

اثر موم زنبور عسل و ترکیب آن با اسید بوریک بر ثبات ابعاد و مقاومت به پوسیدگی چوب صنوبر

داود افهامی سیسی^{۱*}، پیمان احمدی^۲

۱. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۳/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۹

چکیده

تغییر شکل بر اثر تغییرات رطوبتی و همچنین تخریب زیستی، عامل اصلی تخریب محصولات چوبی در مصارف هنری و خانگی است. حفاظت چوب در این بخش‌ها به واسطه تماس با انسان و محیط‌های خانگی حساسیت زیادی دارد و نمی‌توان از مواد شیمیایی سمی استفاده کرد. موم زنبور عسل ماده‌ای طبیعی است و برای انسان مسمومیت‌زا نیست. هدف این تحقیق، استفاده از غلظت‌های متفاوت موم حل‌شده در اتانول داغ (۰، ۴، ۶ و ۱۰ درصد) و نیز ترکیب آن با اسید بوریک (موم ۶ درصد + اسید بوریک ۲ درصد) برای اشباع چوب صنوبر به منظور بهبود ثبات ابعاد و مقاومت به پوسیدگی بود. نتایج نشان داد موم زنبور عسل حتی در غلظت‌های کم، سبب کاهش جذب آب و واکنشیدگی حجمی چوب به‌ویژه در دوره‌های کوتاه‌مدت تماس با آب می‌شود. با افزایش زمان غوطه‌وری در آب، واکنشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده افزایش یافت و در پایان، مشابه نمونه‌های شاهد بود. با افزایش غلظت موم، حد اثرگذاری آن در مقاومت نمونه‌ها به پوسیدگی قارچی آشکار شد. به‌طور کلی اثرگذاری موم در برابر تخریب قارچی محدود بود و بهترین نتیجه در تیمار ترکیبی موم با اسید بوریک به‌دست آمد، جایی که حتی پس از آبتشویی نیز اثرگذاری فرمول حفاظتی کاهش نیافت. استفاده از این محلول برای کاربردهای صنعتی توجیه اقتصادی ندارد، اما می‌توان آن را برای مصارف خانگی (مانند ظروف آشپزخانه) و هنری (مجسمه‌ها) چوب توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: اسید بوریک، پوسیدگی قارچی، جذب آب، موم زنبور عسل، واکنشیدگی.

مقدمه

مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کنند؛ اما چوب ماده‌ای متخلخل و نپذیر است و ابعاد آن با تغییر مقدار رطوبت تغییر می‌کند. چوب به‌عنوان ماده‌ای لیگنوسلولزی، مستعد تخریب با طیفی از عوامل مخرب زنده مانند قارچ‌ها و حشرات است که با افزایش رطوبت حساس‌تر نیز می‌شود [۱]. از دیرباز روش‌ها و مواد مختلفی برای غلبه بر این معایب ذاتی چوب استفاده شده‌اند؛ اما برای حفاظت فرآورده‌های چوبی که در تماس مستقیم با انسان و شرایط مسکونی هستند، نگرانی‌های زیادی در مورد تأثیرات سوء مواد حفاظتی قدیمی وجود دارد. امروزه محققان حتی برای مصارف صنعتی چوب نیز

چوب به‌دلیل تنوع رنگ و بافت، از محبوب‌ترین مواد برای ساخت ظروف و آثار هنری است. امروزه چوب در مصارف خانگی به‌صورت ظروف آشپزخانه‌ای و نگهدارنده مواد غذایی کاربردهای فراوانی یافته است. هنرمندان نیز علاقه زیادی برای کار با این ماده طبیعی و روح‌بخش دارند که به‌شکل حکاکی، پیکرتراشی و غیره انجام می‌گیرد. استفاده از ظروف چوبی یا آثار هنری چوبی در منازل، حس خوبی در

* نویسنده مسئول، تلفن ۰۹۱۲۷۹۸۲۰۷۰

موم و بره‌موم (پروپولیس)^۲ حاصل از فعالیت زنبور عسل از گذشته‌های خیلی دور به‌عنوان واکس آب‌گریزکننده، پایدارکننده ابعاد و تقویت کننده سطح چوب، در نگهداری از آثار هنری کوچک کاربرد داشته است. موم به‌طور تقریبی شامل ۷۲ درصد آلکیل استرهای اسید چرب و واکس است. موم همچنین شامل اسیدهای واکس (به‌طور تقریبی ۱۳ درصد آن $C_{24}H_{49}COOH$ تا $C_{30}H_{61}COOH$)، کربوهیدرات‌های سنگین (در حدود ۱۲ درصد آن $C_{25}H_{52}$ تا $C_{32}H_{66}$)، بره‌موم، لاکتون‌ها، رنگ و دیگر مواد است [۳]. چگالی موم زنبور عسل ۹۷۰-۹۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نقطه ذوب آن ۷۰-۶۱ درجه سانتی‌گراد است و به‌نسبت نرم است [۷]. موم زنبور عسل در تولوئن، پترول، ترپانتین، کلروفرم و اتانول داغ، محلول؛ و در آب یا اتانول سرد نامحلول است. مقاومت موم در برابر آب خوب بوده و در برابر کهنگی و اسیدها نیز پایدار است. برای نگهداری از چوب به‌طور معمول موم را در ترپانتین ذوب می‌کنند [۳]. موم زنبور عسل عاری از هر نوع ترکیب سمی است و هیچ خطری برای سلامت انسان یا جانداران دیگر ندارد. در چین باستان از موم در ترکیب با مواد دیگر به‌عنوان چسب نیز استفاده می‌شد [۸]. این ماده طبیعی برای تیمار آثار چوبی کوچک مناسب است و علاوه بر تأثیرات مثبت آن در برابر تغییرات رطوبتی و در نتیجه پایداری ابعاد چوب، موجب استحکام‌بخشی و سختی بیشتر بافت چوبی نیز می‌شود [۷]. به‌تازگی امکان استفاده از موم برای ساخت پوشش‌های سطحی چوب نیز بررسی شده است [۹].

