

بررسی ویژگی‌های فیزیکی چوب صنوبر (*Populus deltoides*) اصلاح‌شده با گلو تار آلدئید/پارافین

چکیده

در پژوهش حاضر اثر اصلاح ترکیبی گلو تار آلدئید/پارافین بر خواص فیزیکی چوب صنوبر بررسی شد. اصلاح با گلو تار آلدئید در ۳ غلظت ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد در حضور کاتالیزور کلرید منیزیم و متعاقباً، اشباع نمونه‌های اصلاح ترکیبی با پارافین به روش خلا-فشار انجام شد. بر اساس نتایج طیف‌سنجی، واکنش گلو تار آلدئید با پلیمرهای چوب به افزایش گروه‌های متیلنی و کاهش گروه‌های هیدروکسیل انجامید. دو شاخه‌شدن پیک گروه هیدروکسیل با افزایش غلظت گلو تار آلدئید از ۱۰ به ۲۰ درصد، مؤید تشکیل همی‌استال بود که طی آزمون دوره‌ای غوطه‌وری- خشک‌کردن، سریع‌تر از استال هیدرولیز و به کاهش وزن بیشتر منتهی شد. اصلاح گلو تار آلدئید با مسدود کردن گروه‌های هیدروکسیل و حجیم‌شدگی دیواره سلولی، موجب کاهش ورود آب به داخل چوب و با برقراری پیوند عرضی موجب کاهش انعطاف‌پذیری چوب جهت واکنشیدگی شد. پارافین نیز با کاهش اثر موئینگی، نفوذ آب به داخل چوب را تقلیل بخشید. عدم تثبیت پارافین در چوب و خروج آن، موجب افت وزن سطوح اصلاح ترکیبی با افزایش زمان غوطه‌وری گردید.

واژگان کلیدی: گلو تار آلدئید، پارافین، جذب آب، واکنشیدگی، طیف‌سنجی مادون قرمز.

ندا اسماعیلی^۱
مریم قربانی^{۲*}
پوریا بی‌پروا^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۳ استادیار گروه علوم پایه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مسئول مکاتبات:

ghorbani_mary@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱۳

مقدمه

چوب با گروه‌های هیدروکسیل فراوان موجود در دیواره سلولی، یک پلیمر آب‌دوست است و در فضای آزاد مستعد تخریب عوامل مخرب غیرزنده و زنده همچون هوازدگی و تخریب قارچی است که با تغییرات رطوبت چوب مرتبط است. جذب متفاوت بخار آب بین دیواره سلولی چوب آغاز و پایان یا چوب برون و چوب‌درون در ماده پلیمری هرسونایکسان چوب نیز به واکنشیدگی یا همکشیدگی غیرهمسان در ابعاد مختلف می‌انجامد [۱]. همچنین

تغییرات ابعاد ناشی از رطوبت می‌تواند تنش‌های داخلی در چوب ایجاد نماید که موجب ترک و شکاف می‌شود [۲]، [۳]. رطوبت، تخریب نوری سطح چوب در فضای آزاد را نیز تسریع می‌کند. در شرایط رطوبتی مناسب، رشد قارچ‌های مولد کپک و باختگی در سطح و داخل چوب به کاهش مقاومت مکانیکی چوب می‌انجامد. کنترل رطوبت چوب راهکاری مهم در افزایش عمر مفید چوب در فضای آزاد است. مکانیسم اصلاح چوب عمدتاً به حجیم‌شدگی دیواره سلولی، کاهش رطوبت و یا تغییرات ساختار مولکولی

پلیمرهای دیواره سلولی نسبت داده می‌شود [۴].

اصلاح شیمیایی یکی از راهکارهای تغییر خاصیت آب‌دوستی چوب بر اساس پیوند کووالانسی مواد شیمیایی با گروه‌های هیدروکسیل پلیمرهای دیواره سلولی، برقراری اتصال عرضی با پلیمرهای دیواره سلولی یا رسوب ترکیبات عمدتاً با وزن مولکولی بالا در دیواره سلولی است [۴]. در نتیجه گروه‌های هیدوکسیل آب‌دوست دیواره سلولی تا حدی مسدود می‌شود و منافذ ریز دیواره سلولی با مواد شیمیایی پر می‌شود. مسدود شدن گروه‌های هیدروکسیل، مکان‌های جذب آب را کاهش می‌دهد و رسوب مواد شیمیایی در دیواره سلولی، فضا برای حضور رطوبت را محدودتر می‌کند که متعاقباً دیواره سلولی خشک‌تر و پایداری ابعاد بیشتر می‌شود [۵].

گلو تار آلدئید یک دی‌آلدئید است که می‌تواند در واکنش با گروه‌های هیدروکسیل، به‌عنوان یک عامل برقراری اتصال عرضی برای اصلاح چوب استفاده شود [۶، ۷، ۸]. تیمار برون چوب کاج اسکات با گلو تار آلدئید و کلرید منیزیم به‌عنوان کاتالیزور، رطوبت تعادل را تا ۳۰ درصد کاهش داد. کارایی ضدواکسیدگی چوب اصلاح‌شده با گلو تار آلدئید در افزایش وزن ۲۰ درصد، ۷۰ درصد بود [۵]. در رطوبت نسبی ۹۰ درصد، ضریب ضدواکسیدگی برون چوب کاج اسکاتلندی اصلاح‌شده با گلو تار آلدئید، به دلیل حجیم‌شدگی دیواره سلولی و برقراری اتصال عرضی در ساختار چوب، ۷۰ درصد اندازه‌گیری شد [۸]. همچنین، اصلاح چوب با گلو تار آلدئید موجب کاهش تخریب لیگنین و ترک‌خوردگی سطحی در آزمون هوازدهگی گردید. گلو تار آلدئید در مقایسه با سایر اصلاح‌کننده‌های شیمیایی (مانند استیل‌ه کردن) توانست با جذب رطوبت کم‌تر فعالیت قارچ مولد لکه آبی را محدود نماید [۹]. اصلاح گلو تار آلدئید با ایجاد حجیم‌شدگی و برقراری اتصال عرضی در دیواره سلولی چوب می‌تواند حداکثر واکسیدگی و همکسیدگی را کاهش دهد [۸]. در این اصلاح، ساختار متخلخل چوب همچنان حفظ می‌گردد. اصلاح با ترکیبی که علاوه بر آب‌گریزی، بتواند تخلخل را کاهش دهد، احتمالاً تأثیر مطلوب‌تری بر خواص فیزیکی چوب خواهد داشت.

