بررسی مقاومت به پوسیدگی تخته لایه صنوبر با استفاده از آفت کش های کپسوله شده

مجتبی پیری[۱]
محمد دهمرده قلعه نو[۲*]
سعیدرضا فرخ پیام[۳]
محسن بهمنی[۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۲] ستادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۳] دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۴] دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

مسئول مکاتبات:
mmdahmardeh@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

چکیده

بورون‌ها و ترکیبات بر پایه مس ترکیباتی هستند که به‌عنوان آفت‌کش و قارچ‌کش مورداستفاده قرار می‌گیرند. یکی از مشکلات اصلی این ترکیبات، آبشویی آسان آنها می‌باشد. لذا، هدف اصلی این تحقیق تثبیت و کاهش میزان آبشویی مواد حفاظتی با استفاده از روش کپسوله کردن می‌باشد. به همین منظور روش کپسوله کردن آفت-کش‌ها (بوریک اسید و بردو) به‌وسیله پلیمر طبیعی کیتوزان به روش الکتروریسی انجام شد و ترکیبات جهت تیمار لایه‌های چوب صنوبر و ساخت تخته‌لایه استفاده شد. جهت ارزیابی عملکرد محصول نهایی، آزمون‌های فیزیکی (دانسیته، واکشیدگی ضخامت و جذب آب)، طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز و آزمون قارچ انجام شد. نتایج نشان داد که علی‌رغم بارگذاری اندک اسید بوریک و آفت‌کش بردو عملکرد لایه‌ها در مقابل تخریب قارچی مؤثر بود. اما بعد از آبشویی شدید از عملکرد آنها کاسته شد. اما لایه‌های تیمار شده با آفت‌کش‌های کپسوله شده عملکردشان را بعد از آبشویی به‌عنوان آفت‌کش در برابر قارچ حفظ می‌کنند. به‌طورکلی نتایج نشان داد که تکنیک کپسوله کردن آفت‌کش‌ها می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی آبشویی آن‌ها را کاهش دهد و از طرفی به حفظ عملکرد آفت‌کش‌ها منجر شود.

واژگان کلیدی: تخته‌لایه، آفت‌کش، کپسوله کردن، خواص فیزیکی، آزمون قارچ.

مقدمه

در جامعه پیشرفته، چوب به دلایل متعددی ازجمله تجدید پذیری، قیمت مناسب و خواص زیبایی‌شناختی، به‌عنوان ماده مهندسی، ساختمانی و تزئینی مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱]. محصولات چوبی به‌طور گسترده در مبلمان داخلی، ابزارهای هنری و مصارف ساختمانی به کار می‌روند [۲]. اما از طرفی، چوب به‌عنوان ماده‌ای هرسونا یکسان و متخلخل، به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطی (مانند رطوبت و اشعه ماورای بنفش) قرار دارد [۳]. جذب آب توسط چوب منجر به از دست رفتن ثبات ابعادی چوب شده و تخریب تسریع‌شده بیولوژیکی و شیمیایی در طول زمان هوازدگی طبیعی (شرایط مصرف) رخ می‌دهد [۴,۵]. تمام این شرایط مؤثر بر ویژگی‌های مکانیکی بوده و عامل تغییرات ساختاری در چوب می‌باشند. ازاین‌رو حفاظت از چوب در برابر عوامل محیطی امری ضروری می‌باشد [۷, ۳,۶]. مهم‌ترین روش‌های حفاظت از چوب و محصولات چوبی، روش‌هایی ازجمله اصلاح شیمیایی، حرارتی، مکانیکی و غیره می‌باشند [۸]. کامپوزیت‌های چوبی باقابلیت ساخت در ابعاد مختلف باهدف کاهش ناهمگنی، بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی و مقابله با تغییر در کیفیت چوب روش ساخته می‌شوند. کامپوزیت‌های ساخته‌شده از لایه‌های چوبی شبیه‌ترین مواد به چوب ماسیو می‌باشند [۹]. از سوی دیگر، کاربرد کامپوزیت‌های

چوبی همانند چوب ماسیو اغلب به دلیل حساسیت به پوسیدگی و تخریب زیستی محدود است. تخته‌لایه به‌عنوان یکی از فرآورده‌های مرکب چوبی متشکل از لایه‌های نازک چوبی متقاطع بوده که با استفاده از چسب تحت‌فشار و حرارت پرس، ساخته می‌شود [۱۰]. پانل‌های تخته‌لایه به‌عنوان اجزای اصلی قاب‌های چوبی و بخش‌های اصلی ساختمان‌ها بازار روبه رشد و امیدوارکننده‌ای دارند [۱۱]. یکی از چالش‌های اصلی در کاربرد تخته‌لایه به‌عنوان کفپوش و مصالح ساختمانی، قرار گرفتن در معرض شرایط مناسب جهت رشد و فعالیت‌های عوامل مخرب ازجمله رطوبت بالا می‌باشد [۱۲]. تیمار با موادی ازجمله CCA، ماده حفاظتی محلول در آب و ترکیبی از کروم، مس و آرسنیک متداول‌ترین روش‌های حفاظت از چوب و محصولات چوبی در سراسر دنیا محسوب می‌شوند [۱۳]. اخیراً با افزایش نگرانی‌های عمومی در مورد اثرات منفی مواد حفاظتی قدیمی بر روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، محدودیت‌های زیادی برای کاربرد آن‌ها اعمال می‌شود. در اروپا و آمریکای شمالی استفاده از ترکیبات حاوی آرسنیک برای حفاظت چوب در اکثر کاربردها ممنوع می‌باشد. آلودگی‌های زیست‌محیطی استفاده از مواد حفاظتی حاوی مواد شیمیایی سمی، به پیدایش راهکارهای نوینی مانند روش‌های مختلف اصلاح چوب منجر شده است [۱۰]. سیستم‌های حفاظتی بر پایه بورن (معدنی) و آفت‌کش‌های آلی، جایگزین مناسبی برای آینده صنعت تیمار چوب به‌حساب می‌آیند [۱۴]. بورات‌ها از قبیل اسید بوریک بیش از ۵۰ سال است که در صنعت تیمار چوب مورداستفاده قرار می‌گیرند. بورات‌ها با در اختیار داشتن مزایای متعددی ازجمله قیمت پایین، بدون بو و رنگ، غیر آتش‌زا، کارآمد و تأثیرگذار در برابر قارچ‌ها و عوامل مخرب، قابل‌حل و پخش در آب و حداقل سمیت حاد برای پستانداران و موجودات دریایی، برای حفاظت چوب در برابر عوامل مخرب دارند و تأثیرگذارتر از مس هستند [۱۶، ۱۵]. بورات‌ها برای حفاظت چوب توسط AWPA[1] (انجمن حفاظت چوب آمریکا) استانداردشده‌اند اما تنها برای کاربردهایی که در تماس مستقیم با آب جاری نیستند. آفت‌کش بردو نیز قارچ‌کشی بسیار باکیفیت و پرکاربرد است که از ترکیبات مس می‌باشد. بیشتر آفت‌کش‌ها، قابلیت انحلال‌پذیری بالای در آب‌دارند و با آب نیز شسته خواهند شد، این امر بزرگ‌ترین مانع برای استفاده گسترده از آن‌ها می‌باشد. در سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری برای تثبیت بورن در چوب صورت گرفته است. ازجمله تیمارهای حرارتی ثانویه، ترکیب بورن به‌عنوان افزودنی در انواع رزین‌های استفاده‌شده برای اشباع چوب. در همین زمینه، Pizzi وBeaker (۱۹۹۶) مکانیسمی را ابداع کردند که بر اساس آن اسید بوریک برای تحریک واکنش‌های خودترانمی تانن طبیعی مورداستفاده قرارگرفته بود. استفاده از روشی که بتواند موجب افزایش اثربخشی آفت‌کش‌ها شود و یا استفاده از این مواد با غلظت کمتر را ممکن کند، می‌توان آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف این مواد را تا حد ممکن کاهش داد [۱۷]. الکتروهیدرودینامیکی، یک فناوری برای کپسوله کردن است. الکتروریسی از روش‌های رایج تولید میکرو و نانوالیاف پلیمری است که به دلیل فرآیند آسان، هزینه کم و در دسترس بودن، در هر دو حوزه آزمایشگاهی و صنعتی به‌خوبی توسعه‌یافته است. بررسی اثر استیلاسیون بر مقاومت زیستی تخته خرده چوب ساخته‌شده از لایه‌های چوب صنوبر حاکی از افزایش مقاومت زیستی تخته‌های ساخته‌شده در برابر قارچ رنگین‌کمان بود [۸]. همچنین، در مطالعه Bhatt & Tripathi(۲۰۲۱) مشخص شد اسید دارای سیلیس روی آبشویی بورون در تخته لایه سبب کاهش میزان آبشویی و افزایش تثبیت بورون در لایه‌های تشکیل‌دهنده تخته‌ها گردید [۱۸]. Jamsaو همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به بررسی استفاده از کپسوله کردن آفت‌کش‌ها به‌منظور افزایش طول عمر آن‌ها و همچنین تأثیر این آفت‌کش‌ها در برابر حمله قارچ‌ها پرداختند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد کپسوله کردن آفت‌کش‌ها طول عمر آن‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین در بلندمدت آفت‌کش‌های کپسوله شده باعث جلوگیری از رشد قارچ شده است بعلاوه، مطالعات میکروسکوپی نیز نشان داد که رنگ قرمز و بنزوات سدیم در داخل کپسول وارد شدند [۱۹]. تکنیک کپسوله کردن در صنایع دارویی و غذایی بسیار پرکاربرد و شناخته‌شده

