تأثیر قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای بر خواص کاربردی چوب تیمار شده با فرایند حرارتی

سیده معصومه زمانی[۱]
رضا حاجی‌حسنی[۲*]
مجید فرضی[۳]
شیده موجرلو[۴]
سامان قهری[۵]

[۱] استادیار، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۲] استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۳] کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۴] استادیار، گروه باغبانی و گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

[۵] استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
Reza.hajihassani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷

چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر تیمار حرارتی بر دوام بیولوژیکی و برخی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پالونیا می‌باشد. بدین منظور از چوب پالونیا (*Paulownia fortunei*) نمونه‌های ترموود بر اساس فرایند ترمو–D تهیه گردید. نمونه‌های چوبی شاهد و تیمار شده با فرایند حرارتی تحت تأثیر قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای برای مدت‌زمان ۱۶ هفته قرارگرفته و سپس مورد ارزیابی واقع شدند. میزان لاکاز تولیدشده توسط قارچ و نیز تأثیر قارچ بر کاهش وزن و تغییرات دانسیته نمونه‌ها موردبررسی قرار گرفت. همچنین مقاومت به ضربه و مقاومت به فشار موازی الیاف ازجمله آزمون‌های مکانیکی هستند که بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج بررسی میزان لاکاز در نمونه‌های چوبی نشان داد که فعالیت و اثرگذاری این آنزیم در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با فرایند حرارتی بوده است و کاهش وزن بیشتری را به همراه داشته است. لذا تیمار حرارتی می‌تواند سبب افزایش دوام بیولوژیکی گردد. همچنین نتایج نشان دادند که تیمار حرارتی سبب کاهش دانسیته و مقاومت به ضربه گونه چوبی پالونیا می‌گردد، اما بهبود مقاومت فشاری موازی الیاف را به همراه دارد. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های قرارگرفته در معرض قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نیز نشان دادند که تیمار حرارتی سبب کاهش اثرگذاری قارچ موردنظر بر چوب پالونیا بوده است، به‌طوری‌که میزان کاهش وزن، دانسیته و مقاومت فشاری موازی الیاف در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های ترموود بوده است. اما میزان کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های ترموود بیشتر از نمونه‌های شاهد بودند.

واژگان کلیدی: پالونیا، قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای، ترموود، خواص فیزیکی و مکانیکی.

مقدمه

چوب به‌عنوان یک پلیمر طبیعی همواره جایگاه ویژه‌ای در زندگی انسان داشته است؛ به‌طوری‌که 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 توسط عوامل مخرب بیولوژیک می‌باشد. قارچ‌های مخرب چوب ازجمله عواملی هستند که سالانه خسارات بسیاری در سراسر دنیا به محصولات و مصنوعات چوبی وارد می‌کنند. لذا برای بهبود دوام بیولوژیکی چوب و افزایش قابلیت کاربرد آن روش‌های متعددی از فرایندهای اصلاح و حفاظت چوب بکار گرفته شده است. یکی از این روش‌ها،

