

اثر استفاده از صمغ بنه بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب روغن‌گرمایی شده

چکیده

روش خنک کردن چوب روغن گرمایی شده که در مرحله پایانی فرایند اصلاح حرارتی در روغن انجام می‌شود، می‌تواند بر ویژگی‌های چوب اصلاح‌شده تأثیرگذار باشد. در این تحقیق، چوب صنوبر دلتوئیدس اصلاح‌شده در روغن کلزا (در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت) در روغن سرد حاوی صمغ بنه، *Pistacia atlantica* به مقدار ۵، ۱۰ و ۳۰ درصد به مدت ۳۰ دقیقه خنک شد. میزان افزایش وزن (WPG) نمونه‌ها در دامنه ۶۰/۷ الی ۷۷/۶ درصد متغیر بود و مقدار آن با افزایش دمای اصلاح کاهش یافت ولی در اثر خنک کردن در روغن حاوی صمغ بنه، بر مقدار آن افزوده شد. در مجموع، خنک کردن در روغن حاوی صمغ بنه تأثیر معنی‌داری بر کارایی ضد رطوبت و ضد واکنش‌دهی نداشت ولی موجب بهبود بازدارندگی جذب آب شد. نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس دینامیک قطره آب طی مدت ۶۰ ثانیه نیز نشان داد که خنک کردن در روغن حاوی صمغ بنه موجب کاهش بیشتر در نپذیری چوب اصلاح‌شده می‌شود ولی افزایش مقدار صمغ از ۵ به ۱۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی نداشت. در اثر افزودن صمغ بنه به روغن، مقاومت خمشی و مقاومت به فشار موازی الیاف چوب‌های اصلاح‌شده تغییر نکرد ولی مقاومت به ضربه نمونه‌های اصلاح‌شده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدول الاستیسیته نمونه‌های اصلاح‌شده در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بهبود یافت. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR) نشان داد که به علت حضور روغن در چوب اصلاح‌شده، شدت جذب در عدد موجی 1745 cm^{-1} که بیانگر ارتعاشی کششی غیرمزدوج گروه کربونیل C=O است، در چوب روغن گرمایی شده بسیار بیشتر از نمونه شاهد است.

واژگان کلیدی: چوب روغن گرمایی شده، صمغ بنه، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی.

مراد محمودکیا^۱

اصغر طارمیان^{۲*}

علی نقی کریمی^۳

علی عبدالخانی^۴

محمدرضا ماستری فراهانی^۵

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۴ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۵ دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:

tarmian@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

مقدمه

انجام می‌شود و در اثر تجزیه ترکیبات شیمیایی دیوار سلولی به‌ویژه همی‌سلولزها و کاهش میزان گروه‌های هیدروکسیل در دسترس، از تمایل آن به جذب رطوبت کاسته می‌شود. در روش اصلاح چوب، معمولاً از هوا، نیتروژن، بخار آب و روغن به‌عنوان ماده انتقال‌دهنده

اصلاح حرارتی یکی از روش‌های صنعتی و دوستدار محیط‌زیست برای اصلاح ویژگی‌های چوب به‌ویژه بهبود ثبات ابعاد و کاهش رطوبت‌پذیری آن است. اصلاح حرارتی چوب معمولاً در دمای بین ۱۸۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد

حرارت به چوب استفاده می‌شود. اصلاح حرارتی در هوای معمولی به علت وجود اکسیژن، فرایند اکسیداسیون را در پی دارد که موجب تخریب شیمیایی چوب می‌شود. برای جلوگیری از فرایند اکسیداسیون و کاهش خطرات آتش‌سوزی از اصلاح حرارتی در محیط‌های خنثی و روغن استفاده می‌شود [۱].