پارافین به‌عنوان یک ماده شیمیایی بی‌ضرر و آب‌گریز

مداول برای جلوگیری از جذب آب استفاده می‌شود [۱۰]. تیمار چوب با ترکیبات آب‌گریز پارافین با کاهش نرخ جریان آب در لوله‌های موئین؛ به افزایش معنی‌دار پایداری ابعاد چوب در شرایط مرطوب انجامید [۱۱، ۱۲]. تیمار به گروه اصلاح شیمیایی تعلق ندارد زیرا واکنش شیمیایی در تیمار رخ نمی‌دهد و پر شدن حفرات سلولی چوب نرخ جذب آب و رطوبت را کاهش می‌دهد [۱۳]. اشباع با پارافین فقط پرشدگی فیزیکی در منافذ بزرگ مانند حفره سلولی ایجاد می‌کنند. از این ترکیب برای کاهش آبشویی و بهبود تثبیت اسید بوریک و عملکرد آن در برابر قارچ پوسیدگی چوب استفاده شد [۱۴]. بر اساس نتایج اشباع چوب با چندین واکس دریافتند که این ترکیبات جذب رطوبت چوب در معرض هوازدهگی تسریع شده و تخریب نوری چوب را کاهش داد [۱۵]. چوب کاج اشباع‌شده با پارافین پایداری ابعاد، دانسیته و مقاومت در برابر موربانه بیشتری داشت [۱۶]. کاربرد پارافین در تخته فیبر با دانسیته متوسط نیز با کاهش جذب آب، به پایداری ضخامت فرآورده حاصل انجامید [۱۷]. در بررسی اثر تیمار ترکیبی اصلاح شیمیایی (تیمار حرارتی و استیلاسیون)/آغشته‌سازی با پارافین، کاهش جذب آب و افزایش معنی‌دار پایداری ابعاد چوب اصلاح‌شده گزارش گردید [۱۸]. تیمار ترکیبی چوب راش اصلاح‌شده با محلول اسیدبوریک/بوراکس/پلی‌اتیلن‌گلیکول با برخی مواد آب‌گریز نظیر پارافین، استایرن و متیل‌متاکیلات نیز به کاهش خاصیت آب‌دوستی را کاهش و دوام زیستی و کندسوزکنندگی را بهبود بخشید [۱۹]. اثر مثبت اصلاح با گلو تار آلدئید و پارافین بر ویژگی‌های کاربردی چوب محرز است، ولیکن تاکنون پژوهشی در خصوص اعمال هم‌زمان این دو روش بر ویژگی‌های چوب صنوبر انجام نشده است. با توجه به اینکه این‌گونه سریع‌الرشد سبک بافتی همگن، نفوذپذیری خوب و پایداری ابعاد کم، بخش اعظم جنگل‌کاری‌های کشور را به خود اختصاص داده است، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر اصلاح ترکیبی گلو تار آلدئید/پارافین بر خصوصیات فیزیکی چوب صنوبر (*Populus deltoides*) انجام شده است.

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

WPG: افزایش وزن (٪)، m_2 : وزن خشک نمونه پس از اشباع (g)، m_1 : وزن خشک نمونه قبل از اشباع (g)

$$OH \text{ groups substituted} = \left[\left(\frac{w_m - w_u}{w_u} \right) / (mw) \right] \times 100 \quad (2)$$

OH groups substituted: جانشینی گروه‌های هیدروکسیل (mol/g)، w_m : وزن خشک نهایی (g)، w_u : وزن خشک اولیه (g)، MW: جرم مولکولی گلوپتارآلدئید (g/mol)

$$\beta = \frac{a_1 - a_0}{a_0} \times 100 \quad (3)$$

β : ضریب حجیم‌کنندگی (٪)، a_1 : حجم نمونه پس از اشباع (cm^3)، a_0 : حجم خشک نمونه (cm^3)

اشباع با پارافین

برای کاهش گرانروی و افزایش نفوذ به ساختار چوب، پارافین به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. اشباع سطوح حاوی پارافین نیز در سیلندر آزمایشگاهی به روش خلأ- فشار انجام شد. در نمونه‌های اصلاح ترکیبی گلوپتارآلدئید/پارافین که فرآیند دومرحله‌ای بوده است، ابتدا نمونه‌های چوبی با گلوپتارآلدئید و در مرحله بعد، پس از خاتمه واکنش اصلاح، با پارافین اشباع گردیدند. در این مرحله نیز پس از اعمال خلأی به اندازه ۰/۷ بار و به مدت ۳۰ دقیقه، پارافین وارد سیلندر گردید و متعاقباً فشاری برابر ۸ بار برای ۲ ساعت اعمال شد. پس از خارج‌سازی از سیلندر و پاک‌سازی سطوح، جهت تعیین مقدار جذب ناشی از اشباع پارافین، توزین نمونه‌ها صورت گرفت.

طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR)

برای ارزیابی ساختار شیمیایی نمونه‌ها، ابتدا از کلیه نمونه‌های شاهد و تیمار شده آرد چوب با اندازه کوچک‌تر از ۸۰ مش تهیه گردید. سپس قرص‌های کوچکی از آرد خشک چوب و برمیدپتاسیم آماده شد. در نهایت قرص‌های تهیه‌شده توسط دستگاه اسپکتروسکوپی ساخت شرکت Bruker بررسی و نتایج در طول‌موج $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$ ثبت شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمونی

برای تعیین خواص فیزیکی، الوارهای حاصل از برون‌چوب گونه صنوبر (*Populus deltoides*) که راست‌تار و فاقد هرگونه معایب رشد بودند، از منطقه دارابکلا واقع در شهرستان ساری تهیه شدند. الوارها پس از اندازه‌بری، برای تعیین خواص فیزیکی بر اساس استاندارد (۲۰۰۵) ASTM-D4446-05 [۲۰] به ابعاد $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ تبدیل شدند. نمونه‌های آزمونی با ۵ تکرار به سه سطح غلظت گلوپتارآلدئید ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد در زیرگروه‌های با و بدون پارافین گروه‌بندی گردیدند. حروف G و P به ترتیب معرف تیمارهای حاوی گلوپتارآلدئید و پارافین و غلظت‌ها نیز با اعداد مربوط به هر تیمار نشان داده شد. به‌منظور حذف اثر بافراسات و بررسی عملکرد گلوپتارآلدئید، نمونه‌های شاهد در محیط بافری قرار داده شدند.

اصلاح با گلوپتارآلدئید

گلوپتارآلدئید با غلظت ۵۰ درصد، از شرکت دایجونگ کره تهیه شد. به‌منظور رقیق کردن و حفظ pH گلوپتارآلدئید در محدوده ۴/۵ از بافر استات سدیم ۰/۱ مولار استفاده شد. برای آماده‌سازی بافر، استات سدیم با جرم مولی ۱۳۶ g/mol، به میزان ۱۳/۶ در یک لیتر آب مقطر حل گردید و با اسیداستیک به pH موردنظر رسانده شد. در این پژوهش، گلوپتارآلدئید در ۳ غلظت ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد همراه با کاتالیزور کلرید منیزیم، به مقدار ۱۲/۵ درصد بر مبنای وزن گلوپتارآلدئید، استفاده گردید. نمونه‌ها با محلول گلوپتارآلدئید به غلظت ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد به روش خلأ-فشار در سیلندر آزمایشگاهی اشباع شدند. سپس، نمونه‌ها از سیلندر خارج و جهت گرمادهی اولیه، پیچیده در کاغذ آلومینیومی تحت دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۶ ساعت در آون قرار گرفتند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد گرمادهی شدند. متعاقباً برای خروج مواد واکنش نیافته، نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در آب غوطه‌ور گردیدند و پس از خشک شدن، برای تعیین افزایش وزن ناشی از اصلاح توزین شدند. افزایش وزن، جانشینی گروه‌های هیدروکسیل [۲۱] و ضریب حجیم‌کنندگی طبق روابط زیر محاسبه شد:

اندازه‌گیری خواص فیزیکی

دانسیته خشک [۲۲]، جذب آب و واکنشیدگی حجمی بر اساس استاندارد (۲۰۰۵) ASTM-D4446-05 [۲۰]، کارایی ضدواکنشیدگی و اثر ضدواکنشیدگی بدون محاسبه حجمیم‌کنندگی [۲۳] اندازه‌گیری شد. برای کارایی ضدواکنشیدگی بدون اثر حجمیم‌کنندگی، حداکثر واکنشیدگی نمونه‌ها پس از پایان دوره غوطه‌وری بر اساس ابعاد پیش از اصلاح با گلوآرال‌دئید استفاده شد. پس از محاسبه وزن و حجم خشک، نمونه‌ها برای بازه‌های زمانی ۲، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در آب غوطه‌ور گردیدند. در آزمون غوطه‌وری-خشک کردن، وزن و ابعاد نمونه‌ها طی ۴ چرخه غوطه‌وری-خشک کردن (۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و ۲۴ ساعت خشک شدن در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد) تعیین شد. کارایی ضدواکنشیدگی و اثر ضدواکنشیدگی بدون محاسبه حجمیم‌کنندگی بر اساس روابط زیر محاسبه شد [۲۳]:

$$ASE = \frac{s_1 - s_2}{s_1} \times 100 \quad (4)$$

ASE: کارایی ضدواکنشیدگی (%)، s_2 : واکنشیدگی حجمی چوب اصلاح شده (%)، s_1 : واکنشیدگی چوب شاهد (%).

$$S' = \frac{v_1 - v_0}{v_0} \times 100 \quad (5)$$

S' : واکنشیدگی بدون اثر حجمیم‌کنندگی (%)، v_1 : حجم نمونه بعد از غوطه‌وری (cm^3)، v_0 : حجم خشک قبل از اصلاح (cm^3)

$$ASE' = \frac{s_u - s'_m}{s_u} \times 100 \quad (6)$$

ASE' : اثر ضدواکنشیدگی بدون محاسبه حجمیم‌کنندگی (%، s_u): واکنشیدگی چوب شاهد (%، s'_m): واکنشیدگی بدون حجمیم‌کنندگی (%).

روش آماری

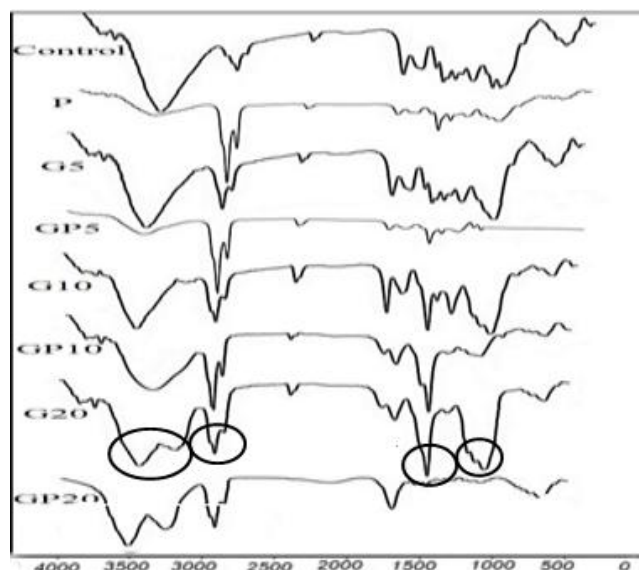
نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و در نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

طیف زیرقرمز تبدیل فوریه

شکل ۱ طیف زیرقرمز نمونه‌های شاهد و اصلاح شده با گلوآرال‌دئید و پارافین را نشان می‌دهد. پیک نمایان شده در عدد موجی 3400 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی گروه هیدروکسیل ساختار چوب است که شدت آن در نمونه‌های اصلاح شده با گلوآرال‌دئید کمتر است. آلدئید می‌تواند طی واکنش با یک گروه هیدروکسیل، همی‌استال تشکیل دهد، یا با ۲ گروه هیدروکسیل پیوند برقرار و استال تولید نماید. پایداری پیوندهای استال به هیدرولیز بیشتر از پیوندهای همی‌استال است. تغییرات وزن کمتر نمونه‌های اصلاح شده با غلظت ۱۰ درصد در آزمون غوطه‌وری-خشک کردن، می‌تواند نتیجه تشکیل پیوندهای پایدارتر از نوع استالی با قابلیت هیدرولیزشوندگی کمتر باشد. دو شاخه شدن پیک گروه هیدروکسیل با افزایش غلظت گلوآرال‌دئید از ۱۰ به ۲۰ درصد، تشکیل همی‌استال را نشان می‌دهد که طی غوطه‌وری در آب سریع‌تر از استال هیدرولیز و به کاهش وزن بیشتر منتهی شد. با افزایش گروه‌های آلدئیدی، گروه‌های هیدروکسیل چوب ترجیح می‌دهند که ابتدا با این گروه‌های آلدئیدی وارد واکنش شوند و در ادامه با کاهش تعداد گروه‌های هیدروکسیل چوب، احتمال برقراری پیوند مجدد همی‌استال با هیدروکسیل و تشکیل استال در سطح ۲۰ درصد کاهش یافت. در واقع، با افزایش غلظت گلوآرال‌دئید، احتمال واکنش آن با گروه‌های هیدروکسیل در دسترس کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت گلوآرال‌دئید، شدت پیک ناحیه 2900 cm^{-1} و 1403 افزایش یافت. این افزایش به دلیل وجود گروه‌های متیلنی در ساختار گلوآرال‌دئید است. عدد موج $1100-1000 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به پیوند C-O اتیری و الکلی است که با افزایش غلظت گلوآرال‌دئید زیاد شده است. حضور پارافین در ساختار چوب، به ظهور گروه‌های عاملی با شدت کمتر انجامید. پیک ناحیه 2900 cm^{-1} و 2800 مربوط به C-H کششی ترکیب پارافین است. در کلیه نمونه‌های اصلاح شده با گلوآرال‌دئید، حضور پارافین باعث کاهش شدت پیک‌های مربوط به ساختار چوب و گلوآرال‌دئید شد. افزایش شدت اصلاح با گلوآرال‌دئید به کاهش حضور پارافین در ساختار

چوب انجامید و پیک‌های چوب نمایان‌تر گردید.



شکل ۱- طیف زیرقرمز تبدیل فوریه نمونه‌های شاهد و اصلاح‌شده با گلو تار آلدهید و پارافین

اصلاح ترکیبی گلو تار آلدهید/پارافین بر ویژگی‌های فیزیکی چوب صنوبر در جدول ۱ مشاهده می‌گردد.

خواص فیزیکی
نتایج اثر سطوح مختلف غلظت اصلاح با گلو تار آلدهید و

جدول ۱- اثر اصلاح با گلو تار آلدهید و پارافین بر خواص فیزیکی چوب صنوبر

Control	p	GP20	G20	GP10	G10	GP5	G5	اصلاح صفات
-	-	A	A	B	B	C	C	افزایش وزن گلو تار آلدهید (%)
-	-	(۰/۴۳)	(۰/۷۱)	(۰/۲۴)	(۰/۲۸)	(۰/۲۴)	(۰/۳۳)	
-	A	D	-	C	-	B	-	افزایش وزن پارافین (%)
-	(۱/۹۰)	(۰/۸۲)	-	(۱/۱۰)	-	(۱/۰۴)	-	
F	A	C	D	B	E	B	E	دانسیته خشک (g/cm ³)
(۰/۰۱)	(۰/۰۲)	(۰/۰۲)	(۰/۰۲)	(۰/۰۲)	(۰/۰۲)	(۰/۰۱)	(۰/۰۱)	
-	-	-	A	-	B	-	C	ضریب حجیم‌کنندگی (%)
-	-	-	(۰/۶۷)	-	(۰/۵۹)	-	(۰/۶۰)	
-	-	-	A	-	B	-	C	جان‌شینی گروه‌های هیدروکسیل (mol/g)
-	-	-	(۰/۰۹)	-	(۰/۰۲)	-	(۰/۰۴)	