[1]American Wood Preservation Association

است. لذا در این تحقیق، کپسوله کردن آفت‌کش‌ها و استفاده از آن‌ها جهت حفاظت تخته لایه ساخته‌شده از چوب صنوبر با توجه به دوام طبیعی کم، سهولت دسترسی و منابع موجود چوب صنوبر در ایران موردبررسی قرار گرفت. درواقع، استفاده از روش کپسوله کردن مواد حفاظتی (اسید بوریک و قارچ‌کش بردو) در داخل پوسته‌های پلیمری (با استفاده از پلیمرهای زیستی) با استفاده از تکنیک الکترواسپینیگ از دیگر جنبه‌های نوآوری این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

مواد

لایه‌های گونه چوبی صنوبر (*Populus deltoides*) برای ساخت تخته لایه‌ها از کارگاه فراورده‌های مرکب علوم صنایع چوب و کاغذ (دانشگاه تهران) تهیه شدند. لایه‌های حاصل از فرآیند لوله بری از صنوبر با ابعاد اسمی (ضخامت) ۲mm × (عرض) ۴۵۰mm × (طول) ۴۵۰mm در حالت هوا خشک برای ساخت تخته لایه‌ها انتخاب شدند. در این مطالعه شرایط هوا خشک به مشروط سازی در محیط مسقف و کنترل نشده به مدت حداقل یک ماه گفته خواهد شد. چسب اوره فرمالدئید (UF) جهت ساخت تخته لایه‌ها از شرکت چسب البرز تهیه شد. مواد شیمیایی ازجمله: نانو کیتوزان، اسید بوریک و قارچ‌کش بردو از شرکت سیگما آلدریچ (آمریکا) خریداری شدند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد شیمیایی مورداستفاده (نانو کیتوزان، اسیدبوریک و ترکیبات بردو) در جدول ۱ نشان داده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد مورداستفاده.

نوع ماده	حالت ماده	نام‌گذاری	فرمول شیمیایی	درصد خلوص (٪)	وزن مولکولی (g/mol)	چگالی (g/cm^3)
نانوکیتوزان	جامد	Chitosan	$C_6H_{11}NO_4$	۹۹/۵	۹۶/۰۹	۱/۱۵۸
اسیدبوریک	پودر سفید	Trihydroxido Boron	H_3BO_3	-	۶۱/۸۳	۱/۴۳۵
قارچ‌کش بردو ۲۰٪	سوسپانسیون	bordeaux	-	-	-	۱/۳۳

روش‌ها

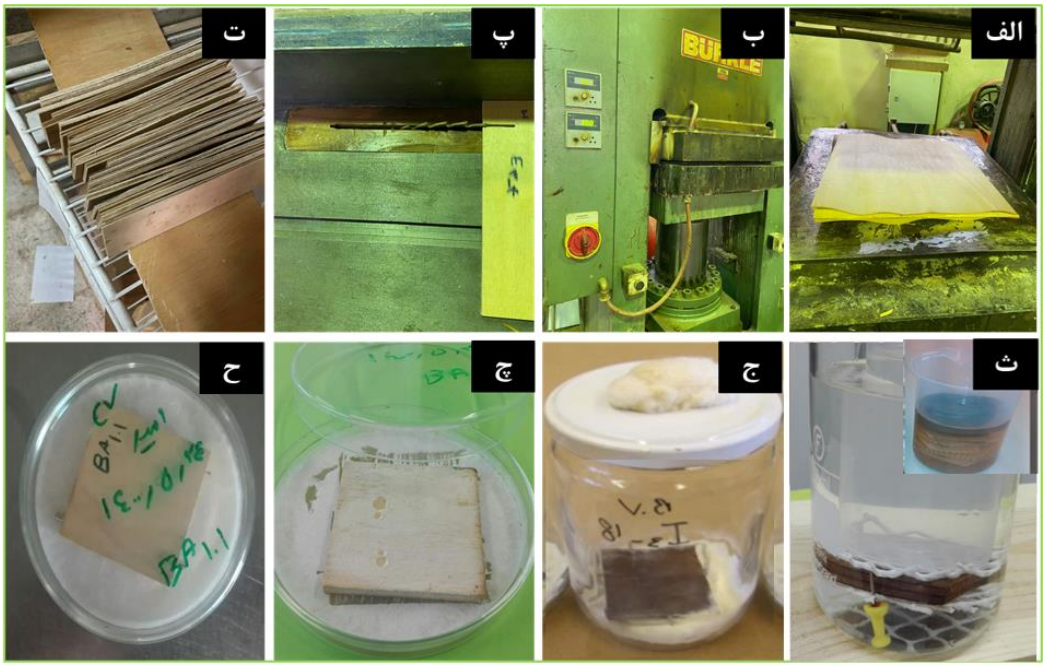
در این پژوهش ابتدا محلول ۳۰ درصد کیتوزان محلول در آب تهیه شد، در ادامه ۰٫۵ درصد بوریک اسید یا بردو به محلول اضافه شد. از محلول به‌دست‌آمده مقداری داخل سرنگ دستگاه ریخته و سپس با استفاده از دستگاه الکتروریسی با ولتاژ متغیر +۱۲ تا +۲۰ با سرعت ۰/۵ میلی‌لیتر در ساعت اسپری شدند. بعد از اسپری رشته‌های (کپسوله‌های) تولیدشده از صفحه دستگاه برداشته شدند و به‌عنوان افزودنی حفاظتی در غلظت‌های ذکرشده استفاده شدند.