اصلاح حرارتی در روغن (OHT) یکی از روش‌های اصلاح چوب در مقیاس صنعتی است که شامل حرارت دادن چوب در روغن در دماهای نسبتاً بالا (معمولاً ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد) است. برای نخستین بار، اصلاح حرارتی در روغن تحت عنوان فرایند منزهلز^۲ در آلمان توسعه یافت و فرایند اصلاح در روغن‌های تصفیه‌شده بزرگ و کلزا در دماهای مذکور در یک مخزن بسته انجام شد [۲]. اصولاً تیمار روغن گرمایی چوب مشتمل بر سه مرحله پیش‌حرارت دهی، تیمار حرارتی در دمای نهائی و خنک کردن است. مدت‌زمان مرحله دوم (تیمار حرارتی) معمولاً ۲-۴ ساعت است و از زمانی آغاز می‌شود که دمای مغز چوب به دمای نهائی موردنظر برسد. مدت‌زمان کل فرایند بسته به دمای تیمار و ابعاد چوب متغیر است. از روغن‌های مختلف که پایداری حرارتی بالائی دارند، مانند روغن بزرگ، کلزا، پالم، سویا و نارگیل می‌توان برای تیمار روغن گرمایی چوب استفاده کرد. روغن موجب انتقال سریع و یکنواخت حرارت در چوب شده و با ایجاد مانع بین چوب و اکسیژن از اکسیداسیون چوب نیز جلوگیری می‌کند [۳]. خاصیت آب‌گریزی و مقاومت در برابر حمله عوامل مخرب زیستی در چوب‌های اصلاح حرارتی شده در روغن داغ، تنها ناشی از اصلاح حرارتی نیست بلکه تشکیل یک پوسته روغنی مقاوم به آب طی فرایند اصلاح نیز در بهبود ویژگی‌های آن تأثیرگذار است [۴]. میزان آب‌گریزی چوب اصلاح‌شده در روغن به نوع و دمای روغن، مدت‌زمان تیمار و مقدار روغن جذب‌شده بستگی دارد [۵]. اعتقاد بر این است که در فرایند اصلاح حرارتی در روغن به علت فراهم شدن محیط عاری از هوا و کاهش تشکیل رادیکال‌ها و نیز جذب بالای روغن از میزان افت مقاومت‌های مکانیکی در مقایسه با سایر روش‌های اصلاح حرارتی مانند اصلاح در محیط آب و بخار آب کاسته می‌شود. [۶].

اخیراً از روش‌های مختلفی در ترکیب با اصلاح حرارتی در روغن برای کاهش برخی معایب چوب روغن گرمایی شده استفاده شده است. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که اصلاح حرارتی چوب در روغن همراه با تیمار با ترکیبات بورات (اسید بوریک و بوراکس)، ضمن کاهش آبشویی ترکیبات، مقاومت به پوسیدگی و مقاومت به آتش چوب روغن گرمایی شده را بهبود می‌دهد [۶]. Mohebbi و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که در صورت اصلاح چوب نراد با ترکیب روغن سویا/انیدریدمالئیک ویژگی‌های فیزیکی چوب در مقایسه با چوب اصلاح‌شده با روغن سویا به‌تنهایی بیشتر بهبود می‌یابد و ضمن افزایش مدول الاستیسته و مقاومت به فشار موازی الیاف، کاهش کمتری در مقاومت به ضربه چوب رخ می‌دهد [۷].

در این تحقیق برای بهبود ویژگی‌های چوب اصلاح حرارتی در روغن از صمغ درختان پسته وحشی استفاده شد. صمغ این درختان نامحلول در آب است اما در سایر حلال‌های غیر قطبی به‌راحتی حل می‌شود. با توجه به آب‌گریزی بالای این صمغ و الاستیسته آن در حالت سرد فرض می‌شود که استفاده از آن بتواند موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی چوب اصلاح حرارتی شده در روغن شود.

درخت پسته وحشی بانام علمی *Pistacia atlantica* که در ایران به بنه معروف است در اغلب قسمت‌های جنگل‌های زاگرس گسترش پیدا کرده است. هرچند بلوط گونه غالب در جنگل‌های زاگرس است اما از نظر اقتصادی بنه مهم‌ترین گونه برای روستانشینان ساکن در این نواحی است. صمغ درخت بنه که به سقز معروف است هم به‌صورت سنتی و هم به‌صورت صنعتی در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸].

