسی تأثیر قارچ رنگین‌کمان (*T. versicolor*) بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های چوبی از صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا در دو حالت شاهد (ماسیو) و اصلاح‌شده بود تا اثرگذاری فرایند حرارتی بر مقاومت در مقابل قارچ مورد نظر ارزیابی شود. بررسی مقدار لاکاز در چوب‌های مورد مطالعه حاکی از مقدار کمتر آن در نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های اصلاح‌شده بود. این نتیجه بیانگر مصرف بیشتر آنزیم لاکاز در نمونه‌های شاهد به‌منظور تخریب ماده لیگنوسلولزی است. به‌عبارت‌دیگر، فرایند اصلاح حرارتی چوب سبب کاهش اثرگذاری این آنزیم و ایجاد محدودیت برای عملکرد آن می‌شود. اصلاح حرارتی به‌دلیل اثر تخریبی بر ساختار همی‌سلولز و هولوسلولزها سبب کاهش گروه‌های فعال OH در ساختار چوب می‌شود که درنتیجه آن، عملکرد آنزیم لاکاز تولیدشده توسط قارچ رنگین‌کمان کاهش می‌یابد (Mburu *et al*., 2007; Gaff *et al*., 2019; Wentzel *et al*., 2019). در بررسی تراشه‌های چوب اکالیپتوس (*Eucalyptus grandis* W.Hill) که در معرض یک گونه قارچ (*Ceriporiopsis subvermisporaon* (Pilát) Gilb. & Ryvarden) قرار داده شده بودند، گزارش شد که کاهش وزن چوب، ارتباط مستقیم با کاهش مقدار آنزیم لاکاز دارد (Ferraz *et al*., 2003)، بنابراین اصلاح حرارتی سبب کاهش اثرگذاری آنزیم لاکاز تولیدشده توسط قارچ و درنتیجه، افزایش مقاومت زیستی چوب می‌شود.

نتایج بررسی تأثیر اصلاح حرارتی بر چگالی گونه‌های چوبی مورد مطالعه نشان داد که اصلاح حرارتی سبب کاهش این ویژگی فیزیکی می‌شود. کاهش چگالی در اثر اصلاح حرارتی ناشی از تغییر ساختار شیمیایی چوب است که با افزایش حرارت نیز تشدید می‌شود (Militz, 2002). براساس نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو، اصلاح حرارتی سبب ایجاد محدودیت در عملکرد قارچ رنگین‌کمان در کاهش چگالی هر دو گونه صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا می‌شود. این موضوع ناشی از حذف یا کاهش گروه‌های OH در اثر اصلاح حرارتی و کاهش اثرگذاری قارچ رنگین‌کمان است (Mburu *et al*., 2007).

اصلاح چوب با فرایندهای حرارتی، ویژگی‌های مکانیکی آن را تحت شکل‌های مختلف تنش تغییر می‌دهد (González-Peña & Hale, 2007). بررسی تأثیر اصلاح حرارتی بر مقاومت فشاری موازی الیاف در نمونه‌های چوبی مورد مطالعه نشان دادند که اصلاح حرارتی می‌تواند سبب بهبود این ویژگی شود. این موضوع ممکن است ناشی از تغییر ساختار شیمیایی چوب، ایجاد پیوندهای عرضی در ساختار لیگنین و نیز افزایش نسبی مقدار لیگنین و سلولز در ساختار چوب باشد (Gaff *et al*., 2019; Wentzel *et al*., 2019). همچنین، اصلاح حرارتی توانست اثرگذاری قارچ رنگین‌کمان بر مقاومت فشاری موازی الیاف در گونه‌های چوبی مورد مطالعه را کاهش دهد. در واقع، حذف یا کاهش گروه‌های OH چوب در اثر اصلاح حرارتی در دمای زیاد سبب کاهش مقدار هیدرولیز آنزیم لاکاز می‌شود که همین فرایند، فعالیت قارچ رنگین‌کمان را محدود می‌کند (Mburu *et al*., 2007)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اصلاح حرارتی، فرایندی اثرگذار در کاهش عملکرد قارچ رنگین‌کمان است.

فرایند اصلاح حرارتی باعث کاهش مقاومت به ضربه در هر دو گونه صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا شد. تغییر ساختار و مؤلفه‌های شیمیایی چوب در اثر اصلاح حرارتی ازیک‌طرف و ترد و شکننده شدن ساختار چوب ازطرف دیگر می‌تواند سبب کاهش مقاومت به ضربه شود (Kaygin *et al*., 2009).

نتایج دیگر به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو نشان دادند که اصلاح حرارتی می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ رنگین‌کمان در گونه‌های چوبی مورد مطالعه ازنظر مقاومت به ضربه شود. تفاوت در کاهش مقاومت به ضربه در اثر عملکرد این قارچ به‌طور مستقیم با کاهش وزن نمونه‌ها در اثر تیمار حرارتی ارتباط دارد (Kaygin *et al*., 2009). به‌طورکلی باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو می‌توان گفت که هرچند اصلاح حرارتی سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و افت ویژگی‌های مکانیکی می‌شود، اما می‌تواند به کاهش اثرگذاری قارچ رنگین‌کمان بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و درنتیجه، پایداری بیشتر این ویژگی‌ها در چوب صنوبرهای دلتوئیدس و نیگرا منجر شود. این نتایج ناشی از تغییرات ساختار فیزیکی و شیمیایی چوب است، بنابراین اصلاح حرارتی چوب و به‌کارگیری آن در سازه‌های چوبی با افزایش مقاومت زیستی سبب بهبود در ثبات ابعادی و برخی ویژگی‌های فیزیکی چوب صنوبر می‌شود.