تیمار لایه‌ها

در گام نخست، لایه‌های چوبی در خشک‌کن آزمایشگاهی با دمای ۲± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد تا وزن ثابت خشک شدند. سپس، لایه‌ها در داخل محلول اشباع به مدت ۳۰ دقیقه تحت خلأ ۸ میلی بار قرار گرفتند تا حباب‌های هوا از داخل سلول‌های چوب خارج گردد. در ادامه فشار ۵ بار به مدت ۲ ساعت اعمال شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل محلول اشباع رها شدند. نمونه‌ها بعد از تیمار به‌سرعت توزین شدند. سپس لایه‌ها به داخل آون ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد جهت خشک شدن انتقال یافتند. لایه‌ها پس از خشک شدن به‌منظور تعیین وزن خشک دوباره توزین شدند.

ساخت تخته‌لایه با لایه‌های تیمار شده

پس از یک هفته مشروط سازی لایه‌ها در شرایط استاندارد (رطوبت نسبی ۶۵ درصد، دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد)، لایه‌ها چسب‌زنی شده به‌صورت عمود بر الیاف در میان دولایه دیگر قرار گرفتند. فشار پرس، دما و زمان آن به ترتیب ۱/۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع، ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۸ دقیقه بود. قبل از برش و نمونه‌گیری تخته‌ها در اتاق کلیما مشروط سازی شدند و تحت آزمون‌های مختلف فیزیکی و بیولوژیکی قرار گرفتند. مراحل انجام کار در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۱. مراحل انجام کار الف) ساخت تخته‌ها، ب) قراردادن در دستگاه پرس و اعمال فشار، پ) برش تخته‌ها، ت) مشروط سازی تخته‌ها، ث) آبشویی نمونه‌ها، ج) قراردادن نمونه در ظرف کشت، چ و ح) نمونه‌های کشت‌شده.

بررسی خصوصیات تخته‌ها

ویژگی‌های فیزیکی

آزمون‌های فیزیکی شامل دانسته، واکشیدگی و جذب آب اندازه‌گیری شدند. قبل از انجام آزمون‌ها، نمونه‌ها به مدت یک ماه در شرایط استاندارد کلیماتیزه شدند. برای هر گروه از تخته‌ها ۱۰ نمونه (تکرار) جهت بررسی ویژگی-های فیزیکی استفاده گردید. برای اندازه‌گیری دانسته از با استاندارد EN 323 (۱۹۹۳) استفاده گردید. همچنین واکشیدگی و جذب آب نمونه‌ها مطابق با استاندارد EN 317 (۱۹۹۳) با اندازه‌گیری ابعاد و وزن نمونه‌ها بعد از غوطه‌وری کامل آنها برای ۲ و ۲۴ ساعت در آب به دست آمد.

آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) جهت شناسایی گروه‌های عاملی لایه‌های چوب صنوبر و تغییرات ماهیت شیمیایی آنها طی فرایند تیمار با آفت‌کش‌های استفاده شد. این آزمون با استفاده از دستگاه مدل Tensor 27ساخت شرکت Bruker آمریکا در آزمایشگاه مرکزی دانشکده علوم پایه دانشگاه تهران انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که جهت انجام این آزمون از نمونه‌ها پودر تهیه شد. طیف‌سنجی در دامنه عدد موجی cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ و ۶۵ اسکن در هر ثانیه انجام شد.

آزمون قارچ

آزمون قارچ بر اساس استاندارد ENV 12038 (۲۰۰۳) انجام شد. سه نمونه تخته‌لایه با ابعاد ۵۰ ×۵۰ میلی‌متر با ۵ تکرار برای هر تیمار مورداستفاده قرار گرفت. نمونه‌ها به مدت ۱۶ هفته در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد در مجاورت قارچ *Trametes versicolor* قرار گرفت و سپس درصد کاهش وزن نمونه‌ها (WL%) بر مبنای وزن خشک اولیه با استفاده از معادله ۲ تعیین شد. از درصد کاهش وزن به‌عنوان معیاری جهت اندازه‌گیری شدت حمله قارچ استفاده شد. عمل استریل با استفاده از اتوکلاو دمای ۱۲۰ + ۵ درجه به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. از نمونه‌های صنوبر (*Populus deltoides*) با ابعاد استاندارد $15mm^3$× ۲۵ × ۵۰ (مماسی×شعاعی×طولی) به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد.