سطح جنگل‌های بنه کشور ۲/۵ میلیون هکتار است. برای استخراج صمغ بنه بر روی تنه درخت شیارهایی ایجاد کرده و در زیر هر شیار یک کاسه گلی ساخته می‌شود تا صمغ در درون آن جمع شود. میزان تولید صمغ برای هر درخت در جنگل‌های سنندج ۱۵۰ تا ۲۰۰ گرم گزارش شده است. مهم‌ترین مواد تشکیل‌دهنده صمغ بنه روغن تربانتین و کلوفان است. تربانتین سم دفع آفات و علف‌کش است و سالانه ۲۰۰ تن آن از کشور خارج می‌

¹ Oil heat treatment

² Menz Holz

نمونه‌ها در دسته‌های ۵ تایی درون سیلندر قرار داده شدند، بر روی آن‌ها روغن کلزای خام ریخته شد و حرارت‌دهی آغاز شد. شروع اصلاح حرارتی از زمانی که دمای روغن به دمای موردنظر رسید، محاسبه شد. اصلاح حرارتی در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت انجام شد. بلافاصله پس از اصلاح حرارتی، عملیات خنک کردن در روغن کلزا و نیز روغن کلزای حاوی صمغ بنه در غلظت‌های ۵ و ۱۰ درصد (درصد وزنی) و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. مرحله خنک کردن ۳۰ دقیقه به طول انجامید. پس از عملیات خنک کردن، دمای محلول روغن و صمغ بنه در دامنه ۵۰ الی ۶۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود.

ویژگی‌های موردبررسی

میزان افزایش وزن نمونه‌ها^۱ (WPG)

میزان افزایش وزن نمونه‌ها که معیاری از جذب روغن است با استفاده از نمونه‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر و بر اساس رابطه (۱) اندازه‌گیری شد.

$$WPG = (W_m - W_o) / W_o \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه WPG درصد افزایش وزن نمونه‌ها، W_o وزن خشک نمونه قبل از اصلاح حرارتی و W_m وزن خشک نمونه پس از اصلاح حرارتی است. مبنای محاسبه میزان WPG وزن خشک‌شده نمونه‌ها در آن بود.

کارایی ضد رطوبت^۲ (MEE) و ضد واكشیدگی

^۳(ASE) و بازدارندگی آب^۴ (WRE)

برای اندازه‌گیری کارایی ضد رطوبت و ضد واكشیدگی حجمی، نمونه‌های خشک‌شده در آن در اتاق کلیما به مدت ۳ هفته در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند. کارایی ضد رطوبت از رابطه (۲) به دست آمد.

$$MEE = [(E_u - E_m) / E_u] \times 100 \quad (2)$$

شود. از کلوپان در صنایع رنگ، چسب‌کاغذ، قرقره، نرم‌کننده‌های پلاستیک، موم‌های صنعتی، روغن کابل و آدامس استفاده می‌شود [۹].

مرحله خنک کردن که در پایان فرایند تیمار روغن گرمایی انجام می‌شود یکی از مراحل مهم این فرایند اصلاح حرارتی محسوب می‌شود. اعتقاد بر این است که در مرحله خنک کردن، روغن به مقدار قابل‌توجهی جذب چوب می‌شود و حتی مقدار جذب آن بیشتر از مرحله تیمار حرارتی است. Awoyemi و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که در اثر خنک کردن چوب اصلاح‌شده در روغن، علاوه بر افزایش میزان جذب روغن، بر خاصیت آب‌گریزی و پایداری ابعاد آن نیز افزوده می‌شود [۱۰]. تاکنون، پتانسیل استفاده از صمغ بنه برای بهبود ویژگی‌های چوب روغن گرمایی شده بررسی نشده است؛ بنابراین، در تحقیق حاضر، اثرات خنک کردن چوب صنوبر روغن گرمایی شده در روغن سرد حاوی صمغ بنه بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد مصرفی