در این پژوهش محلول‌های اتانولی موم به‌طور مستقل یا در ترکیب با اسید بوریک تهیه شده و برای اشباع چوب صنوبر استفاده شد. بورات‌ها مانند اسید بوریک و بوراکس مزایای زیادی برای حفاظت چوب دارند. آنها ارزان، بی‌بو، بی‌رنگ، غیر آتش‌زا، کارآمد و تأثیرگذار در برابر قارچ‌ها و موریانه‌ها، قابل حل در آب هستند و کمترین مسمومیت

به‌دنبال یافتن راهکارهای عاری از مواد شیمیایی برپایه مواد حفاظتی طبیعی و سازگار با محیط زیست هستند [۲]. انواع مواد طبیعی آلی استفاده‌شده برای حفاظت چوب را می‌توان در پنج طبقه مختلف دسته‌بندی کرد: ۱. اسانس‌های گیاهی (مانند روغن سدر، روغن آویشن، روغن توپا و غیره)؛ ۲. مواد استخراجی گونه‌های چوبی خیلی بادوام (مانند مواد استخراجی چوب‌درون اغلب گونه‌های پهن‌برگ گرمسیری)؛ ۳. مواد استخراجی گیاهان حاوی ترکیبات تند فلفلی (مانند کپسایسین^۱)؛ ۴. موم و بره‌موم زنبور عسل؛ ۵. کیتوزان [۲]، [۳]. در میان این ترکیبات، موم و کیتوزان ریشه حیوانی دارند. اغلب این مواد در برابر قارچ‌ها و حشرات مخرب چوب زیست‌فعال‌اند و برخی نیز آثار بازدارنده دارند. همچنین تعداد کمی از این مواد، قابلیت کاهش نم‌پذیری و جذب رطوبت چوب را نیز دارند. Ahadnejad و همکاران (۲۰۱۶) اثر تیمار چوب با محلول‌های رقیق‌شده شیره سقر (بنه) حاصل از درختان پسته وحشی را بر ثبات ابعاد و مقاومت به پوسیدگی چوب صنوبر بررسی کردند. تیمار چوب با این محلول‌ها در غلظت بهینه (۱۵ درصد) سبب کاهش ۵۰ درصدی جذب آب و واکنشیدگی ابعاد چوب شد؛ اما اثر این تیمار در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی محدود بود [۴]. اثر حفاظتی اندک مواد طبیعی در بهبود دوام زیستی چوب بارها گزارش شده است. برای مثال اشباع چوب با تانن حاصل از عصاره‌گیری پوست درختان، اگرچه موجب بهبود مقاومت چوب در برابر قارچ‌ها و حمله موریانه‌ها می‌شود، نمی‌تواند یک تیمار مستقل و کافی در نظر گرفته شود [۵]. امکان استفاده از نانوذرات کیتوزان به‌عنوان ماده حفاظتی / اصلاحی چوب نیز نشان داد که تیمار چوب با نانوذرات طبیعی کیتوزان سبب کارایی ضد واکنشیدگی ۴۰ درصدی چوب می‌شود، اما در مقابل قارچ‌های عامل پوسیدگی بی‌اثر است [۶]. از این‌رو اغلب استفاده ترکیبی از مواد طبیعی با مواد شیمیایی سازگار با محیط زیست بررسی شده است.

موم زنبور عسل از یک زنبورداری واقع در محمدشهر کرج تهیه شد. به منظور حل کردن موم زنبور عسل و تهیه محلول حفاظتی از اتانول داغ (۵۰ درجه سانتی‌گراد) استفاده شد. مقدار مشخصی از موم براساس جدول ۱ در اتانول داغ ریخته شده و در ظرف با فویل آلومینیومی پوشانده شد (به علت فرار بودن اتانول به ویژه در حالت داغ) و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی همزن آزمایشگاهی با اعمال حرارت هم زده شد. همچنین در تیمار حاوی اسید بوریک، مقدار وزنی ۲ درصد اسید بوریک (بر مبنای وزن کل محلول) در داخل اتانول حل شد. اسید بوریک با خلوص ۹۹ درصد از شرکت سیگما آلد ریچ خریداری شد. برای اشباع نمونه‌ها از روش خلأ/ فشار/ خلأ (بتل یا همان سلول پر) استفاده شد. نمونه‌ها در داخل مخزن اشباع قرار گرفت و خلأ اولیه به مقدار ۰/۵ بار و به مدت ۳۰ دقیقه روی آنها اعمال شد. پس از آن محلول حفاظتی داخل سیلندر و روی نمونه‌ها ریخته شد. پس از اطمینان از غوطه‌ور شدن کامل نمونه‌ها در محلول، فشار به مدت دو ساعت تا چهار بار افزایش داده شد. سیلندر اشباع برای تأمین حرارت مجهز به المنت بود و دمای تیمار ۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. در این دما محلول‌های بررسی شده به طور کامل روان بودند و قابلیت نفوذ به داخل بافت چوب را داشتند. پس از پایان دوره فشار محلول حفاظتی از سیلندر خارج شده و خلأ نهایی به مقدار ۰/۲ بار و ۱۰ دقیقه اعمال شد. نمونه‌ها پس از اتمام فرایند اشباع از سیلندر خارج شده و به اتاق کلیما (دمای 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد) انتقال داده شدند. پس از متعادل‌سازی رطوبت نمونه‌ها، حجم (v_2) و وزن خشک اجاقی (m_2) آنها با قرار دادن در آون 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. تیمارهای انجام‌گرفته در جدول ۱ خلاصه شده است. غلظت‌های استفاده‌شده برای موم براساس آزمون‌های اولیه انتخاب شدند. سطح چوب‌های تیمار شده با غلظت‌های بیشتر از ۱۰ درصد حالت چسبناک داشتند و برای کاربرد مناسب نبودند.

حاد را برای پستانداران و موجودات دریایی دارند [۱۰]، [۱۱]. حلالیت زیاد بورات‌ها در آب، سبب می‌شود که با روش‌های قدیمی تیمار چوب از قبیل غوطه‌وری و انتشار از آنها استفاده کرد [۱۲]. از طرفی همین مزیت بورات‌ها موجب آبشویی آسان آنها از چوب‌آلات تیمار شده می‌شود. بنابراین چوب‌های تیمار شده با بورات‌ها برای شرایط خارج ساختمان و در تماس با آب مناسب نیستند. در این پژوهش، هدف از ترکیب اسید بوریک و موم، افزایش اثر حفاظتی محلول اشباع و همچنین کاهش آبشویی اسید بوریک با تکیه بر آب‌گریزی موم بود.