$$WL\ \% = \frac{m_1 - m_3}{m_1} \times 100 \qquad (۲)$$

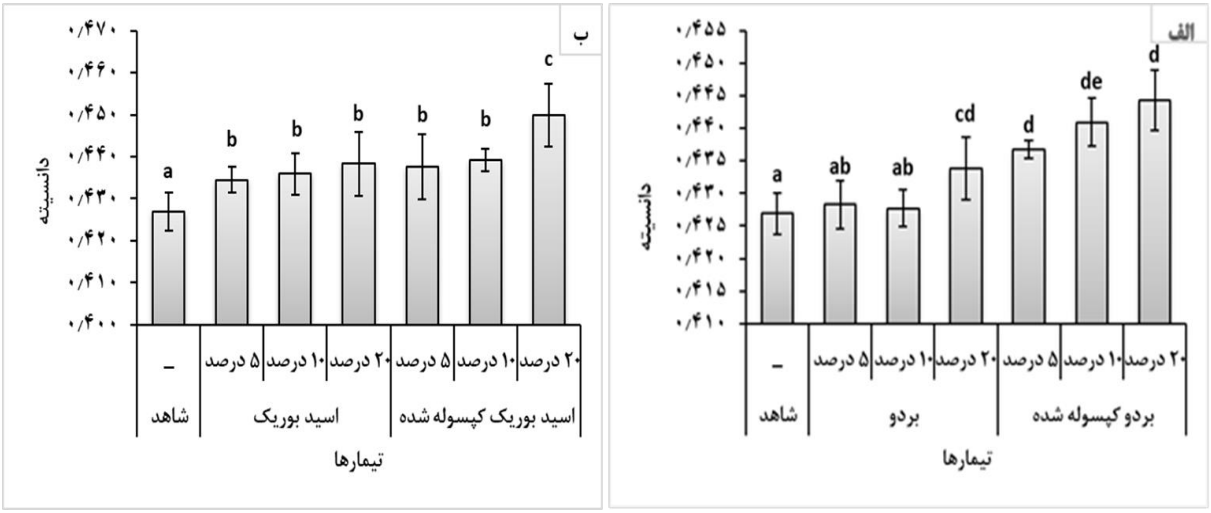
آنالیز آماری

برای تحلیل داده‌ها از برنامه آماری SPSS (ورژن ۱۹,۰) استفاده شد. داده‌ها به روش تجزیه‌وتحلیل واریانس (ANOVA) مورد ارزیابی قرار گرفتند و تفاوت بین میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

دانسته تخته لایه‌های تیمار شده با بردو و ترکیبات اسیدبوریک

نتایج حاصل از بررسی تأثیر افزودنی محلول قارچ‌کش بردو و ترکیبات اسیدبوریک برروی دانسته برای تخته لایه‌ها در شکل۲ (الف و ب) نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل ۲ (الف) مشاهده می‌شود دانسته تخته‌ها افزایش اندکی با افزایش غلظت محلول اشباع در هردو حالت کپسوله شده و کپسوله نشده نشان داد. تأثیر اضافه نمودن محلول بردو در غلظت‌های پایین‌بر روی دانسته نمونه‌ها قابل‌توجه نبود. این می‌تواند به خاطر اضافه نمودن بسیار اندک بردو و عدم تفاوت بسیار زیاد آن بین تیمارها باشد. و با افزایش غلظت محلول اشباع دانسته نیز اضافه‌شده است. کپسوله کردن هم به‌صورت معنی‌داری بر روی دانسته تأثیر دارد. همچنین گروه‌بندی دانکن میانگین داده‌ها را در چهار گروه متفاوت دسته‌بندی کرده است. نتایج حاصل از بررسی تأثیر افزودنی بوریک اسید برروی دانسته برای دو حالت کپسوله شده و کپسوله نشده بر روی تخته لایه‌ها در شکل ۲ (ب) نشان داده‌شده است. دانسته با افزایش غلظت اسید بوریک به‌عنوان محلول اشباع در هردو حالت کپسوله شده و کپسوله نشده به‌صورت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش‌یافته است. همچنین، گروه‌بندی دانکن انها را در گروه ای مجزا دسته بندی می‌کند. و با افزایش غلظت محلول اشباع، دانسته نیز افزایش‌یافته است اما معنی دار نبوده و در یک گروه قرار دارند. کپسوله کردن هم در غلظت‌های بالا به‌صورت معنی‌داری بر روی دانسته تأثیر دارد.

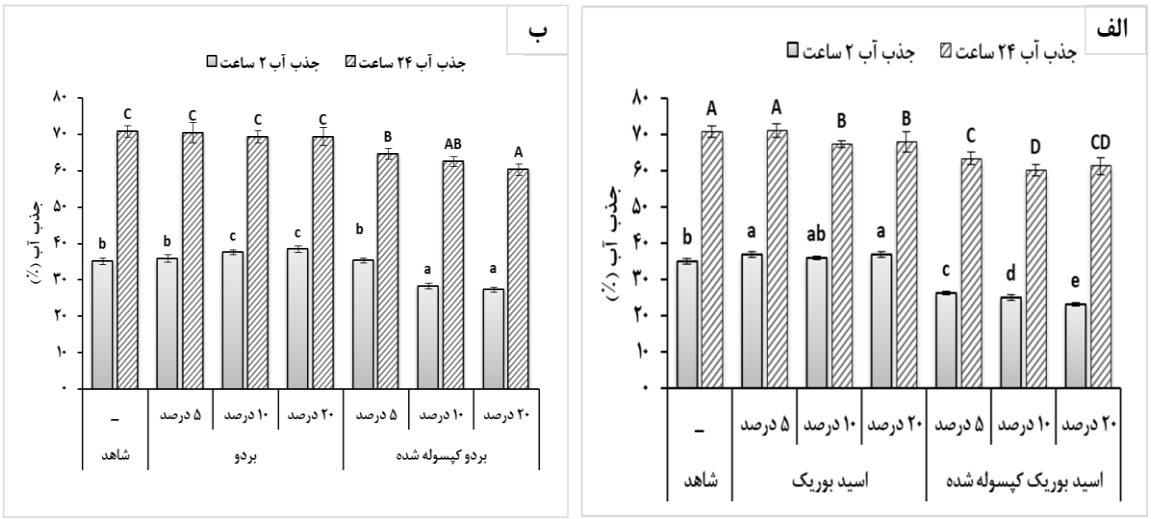


شکل ۲. مقادیر دانسته تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده الف) با محلول بردو و ب) با ترکیبات اسید بوریک

جذب آب تخته لایه‌های تیمار شده با بردو و ترکیبات اسیدبوریک

شکل ۳ (الف و ب) داده‌های به‌دست‌آمده برای مقادیر جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب برای تخته‌های تیمار شده با اسید بوریک و بردو را نمایش می-دهد. شکل ۳ (الف) مقادیر جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب برای تخته‌های تیمار شده با اسید بوریک را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر جذب آب با افزایش زمان غوطه‌وری در آب افزایش‌یافته است. افزودن اسید بوریک بدون کپسوله شده تأثیری بر میزان جذب آب ندارد، با افزایش غلظت اسید بوریک از میزان جذب آب می‌کاهد که بیشتر به دلیل رسوب پودر