سه گرده‌بینه صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) از جنگل خیرود نوشهر تهیه شد و تخته‌های بریده‌شده در هوای آزاد خشک شدند. برای هر سطح تیمار ۵ نمونه کاملاً سالم و بدون عیوب ظاهری مانند ترک، گره و باختگی برای انجام آزمایش انتخاب شدند. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر با رعایت الگوی برش بریده شد. برای اندازه‌گیری هر یک از ویژگی‌های مکانیکی، نمونه‌هایی با ابعاد استاندارد بریده شد. روغن کلزای خام با دانسیته ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب از شرکت زیتون طلایی قزوین و صمغ بنه با دانسیته ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و اسیدیت ۵ از جنگل‌های بانه کردستان تهیه شد.

اصلاح حرارتی

قبل از اصلاح حرارتی، نمونه‌ها به مدت ۲ هفته در اتاق کلیما در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد تا رطوبت ۱۲ درصد متعادل‌سازی شدند. سپس،

¹ Weight gain percentage

² Moisture exclusion efficiency

³ Anti-swelling efficiency

⁴ Water repellent efficiency

برای $2 \times 2 \times 30$ cm طبق استاندارد ISO 3133-1975 و برای تعیین مقاومت به ضربه از نمونه‌هایی به ابعاد $20 \times 20 \times 280$ mm مطابق آیین‌نامه D143-94 استاندارد ASTM استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقاومت به ضربه از دستگاه Instron wolpert pw 5 با برخورد چکش ۱۱ ژولی بر روی سطح مماسی نمونه‌ها استفاده شد.

طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR)

برای طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR) از دستگاه ساخت شرکت آلمانی Bruker (مدل Tensor 27) استفاده شد. طیف‌سنجی در دامنه عدد موجی $4000-400$ cm^{-1} و با ۶۴ اسکن برای هر نمونه انجام شد.

طرح آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن (DMRT) در سطح ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR)

طیف ATR-FTIR صمغ بنه در شکل ۱ قابل مشاهده است. پیک‌ها در اعداد موجی 3450 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های OH، 2960 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی C-H، و 1789 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی غیرمزدوج گروه‌های کربونیل C=O است. همچنین، پیک‌ها در اعداد موجی 1429 cm^{-1} و 1472 ناشی از ارتعاش خمشی C-H هستند. پیک مشاهده در عدد موجی 1546 cm^{-1} ناشی از ارتعاش N-H و C=N است. نتایج طیف‌سنجی نمونه‌های شاهد و اصلاح‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۲ نمایش داده شده است. تفاوتی بین طیف‌های FTIR نمونه‌های خنک شده در روغن و نمونه‌های خنک شده در روغن حاوی صمغ بنه مشاهده نشد. پیک مشاهده‌شده در عدد موجی 1745 cm^{-1} مربوط به ارتعاشی کششی غیرمزدوج گروه کربونیل C=O است. در چوب‌های

کارایی ضد واکنشیدگی حجمی از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$ASE = [(S_u - S_m) / S_u] \times 100 \quad (3)$$

بازدارندگی جذب آب نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مقطر اندازه‌گیری شد. بازدارندگی جذب آب از رابطه (۴) به دست آمد.

$$WRE = [(W_u - W_m) / W_u] \times 100 \quad (4)$$

در روابط بالا، E_u و E_m به ترتیب رطوبت تعادل چوب تیمارنشده و چوب اصلاح‌شده، S_u و S_m به ترتیب واکنشیدگی حجمی چوب تیمار نشده و اصلاح‌شده و W_u و W_m به ترتیب میزان جذب آب چوب تیمار نشده و چوب اصلاح‌شده است.