مواد و روش‌ها

از چوب درختان صنوبر (*Populus deltoides*) قطع شده در منطقه خیرودکنار واقع در نوشهر استان مازندران برای این تحقیق استفاده شد. سه اصله درخت قطع و گرده‌بینه اول از هر درخت به آزمایشگاه منتقل شد. درختان قطع شده دارای قطر برابر سینه 3 ± 40 سانتی‌متر بودند و ۲۳ حلقه سالانه روی مقطع عرضی آنها شمارش شد. تخته‌های تهیه‌شده از گرده‌بینه‌ها، پیش از نمونه‌گیری و برش، به مدت دو ماه در هوای آزاد خشک شدند. دو سری نمونه با ابعاد مختلف تهیه شد. ابعاد نمونه‌های استفاده‌شده برای اندازه‌گیری مقادیر جذب آب و واکنشیدگی براساس استاندارد (۲۰۱۴) ISO 13061-14 به صورت اسمی $20 \times 20 \times 30$ mm³ (مماسی \times شعاعی \times طول) بود [۱۳]. نمونه‌های به‌کاررفته برای آزمون پوسیدگی قارچی نیز براساس استاندارد (۱۹۹۶) EN 113 و با ابعاد $15 \times 25 \times 50$ mm³ (مماسی \times شعاعی \times طولی) تهیه شدند [۱۴].

تیمارها و اشباع چوب

نمونه‌ها پس از برش در داخل آون 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شده و پس از آن حجم (v_1) و وزن خشک (m_1) آنها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ابعاد نمونه‌ها از کولیس ۰/۰۱ میلی‌متر و برای اندازه‌گیری وزن از ترازوی دیجیتالی ۰/۰۱ گرم استفاده شد.

جدول ۱. شرح تیمارهای مختلف تحقیق

ردیف	شرح تیمار	نماد
۱	تیمار با اتانول	حلال
۲	اسید بوریک ۲ درصد حل شده در اتانول	اسید بوریک ۲٪
۳	۴ درصد موم حل شده در اتانول	موم ۴٪
۴	۶ درصد موم حل شده در اتانول	موم ۶٪
۵	۱۰ درصد موم حل شده در اتانول	موم ۱۰٪
۶	۶ درصد موم حل شده در اتانول + اسید بوریک ۲ درصد	موم ۶٪ + اسید بوریک ۲٪

آب مقطر غوطه‌ور شدند (۱ حجم نمونه به ۵ حجم آب مقطر). ظرف غوطه‌وری سپس برای بیست دقیقه تحت خلأ ۴ کیلو پاسکال قرار گرفت. پس از خلأ، نمونه‌ها دو ساعت دیگر نیز غوطه‌ور باقی ماندند و سپس آب داخل ظرف برای بار اول تعویض شد. مدت زمان این آزمون ۱۴ روز است و در طی آن نمونه‌ها به‌طور کامل در آب غوطه‌ور می‌شوند. در ۱۴ روز باقی‌مانده، ۹ مرتبه دیگر آب نمونه‌ها تعویض شد. تعویض آب در روزهای اول و دوم اجباری است. هفت بار تعویض آب باقی‌مانده نیز در ۱۲ روز باقی‌مانده و با فاصله زمانی حداکثر سه روز و حداقل یک روز انجام گرفت. در طی آبتشویی با استفاده از مش‌های پلاستیکی، نمونه‌ها از یکدیگر و همچنین پایین و دیواره‌های ظرف آبتشویی جدا نگه داشته شدند. بعد از آزمون آبتشویی نمونه‌ها برای مشروط شدن تا وزن ثابت، در شرایط دمایی و رطوبتی استاندارد (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) قرار گرفتند. بعد از مشروط شدن نمونه‌ها، وزن خشک آنها (در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد.

آزمون قارچ

آزمون قارچ براساس استاندارد (۱۹۹۶) EN 113 و بر روی ۱۰ نمونه از هر تیمار انجام گرفت. نیمی از این نمونه‌ها آبتشویی شده و نیم دیگر بدون آبتشویی استفاده شدند. قارچ مورد استفاده در این تحقیق *Trametes versicolor* (عامل پوسیدگی سفید) رشد کرده روی محیط کشت مالت-آگار (۴۸ گرم در لیتر) بود. آزمون حادپذیری

مقادیر بارگذاری موم در داخل چوب با اندازه‌گیری درصد افزایش وزن (WPG) نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$WPG (\%) = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad (1)$$

مقادیر جذب آب و واکنشیدگی ابعاد نمونه‌ها براساس روش اصلاح‌شده در استاندارد (۲۰۱۴) ISO 13061-14 انجام شد [۱۳]. نمونه‌ها در داخل آب مقطر با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند و در فواصل زمانی ۲، ۴، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۲۰، ۱۴۴ و ۱۷۸ ساعت از آب خارج و ابعاد و وزن آنها اندازه‌گیری شد. جذب آب (W.A. %) و واکنشیدگی حجمی (S %) به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ اندازه‌گیری شد.

$$W.A. (\%) = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

M_2 وزن نمونه بعد از غوطه‌وری در آب در زمان مشخص (g) و M_1 وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری در آب (g) است.

$$S (\%) = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_1} \right) \times 100 \quad (3)$$

V_2 حجم نمونه بعد از غوطه‌وری در آب در زمان مشخص (mm^3) و V_1 حجم خشک نمونه قبل از غوطه‌وری در آب (mm^3) است.