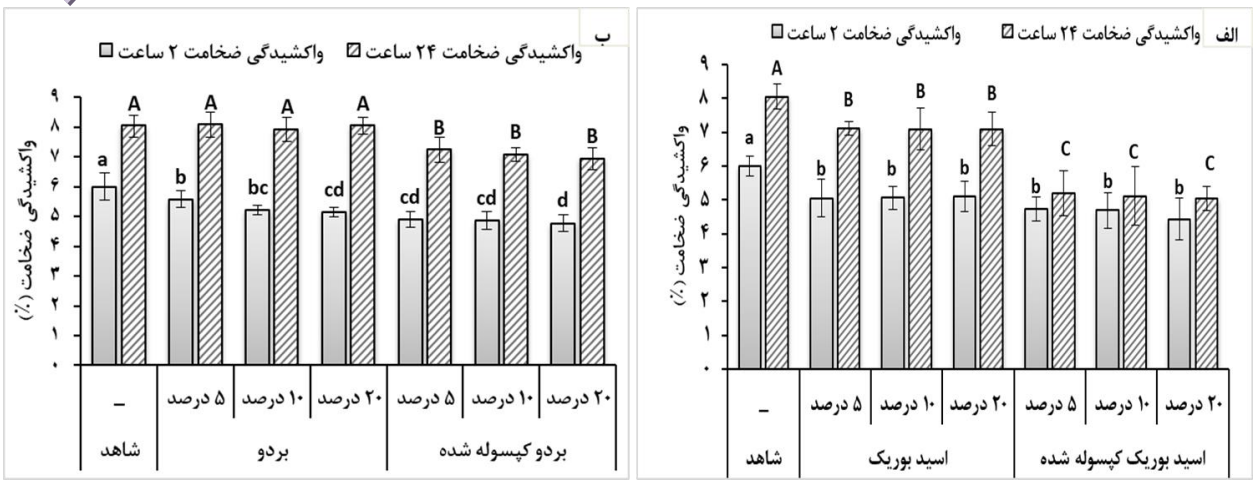
اسید بوریک در حفرات و دیواره سلولی می‌باشد. اما کپسوله کردن اسید بوریک به‌صورت معنی‌داری از میزان جذب آب می‌کاهد. آزمون تجزیه واریانس اختلاف معنی-داری برای تأثیر غلظت و نقش کپسوله کردن مواد در فرمول‌های مختلف بر روی مقادیر جذب آب نشان داده است. گروه‌بندی دانکن نیز میانگین داده‌ها را قبل و بعد از کپسوله کردن اسید بوریک در پنج گروه مختلف دسته-بندی کرده است. مقادیر جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب برای تخته‌های تیمار شده با بردو در دو حالت کپسوله شده و کپسوله نشده در شکل ۲ (ب) نمایش داده‌شده است. مقادیر جذب آب با افزایش زمان غوطه‌وری در آب افزایش‌یافته است. افزودن بردو به‌عنوان آفت‌کش اگرچه باعث افزایش اندک جذب آب در تخته‌ها خواهد شد اما افزودن تأثیر آن بر میزان جذب آب معنی‌داری نبود. بر اساس آزمون تجزیه واریانس کپسوله کردن محلول بردو مشابه تیمار اسید بوریک کپسوله شده به‌صورت معنی‌داری از میزان جذب آب می‌کاهد که این امر به دلیل پلیمر کیتوزان می‌باشد، وجود پلیمر کیتوزان باعث آب‌گریزی لایه‌ها شده است. گروه‌بندی دانکن نیز میانگین داده‌ها را قبل و بعد از کپسوله کردن اسید بوریک در چهار گروه مختلف دسته بندی کرده است.



شکل ۳. مقادیر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده الف) با ترکیبات اسید بوریک و ب) با محلول بردو

واکشیدگی ضخامت تخته لایه‌های تیمار شده با بردو و ترکیبات اسیدبوریک

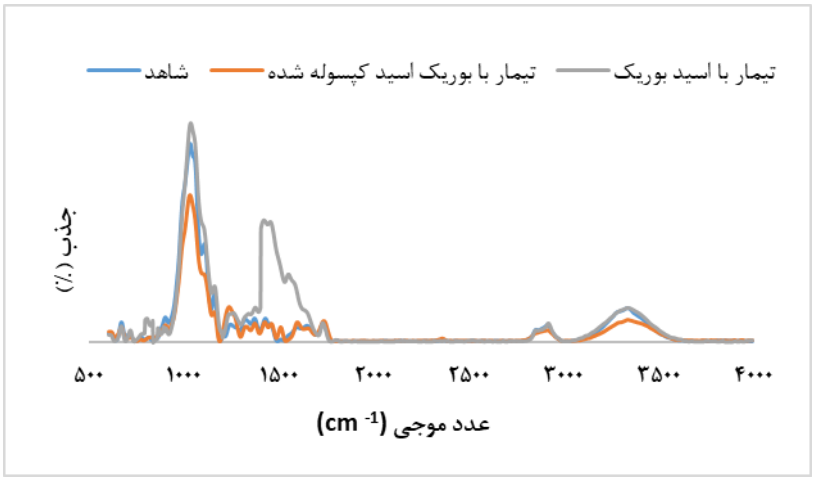
نتایج واکشیدگی ضخامت تخته لایه‌های تیمار شده با بردو و ترکیبات اسیدبوریک در شکل ۴ (الف و ب) نمایش داده‌شده است، افزایش غلظت اسید بوریک تأثیر معنی-داری بر واکشیدگی ابعاد ندارد. آنالیز واریانس اختلاف‌های معنی‌داری بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تیمارشده با اسید بوریک کپسوله شده بعد از غوطه‌وری ۲ ساعت و ۲۴ ساعت را آشکار کرده است. تیمار لایه‌ها با اسید بوریک تأثیر معنی‌داری بر واکشیدگی ضخامت ندارد و گروه‌بندی دانکن آنها را در یک گروه قرارداده است، اما کپسوله کردن به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش واکشیدگی ضخامت تخته‌ها شده است و گروه‌بندی دانگن تیمارهای انجام‌شده با اسید بوریک کپسوله شده را در یک گروه مجزا و نمونه‌های دسته‌بندی‌شده است (شکل۳ (الف)). نتایج واکشیدگی ابعاد تخته‌های تیمار شده با بردو در دو حالت کپسوله شده و کپسوله نشده در شکل ۳ (ب) نشان داده‌شده است. افزایش غلظت اولیه محلول حفاظتی تأثیر قابل‌توجهی بر روی ثبات ابعاد تخته‌ها ندارد. اما طبق نتایج آزمون تجزیه واریانس اختلاف‌ها معنی‌داری بین ثبات ابعاد نمونه‌های تیمارشده با بردو کپسوله شده و کپسوله نشده بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری وجود دارد و آزمون دانکن نیز میانگین‌ها را در دو گروه مختلف قرارداد. در ۲ ساعت اول گروه‌بندی دانکن میانگین نمونه‌ها را در چهار گروه دسته بندی کرده است.