اصلاح حرارتی چوب می‌باشد که با فرایندهای مختلفی صورت می‌پذیرد. تیمار حرارتی چوب برای اولین بار به‌طور علمی در دهه ۱۹۳۰ در کشور آلمان و در دهه ۱۹۴۰ در کشور امریکا مورد مطالعه قرار گرفت. بیشترین و جامع‌ترین فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه اصلاح حرارتی چوب توسط انجمن بین‌المللی ترمووود در کشور فنلاند انجام‌شده است [۱]. تیمار حرارتی 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 [۱]. حرارت‌دهی چوب در دامنه گرمایی ۲۶۰-۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت‌زمان طولانی سبب کاهش برگشت‌ناپذیر جذب رطوبت توسط چوب می‌گردد [۲، ۳]. این کاهش، بهبود مقاومت به تخریب قارچی برای کاربردهای بالای زمین [۴، ۵]، ثبات ابعادی بیشتر و حرکت و جابجایی کمتر رطوبت در سرویس [۶] را به همراه دارد. بااین‌وجود قرار دادن چوب در درجه حرارت بالا، مقاومت آن را تحت اشکال مختلف تنش کاهش می‌دهد [۷]. تیمار حرارتی سبب افزایش مقدار لیگنین، سلولز و مواد استخراجی می‌گردد، درحالی‌که مقدار همی‌سلولز و نیز هولوسلولز کاهش می‌یابد. به‌عبارتی‌دیگر 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 [۸، ۹، ۱۰، ۱۱]. در بررسی اثر اصلاح حرارتی بر دوام زیستی یک‌گونه چوبی کم‌دوام مشخص شد که تیمار حرارتی، دوام چوب در برابر عوامل مخرب قارچی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد که به دلیل کاهش گروه‌های هیدروکسیل در اثر تیمار حرارتی می‌باشد [۱۲]. Kamperidou (۲۰۱۹) در یک بررسی دوام بیولوژیکی چوب‌های کاج و صنوبر اصلاح‌شده با فرایند حرارتی- شیمیایی را در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید و قهوه‌ای مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان دادند که چوب‌های تیمار شده با فرایند حرارتی نسبت به نمونه‌های شاهد، کاهش جرم کمتری در برابر قارچ‌های بکار برده شده داشتند. به‌عبارتی‌دیگر تیمار حرارتی سبب افزایش مقاومت بیولوژیکی چوب‌ها می‌گردد [۱۳]. Kaygin و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر کاهش وزن بر خواص مکانیکی گونه پالونیا تیمار شده با فرایند حرارتی در دماهای ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را موردبررسی قراردادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که با افزایش دمای تیمار حرارتی، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. ایشان اظهار داشتند که تفاوت در کاهش خواص مکانیکی ارتباط مستقیمی با کاهش وزن نمونه‌ها در اثر تیمار حرارتی دارد [۱۴]. در مطالعه‌ای دیگر که توسط Icel و همکاران (۲۰۱۵) بر روی ویژگی‌های فیزیکی چوب کاج و نوئل تیمار شده با فرایند حرارتی صورت گرفت نشان داده شد که تیمار حرارتی در دمای ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد برای مدت‌زمان ۲ ساعت سبب کاهش وزن ۲/۵۶ و ۶/۱۲ درصدی و افزایش ثبات ابعادی ۵۸ و ۵۲ درصدی به ترتیب در نمونه‌های نوئل و کاج می‌گردد [۱۵]. Ayata و همکاران (۲۰۱۷) مقاومت به پوسیدگی قارچ در گونه‌های چوبی راش، بلوط و کاج تیمار گرمایی شده را موردبررسی قراردادند. دمای بکار برده شده برای اعمال تیمار گرمایی ۱۹۰ و ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد برای مدت‌زمان 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 حرارتی بود [۱۶]. با توجه به اینکه یکی از معایب مهم چوب تخریب توسط عوامل مخرب بیولوژیک می‌باشد لذا به‌کارگیری فرایندهای اصلاح می‌تواند سبب بهبود مقاومت بیولوژیکی چوب گردد. در این راستا تیمار حرارتی یکی از فرایندهای اصلاح چوب می‌باشد که با تغییر در ساختار فیزیکی و شیمیایی چوب می‌تواند سبب بهبود مقاومت بیولوژیکی آن گردد. لذا با فرض تغییر ساختار فیزیکی و شیمیایی چوب در اثر این فرایند اصلاحی، این بررسی سعی دارد تا با به‌کارگیری تیمار حرارتی