آزمون آبتشویی

آبتشویی براساس استاندارد (۱۹۹۷) EN 84 انجام گرفت [۱۵]. برای آبتشویی، نمونه‌ها با نسبت پنج‌برابر حجم در

نتایج و بحث

مقادیر جذب و افزایش وزن نمونه‌ها

با افزایش غلظت موم در حلال وزن نمونه‌ها افزایش یافت (شکل ۱). تیمار نمونه‌ها با اتانول خالی موجب کاهش وزن حدود ۰/۴ درصدی شد. دلایل این موضوع را می‌توان شسته شدن مقداری از مواد استخراجی چوب با حلال و خروج آنها از چوب دانست. آزمون تجزیه واریانس یکطرفه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر افزایش وزن نمونه‌ها وجود دارد (جدول ۲) و آزمون دانکن نیز تیمارهای مختلف را در چهار گروه طبقه‌بندی کرد (گروه‌بندی دانکن به صورت حروف لاتین در شکل ۱ آمده است). با افزایش غلظت موم در حلال، روند تصاعدی مشاهده شده برای مقادیر جذب در بین غلظت‌های ۴ و ۶ درصد کمتر از مقادیر موجود در تیمارهای ۶ و ۱۰ درصد بود. آزمون دانکن میانگین مقادیر جذب موم در دو تیمار ۶ و ۱۰ درصد را در یک گروه قرار داد. به نظر می‌رسد در یک نقطه بحرانی افزایش غلظت موم در محلول اثری بر جذب ماده نداشته باشد. به‌طور معمول در صنعت حفاظت چوب، دستیابی به مقدار جذب معین با استفاده از یک محلول رقیق، به یک محلول غلیظ برتری دارد. امکان توزیع یکنواخت و عمیق ماده حفاظتی در چوب با استفاده از محلول‌های رقیق بهتر است [۱۶]. مقدار جذب اسید بوریک با محلول ۲ درصد بیشتر از مقادیر گزارش شده برای ایجاد مقاومت کافی در برابر پوسیدگی قارچی و حمله حشرات چوب‌خوار (سوسک‌ها و موریانه‌ها) است. به‌طور معمول کمتر از ۱ درصد جذب اسید بوریک برای حفاظت کامل چوب در برابر موریانه‌های زیرزمینی و قارچ‌های مخرب چوب لازم است [۱۷، ۱۸]. مقدار افزایش وزن نمونه‌ها در تیمار ترکیبی (۶ درصد موم + اسید بوریک)، به‌طور تقریبی برابر با مجموع مقدار جذب در تیمارهای مستقل اسید بوریک ۲ درصد و موم ۶ درصد بود.

قارچ روی شش نمونه چوب تیمارنشده راش (*Fagus orientalis*) انجام گرفت. نمونه‌های شاهد نیز شامل چوب تیمارنشده صنوبر (*Populus deltoides*) بود. پیش از آزمون وزن خشک اولیه نمونه‌ها در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

همه نمونه‌ها قبل از در معرض قرارگیری با استفاده از اتوکلاو در فشار ۱/۲ بار و به مدت ۲۰ دقیقه استریل شدند. ظروف مورد استفاده دارای کلاهک فلزی ضد نشت بودند. وسط در فلزی هر ظرف یک سوراخ به قطر ۱۵ میلی‌متر ایجاد و با استفاده از پنبه فشرده شده مسدود شد تا امکان تهویه بدون آلودگی محیط کشت فراهم شود. نمونه‌ها به مدت ۱۶ هفته در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد در مجاورت قارچ قرار گرفتند. بعد از آزمون، میسلیوم‌ها از روی نمونه‌ها پاک شده و وزن نهایی نمونه‌ها (m_3) بعد از خشک شدن در آن ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. سپس درصد کاهش وزن نمونه‌ها (WL%) بر مبنای وزن خشک قبل از آزمون قارچ، با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد. از درصد کاهش وزن به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری شدت حمله قارچ استفاده شد.

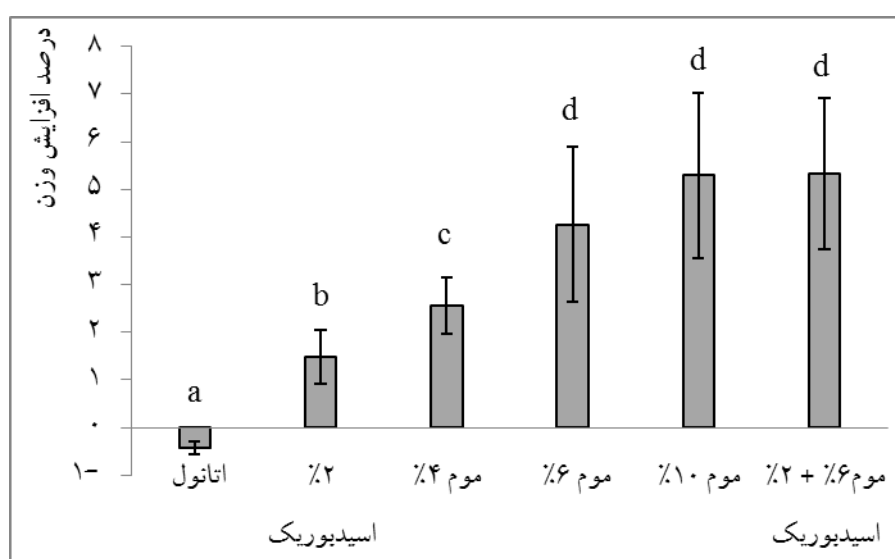
$$WL \% = \frac{m_r - m_t}{m_r} \times 100 \quad (4)$$

طرح آماری

داده‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ وارد شده و گزاره‌های آماری آنها شامل میانگین و انحراف معیار محاسبه شد و رسم نمودارها انجام گرفت. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS V16 انجام پذیرفت. معنی‌داری اختلاف بین میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه و در فاصله اطمینان ۹۹ درصد بررسی شد. در صورت معنی‌داری اختلاف‌ها، با استفاده از آزمون دانکن، میانگین داده‌ها در زیر گروه‌های مختلف طبقه‌بندی شد.

همچنان چسبناک نبودند. خلاً ثانویه که در هنگام اشباع نمونه‌ها استفاده شده بود اغلب برای تمیز کردن سطح استفاده می‌شود و می‌تواند تأثیر مهمی در چسبندگی نبودن سطح نمونه‌ها پس از تیمار داشته باشد [۳]. غلظت‌های استفاده‌شده در این تحقیق پس از آزمون‌های اولیه انتخاب شده بودند. نتایج آزمون‌های اولیه نشان داد استفاده از غلظت‌های بیشتر موم، موجب تأثیرات سوء بر سطح نمونه‌ها می‌شود؛ بنابراین در این تحقیق از غلظت‌های خیلی زیاد استفاده نشد.