(اعداد داخل پرانتز معرف انحراف معیار و حروف انگلیسی معرف گروه‌بندی دانکن است)

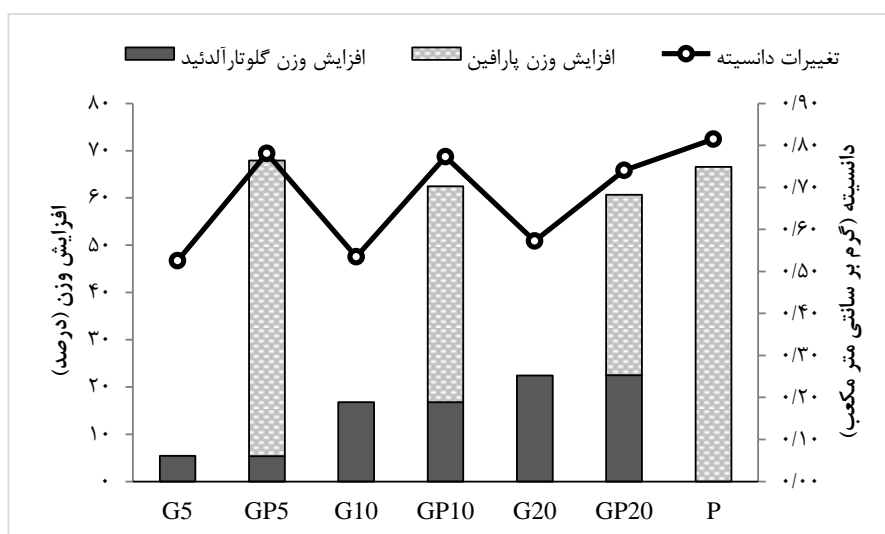
افزایش غلظت گلو تار آلدهید به افزایش وزن ناشی از حضور این ماده در ساختار چوب و افزایش دانسیته خشک منتهی گردید (شکل ۲). دانسیته نمونه‌های حاوی پارافین، بدون

افزایش وزن و تغییرات دانسیته

بر اساس نتایج بین اصلاح‌های مختلف در سطح اعتماد ۹۹ درصد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱).

بین رفتن فضای بین پلیمرهای دیواره شد. در مقایسه با نمونه‌های عاری از گلوآرال‌دئید، پارافین کم‌تری وارد حفرات و منافذ ساختار چوب اصلاح‌شده با این ترکیب شد. استفاده از پارافین در افزایش وزن‌های بیشتر، با کاهش قابلیت مرطوب‌شدن ساختار چوب، باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های اصلاح‌شده گردید [۱۰].

حضور اصلاح‌کننده گلوآرال‌دئید، 0.81 g/cm^3 اندازه‌گیری شد. در تیمارهای اصلاح ترکیبی، با افزایش غلظت گلوآرال‌دئید، نفوذ پارافین به ساختار چوب کاهش یافت. حضور گلوآرال‌دئید در ساختار چوب، افزایش وزن، تشکیل ساختارهای مقاوم استالی و حجیم‌شدگی دیواره سلولی چوب را به همراه داشت. گلوآرال‌دئید با حجیم نمودن دیواره سلولی، موجب کاهش فضای حفرات سلولی و از



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف بر افزایش وزن و دانسیته

جانشینی گروه‌های هیدروکسیل مؤید حضور بیش‌تر گلوآرال‌دئید و برقراری پیوند با گروه‌های هیدروکسیل دیواره سلولی در سطوح غلظت بیشتر بوده است. حجیم‌شدگی دیواره، منافذ ریزساختار چوب را مسدود نموده و جریان موئینگی را کاهش داد. افزایش جانشینی گروه‌های هیدروکسیل نیز مکان‌های جذب آب را کاهش داده و امکان برقراری پیوند مولکول‌های آب با دیواره سلولی چوب کم‌تر گردید.

جذب آب و تغییرات ابعاد

در شکل ۴ اثر جذب آب بر تغییرات ابعاد تیمارهای مختلف طی آزمون غوطه‌وری مشاهده می‌گردد. در پایان زمان غوطه‌وری (۷۲ ساعت)، سطح شاهد با جذب آب $105/59$ درصد، بیشترین واکنش‌دهی حجمی ($14/90$) را نشان داد. اصلاح با گلوآرال‌دئید با کاهش جذب آب به

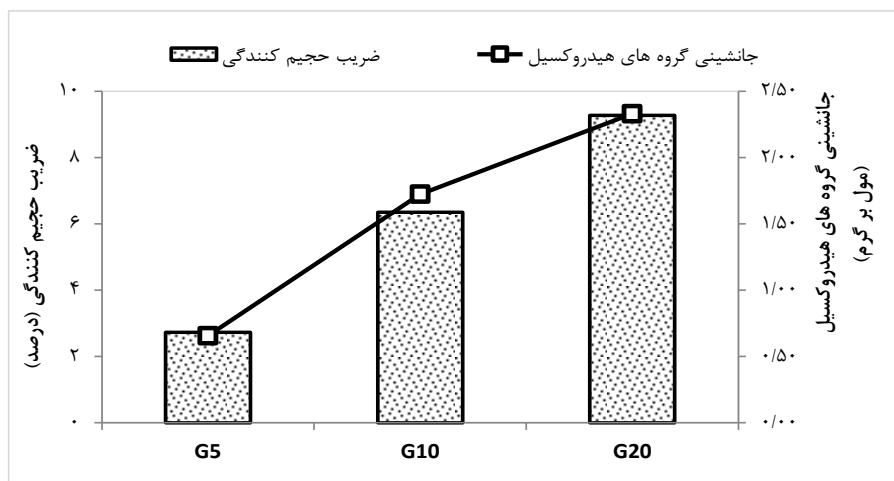
ضریب حجیم‌کنندگی و جانشینی گروه‌های

هیدروکسیل

بین ضریب حجیم‌کنندگی و جانشینی گروه‌های هیدروکسیل اصلاح‌های مختلف در سطح اعتماد ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱). از آنجایی‌که وجود پارافین در حفرات سلول‌های چوبی به جانشینی گروه‌های هیدروکسیل و حجیم‌شدگی دیواره منتهی نشد، این صفات در خصوص نمونه‌های اصلاح‌شده با گلوآرال‌دئید گزارش گردید. گلوآرال‌دئید با ورود به دیواره‌های سلولی و برقراری پیوند با گروه‌های هیدروکسیل چوب، ساختار چوب را حجیم نمود. در نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد گلوآرال‌دئید، به ترتیب حجیم‌شدگی $2/73$ ، $6/34$ و $9/27$ درصد و جانشینی گروه‌های هیدروکسیل $0/66$ ، $1/72$ و $2/33$ مول برگرم گزارش شد (شکل ۳). افزایش حجیم‌کنندگی و

تغییرات ابعاد کاهش یافت. استفاده از پارافین نیز باعث کاهش جذب آب و تغییرات ابعاد گردید.