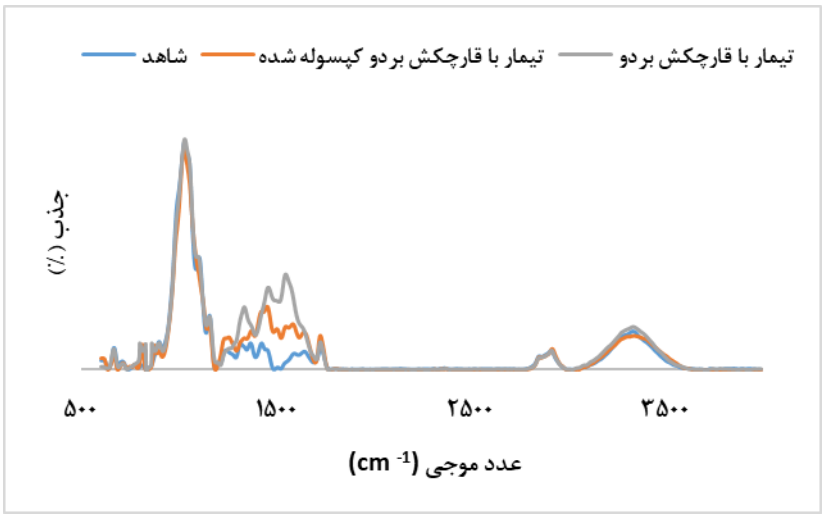
شکل ۴. مقادیر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده الف) با ترکیبات اسید بوریک و ب) با محلول بردو

طیف‌سنجی مادون قرمز

در شکل۵ (الف و ب) طیف‌های FTIR در دامنه گسترده‌تر cm^{-1} ۳۸۰۰ – ۴۰۰ برای لایه‌های چوبی صنوبر و لایه‌های تیمارشده با آفت‌کش‌های بردو و اسید بوریک کپسوله شده با پلیمر کیتوزان نمایش داده‌شده است. پیک جذب در عدد موجی cm^{-1} ۱۲۴۵ نشان‌دهنده ارتعاشات کششی C-O در لیگنین و همی سلولزها است. پیک جذب در عدد موجی cm^{-1} ۱۵۱۶ می‌تواند مربوط به ارتعاشات آروماتیک و مواد استخراجی باشد [۲۰،۲۱]. پیک cm^{-1} ۳۰۵۰-۳۳۰۰ در چوب تیمار شده با بوریک وسعت بیشتری دارد. این پیک مرتبط با تعداد گروه‌های هیدروکسیل آزاد است. پیک جذب پهن واقع در محدوده بین cm^{-1} ۳۷۰۰ -۳۱۰۰ مربوط به ارتعاش کششی O-H. همچنین حضور بوریک‌اسید در برخی از تیمارها سبب افزایش آب‌دوستی چوب پلیمر حاصله می‌شود. درواقع این باند نسبتاً پهن را می‌توان به مونومرهایی مانند بوریک اسید نسبت داد که گروه O-H ممکن است پیوندهای هیدروژنی با گروه‌های عاملی واکنش‌پذیر همچون NH_2 و NH تشکیل دهد. بعلاوه، پیک‌های محدوده ۱۰۵۰-۳۵۰۰ در نمونه‌های تیمار شده آفت‌کش‌های کپسوله شده با پلیمر کیتوزان شدت و گسترش کمتری داشته است که این امر به دلیل از دسترس خارج کردن گروه‌های هیدواکسیل باشد. پیک‌های cm^{-1} ۱۳۲۴، ۱۳۶۸ و ۱۴۲۳ نشان‌دهنده پیوندهای کریستالیته سلولز است که در همه نمونه‌های تیمارشده با حضور پلیمر کیتوزان کاهش‌یافته است. پیک cm^{-1} ۸۹۸ ارتعاش نامتقارن حلقه‌های سلولز را نشان می‌دهد که در نمونه‌های تیمارشده کاهش پیداکرده است. پیک cm^{-1} ۷۱۰ مربوط به ارتعاش گروه‌های هیدروکسیل است که در این مطالعه بعد از تیمارهای انجام‌شده با آفت‌کش‌های کپسوله شده کاهش پیداکرده است. طیف در نواحی بین cm^{-1} ۱۰۰۰-۱۲۵۰ مربوط به تری پلی فسفات است و دو پیک در cm^{-1} ۱۵۶۷-۱۴۱۱ مربوط به گروه خمشی NH_4^+ است و این پیک‌ها نشان‌دهنده کنش بین گروه‌های آمین کایتوزان می‌باشند [۲۲].



(الف)



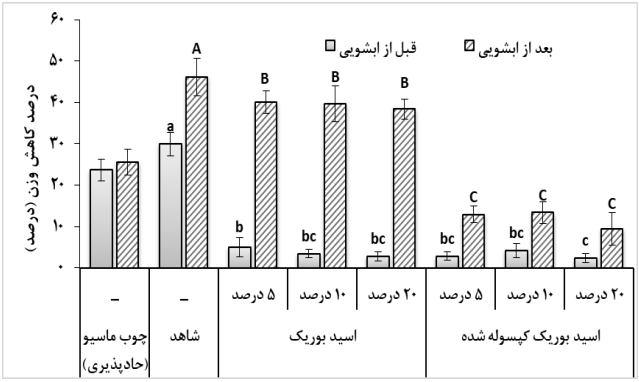
(ب)

شکل ۵. نمودار FTIR الف) لایه صنوبر شاهد و تیمارشده با اسید بوریک کپسوله شده و ب) لایه صنوبر شاهد و تیمارشده با آفت‌کش بردو کپسوله شده

آزمون قارچ تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده با بوریک اسید

نتایج آزمون قارچ قبل و بعد از آبشویی برای تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده با بوریک اسید در شکل ۶ نمایش داده‌شده است. ابتدا میانگین کاهش وزن نمونه‌های شاهد چوب صنوبر حداقل کاهش وزن لازم بیش از (۲۰ درصد) برای تأیید نتایج آزمون قارچ بر اساس استاندارد EN 12038 (۲۰۰۳) را دارا می‌باشند. بنابراین نتایج آزمون‌های قارچ در این مطالعه تأیید می‌شود و نشان می‌دهد قارچ استفاده‌شده به‌اندازه کافی سالم و تهاجمی بود. کاهش وزن نمونه‌های چوب ماسیو صنوبر به‌خوبی نشان داد که این دو گونه چوبی مطابق با استاندارد XP Cen TS 15083-1 (۲۰۰۶) دارای دوام طبیعی کم می‌باشند. به‌طور ویژه قارچ Trametes versicolor نیاز به رطوبت بیشتری برای رشد نسبت به قارچ پوسیدگی قهوه‌ای از قبیل Coniophora puteana دارد [۲۳]. تخته لایه‌های ساخته‌شده با لایه‌های فاقد اسید بوریک و آفت‌کش بردو هیچ مقاومتی در برابر حمله قارچی نشان ندادند و کاهش وزن آنها هم بیشتر از نمونه‌های شاهد بود (بیش از ۲۵ درصد کاهش وزن). نتایج آنالیز واریانس نشان داد تیمار لایه‌های صنوبر با اسید بوریک و ساخت تخته لایه با لایه‌های تیمار شده در فاصله اطمینان ۹۵ درصد به‌صورت معنی‌داری در برابر قارچ مقاوم است. افزایش در غلظت اسید بوریک (از ۵ به ۲۰ درصد)