تیمار نمونه‌ها با محلول‌های حاوی موم سبب تغییر اندک در رنگ نمونه‌ها شد. در تیمار اتانول نیز همین تغییر رنگ وجود داشت. بنابراین به نظر می‌رسد تغییر در رنگ نمونه‌ها به دلیل حلال بوده است. آثاری از سفیدک یا انباشت موم روی نمونه‌ها در هیچ‌کدام از غلظت‌های استفاده‌شده وجود نداشت. سطح نمونه‌ها پس از تیمار و متعادل‌سازی رطوبت در اتاق کلیما، چسبناک نبود. نمونه‌های تیمار شده با محلول‌های حاوی موم حتی پس از خروج از آن و داشتن حرارت زیاد،



شکل ۱. مقادیر افزایش وزن نمونه‌ها پس از اشباع با غلظت‌های مختلفی از موم و اسید بوریک حل‌شده در اتانول (حروف لاتین نشان‌دهنده نتایج آزمون دانکن است)

جدول ۲. نتایج آزمون‌های تجزیه واریانس برای ویژگی‌های مختلف

سطح معنی‌داری	عدد F	درجه آزادی کل	مجموع مربعات	آزمون‌های تجزیه واریانس
۰/۰۰	۴۷/۷۹	۵۹	۲۲۳/۹۹	درصد افزایش وزن
۰/۰۰	۶۶/۵۳	۵۹	۱۵۳۰۴/۱۳	جذب آب پس از ۱۷۸ ساعت
۰/۱۶	۱/۶۷	۵۹	۲۳/۹۸	واکسیدگی حجمی پس از ۱۷۸ ساعت
۰/۰۰	۴۶/۹۶	۲۹	۵۲۴۹/۵۰	آزمون قارچ قبل از آبشویی
۰/۰۰	۲۸/۴۵	۲۹	۳۱۹۰/۸۸	آزمون قارچ بعد از آبشویی

خالی یا حاوی اسید بوریک داشتند. افزایش غلظت موم اثر بیشتری بر کاهش جذب آب نمونه‌ها داشت، اما چندان چشمگیر نبود. به‌طور میانگین مقادیر جذب آب نمونه‌های اشباع‌شده با محلول‌های حاوی موم پس از ۱۷۸ ساعت غوطه‌وری در آب نسبت به نمونه‌های تیمار شده با اتانول،

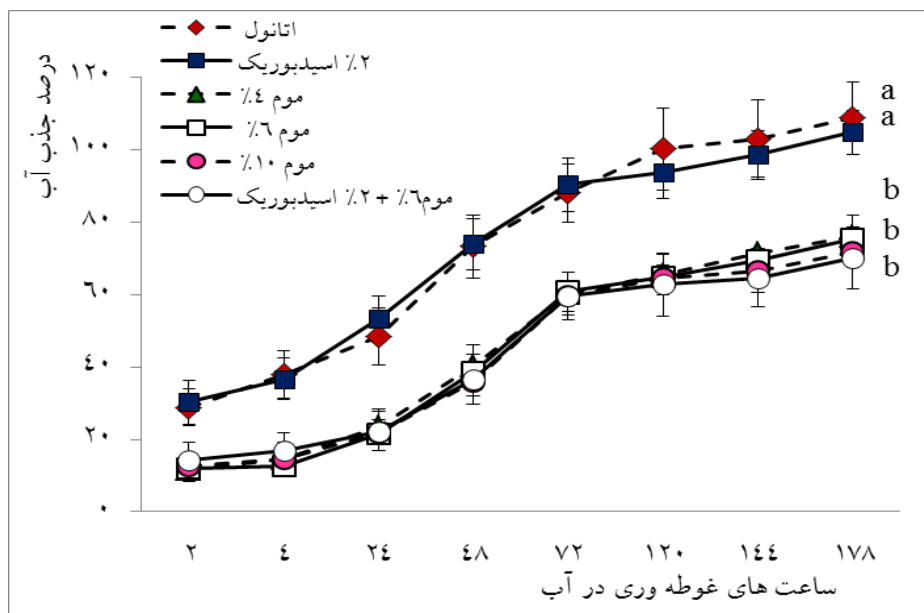
مقادیر جذب آب و واکسیدگی ابعاد نمونه‌ها

نتایج مربوط به مقادیر جذب آب نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. نمونه‌های اشباع‌شده با محلول‌های حاوی موم حتی پس از دوره طولانی غوطه‌وری در آب، به‌طور مشخص جذب آب کمتری نسبت به تیمار با اتانول