بهبود پایداری ابعاد چوب منتهی شد. حتی در جذب آب مساوی نیز، با افزایش شدت اصلاح با گلو تار آلدئید،

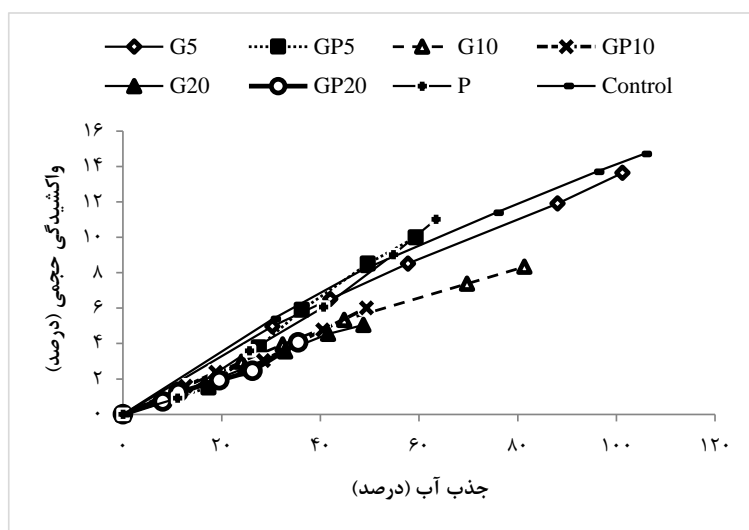


شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف بر ضریب حجیم‌کنندگی و جانشینی گروه‌های هیدروکسیل

پارافین، با نفوذ به ساختار چوب و پوشاندن سطح الیاف و بافت چوب، نقش مؤثری در کنترل واکنش‌دهی و پایداری ابعاد نشان داد. با افزایش جذب پارافین، پایداری ابعاد نمونه‌ها بیشتر گردید [۲۵]. بر اساس قوانین موئینگی، زاویه تماس مایعات فاقد ویژگی ترشوندگی مانند پارافین، بیش از ۹۰ درجه بوده و آن‌ها قادر به صعود در لوله‌های موئین نیستند. در نتیجه پارافین سبب می‌شود تا خلل و فرج الیاف قابلیت مرطوب شدن کم‌تری داشته و آب کم‌تری به داخل چوب نفوذ کند [۲۶].

با افزایش زمان غوطه‌وری، جذب آب نمونه‌های تیمار شده با پارافین افزایش یافت که مؤید کاهش اثر بازدارندگی تیمار با پارافین در جذب آب طی غوطه‌وری طولانی‌مدت است [۲۶، ۲۷]. در توجیه آن می‌توان اظهار داشت که مولکول‌های کوچک آب، در درازمدت قادرند به روزنه‌های ریز سلولی یا خلل و فرج موجود در بافت چوب نفوذ کنند. در حالی که پارافین با مولکول‌های بزرگ خود قادر به نفوذ در این خلل و فرج بسیار ریز سلولی نیست. در نتیجه ورود آب، ساختار چوب واکنش‌دهنده و مولکول‌های درشت پارافین از آن خارج می‌گردند. مشاهده قطرات پارافین روی سطح آب در آزمون غوطه‌وری، نشان‌دهنده همین مطلب است.

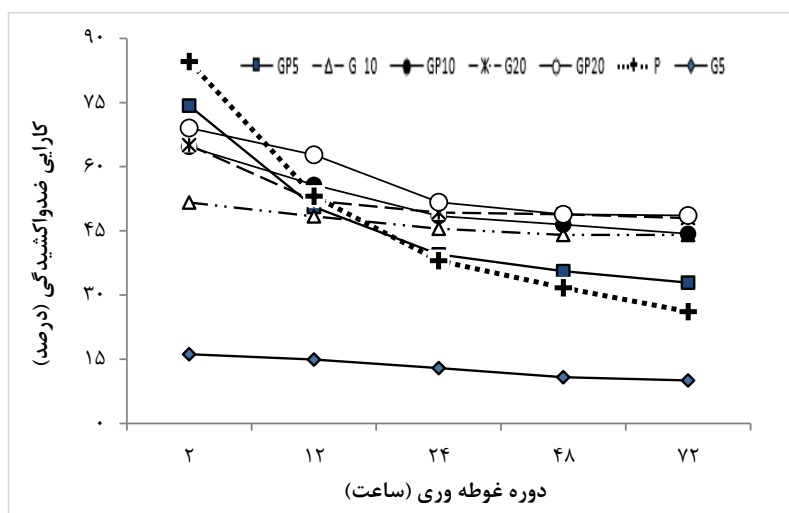
با افزایش شدت اصلاح، واکنش‌دهی پایدار دیواره سلولی در وضعیت خشک (حجیم‌شدگی) افزایش یافت. افزایش حجیم‌شدگی با کاهش تخلخل چوب، ورود آب به داخل ساختار چوب را کاهش می‌دهد. کاهش جذب آب را می‌توان به ۴ علت عنوان نمود: (۱) مسدود شدن گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل دیواره سلولی توسط گلو تار آلدئید که در نتیجه موجب کاهش مکان‌های جذب آب می‌گردد، (۲) حجیم‌شدگی دیواره سلولی و کاهش فضاهای خالی چوب که معمولاً توسط مولکول‌های آب اشغال می‌گردند؛ (۳) برقراری پیوند عرضی گلو تار آلدئید با پلیمرهای دیواره سلولی چوب موجب کاهش انعطاف‌پذیری دیواره جهت واکنش‌دهی خواهد شد. (۴) ورود ساختار آب‌گریز C-H با کاهش اثر موئینگی، منجر به ورود کمتر مولکول‌های آب به دیواره سلولی چوب می‌شود که بهبود ثبات ابعاد را به همراه دارد [۸]. در محیط مرطوب، انتشار آب در دیواره سلولی دارای اتصالات عرضی، موجب ایجاد تنش فشاری در دیواره سلولی می‌شود که می‌تواند به کاهش جذب رطوبت و واکنش‌دهی چوب اصلاح‌شده با گلو تار آلدئید بیانجامد [۲۴]. بعلاوه، طی واکنش گلو تار آلدئید، در نتیجه حجیم‌شدگی و کاهش اندازه فضای آزاد حفره‌ها، قابلیت افزایش حجم متعاقب جذب آب کاهش می‌یابد [۴].



شکل ۴- اثر جذب آب تیمارهای مختلف بر واکشیدگی حجمی طی آزمون غوطه‌وری

کارایی ضدواکشیدگی کاهش داشت. کاهش کارایی ضدواکشیدگی احتمالاً به هیدرولیز پیوندهای همی‌استال مربوط است که ثبات ابعاد طولانی‌مدت نمونه‌های اصلاح‌شده با گلوٲتارآلدئید را زیر سؤال می‌برد. در مورد چوب اصلاح‌شده با گلوٲتارآلدئید، هیدرولیز استال کامل می‌تواند با کلرید منیزیم کاتالیز شود؛ اگرچه کلرید منیزیم به‌آسانی در آب محلول بوده و باید طی لحظات اولیه غوطه‌وری در آب خارج شود. این امر حضور نسبت غوطه‌وری، هیدرولیز و از چوب خارج شده است.