در دمای بالا، ازیک‌طرف بـه ارزیـابی تـأثیر ایـن تیمـار بـر فعالیـت و اثرگـذاری قـارچ عامـل پوسـیدگی قهـوه‌ای بپـردازد و از طـرف دیگـر خـواص فیزیکـی و مکـانیکی نمونـه‌های ترمـووود و شـاهد در اثـر مجـاورت بـا قـارچ عامـل پوسـیدگی قهـوه‌ای را موردبررسـی قـرار دهـد. می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی نمونه‌های شاهد و ترمووود از گونه چوبی پالونیا (*Paulownia fortunei*) از شرکت مازند چوب آریا تهیه گردید. تیمار حرارتی نمونه‌های موردنظر با توجه به نوع فرایند گرمایی (Thermo-D) بر اساس دستورالعمل اتحادیه ترمووود فنلاند صورت پذیرفت. در فاز اول دمای نمونه‌های چوبی در داخل کوره همراه با تزریق بخارآب سریعاً به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد و سپس به‌طور یکنواخت تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد تا رطوبت چوب به حدود صفر درصد برسد. در گام بعد دمای کوره به ۱۱۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد و به مدت ۳ ساعت در این دما نگهداری گردید. در نهایت با اسپری آب و رطوبت دهی، دمای چوب تقلیل یافته و نمونه‌ها از کوره خارج شدند. جهت بررسی مقاومت بیولوژیکی، خواص فیزیکی و مکانیکی نیز از چوب‌های تیمار شده و شاهد نمونه‌های آزمونی تهیه گردید. به‌منظور 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) به‌عنوان محیط کشت قارچ استفاده شد. ابتدا ۴۸ گرم ماده مالت اکستراکت آگار در یک ارلن به ظرفیت ۱۰۰۰ سی‌سی محتوی آب مقطر ریخته و به ظرفیت ۱ لیتر رسانده شد. سپس با یک هیتر مغناطیسی محتویات درون ارلن را هم زده تا یک محلول صاف و یکنواخت به دست آمد. از مایع کشت به میزان ۵۰cc در هر شیشه kolle ریخته و دهانه آن را با پنبه مسدود و به‌منظور استریل شدن به مدت ۲۰ دقیقه در داخل اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع قرار داده شد. سپس شیشه‌های kolle از اتوکلاو خارج و در دمای محیط خنک گردید. به‌منظور عدم آلودگی، شیشه‌ها تا هنگام کشت قارچ در انکوباتور نگهداری شدند. سپس انتقال نمونه‌های قارچ بر روی محیط کشت، در زیر هود استریل مجهز به لامپ uv و تهویه هوا انجام گردید. در نهایت درب ظروف kolle بسته و در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۷۵ 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 می‌باشد. نمونه‌های چوبی استریل شده در زیر هود استریل بر روی پایک‌های شیشه‌ای داخل هر ظرف kolle که قارچ خالص‌شده سطح آن را کاملاً فراگرفته بود قرار داده شدند و شیشه‌های kolle حاوی نمونه‌های چوبی و قارچ به ژرمیناتور با شرایط رطوبت نسبی ۵±۶۵ و دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. بدین ترتیب نمونه‌ها بر اساس استاندارد EN113 به مدت ۱۶ هفته در این شرایط قرار گرفتند [۱۷]. 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 موردنظر شامل بررسی میزان لاکاز، اندازه‌گیری کاهش وزن، دانسیته، مقاومت به ضربه و مقاومت به فشار موازی الیاف بودند. استانداردهای مورداستفاده برای آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی و مقاومت بیولوژیکی به ترتیب شامل ASTM D143-09، ASTM D256 و EN113 بودند [۱۷، ۱۸ و ۱۹] که بر اساس آن ابعاد نمونه‌ها برای ارزیابی کاهش وزن، دانسیته، مقاومت به ضربه و مقاومت به فشار موازی الیاف به ترتیب برابر با ۵×۲/۵×۱/۵، ۲×۲×۲، ۷×۱×۱ و ۶×۲×۲ سانتی‌متر مکعب (طولی×مماسی×شعاعی) در نظر گرفته شدند. آنزیم لاکاز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد طی دوچرخه استخراج (۵ ساعت و ۲۴ ساعت) با بافر ۵۰ میلی‌مولار استات سدیم با pH= ۵/۵ همراه با Tween 20(۰/۱ گرم در لیتر) استخراج شد. در مرحله اول، نمونه‌هایِ چوب قرارگرفته 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 هر مرحله، مایع رویِی جمع‌آوری‌شده از استخراج‌ها با کاغذ صافی فیلتر شده سپس با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ و برای