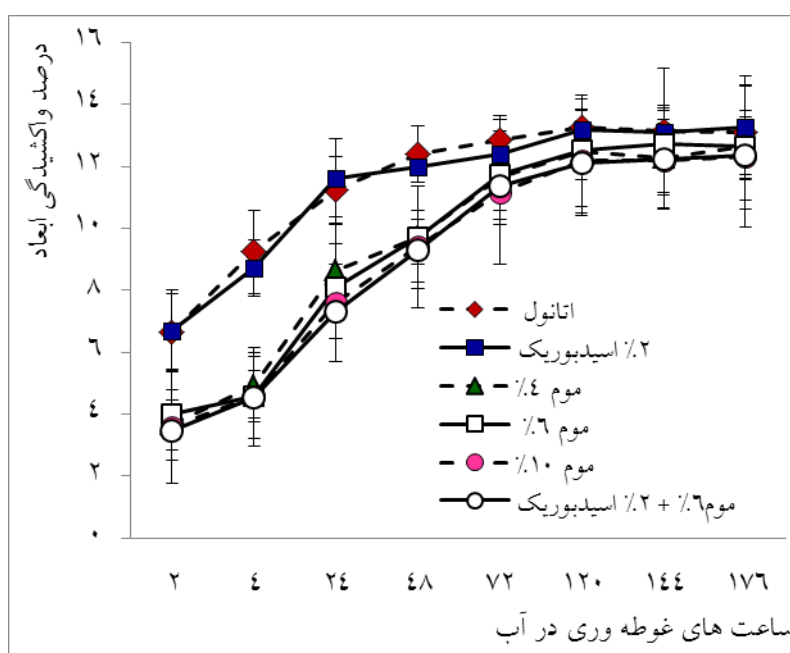
ساعت ابتدایی غوطه‌وری در آب، اختلاف زیادی بین مقادیر واکنش‌دهی ابعاد نمونه‌های تیمار شده با محلول‌های حاوی موم و نمونه‌های شاهد وجود داشت. پس از این دوره، تفاوت بین مقادیر واکنش‌دهی تیمارهای مختلف کاهش یافت که قابل چشم‌پوشی بود. نتایج آزمون تجزیه واریانس برای مقادیر جذب آب پس از ۱۷۸ ساعت غوطه‌وری در آب نیز اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌ها نشان نداد (جدول ۱). واکنش‌دهی نمونه‌های اشباع‌شده با موم پس از غوطه‌وری بلندمدت در آب مشابه تیمار شاهد بود. مواد طبیعی یا سنتزی غیرقطبی امکان نفوذ به دیواره‌های قطبی در مواد لیگنوسلولزی را ندارند. بنابراین اگرچه روند جذب آب و واکنش‌دهی ابعاد چوب به‌واسطه پرس شدن حفره‌های سلولی با موم کندتر می‌شود، بر اثر غوطه‌وری بلندمدت و ادامه جذب آب در دیواره‌ها، مقادیر واکنش‌دهی با تیمار شاهد تفاوت چندانی ندارد [۲۰].

در حدود ۴۰ درصد کمتر بود. اگرچه درصد افزایش وزن نمونه‌ها بر اثر تیمار با محلول‌های حاوی موم حداکثر ۵ درصد بود، اما کارایی ضد جذب آب آن بسیار شایان توجه بود. آزمون تجزیه واریانس دانکن برای مقادیر جذب آب نمونه‌ها پس از ۱۷۸ ساعت غوطه‌وری در آب نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده‌ها وجود دارد (جدول ۱). آزمون دانکن نیز تیمارهای مختلف را در دو گروه قرار داد. اثرگذاری موم زنبور عسل بر جذب آب چوب خیلی بیشتر از مقادیر گزارش‌شده برای امولسیون‌های پارافین در غلظت‌های بیشتر یا مشابه است [۱۹]. همچنین در تحقیق Ahadnejad و همکاران (۲۰۱۶) نیز کارایی ضد جذب آب برای چوب صنوبر تیمار شده با محلول اتانولی ۱۵ درصد شیره سقز (افزایش وزن ۱۸ درصد نمونه‌ها) ۴۰ درصد گزارش شده است [۴].

در شکل ۳ مقادیر واکنش‌دهی ابعاد نمونه‌ها، پس از غوطه‌وری بلندمدت در آب نشان داده شده است. در ۷۲



شکل ۲. مقادیر جذب آب نمونه‌های چوبی در تیمارهای مختلف پس از غوطه‌وری بلندمدت (حروف لاتین نشان‌دهنده نتایج آزمون دانکن است)



شکل ۳. مقادیر واکنشیدگی حجمی نمونه‌های چوبی در تیمارهای مختلف پس از غوطه‌وری بلندمدت

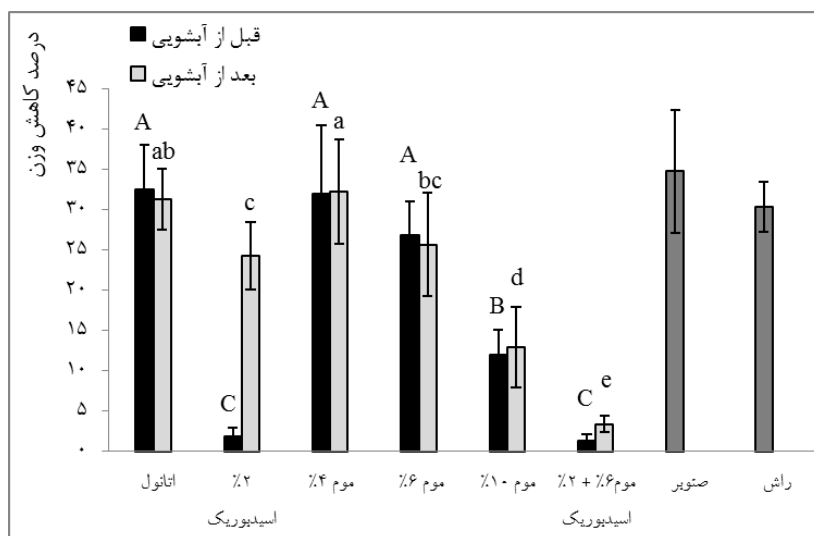
آزمون مقاومت به پوسیدگی قارچی

میانگین مقادیر کاهش وزن نمونه‌های حادپذیری چوب راش، حداقل کاهش وزن لازم (۲۰ درصد) برای تأیید نتایج آزمون قارچ براساس استاندارد (EN 113 (۱۹۹۶) را داشت؛ بنابراین نتایج آزمون‌های قارچ در این پژوهش تأیید می‌شود و وارسته قارچ استفاده‌شده به‌اندازه کافی سالم و مهاجمی بود. کاهش وزن نمونه‌های شاهد چوب صنوبر نیز نشان‌دهنده بی‌دوام بودن این‌گونه است (رده پنجم دوام در استاندارد (EN 350-1 (۱۹۹۴) [۲۱]. تیمار با اتانول تأثیری بر مقاومت نمونه‌ها در برابر پوسیدگی قارچی نداشت و مقادیر کاهش وزن نمونه‌ها قبل و بعد از آبشویی بیش از ۳۰ درصد بود. تیمار با اسید بوریک ۲ درصد سبب مقاومت زیاد نمونه‌ها به حمله قارچ عامل پوسیدگی سفید شد، اگرچه این اثرگذاری پس از آبشویی به‌طور کامل از دست رفت که به‌علت انحلال‌پذیری زیاد اسید بوریک و خروج آن از چوب در طی آبشویی بود. تیمار با موم ۴ درصد اثری بر مقاومت به پوسیدگی نمونه‌ها نداشت، اما با افزایش غلظت موم اثرگذاری آن بر مقاومت زیستی نمونه‌ها آشکار شد. نکته جالب توجه بی-