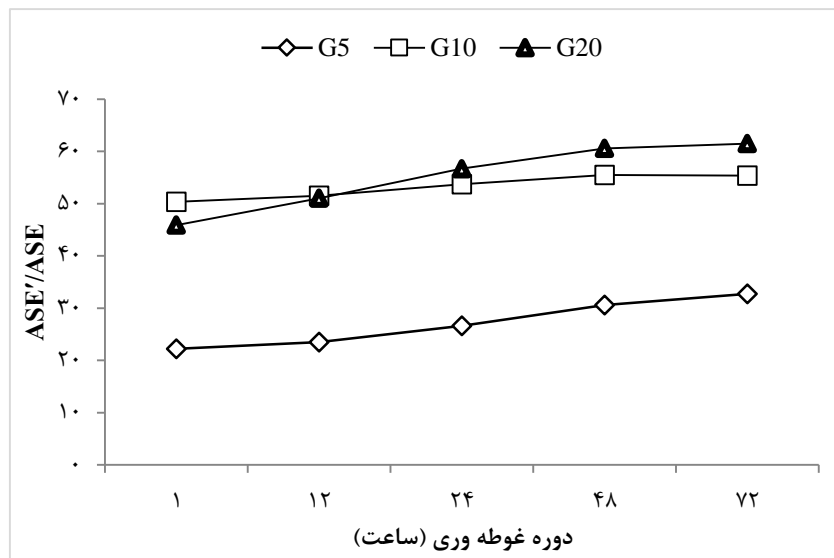
کارایی ضدواکشیدگی سطوح مختلف اصلاح در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، با افزایش غلظت گلوٲتارآلدئید، میزان کارایی ضدواکشیدگی افزایش یافت. حضور پارافین در چوب نیز به بهبود کارایی ضدواکشیدگی منتهی شد که بیشترین اثر را در سطح غلظت ۵ درصد گلوٲتارآلدئید با بیشترین جذب پارافین نشان داد. در خاتمه زمان غوطه‌وری غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد گلوٲتارآلدئید که جذب پارافین کمتر بود، اختلاف معنی‌داری بین کارایی ضدواکشیدگی نمونه‌های فاقد و دارای پارافین مشاهده نگردید. با افزایش مدت‌زمان غوطه‌وری در آب،



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف بر کارایی ضدواکشیدگی طی آزمون غوطه‌وری در آب

شکل ۶ نسبت کارایی ضدواکسیدگی بدون اثر حجیم‌کنندگی به کارایی ضدواکسیدگی نمونه‌های اصلاح‌شده با گلوآرآلدئید در غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد را نشان داده است. در ساعات اولیه غوطه‌وری، این نسبت در نمونه اصلاح‌شده با گلوآرآلدئید ۲۰ درصد کم‌تر از گلوآرآلدئید ۱۰ درصد بود و با طولانی شدن زمان غوطه‌وری، افزایش یافت. کارایی ضدواکسیدگی بدون محاسبه اثر حجیم‌کنندگی (ASE') که نشان‌دهنده نقش اتصالات عرضی در کنترل تغییرات ابعاد است، حدود ۳۰-۴۰ درصد از کارایی ضدواکسیدگی کل را تشکیل می‌دهد. میزان ASE' با زیاد شدن افزایش وزن، افزایش یافت. در بالاترین افزایش وزن (۲۲/۴۲ درصد) نسبت

شکل ۶ نسبت کارایی ضدواکسیدگی بدون اثر حجیم‌کنندگی به کارایی ضدواکسیدگی نمونه‌های اصلاح‌شده با گلوآرآلدئید در غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد را نشان داده است. در ساعات اولیه غوطه‌وری، این نسبت در نمونه اصلاح‌شده با گلوآرآلدئید ۲۰ درصد کم‌تر از گلوآرآلدئید ۱۰ درصد بود و با طولانی شدن زمان غوطه‌وری، افزایش یافت. کارایی ضدواکسیدگی بدون محاسبه اثر حجیم‌کنندگی (ASE') که نشان‌دهنده نقش اتصالات عرضی در کنترل تغییرات ابعاد است، حدود ۳۰-۴۰ درصد از کارایی ضدواکسیدگی کل را تشکیل می‌دهد. میزان ASE' با زیاد شدن افزایش وزن، افزایش یافت. در بالاترین افزایش وزن (۲۲/۴۲ درصد) نسبت



شکل ۶- نسبت کارایی ضدواکسیدگی بدون اثر حجیم‌کنندگی به کارایی ضدواکسیدگی در تیمارهای مختلف

گلوآرآلدئید منتسب کرد [۸]. طی آزمون غوطه‌وری- خشک کردن، مواد استخراجی، کلرید منیزیم و گلوآرآلدئید واکنش نداده از ساختار متخلخل چوب خارج و کاهش وزن را در پی داشتند. میزان کاهش وزن در تیمار گلوآرآلدئید ۲۰ درصد بیش از تیمارهای ۵ و ۱۰ درصد بوده است. علت این کاهش وزن را می‌توان به بیش‌تر بودن همی‌استال‌های باقی‌مانده در ساختار چوب نسبت داد. با افزایش غلظت گلوآرآلدئید، جاننشینی گروه‌های هیدروکسیل افزایش یافت. با افزایش جاننشینی

آزمون دوره‌ای غوطه‌وری - خشک کردن

بر اساس نتایج آزمون دوره‌ای غوطه‌وری- خشک کردن، بین سطوح مختلف تیمار در سطح اعتماد ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). کاهش وزن نمونه‌های اصلاح‌شده با گلوآرآلدئید در اصلاح‌های ۵ و ۱۰ درصد، به میزان افزایش وزن ناشی از اصلاح در نمونه‌ها بستگی ندارد. این نشان می‌دهد که کاهش وزن تا سطح اصلاح ۱۰ درصد را می‌توان به‌طور عمده به خروج مواد استخراجی چوب، نه به خروج

طی هر دوره از آزمون غوطه‌وری - خشک‌کردن، مقداری پارافین از ساختار چوب خارج و وزن آن کاهش یافت. طی این آزمون، نمونه‌های چوب حاوی پارافین بیشتر، کاهش وزن محسوس‌تری را نشان دادند.

گروه‌های هیدروکسیل و کاهش هیدروکسیل آزاد جهت تبدیل همی‌استال به استال، امکان برقراری پیوندهای استالی کاهش و میزان همی‌استال باقی‌مانده در دیواره سلولی افزایش یافت. عدم تثبیت پارافین در چوب موجب کاهش وزن بیشتر نمونه‌های اصلاح ترکیبی با پارافین شد.

جدول ۲- اثر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی طی آزمون دوره‌ای غوطه‌وری - خشک‌کردن