به‌صورت اندکی باعث افزایش دوام تخته‌ها شده است اما معنی دار نبوده است. و گروه‌بندی دانکن میانگین داده‌ها را قبل از آبشویی در سه گروه مجزا دسته بندی می‌کند، تخته‌های فاقد اسید بوریک (بدون تیمار) در یک گروه طبقه‌بندی شدند. کمترین درصد کاهش وزن در تیمار شده با اسید بوریک کپسوله شده در غلظت ۲۰ درصد ثبت شد که در حدود ۲/۳۳ درصد بود. به‌طورکلی اسید بوریک منجر به کاهش وزن شد. یک تیمار حفاظتی باید باعث شود کاهش وزن به زیر ۳ درصد تنزل کند تا ازنظر استاندارد EN 12038 (2003) مؤثر تلقی شود. واکنش مرکب کی‌لیت آنیون بورات با آنزیم اکسیداز قارچ باعث تأثیر بیواستاتیک بورات از طریق مهار متابلویک شده و رشد قارچ را متوقف می‌کند [۲۴]. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود میزان کاهش وزن تخته‌های ساخته‌شده با لایه‌های تیمار شده با محلول‌های اسید بوریک پس‌ازاین آبشویی به‌شدت افزایش پیداکرده است و نزدیک به درصد کاهش وزن در نمونه‌های شاهد فاقد اسید بوریک بوده است. و بر اساس نتایج آنالیز واریانس اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تیمار شده با اسید بوریک وجود دارد. همچنین نمونه‌های تیمارشده با اسید بوریک کپسوله شده بعد از آبشویی مقدار کاهش وزن کمتر نسبت به نمونه‌های تیمارشده با اسید بوریک بدون کپسول نشان داده است. از این نتایج به‌خوبی آشکار است که تکنیک کپسوله کردن بعد از آبشویی اروپایی (EN 84) نسبت به نمونه‌های بدون کپسول عملکرد بهتری را نشان می‌دهد و کپسوله کردن قابلیت خوبی در کاهش آبشویی بورن دارد.

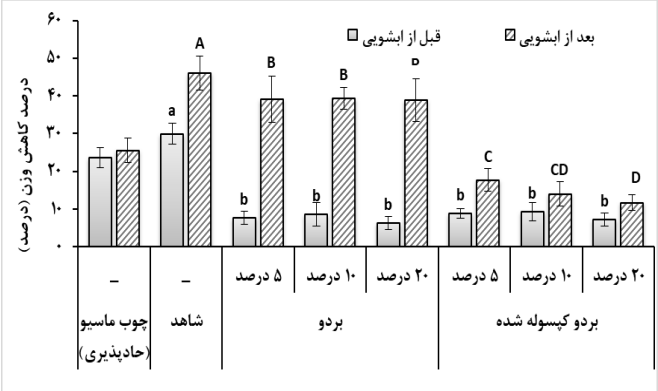


شکل ۶. کاهش وزن براثر تخریب توسط قارچ در تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده با اسید بوریک

آزمون قارچ تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده با آفت‌کش بردو

نتایج آزمون قارچ قبل و بعد از آبشویی برای تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده با آفت‌کش بردو در شکل ۷- نمایش داده‌شده است. در نتایج میانگین کاهش وزن نمونه‌های حاد پذیری بیش از (۲۰ درصد) گزارش شد و بنابراین مورد تأیید استاندارد EN 12038 (۲۰۰۳) می‌باشد. درواقع، نشان می‌دهد قارچ استفاده‌شده به‌اندازه کافی سالم و تهاجمی می‌باشد. تخته لایه‌های ساخته‌شده با لایه‌های فاقد آفت‌کش بردو (نمونه شاهد) هیچ مقاومتی در برابر حمله قارچی نشان ندادند و کاهش وزن آنها بیشتر از نمونه‌های حاد پذیری بود (بیش از ۳۰ درصد کاهش وزن). نتایج آنالیز واریانس نشان داد تیمار لایه‌های صنوبر با آفت‌کش در فاصله اطمینان ۹۵ درصد به‌صورت معنی‌داری در برابر قارچ مقاوم است. اما تأثیر افزایش غلظت آفت‌کش بردو (از ۵ به ۲۰ درصد) معنی دار نبوده است. گروه‌بندی دانکن میانگین داده‌ها را قبل از آبشویی در دو گروه مجزا دسته بندی می‌کند، تخته‌های شاهد (بدون تیمار) در یک گروه و نمونه‌های تیمار شده با محلول بردو کپسوله شده و کپسوله نشده در یک گروه طبقه‌بندی شدند. کمترین درصد کاهش وزن در نمونه‌های تیمار شده با محلول قارچ‌کش بردو در غلظت ۲۰ درصد ثبت شد که برابر ۶/۲۷ درصد بود. به‌صورت کلی آفت‌کش بردو باعث افت چشم‌گیر در مقادیر کاهش وزن شد. بعلاوه در شکل مشاهده می‌شود که میزان کاهش وزن تخته‌های ساخته‌شده با لایه‌های تیمار شده با محلول آفت‌کش بردو پس از آبشویی به‌شدت افزایش پیداکرده است و نزدیک به درصد کاهش وزن در نمونه‌های شاهد فاقد اسید بوریک

بوده است. و این به دلیل آبشویی آفت‌کش بردو از نمونه‌ها می‌باشد، در نمونه‌های تیمارشده با محلول آفت‌کش بردو کپسوله شده بعد از آبشویی عملکرد خود را همچنان حفظ کرده و مقدار کاهش وزن کمتری نسبت به نمونه‌های تیمارشده با آفت‌کش معمولی (کپسوله نشده) نشان داده است. از این نتایج به‌خوبی قابل‌مشاهده است که کپسوله کردن آفت‌کش بردو باعث بهبود عملکرد آفت‌کش در طول آبشویی خواهد شد. و بر اساس نتایج آنالیز واریانس اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تیمار شده با آفت‌کش بدو در دو حالت معمولی و کپسوله شده وجود دارد. و گروه‌بندی دانکن انها را در چهار گروه مختلف دسته بندی می‌کند.



شکل ۷. کاهش وزن براثر تخریب توسط قارچ در تخته لایه‌های صنوبر تیمار شده با آفت‌کش بر

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش کپسوله کردن آفت‌کش جهت اعمال بر روی لایه‌های چوبی سبب کاهش قابل‌توجه میزان آبشویی ترکیبات بورن، افزایش مقاومت در برابر قارچ پوسیدگی سفید و کاهش واکشیدگی ضخامت تخته‌ها گردید. استفاده از بردو به‌عنوان آفت‌کش سبب افزایش اندک جذب آب در تخته-ها شد اگرچه این تأثیر به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. کپسوله کردن با استفاده از محلول بردو و تیمار اسید بوریک، میزان جذب آب را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می-دهد. از طرفی، با افزایش غلظت محلول اشباع (در هردو حالت کپسوله شده و کپسوله نشده)، دانسته تخته‌ها افزایش اندکی یافت، اگرچه تأثیر افزودن محلول بردو در غلظت‌های پایین‌بر روی دانسته نمونه‌ها قابل‌توجه نبود. کپسوله کردن به‌صورت معنی‌داری بر روی دانسته تأثیر دارد. با افزایش غلظت اسید بوریک دانسته به‌عنوان محلول اشباع در هردو حالت کپسوله شده و کپسوله نشده به‌صورت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش یافت.