تأثیر بودن آبشویی چهارده‌روزه بر مقاومت به پوسیدگی چوب‌های اشباع‌شده با موم است. این موضوع نشان‌دهنده نبود آبشویی موم در گذر زمان و تماس با آب است. موم، ترکیبی غیرسمی بوده و اثر حفاظتی آن در برابر قارچ عامل پوسیدگی محدود است [۳]. در بیشترین غلظت (موم ۱۰ درصد) کاهش وزن نمونه‌ها بر اثر تخریب قارچی همچنان چشمگیر بود. به نظر می‌رسد اثر موم بر کاهش جذب آب نمونه‌ها و همچنین پر شدن منافذ و فضاهای داخل چوب با یک ماده چرب و نامحلول در آب موجب مقاومت نسبی چوب‌های تیمار شده در برابر حمله قارچ شده است. بهترین نتیجه در تیمار ترکیبی اسید بوریک و موم به‌دست آمد، جایی که مقدار کاهش وزن نمونه‌ها حتی پس از آبشویی کمتر از ۴ درصد بود. در واقع آبشویی بورون با استفاده از تیمار ترکیبی آن با موم به‌طور چشمگیری کاهش یافته بود. احتمال واکنش شیمیایی بین این دو ترکیب چندان ممکن نیست و تصور می‌شود ممانعت فیزیکی موم در دسترسی آب به چوب، سبب نبود آبشویی کامل بورون از چوب شده است. خاصیت زیست‌فعال عنصر بورون به آزادی و سیال بودن آن

گزارش شده است، که اغلب ممانعت فیزیکی از آبشویی بورون، محل بحث بوده است. البته استفاده از روش‌های مبتنی بر واکنش‌های شیمیایی و تثبیت بورون از طریق مشارکت فعال آن در ساختار پلیمرهای معدنی مانند سیلیکات‌ها [۲۵]، پلیمرهای گیاهی مانند تانن [۲۶] یا پلیمر حیوانی آلومین [۲۷] نیز موفقیت‌آمیز بوده و تجارب ارزشمندی به‌دست آمده است.

بستگی دارد و اگر روشی موجب تثبیت قطعی و کامل بورات‌ها در چوب شود، دیگر اثری در مقابل آفات زنده نخواهند داشت [۲۲]. تاکنون روش‌های مختلفی برای تثبیت بورات‌ها در چوب پیشنهاد شده است، اما هیچ‌کدام از آنها تاکنون تجاری‌سازی نشده است [۱۷]. استفاده از تیمار ترکیبی بورات‌ها با مواد آب‌گریزکننده سنتزی مانند پلی‌اتیلن گلیکول [۲۳] یا طبیعی مانند روزین [۲۴] بارها



شکل ۴. مقادیر کاهش وزن نمونه‌ها پس از ۱۶ هفته کشت با قارچ *Trametes versicolor* - قبل و بعد از آبشویی (حروف لاتین نتایج آزمون دانکن است: حروف بزرگ قبل از آبشویی، حروف کوچک بعد از آبشویی)

توجه به حالت نرم موم، شاید اشباع چوب با آن اثر مثبتی بر قابلیت برشکاری و رنده‌خوری چوب داشته باشد که مستلزم تحقیقات بیشتری است. همچنین اثر این ماده بر جذب رطوبت (آب در حالت بخار) یا مقاومت به هوازگی نیز می‌تواند موضوع تحقیقات آینده باشد. بدیهی است استفاده از این محلول برای کاربردهای صنعتی توجیه اقتصادی ندارد، اما می‌توان استفاده از آن را برای مصارف خانگی و هنری چوب توصیه کرد. استفاده از این فرمول‌بندی‌ها به‌ویژه برای شرایطی که نیاز به اندود و پوشش چوب نیست مناسب خواهد بود. البته در صورت نیاز به پوشش‌دهی چوب باید اثرگذاری اشباع با محلول‌های حاوی موم بر چسبندگی سطح بررسی شود.

نتیجه‌گیری

برپایه نتایج این تحقیق، استفاده از موم حل‌شده زنبورعسل در اتانول داغ و اشباع چوب با آن اثر مثبتی بر کاهش جذب آب و همچنین واکنش‌دهی حجمی نمونه‌ها به‌ویژه در کوتاه‌مدت دارد. بهترین غلظت استفاده‌شده در این تحقیق می‌تواند ۶ یا ۱۰ درصد موم در اتانول داغ باشد که البته به تحقیقات تکمیلی نیاز دارد. تیمار ترکیبی موم با اسید بوریک بر مقاومت به پوسیدگی چوب‌ها اثر هم‌افزایی دارد و از طرفی به‌طور چشمگیری از آبشویی بورون می‌کاهد. موم ماده‌ای طبیعی است و می‌توان آن را بدون نگرانی در مورد تأثیرات منفی بر محیط و انسان برای اشباع ظروف چوبی و آثار هنری استفاده کرد. با