P	GP20	G20	GP10	G10	GP5	G5	سطوح اصلاح	
							صفات	
۷۸/۳۳(a)	۳۸/۲(d)	۲۲/۴۲(e)	۵۲/۶۹(c)	۹/۷۷(f)	۶۲/۵۵(b)	۵/۳۹(g)	اولیه	
(۱/۹۰)	(۰/۸۳)	(۰/۷۱)	(۱/۱۱)	(۰/۲۸)	(۱/۰۴)	(۰/۳۳)		
۴۱/۴۸(a)	۲۵/۶۶(c)	۱۷/۳۸(d)	۳۶/۱۶(b)	۹/۱۷(e)	۴۰/۲۰(a)	۵/۱۲(f)		دوره اول
(۰/۷۳)	(۰/۳۹)	(۰/۴۲)	(۲/۰۸)	(۰/۲۹)	(۱/۲۱)	(۰/۷۰)		
۲۶/۶۹(c)	۲۰/۳۷(d)	۱۶/۳۴(e)	۲۸/۱۷(b)	۸/۸۵(f)	۲۹/۴۹(a)	۴/۹۸(g)	افزایش وزن (%)	
(۰/۷۸)	(۰/۵۹)	(۰/۴۹)	(۰/۸۰)	(۰/۷۸)	(۱/۲۱)	(۰/۳۴)		
۲۲/۹۸(c)	۱۹/۱۹(d)	۱۵/۹۰(e)	۲۵/۲۵(b)	۸/۶۸(f)	۲۷/۵۷(a)	۴/۹۳(g)		دوره سوم
(۰/۶۱)	(۱/۲۱)	(۰/۴۱)	(۰/۷۶)	(۰/۵۲)	(۱/۵۲)	(۰/۳۴)		
۲۲/۲۲(c)	۱۹/۰۵(d)	۱۵/۷۵(e)	۲۴/۸۲(b)	۸/۶۰(f)	۲۷/۰۱(a)	۴/۸۹(g)	دوره چهارم	
(۰/۷۲)	(۱/۲۴)	(۰/۵۲)	(۰/۵۶)	(۰/۷۱)	(۰/۸۰)	(۰/۴۹)		
	۹/۳۶(a)	۹/۳۶(a)	۶/۳۴(b)	۶/۳۴(b)	۲/۷۲(c)	۲/۷۲(c)	اولیه	
	(۰/۶۷)	(۰/۶۷)	(۰/۵۹)	(۰/۵۹)	(۰/۶)	(۰/۶)		
-	۸/۰۹(a)	۷/۱۷(ab)	۶/۲۲(b)	۶/۱۰(b)	۲/۷۰(c)	۲/۴۹(c)		دوره اول
-	(۰/۷۰)	(۰/۴۰)	(۰/۸۲)	(۰/۷۸)	(۰/۸۷)	(۱/۳۸)		
-	۷/۴۶(a)	۶/۷۰(ab)	۶/۰۳(b)	۵/۵۹(b)	۲/۳۹(c)	۲/۰۸(c)	ضرب حجم‌کنندگی (%)	
-	(۰/۹۸)	(۰/۳۶)	(۱/۱۷)	(۱/۰۸)	(۰/۷۳)	(۰/۷۳)		
-	۷/۰۹(a)	۶/۲۵(ab)	۵/۷۱(b)	۵/۳۹(b)	۲/۲۳(c)	۱/۸۵(c)		دوره سوم
-	(۰/۷۴)	(۰/۳۹)	(۰/۵۰)	(۰/۷۰)	(۰/۶۰)	(۱/۰۲)		
-	۶/۷۳(a)	۶/۰۱(ab)	۵/۵۹(ab)	۵/۲۷(b)	۲/۱۸(c)	۱/۸۲(c)	دوره چهارم	
-	(۰/۵۶)	(۰/۲۹)	(۱/۲۷)	(۱/۰۸)	(۰/۸۲)	(۱/۰۴)		
۶۰/۰۲(b)	۷۱/۸۷(a)	۵۹/۴۹(b)	۵۴/۰۶(c)	۴۵/۶۶(d)	۳۰/۰۴(e)	۱۰/۱۸(f)	دوره اول	
(۲/۳۵)	(۱/۲۱)	(۲/۶۰)	(۲/۳۷)	(۲/۷۷)	(۰/۹۴)	(۱/۸۶)		
۴۴/۷۳(b)	۶۴/۷۴(a)	۴۶/۲۸(b)	۴۳/۶۰(b)	۳۸/۴۹(c)	۲۲/۰۲(d)	۸/۸۱(e)	کارایی ضدواکسیدگی (%)	
(۴/۲۲)	(۲/۰۳)	(۲/۵۵)	(۲/۷۳)	(۱/۷۰)	(۱/۵۳)	(۱/۲۱)		
۲۸/۱۵(e)	۶۳/۳۷(a)	۴۵/۸۵(b)	۴۱/۳۸(cd)	۳۸/۵۹(d)	۲۱/۹۴(e)	۷/۹۹(f)		دوره سوم
(۱/۷۳)	(۰/۲۲)	(۲/۴۸)	(۳/۴۱)	(۲/۵۳)	(۱/۵۲)	(۲/۳۱)		
۲۰/۶۰(e)	۶۳/۸۷(a)	۴۵/۸۱(b)	۴۰/۶۴(c)	۳۷/۰۶(d)	۱۹/۹۱(e)	۶/۷۷(f)	دوره چهارم	
(۱/۸۴)	(۱/۹۲)	(۲/۲۷)	(۳/۱۵)	(۲/۸۹)	(۱/۰۰)	(۱/۵۰)		

(اعداد درون پرانتز معرف انحراف معیار و حروف انگلیسی معرف گروه‌بندی دانکن است)

گردید.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج طیف‌سنجی، گلو تار آلدهید با پلیمرهای چوب واکنش و به کاهش شدت پیک هیدروکسیل انجامید. با افزایش شدت اصلاح و حجیم‌شدگی دیواره‌های سلولی چوب، تخلخل و ورود آب به داخل ساختار چوب کاهش یافت. غوطه‌وری طولانی‌مدت به افزایش جذب آب و تغییرات ابعاد سطوح حاوی پارافین انجامید. این نتایج نشان داد که اثر آب‌گریزی پارافین در زمان طولانی کاهش یافت. با افزایش غلظت گلو تار آلدهید و حضور پارافین، کارایی ضدواکسیدگی نیز بهبود یافت. طی آزمون دوره‌ای غوطه‌وری - خشک کردن، مواد استخراجی، کاتالیزور کلرید منیزیم و میزان گلو تار آلدهید باقی‌مانده، از ساختار چوب خارج و کاهش وزن را در پی داشتند. میزان کاهش وزن بیشتر در سطح گلو تار آلدهید ۲۰ درصد، مؤید تشکیل همی‌استال بیش‌تر در ساختار چوب است.

با افزایش مراحل آزمون غوطه‌وری - خشک کردن، کاهش ضریب حجیم‌کنندگی مشاهده گردید. ورود پارافین، تأثیر معنی‌داری بر ضریب حجیم‌کنندگی نداشت، زیرا پارافین به علت درشت مولکول بودن، توان نفوذ به دیواره سلولی را ندارد و در حفرات باقی می‌ماند. پس از اتمام آزمون غوطه‌وری - خشک کردن و خروج تدریجی پارافین، تغییر معنی‌داری در ضریب حجیم‌کنندگی نمونه‌های اصلاح ترکیبی نسبت به نمونه‌های اصلاح فاقد پارافین مشاهده نشد.