سپاسگزاری

از حمایت‌های مادی و معنوی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور و نیز شرکت مازند چوب آریا در انجام این پژوهش، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

- American Society for Testing of Materials (ASTM), 2014. ASTM D143-09, Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. Philadelphia, USA.
- American Society for Testing of Materials (ASTM), 2018. ASTM D256, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Strength of Plastics. Philadelphia, USA.
- 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 Tecnologí, 19(3): 309-316.
- BS EN, 1997. BS EN 113: Wood Preservatives—Test Method for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Destroying Basidiomycetes. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Corleto, R., Gaff, M., Niemz, P., Sethy, A.K., Todaro, L., Ditommaso, G. and Kamboj, G., 2020. Effect of thermal modification on properties and milling behaviour of African padauk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.) wood. Journal of Materials Research and Technology, 9(4): 9315-9327.
- Ferraz, A., Córdova, A.M. and Machuca, A., 2003. Wood biodegradation and enzyme production by *Ceriporiopsis subvermispora* during solid-state fermentation of *Eucalyptus grandis*. Enzyme and Microbial Technology, 32(1): 59-65.
- Field, J.A., de Jong, E., Feijoo-Costa, G. and de Bont, J.A.M., 1993. Screening for ligninolytic fungi applicable to the biodegradation of xenobiotics. Trends in Biotechnology, 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 European oak and Norway spruce. Composites Part B: Engineering, 165(5): 613-625.
- Gao, H., Sun, M.Y., Cheng, H.Y., Gao, W.L. and Ding, X.L., 2016. Effects of heat treatment under vacuum on properties of poplar. BioResources, 11(1): 1031-1043.
- Ghorbani, M., Nikkhah Shahmirzadi, A. and Toopa, A., 2020. Effect of densification on the practical properties of chemical and thermal modified poplar wood. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 11(2): 185-197 (In Persian with English summary).
- González-Peña, M.M. and Hale, M.D.C., 2007. The relationship between mechanical performance and chemical changes in thermally modified wood. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Wood Modification. Cardiff, UK, 15-16 Oct. 2007: 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 of the First International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products (ICECFOP1). Oporto, Portugal, 22-24 Sep. 2004: 105-119.
- 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.
- Kaygin, B., Gunduz, G. and Aydemir, D., 2009. The effect of mass loss on mechanic properties of heat-treated paulownia wood. Wood Research, 54(2): 101-108.
- Kozakiewicz, P., Drożdżek, M., Laskowska, A., Grześkiewicz, M., Bytner, O., Radomski, A., … and Zawadzki, J., 2020. Chemical composition as factor affecting the mechanical properties of thermally modified black poplar (*Populus nigra* L.). BioResources, 15(2): 3915-3929.
- Lengowski, E.C., Bonfatti Júnior, E.A., Nisgoski, S., Bolzon de Muñiz, G.I. and Klock, U., 2021. Properties of thermally modified teakwood. Maderas. Ciencia y tecnología, 23(10):

1-16.
- Mburu, F., Dumarçay, S., Huber, F., Petrissans, 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., 2002. Thermal treatment of wood, European processes and their background. IRG/WP 02-40241. Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation, Cardiff, Wales, UK, 12-17 May 2002: 17p.
- 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: 288-295.
- Tomak, E.D., Ustaomer, D., Yildiz, S. and Pesman, E., 2014. Changes in surface and mechanical properties of heat treated wood during natural weathering. Measurement, 53(5): 30-39.
- 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.
- Yildiz, S., Tomak, E.D., Yildiz, U.C. and Ustaomer, D., 2013. Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood. Polymer Degradation and Stability, 98(8): 1419-1427.

Influence of *Trametes versicolor* (L.) Lloyd on physical and mechanical properties of two poplar wood species (*Populus* spp.)

S.M. Zamani [1], R. Hajihassani [2*] and K. Salehi [1]

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

2*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: reza.hajihassani@gmail.com

Received: 01.05.2023 Accepted: 24.06.2023

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of white rot fungus (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) on physical and mechanical properties of treated and untreated poplar wood (*Populus deltoides* Marshall and *P. nigra* L.). Heat treatment was used as wood modification. Heat-treated and untreated poplar wood specimens were evaluated after exposing to the white rot fungus for 16 weeks. The evaluated properties was included: laccase activity, mass loss, density changes, impact strength and compression strength parallel to grain due to thermal modification and also fungus efficiency. Evaluation of lacase activity showed more efficiency of this enzyme in controls in compared to modified specimens in which also caused more mass loss. In both two poplar wood species, thermal modification reduced the density and the impact strength of the specimens, but improved the compression strength parallel to grain. Evaluation of physical and mechanical properties of the specimens exposed to white rot fungus also showed that thermal modification limits efficiency of this fungus on both poplar wood species. As a result, the reductions in the studied physical and mechanical properties, including mass loss, density, compression strength parallel to grain, and impact strength, were significantly more pronounced in the control group than the modified specimens.

Keywords: Laccase, thermal modification, white rot fungus, wood.