زاویه تماس قطره آب^۱

برای تعیین میزان آب‌گریزی نمونه‌ها، آزمون زاویه تماس قطره آب انجام شد. قبل از اندازه‌گیری، رطوبت آن‌ها در اتاق کلیما در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد متعادل‌سازی شد. زاویه تماس قطره آب بر روی سطح مماسی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و برای این منظور از دستگاه مدل SNE استفاده شد. اندازه‌گیری زاویه تماس به روش Sessile Drop انجام شد. اندازه قطره ۸ میکرومتر و سرعت قطره‌گذاری بر روی سطح کمتر از ۱ ثانیه بود.

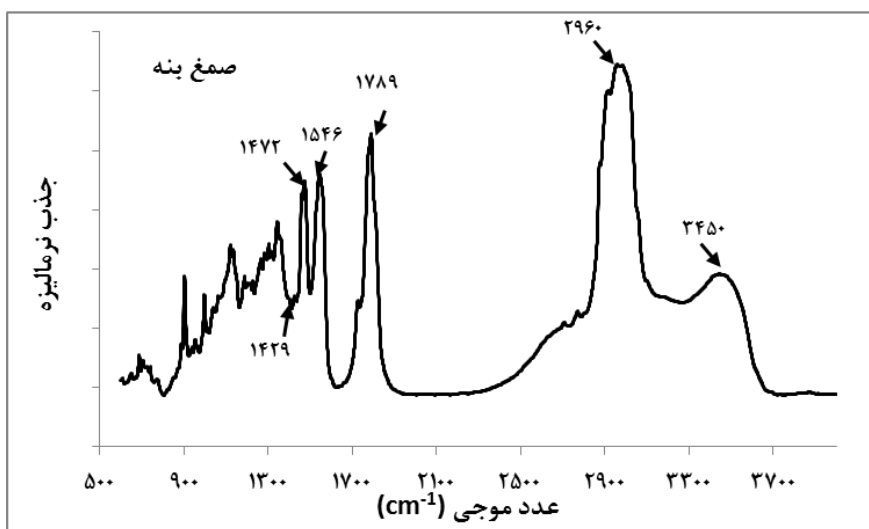
ویژگی‌های مکانیکی

هر آزمون مکانیکی با ۴ تکرار انجام شد و در مجموع برای هر آزمون ۴۰ نمونه تهیه شد. قبل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی، نمونه‌ها در اتاق کلیما در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد به مدت ۲ هفته متعادل‌سازی شدند. پس از متعادل‌سازی، مقاومت به ضربه، مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی، مقاومت به فشار موازی الیاف نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقاومت فشار موازی بر الیاف از نمونه‌هایی به ابعاد $20 \times 20 \times 60$ mm مطابق استاندارد ISO 3787-1976، برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی، از نمونه‌هایی به ابعاد

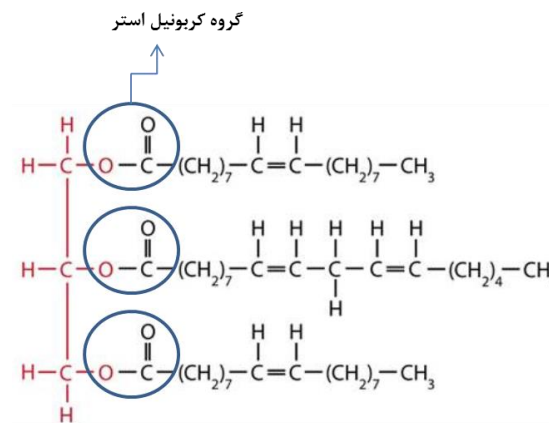
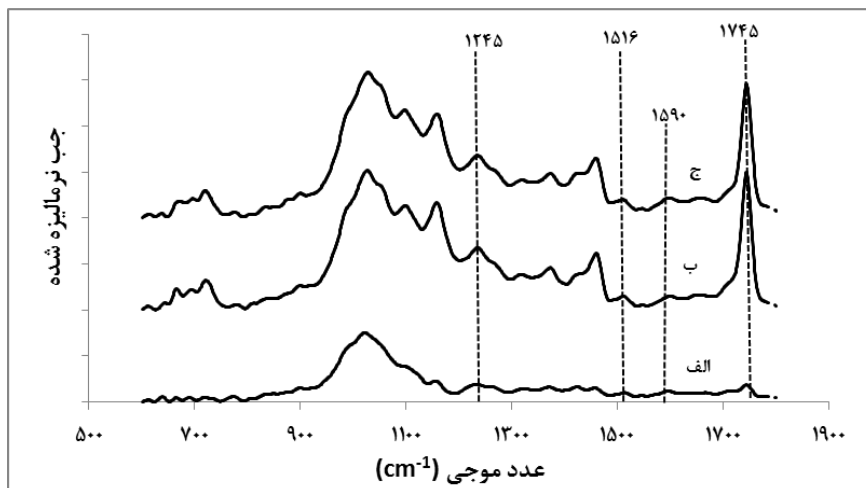
^۱Contact angle