آزمون فعالیت آنزیم استفاده شد. فعالیت آنزیم لاکاز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ۲ و۶-دی متوکسی فنل (DMP) ۵ میلی مولار در بافر استات سدیم ۰/۱ مولار با pH= ۳/۶ اندازه‌گیری شد. جذب در ۴۶۹ نانومتر (E_{469} = 27.5 $mM^{-1}cm^{-1}$) توسط اسپکتروفتومتر بررسی شد. یک واحد فعالیت لاکاز به‌صورت مقدار آنزیم موردنیاز برای اکسید کردن ۱ میکرو مول از DMP در دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تعریف شد [۲۰].

پس از جمع‌آوری نتایج، جهت تجزیه و تحلیل آماری و تعیین اثرگذاری تیمار حرارتی بر خواص فیزیکی و مکانیکی و نیز مقاومت بیولوژیکی نمونه‌ها از آزمون تجزیه واریانس One-Way ANOVA و برای مقایسه بین گروه‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. بدین منظور از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

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 ترمووود می‌باشد. به‌طوری‌که میزان لاکاز ۵ و ۲۴ ساعت به ترتیب در نمونه‌های ترمووود ۱۲۳/۴۳ و ۱۰۵/۸ درصد بیشتر از نمونه‌های شاهد به دست آمد. مجموع میزان لاکاز ۵ و ۲۴ ساعت در نمونه‌های شاهد و ترمووود نیز افزایش ۱۱۵/۰۶ درصدی میزان لاکاز در نمونه‌های ترمووود نسبت به نمونه‌های شاهد را نشان داد (شکل ۱). در حقیقت کاهش میزان این آنزیم در نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های ترمووود به دلیل مصرف و تأثیرگذاری بیشتر این آنزیم در نمونه‌های شاهد می‌باشد. با توجه به این‌که تیمار حرارتی سبب تخریب و کاهش میزان همی‌سلولز و هولوسلولزها می‌گردد لذا میزان گروه‌های هیدروکسیل که جایگاه فعالیت و شروع واکنش‌های شیمیایی می‌باشند کاهش‌یافته و در نتیجه فعالیت و اثرگذاری آنزیم لاکاز تولیدشده توسط قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای کاهش می‌یابد [۸، ۹ و ۱۲]. مطابق با نتایج تحقیق حاضر، Ferraz و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند زمانی که تراشه‌های چوب *Eucalyptus grandis* در معرض قارچ *Ceriporiopsis subvermisporaon*قرار داده شد، بیشترین کاهش وزن چوب به‌طور مستقیم با کاهش چشمگیر میزان آنزیم لاکاز همراه بود [۲۱].

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

در این بررسی نتایج حاصل از تأثیر تیمار حرارتی بر عملکرد و تأثیر قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های چوبی مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ۱ خلاصه تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی گونه چوبی پالونیا را نشان می‌دهد.

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

منبع تغییرات	گونه چوبی	بدون مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای			مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای		
		دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	مقاومت فشاری موازی الیاف (مگا پاسکال)	مقاومت به ضربه (کیلوژول بر مترمربع)	کاهش وزن (درصد)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	مقاومت فشاری موازی الیاف (مگا پاسکال)	مقاومت به ضربه (کیلوژول بر مترمربع)
تیمار حرارتی	چوب پالونیا	*۰/۰۱۳	ns۰/۸۵۶	*۰/۰۳۱	**۰/۰۰۰	ns۰/۸۷۲	ns۰/۹۰۴	**۰/۰۰۱