کارایی ضدواکسیدگی نمونه‌های اصلاح‌شده با گلو تار آلدهید ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد در آخرین مرحله غوطه‌وری خشک کردن به ترتیب ۶/۷۷، ۳۷/۰۶ و ۴۵/۸۱ درصد بود. این نشان‌دهنده‌ی اثر ضریب حجیم‌کنندگی، جانیشینی گروه‌های هیدروکسیل و ایجاد پیوندهای پایدار استالی در نمونه‌های اصلاح‌شده با گلو تار آلدهید بود که متناسب با غلظت گلو تار آلدهید افزایش یافت. پارافین، با ایجاد خاصیت آب‌گریزی، موجب افزایش کارایی ضدواکسیدگی در نمونه‌های اصلاح‌شده گردید که در بازه‌های آزمون غوطه‌وری - خشک کردن، این اثر حفظ

منابع

- [1] Neimsuwan, T., Wang, S., Taylor A.M. and Rials, T.G., 2008. Statics and kinetics of water vapor sorption of small loblolly pine samples. *Wood Science and Technology*, 42:493-506.
- [2] Hoadley, R.B., 1980. *Understanding wood. A craftsman's guild to wood technology*, Taunton Press, 280 p.
- [3] Tarmian, A., 2017. Measurement of Fiber Saturation Point of Wood Using Differential Scanning Calorimetry: Measurement Fundamentals and Experimental Results. *Iranian Journal of wood and paper industries*, 7(4):615-623. (In Persian).
- [4] Hill, C.A.S., 2006. *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. Wiley Chichester in renewable resources. Wiley and Sons: Chichester, Sussex, UK, 239p.
- [5] Xiao, Z., Xie, Y., Militz, H. and Mai, C., 2009. Modification of wood with glutaraldehyde. In: *Proceedings of the 4th European conference on wood modification*, Stockholm, Sweden.
- [6] Yasuda, R. and Minato, K., 1994. Chemical modification of wood by non-formaldehyde cross-linking reagents. Part 1. Improvement of dimensional stability and acoustic properties. *Wood Science and Technology*, 28:101-110.
- [7] Yasuda, R., Minato, K. and Norimoto, M., 1994. Chemical modification of wood by nonformaldehyde crosslinking reagents. Part 2. Moisture adsorption and creep properties. *Wood Science and Technology*, 28:209-218.

- [8] Xiao, Z., Xie, Y., Militz, H. and Mai, C., 2010. Effect of glutaraldehyde on water related properties of solid wood. *Holzforschung*, 64:475–482.
- [9] Xiao, Z., Xie, Y., Adamopoulos, S. and Mai, C., 2012. Effects of chemical modification with glutaraldehyde on the weathering performance of Scots pine sapwood. *Wood Science and Technology*, 46:749–767.
- [10] Scholz, G., Adamopoulos, S. and Militz, H., 2011. Migration of blue stain fungi within wax impregnated wood. *International Association of Wood Anatomists*, 32:88.
- [11] Berninghausen, C.G., Rapp, A.O. and Welzbacher, C.R., 2006. Impregnating agent, process for impregnating of dried and profiled wood, and wood product impregnated therewith. Patent EP1660285.
- [12] Kurt, R., Krause, A., Militz, H. and Mai, C., 2008. Hydroxymethylated resorcinol (HMR) priming agent for improved bondability of wax-treated wood. *Holzforschung Roh - Werkst*, 66(5):333-338.
- [13] Scholz, G., Militz, H., Gasco´n-Garrido, P., Ibiza-Palacios, MS., Oliver-Villanueva, J.V., Peters, B.C. and Fitzgerald, C.J., 2010. Improved termite resistance of wood by wax impregnation. *Int Biodeterior Biodegrad*, 64:688-693.
- [14] Lesar, B., Kralj, P. and Humar, M., 2009. Montan wax improves performance of boron-based wood preservatives. *Int Biodeterior Biodegrad*, 63:306-310.
- [15] Lesar, B., Pavlicˇ, M., Petricˇ, M., Skapin, A.S. and Humar, M., 2011. Wax treatment of wood slows photodegradation. *Polymer Degradation and Stability*, 96:1271-1278.
- [16] Esteves, B., Nunes, L., Domingos, I. and Pereira, H., 2014. Improvement of termite resistance, dimensional stability and mechanical properties of pine wood by paraffin impregnation. *European Journal of Wood and Wood Products*, DOI 10.1007/s00107-014-0823-7.
- [17] Akrami, A., Doost Hoseini, K., Jahan Latibari, A. and Faezipour, M.M., 2008. Investigation on The Effect of Paraffin content, Press Time and temperature on Practical Properties Especially Surface Roughness of Particleboard. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 23 (1): 50-62.
- [18] Scholz, G., Krause, A. and Militz, H., 2012. Volltra¨nkung modifizierten Holzes mit Wachs. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70:91–98.
- [19] Mehmet, C., 2007. Effects of some impregnation chemicals and water repellents on the hygroscopicity of beech wood. *Wood Science and Technology*, 52(1):87-98.
- [20] Standard Test Method for Anti-Swelling Effectiveness of Water-Repellent Formulations and Differential Swelling of Untreated Wood When Exposed to Liquid Water, American Society for Testing and Materials, ASTM Standard, D4446-05, 2005.
- [21] Li, Y., Dong, X., Liu, Y., Li, J., and Wang, F., 2011. Improvement of decay resistance of wood via combination treatment on wood cell wall: Swell-bonding with maleic anhydride and graft copolymerization with glycidyl methacrylate and methyl methacrylate. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65: 1087-1094.
- [22] Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials, ASTM D2395-14e1 Standard, 2014. [14]. Ohmae, K., Minato, K., Norimoto, M., 2002. The analysis of dimensional changes due to chemical treatments and water soaking of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) wood. *Holzforschung*, 56:98–102.
- [23] Ohmae, K., Minato, K., and Norimoto, M., 2002. The analysis of dimensional changes due to chemical treatments and water soaking of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) wood. *Holzforschung*, 56:98–102.

- [24] Xie, Y., Callum, A., Hill, S., Xiao, Z., Mai, C., and Militz, H., 2011. Dynamic water vapour sorption properties of wood treated with glutaraldehyde. *Wood Science and Technology*, 45:49–61.
- [25] Mansouryar, I., 2010. Dimensional Stability of Poplar Wood by Paraffin Emulsion, Quaternary Ammonium and Hydrated Starch using Full-cell Treatment. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 1(1):79-89.
- [26] Doost Hoseini, K., 2001. Production technology and the use of compact wooden plates. University of Tehran Press, Tehran, 708 p. (In Persian).
- [27] Suzuki, H., Takahashi, H. and Endoh, K., 1976. On water absorbability of dry proces fiberboard. *Mokuzia Gakkaishi*, 22(10):557-563.

Investigation on the physical properties of poplar wood (*Populus deltoids*) modified with glutaraldehyde/paraffin

Abstract

Current research was conducted to investigate the effect of combined modification of glutaraldehyde/paraffin on the physical properties of poplar wood. Impregnation was done in three concentration levels of glutaraldehyde, i.e. 5, 10 and 20% containing $MgCl_2$ as catalysts, and consequently with paraffin in combined modified samples using vacuum-pressure method. According to the Fourier-transform infrared spectroscopy, reaction of glutaraldehyde with wood polymers resulted in an increase in the methylene groups and reduced the hydroxyl groups. Bifurcation of hydroxyl groups peak with increase of glutaraldehyde concentration from 10 to 20%, confirmed the hemiacetal formation that hydrolyzed faster than the acetal during soaking, so led to a higher weight loss. Glutaraldehyde modification decreased water entrance into the wood structure via blocking of hydroxyl groups and cell wall bulking, and reduced the flexibility of wood for swelling due to crosslinking. Also, paraffin, declined the penetration of water into the wood by reducing the capillary effect. Paraffin infixation in wood caused more weight loss of combined modification levels as the immersion time increased.

Key words: paraffin, water uptake, glutaraldehyde, swelling, FTIR.

N. Esmaeeli¹
M. Ghorbani^{2*}
P. Beparva³

¹ M.Sc. student, Department of wood and paper sciences and technology, Sari university of agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran

² Associate prof., Department of wood and paper sciences and technology, Sari university of agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran

³ Assistant prof., Department of sciences, Sari university of agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran

Corresponding author:
ghorbani_mary@yahoo.com

Received: 2017/05/30
Accepted: 2017/08/04