است. پیک جذبی در عدد موجی 1245 cm^{-1} بیانگر ارتعاش کششی C-O در لیگنین و همی سلولزها است. کاهش شدت این پیک در چوب اصلاح حرارتی شده می‌تواند حاکی از تخریب لیگنین باشد [۵]. البته شدت این پیک در نمونه‌های اصلاح شده در این تحقیق به علت تداخل پیک‌های چوب و روغن افزایش یافت. پیک جذبی در عدد موجی 1516 cm^{-1} مربوط به ارتعاش ساختارهای آروماتیک لیگنین و مواد استخراجی است. پیک جذبی در عدد موجی 1590 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی مزدوج C-O و C=C در ساختار آروماتیک لیگنین است. کاهش شدت پیک در این عدد موجی در چوب اصلاح حرارتی شده می‌تواند نشانه باز شدن پیوندهای گلیکوزیدی بین واحدهای قندی در همی سلولز و یا پل‌های بین لیگنین و همی سلولز و تشکیل اتصالات هیدروژنی در سلولز آمورف باشد. نتایج نشان داد که در همه اعداد موجی مذکور، شدت جذب به علت حضور روغن در چوب روغن گرمایی شده افزایش یافت. Tomak (۲۰۱۱) نیز در مورد چوب روغن گرمایی شده با استفاده از روغن‌های مختلف مانند روغن سویا، کلزا و آفتابگردان به نتایج مشابهی دست‌یافت [۵].

سوزنی‌برگ این پیک در عدد موجی $1737/5 \pm 2/7\text{ cm}^{-1}$ و در چوب‌های پهن‌برگ در عدد موجی $1745/2 \pm 3/9\text{ cm}^{-1}$ متغیر است [۱۱]. اعتقاد بر این است که در اثر اصلاح حرارتی در محیط بخار آب به علت تخریب و کاهش همی سلولزها، از شدت این پیک در چوب اصلاح شده کاسته می‌شود. پیک جذب گروه کربونیل برای همی سلولزها ناشی از وجود استرها و اسیدهای مونومری است. البته تغییرات شدت پیک در این عدد موجی می‌تواند ناشی از تخریب بخش آمورف سلولز و افزایش درجه بلورینگی سلولز نیز باشد. همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده است، شدت پیک در این عدد موجی در نمونه‌های روغن گرمایی شده به شدت افزایش یافته است. این افزایش می‌تواند ناشی از حضور روغن در چوب باشد. $94/4$ الی $99/1$ درصد روغن کلزا از تری‌گلیسریدها تشکیل شده است که استر یک مولکول گلیسرول و سه مولکول اسیدهای چرب است. در ساختار شیمیایی چربی روغن کلزا گروه‌های کربونیل استر قابل مشاهده است (شکل ۲)؛ بنابراین، برخلاف چوب بخارگرمایی شده به علت تداخل پیک‌های چوب و روغن در این عدد موجی، اظهارنظر در مورد شدت تخریب همی سلولزها در چوب روغن گرمایی شده مشکل