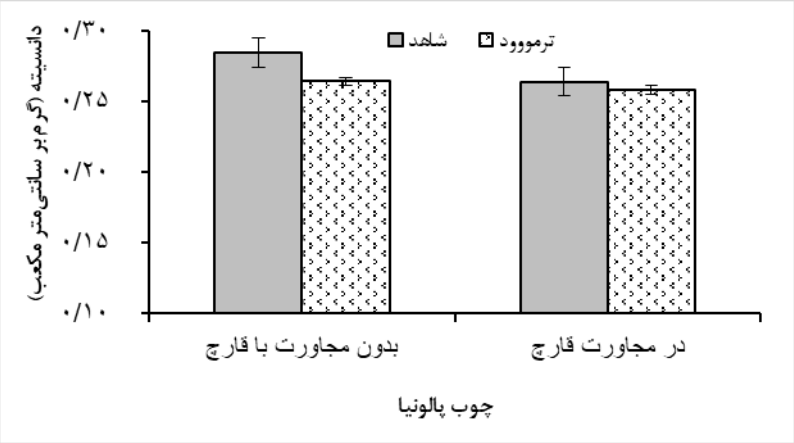
** معنی‌دار در سطح ۱ درصد * معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns معنی‌دار نمی‌باشد

کاهش وزن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تیمار حرارتی بر کاهش وزن ناشی از فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در گونه چوبی پالونیا نشان داد که تیمار حرارتی دارای تأثیر معنی‌داری بر کاهش وزن ناشی از عملکرد قارچ قهوه‌ای بوده است (جدول ۱). به‌طوری‌که میانگین کاهش وزن ناشی از اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در نمونه‌های شاهد و ترموود گونه چوبی پالونیا به ترتیب برابر با ۲/۰۲ و ۰/۳۶ درصد به دست آمد که این موضوع بازدارندگی تیمار حرارتی در عملکرد قارچ قهوه‌ای را نشان می‌دهد. در حقیقت برای اثرگذاری آنزیم لاکاز نیاز به جایگاه‌های شروع واکنش می‌باشد؛ لذا گروه‌های هیدروکسیل که محل جذب رطوبت و واکنشگرهای فعال می‌باشند در اثر تیمار حرارتی حذف یا کاهش‌یافته‌اند که منجر به کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای می‌گردد. تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهند که تیمار حرارتی، دوام چوب در برابر عوامل مخرب قارچی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد که به دلیل کاهش گروه‌های هیدروکسیل در اثر تیمار حرارتی می‌باشد [۱۲]. بر همین اساس، میزان کاهش وزن ناشی از فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نیز در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با فرایند حرارتی به دست آمد. لذا تیمار حرارتی می‌تواند عاملی مؤثر در افزایش مقاومت بیولوژیکی باشد.