References

- [1]. Zabel, R.A., and Morrell, J.J. (2012). Wood microbiology: decay and its prevention. Academic press, California.
- [2]. Singh, T., and Singh, A.P. (2012). A review on natural products as wood protectant. Wood Science and Technology, 46(5): 851-870.
- [3]. Reinprecht, L. (2016). Wood deterioration, protection and maintenance. John Wiley & Sons. 376 p.
- [4]. Ahadnezhad, M., Izadyar, S., Efhamisizi, D., and Babaei, Y. (2016). Effect of impregnation with turpentine of *Pistacia atlantica* on the physical and mechanical properties of poplar wood. Full paper presented at 3rd international Conference on Research in Engineering, science, and Technology, 5 June 2016, Batumi-Gerogia.
- [5]. Thevenon, M.F., Tondi, G., and Pizzi, A. (2009). High performance tannin resin-boron wood preservatives for outdoor end-uses. European Journal of Wood and Wood Products, 67(1): 89-93.
- [6]. Nowrouzi, Z., Mohebbi, B. and Younesi, H. (2014). Influences of nano-chitosan treatment on physical, mechanical properties and bio resistance of wood. Journal of the Indian Academy of Wood Science, 11(2): 174-181.
- [7]. Unger, A., Schniewind, A., and Unger, W. (2001). Conservation of wood artifacts: a handbook. Springer Science & Business Media. Heidelberg, Germany.
- [8]. Luo, W., Li, T., Wang, C. and Huang, F. (2012). Discovery of Beeswax as binding agent on a 6th-century BC Chinese Turquoise-inlaid Bronze sword. Journal of Archaeological Science, 39(5): 1227-1237.
- [9]. Budija, F., Kricej, B., and Petric, M. (2008). Possibilities of use of propolis for wood finishing. Wood Research, 53(2): 91-101.
- [10]. Clausen, C. A. (2010). Biodeterioration of wood. In Wood Handbook: Wood as an engineering material (pp. 14.1–14.16). Madison, Wisconsin, Centennial Edition, General Technical Report FPL-GTR-190, Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, USA.
- [11]. Freeman, M. H., McIntyre, C. R., and Jackson, D. (2009). A critical and comprehensive review of boron in wood preservation. Proceedings of American Wood Protection Association 105: 279-294.
- [12]. Caldeira, F. (2010). Boron in wood preservation. a review in its physico-chemical aspects. Silva Lusitana, 18(2): 179-196.
- [13]. ISO 13061-14. (2016). Physical and mechanical properties of wood, Test methods for small clear wood specimens - Part 14: Determination of volumetric shrinkage.
- [14]. EN 113. (1996). Wood preservatives-Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes-Determination of the toxic values.
- [15]. EN 84. (1997). Wood preservatives-accelerated ageing of treated wood prior to biological testing. Leaching procedure.
- [16]. Tondi, G., Thévenon, M.F., Mies, B., Standfest, G., Petutschnigg, A. and Wieland, S. (2013). Impregnation of Scots pine and beech with tannin solutions: effect of viscosity and wood anatomy in wood infiltration. Wood science and technology, 47(3): 615-626.
- [17]. Obanda, D.N., Shupe, T.F., and Barnes, H.M. (2008). Reducing leaching of boron-based wood preservatives - a review of research. Bioresource Technology, 99(15): 7312-7322.
- [18]. Tsunoda, K. (2001). Preservative properties of vapor-boron-treated wood and wood-based composites. Journal of Wood Science, 47(2): 149-153.
- [19]. Mansouryar, I., Ebrahimi, G., Karimi, A.N., Mirshokraie, S. A. and Rahimi, S. (2010). Water repelling potential of *Populus alba* by emulsion of paraffin, quaternary ammonium and hydrated starch. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 25(2): 211-222.
- [20]. Hill, C. A. (2007). Wood modification: chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons. 260 p.

- [21]. EN 350-1. (1994). Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood: guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood.
- [22]. Pizzi, A., and Baecker, A. (1996). A new boron fixation mechanism for environment friendly wood preservatives. *Holzforschung*, 50(6): 507-510.
- [23]. Köse, C., Terzi, E., Kartal, S. N., Erilkun, B., and Imamura, Y. (2011). Preliminary evaluation of boron release and biological resistance of wood treated with disodium octoborate tetrahydrate (DOT) and a water-repellent compound. *African Journal of Biotechnology*, 10(10): 1833-1839.
- [24]. Nguyen, T.T.H., and Li, S. (2017). Effects of Rosin Sizing Agent on the Fixation of Boron in *Styrax tonkinensis* Wood. *Advances in Biochemistry*, 5(4): 67-72.
- [25]. Palanti, S., and Feci, E. (2013). A wood preservative based on commercial silica nanodispersions and boric acid against fungal decay through laboratory and field tests. *Open Journal of Forestry*, 3(2): 57-61.
- [26]. Efhamisisi, D., Thevenon, M. F., Hamzeh, Y., Pizzi, A., Karimi, A., and Pourtahmasi, K. (2017). Tannin-boron complex as a preservative for 3-ply beech plywoods designed for humid conditions. *Holzforschung*, 71(3): 249-258.
- [27]. Thevenon, M.F., and Pizzi, A., (2003). Polyborate ions influence on the durability of wood treated with non-toxic protein borate preservatives. *Holz als Roh und Werkstoff*, 61(6): 457-464.

Effect of the beeswax and its combination with boric acid on the dimensional stability and fungal resistance of poplar wood

D. Efhamisisi*; Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

P. Ahmadi; M.Sc. Graduate of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 18 May 2018, Accepted: 20 July 2018)

ABSTRACT

The main cause of the wood degradation in domestic and artistic applications is deformation due to the moisture changes and also the bio-damages. Wood protection in these sectors requires much attention due to their contact with humans, so toxic chemicals may not be used. The beeswax is a natural substance and has no toxicity for humans. The main purpose of this study was to use the different concentrations of the beeswax (0, 4, 6 and 10 wt%) dissolved in the hot ethanol, as well as its combination with boric acid (6 wt% beeswax + 2 wt% boric acid) to impregnate poplar wood for enhancing the dimensional stability and the fungal resistance. The result showed that the uptake of the beeswax, even in low weight gain, had significant effect on the water absorption and volumetric swelling of wood, especially in short periods of water contact. As the immersion time in water increased, the volumetric swelling of the treated samples increased and finally that was as much as controls. By increasing the concentration of the beeswax, its effect on the resistance of wood against fungal decay was revealed. In general, the efficacy of the beeswax on the fungal activity was limited. The best result was obtained with the combination of the beeswax and boric acid, which even after leaching and no decrease was observed on the protective efficacy against fungal decay. The use of this protective formula for industrial applications is not economical, but it can be used for domestic (kitchen utensils) and artistic (sculptures) uses.

Keywords: Beeswax, Boric acid, Swelling, Water absorption, Fungal decay.

* Corresponding Author, Email: efhami@ut.ac.ir, Tel: +989127982070