منابع

[1] Xie, L., Tang, Z., Jiang, L., Breedveld, V., & Hess, D. W., 2015. Creation of superhydrophobic wood surfaces by plasma etching and thin-film deposition. Surface and coatings technology, 281, 125-132.

[2] Himmel, S., & Mai, C., 2016. Water vapour sorption of wood modified by acetylation and formalisation–analysed by a sorption kinetics model and thermodynamic considerations. Holzforschung, 70(3), 203-213.

[3] Köhler, R., Sauerbier, P., Ohms, G., Viöl, W., & Militz, H., 2019. Wood protection through plasma powder deposition-An alternative coating process. Forests, 10(10), 898.

[4] Bahmani, M., & Schmidt, O. 2018. Plant essential oils for environment-friendly protection of wood objects against fungi. Maderas. Ciencia y tecnología, 20(3), 325-332.

[5] Bahmani, M., Schmidt, O., Fathi, L., & Frühwald, A. 2016. Environment-friendly short-term protection of palm wood against mould and rot fungi. Wood Material Science & Engineering, 11(4), 239-247.

[6] Chu, Demiao, Redžo Hasanagić, Atif Hodžić, Davor Kržišnik, Damir Hodžić, Mohsen Bahmani, Marko Petrič, and Miha Humar. 2022. Application of Temperature and Process Duration as a Method for Predicting the Mechanical Properties of Thermally Modified Timber. Forests, 13(2), 217.

[4] Zanini, S., Riccardi, C., Orlandi, M., Fornara, V., Colombini, M. P., Donato, D. I., ... & Palleschi, V., 2008. Wood coated with plasma-polymer for water repellence. Wood Science and Technology, 42(2), 149-160.

[5] Doosthoseini, K., Ghorbani, K. M., Mohamadalibeik, S., & Karimi, A. N., 2011. Investigation on the effect of acetylation and the resin type on the biological resistance of aspen tree layered particleboard. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 26(3), 466-476.

[6] Zabel, R. A. and Morrell, J. J., 2012. Wood microbiology: decay and its prevention. Academic press.

[7] Sobhani Oskooi, F., Ghorbani, M. and Amini Nasab, S., 2017. Mechanical behavior and biological resistance of wood-acrylonitrile polymer modified with alkoxysilane. Wood and Forest Science and Technology Research, 24(1): 103-116. (In Persian)

[8] Sotsek, N. C., & Santos, A. D. P. L., 2018. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. Ambiente construído, 18, 309-326.

[9] Tufolo Netto, H., 2010. Benefícios do uso da madeira de reflorestamento tratada para a construção civil. 2010. 47 p. Monografia (Especialização em Gestão Empresarial)–Instituto Nacional de Pós Graduação, São Paulo.

[10] Dos Santos, H. S., Ferrarini, S. F., Flores, F. Q., Pires, M. J., Azevedo, C., Coudert, L., & Blais, J. F., 2018. Removal of toxic elements from wastewater generated in the decontamination of CCA-treated Eucalyptus sp. and Pinus canadense wood. Journal of Material Cycles and Waste Management, 20(2), 1299-1309.

[11] Efhami Sisi, D. and Hamzeh. Y., 2017. Borates and their application in the protection of wooden composites. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 9 (3): 411-428. (In Persian)

[12] Freeman, M. H., Mcintyre, C. R. and Jackson, D., 2009. A critical and comprehensive review of boron in wood preservation. In proceedings of the American Wood Protection Assoc, 105: 279–294.

[13] Clausen, C., 2012. Enhancing durability of wood-based composites with nanotechnology. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report, FPL-GTR-218: 8-12.

[14] Pizzi, A. and Baecker, A., 1996. A new boron fixation mechanism for environment friendly wood preservatives. Holzforschung, 50(6): 507–510.

[15] Bhatt, S. and Tripathi, S., 2021. Effect of silicic acid on boron leaching in plywood manufacture.

[16] Jämsä, S., Mahlberg, R., Holopainen, U., Ropponen, J., Savolainen, A. and Ritschkoff, A. C., 2013. Slow release of a biocidal agent from polymeric microcapsules for preventing biodeterioration. Progress in Organic Coatings, 76(1): 269-276.

[17] Ganne-Chédeville, C., Jääskeläinen, A. S., Froidevaux, J., Hughes, M., and Navi, P., 2012. Natural and artificial ageing of spruce wood as observed by FTIR-ATR and UVRR spectroscopy. Holzforschung, 66(2): 163-170.

[18] Yildiz, S., Yildiz, U. C. and Tomak, E. D., 2011. The effects of natural weathering on the properties of heat-treated alder wood. BioResources, 6(3): 2504-2521.

[19] Asghari, S. M., Ebrahimi Samani, S., Siraj, Z., Khajeh, Kh. and Hosseinkhani. S.,2013. Optimization of chitosan nanoparticle synthesis. Biotechnology of Tarbiat Modares University 4(2): 29-21. (In Persian)

[20] Smith, W. R. and Wu, Q., 2005. Durability improvement for structural wood composites through chemical treatments current state of the art. Forest Products Journal, 55(2): 8–17.

[21] Lebow, S. T., 2010. Wood Handbook, Chapter 15: Wood preservation. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 43p.

Investigation of Decay Resistance of Poplar Plywood with Encapsulated Pesticides

Abstract

Borons and copper-based compounds are compounds used as pesticides and fungicides. One of the main problems of these compounds is that they easily be washed. Therefore, the main purpose of this study is to stabilize and reduce the leaching of protective materials using the encapsulation method. The encapsulation method of pesticides (boric acid and Bordeaux) was performed by natural chitosan polymer via electrospinning method and the compounds were used to treat poplar wood layers and make plywood. To evaluate the performance of the final product, physical tests (density, thickness swelling and water absorption), Fourier transform infrared spectroscopy and fungal tests were performed. The results showed that despite the low load of boric acid and pesticide, the performance of the layers was effective against fungal degradation. However, after severe leaching, their performance was reduced. The layers treated with the encapsulated pesticides retain their function as a pesticide against the fungus after washing. In general, the results showed that the technique of encapsulating pesticides can significantly reduce their leaching and on the other hand leads to maintain the function of pesticides.

Keywords: Plywood, Pesticide, Encapsulation, Physical properties, Fungal test.

M. Piri[1]
M. Dahmardeh Ghalehno[2*]
S. R. Farrokhpayam[3]
M. Bahmani[4]

[1] MSc. Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[2] Assistant Prof, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[3] Associate Prof, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[4] Associate Prof, Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Corresponding author:
mmdahmardeh@uoz.ac.ir

Received: 2022/02/12
Accepted: 2022/07/10