دانسیته

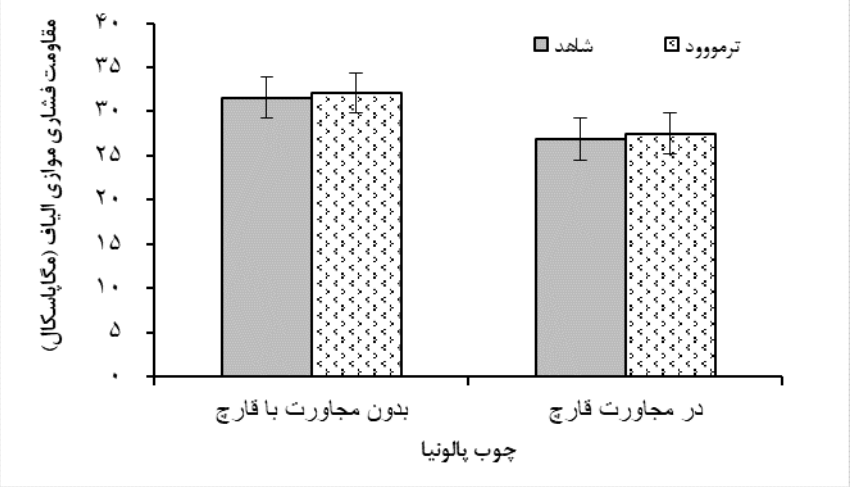
دانسیته گونه چوبی موردنظر به دو شکل الف- تأثیر تیمار حرارتی بر دانسیته و بدون مجاورت با قارچ و ب- در مجاورت با قارچ و تأثیر عملکرد قارچ بر دانسیته، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار حرارتی بر دانسیته گونه چوبی پالونیا نشان داد که تیمار حرارتی دارای تأثیر معنی‌داری بر دانسیته این‌گونه چوبی بوده است (جدول ۱)؛ به‌طوری‌که فرایند ترموود کردن سبب کاهش دانسیته چوب پالونیا شده است. شکل ۲ نشان می‌دهند که دانسیته چوب پالونیا در اثر تیمار حرارتی به میزان ۷/۱۵ درصد کاهش‌یافته است. کاهش دانسیته در اثر تیمار حرارتی به دلیل تخریب و تغییر ساختار شیمیایی چوب می‌باشد که با افزایش دمای تیمار این موضوع شدت می‌یابد [۱]. پس از اندازه‌گیری میزان دانسیته نمونه‌های شاهد و تیمار شده با فرایند حرارتی، این نمونه‌ها در مجاورت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار حرارتی بر دانسیته نمونه‌های قرارگرفته در مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نشان داد که تیمار حرارتی دارای تأثیر معنی‌داری بر عملکرد قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در کاهش دانسیته چوب پالونیا نبوده است (جدول ۱). بااین‌حال مقایسه میانگین نتایج به‌دست‌آمده در نمونه‌های شاهد و ترموود نشان دادند که تیمار حرارتی می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در چوب پالونیا گردد، به‌طوری‌که میزان کاهش دانسیته در اثر فعالیت قارچ در نمونه‌های شاهد و ترموود به ترتیب به میزان ۷/۲۱ و ۲/۲۴ درصد به دست آمد (شکل ۲). لذا تیمار حرارتی می‌تواند عاملی بازدارنده در کاهش دانسیته ناشی از فعالیت قارچ باشد که این موضوع به دلیل کاهش یا حذف گروه‌های هیدروکسیل در اثر تیمار حرارتی و در نتیجه کاهش اثرگذاری قارچ موردنظر می‌باشد [۱۲].



شکل ۲- تغییرات دانسیته گونه چوبی پالونیا براثر تیمار حرارتی و مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای

مقاومت فشاری موازی الیاف

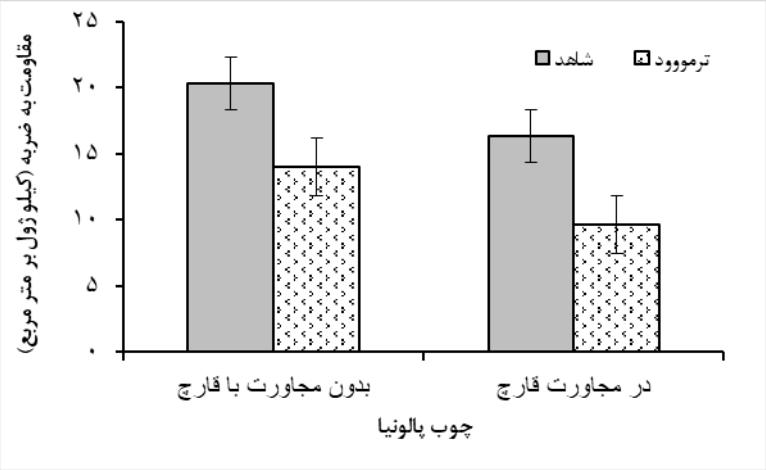
اصلاح چوب با فرایندهای گرمایی، مقاومت‌های مکانیکی آن را تحت اشکال مختلف تنش تغییر می‌دهد [۷]. مقاومت فشاری موازی الیاف گونه چوبی پالونیا نیز به دو شکل الف- تأثیر تیمار حرارتی بر مقاومت فشاری موازی الیاف و بدون مجاورت با قارچ و ب- در مجاورت با قارچ و تأثیر عملکرد قارچ بر مقاومت فشاری موازی الیاف، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنالیز داده‌ها نشان دادند که تیمار حرارتی تأثیر معنی‌داری بر مقاومت فشاری موازی الیاف این‌گونه چوبی نداشته است (جدول ۱). بااین‌حال مقایسه مقاومت فشاری موازی الیاف نمونه‌های شاهد و ترموود در شکل ۳ نشان می‌دهد که هرچند تیمار حرارتی اثر معنی‌داری بر این ویژگی مکانیکی نداشته است ولی باعث افزایش میزان مقاومت فشاری موازی الیاف در این‌گونه چوبی شده است که بیانگر اثر مثبت تیمار حرارتی بر این ویژگی مکانیکی می‌باشد. در حقیقت فرایندهای گرمایی در دمای بالا سبب تغییر اجزای شیمیایی چوب می‌گردد به‌طوری‌که تیمار حرارتی با ایجاد پیوندهای عرضی در لیگنین و نیز افزایش نسبی مقدار لیگنین و سلولز در ساختار چوب، می‌تواند سبب بهبود مقاومت فشاری موازی الیاف گردد. به‌عبارتی‌دیگر تغییرات اجزاء شیمیایی چوب در اثر حرارت عاملی مؤثر در تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب محسوب می‌شود [۸، ۹]. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار حرارتی بر مقاومت فشاری موازی الیاف نمونه‌های قرارگرفته در معرض قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نشان داد که تیمار حرارتی دارای تأثیر معنی‌داری بر عملکرد قارچ بر روی مقاومت فشاری موازی الیاف نبوده است (جدول ۱). مقایسه میانگین نتایج به‌دست‌آمده در نمونه‌های شاهد و ترموود نشان دادند که هرچند تیمار حرارتی دارای اثر معنی‌داری بر مقاومت فشاری موازی الیاف نمونه‌های تحت تیمار قارچ نمی‌باشد اما می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای در گونه چوبی مورد مطالعه گردد، به‌طوری‌که میزان کاهش مقاومت فشاری موازی الیاف در اثر فعالیت قارچ در نمونه‌های ترموود و شاهد به ترتیب برابر با ۱۴/۳۵ و ۱۵/۰۷ درصد به دست آمد (شکل ۳). حرارت‌دهی چوب در دمای بالا سبب کاهش یا حذف گروه‌های هیدروکسیل و در نتیجه کاهش میزان آبکافت آنزیم لاکاز می‌گردد که در نهایت محدودیت فعالیت قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای را به همراه دارد [۱۲]؛ لذا کاهش میزان مقاومت فشاری موازی الیاف در اثر فعالیت این قارچ در نمونه‌های ترموود کمتر از نمونه‌های شاهد به دست آمد. این موضوع نشان می‌دهد که تیمار حرارتی می‌تواند عاملی بازدارنده در عملکرد قارچ موردنظر باشد.



شکل ۳- تغییرات مقاومت فشاری موازی الیاف گونه چوبی پالونیا براثر تیمار حرارتی و مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای

مقاومت به ضربه

همان‌طور که قبلاً اشاره گردید مقاومت به ضربه گونه چوبی پالونیا به دو شکل الف- تأثیر تیمار حرارتی بر مقاومت به ضربه و بدون مجاورت با قارچ و ب- در مجاورت با قارچ و تأثیر عملکرد قارچ بر مقاومت به ضربه، موردبررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز داده‌ها نشان دادند که تیمار حرارتی تأثیر معنی‌داری بر مقاومت به ضربه گونه چوبی پالونیا داشته است (جدول ۱). مقایسه مقاومت به ضربه نمونه‌های شاهد و ترمووود گونه چوبی پالونیا در شکل ۴ نشان می‌دهد که تیمار حرارتی باعث کاهش این ویژگی مکانیکی شده است که بیانگر اثر منفی تیمار حرارتی بر مقاومت به ضربه می‌باشد. 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. در حقیقت تفاوت در کاهش این ویژگی مکانیکی ارتباط مستقیمی با کاهش وزن نمونه‌ها در اثر تیمار حرارتی دارد [۱۴]. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار حرارتی بر مقاومت به ضربه نمونه‌های قرارگرفته در معرض قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای نیز نشان داد که تیمار حرارتی دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد قارچ بوده است (جدول ۱). شکل ۴ تأثیر تیمار حرارتی بر عملکرد قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای روی مقاومت به ضربه نمونه‌های چوبی پالونیا را نشان می‌دهد که بیانگر کاهش مقاومت به ضربه می‌باشد. مقایسه میانگین نتایج به‌دست‌آمده در نمونه‌های شاهد و ترمووود نشان دادند که هرچند تیمار حرارتی می‌تواند سبب کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای گردد، اما میزان کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های ترمووود بیشتر از نمونه‌های شاهد بودند (شکل ۴). به‌طوری‌که میزان کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های شاهد و ترمووود به ترتیب برابر با ۱۹/۶۷ و ۳۰/۹۵ درصد به دست آمد. در حقیقت تفاوت در کاهش این ویژگی مکانیکی ارتباط مستقیمی با کاهش وزن نمونه‌ها در اثر تیمار حرارتی دارد [۱۴].



شکل ۴- تغییرات مقاومت به ضربه گونه چوبی پالونیا براثر تیمار حرارتی و مجاورت با قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این بررسی نشان دادند که تیمار حرارتی می‌تواند سبب افزایش مقاومت بیولوژیکی گونه چوبی پالونیا گردد. در حقیقت تیمار حرارتی در دمای بالا سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی در ساختار چوب می‌گردد که منجر به کاهش اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای می‌گردد. همچنین نتایج نشان که هرچند تیمار حرارتی سبب بهبود خواص فیزیکی و افت خواص مکانیکی گونه چوبی پالونیا می‌گردد، اما می‌تواند به‌عنوان عاملی بازدارنده برای فعالیت و اثرگذاری قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای که منجر به کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی می‌گردد عمل نماید و پایداری بیشتر این خواص در چوب پالونیا را به همراه داشته باشد.

منابع

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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 Symposiumm. Pp: 303–308.

[5] 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.

[6] Militz, H. and Tjeerdsma, B., 2001. Heat Treatment of Wood by the PLATO Process. In: Rapp AO, Editor, Review on Heat Treatments of Wood. COST ACTION E22: Environmental Optimization of Wood Protection. Pp: 27–38.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] Mburu, F., Dumarc, 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] The European Standard EN 113. 1997. Wood Preservatives. Test Method for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Destroying Basidiomycetes.

[18] American Society for Testing of Materials. ASTM D 143-09. 2014. Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber.

[19] American Society for Testing of Materials. ASTM D256. 2018. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Strength of Plastics.

[20] 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.

[21] 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.

Effect of brown rot fungus on the functional characteristics of heat-treated wood

S. M. Zamani[1]
R. Hajihassani[2*]
M. Farzi[3]
S. Mojerlou[4]
S. Ghahri[5]

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

[2] 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

[3] MSc., Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tehran University. Iran

[4] Assistant Prof., Department of Horticulture and Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

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

Corresponding author:
Reza.hajihassani@gmail.com

Received: 2022/04/27
Accepted: 2022/06/28

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of heat treatment on biological resistance and some physical and mechanical properties of paulownia wood (*Paulownia fortunei*). Thermo-wood specimens were prepared from paulownia wood 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. Moreover, some mechanical properties including impact strength and compression parallel to grain was measured. Evaluation of laccase activity showed more efficiency of this enzyme in untreated specimens in compared with thermo-wood and also it resulted in more mass loss. Therefore, heat treatment can improve biological resistance. The results also showed that heat treatment reduces density and impact strength of specimens, but improve compression parallel to the grain. Investigation of physical and mechanical properties of specimens exposed to brown rot fungus also showed that heat treatment reduced efficiency of this fungus on paulownia wood. So that, the value of mass loss, density and compression parallel to the grain in controls were more than thermo-wood. However, reduction of impact strength of thermo-wood was more than controls.

Keywords: paulownia, brown rot fungus, thermo-wood, physical and mechanical properties.