شکل ۱- طیف مادون قرمز (ATR-FTIR) صمغ بنه



شکل ۲- طیف‌سنجی مادون قرمز (ATR-FTIR) (الف) چوب تیمار نشده، (ب) چوب اصلاح شده در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و (ج) چوب اصلاح شده در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و خنک شده در روغن حاوی رزین بنه (شکل بالا)؛ ساختار شیمیایی چربی معمول موجود در روغن کلزا (شکل پایین)

صمغ بنه در مقایسه با روغن باشد. در نمونه‌هایی که عملیات خنک کردن آن‌ها صرفاً در روغن سرد بدون صمغ بنه انجام شد، با افزایش دمای اصلاح حرارتی از ۱۸۰ به ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد از WPG آن‌ها کاسته شد. تخریب بیشتر ترکیبات دیوار سلولی چوب به‌ویژه همی‌سلولزها در دماهای بالاتر و کاهش جرم چوب می‌تواند دلیلی بر وقوع این مسئله باشد. در حقیقت، طی تیمار روغن‌گرمایی کاهش جرم چوب در اثر تخریب ترکیبات دیوار سلولی و نیز جذب روغن به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهد. روند کاهشی در میزان WPG نمونه‌های روغن‌گرمایی شده با افزایش دمای اصلاح حرارتی در اغلب تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است [۱۲]. در مقابل، زمانی که عملیات خنک کردن در روغن حاوی صمغ بنه با غلظت ۵ درصد انجام شد،

درصد افزایش وزن نمونه‌ها (WPG)

در جدول ۱ نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه ارائه شده است. در جدول ۲ درصد افزایش وزن نمونه‌ها (WPG) پس از اصلاح حرارتی ارائه شده است. نتایج نشان داد که وزن همه نمونه‌ها در اثر تیمار روغن‌گرمایی افزایش می‌یابد و مقدار WPG در دامنه ۶۰/۷ الی ۷۷/۶ درصد متغیر بود. در تحقیقات گذشته نیز مقدار WPG چوب پس از تیمار روغن‌گرمایی در دامنه ۵۰-۹۰ درصد گزارش شده است [۲، ۱۰]. میزان WPG چوب روغن‌گرمایی شده بسته به متغیرهای فرایند (دما و مدت‌زمان تیمار) و گونه‌چوبی متفاوت است [۲]. در اثر خنک کردن نمونه‌های روغن‌گرمایی شده در روغن حاوی صمغ بنه، بر مقدار WPG آن‌ها افزوده شد و این افزایش با غلظت صمغ بنه متناسب بود. این مسئله شاید ناشی از دانسیته بالاتر

سانتی‌گراد برابر با ۳۰/۲، ۱۸/۴ و ۱۳/۸ درصد بود. با مقایسه این داده‌ها و مقادیر WPG بعد از مرحله خنک کردن می‌توان دریافت که در نمونه‌های اصلاح‌شده در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۵۷/۲، ۷۱/۸ و ۷۷/۴ درصد از WPG مربوط به مرحله خنک کردن در روغن است که بیانگر جذب قابل‌توجه روغن در این مرحله پایانی کوتاه‌مدت است. بیشترین جذب روغن در مرحله خنک کردن مربوط به نمونه‌هایی بود که در دمای بالاتر اصلاح‌شده بودند.

WPG در نمونه‌های تیمار شده در دماهای بالاتر بیشتر بود.

اعتقاد بر این است که در مرحله خنک کردن فرایند تیمار روغن گرمایی، به علت گرادیان فشار ایجادشده، روغن به مقدار قابل‌توجهی جذب می‌شود و حتی ممکن است مقدار جذب روغن توسط چوب طی خنک کردن بیشتر از مرحله تیمار حرارتی باشد [۱۳]. مقدار WPG پس از اصلاح حرارتی و قبل از خنک کردن به ترتیب برای نمونه‌های اصلاح‌شده در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه

جدول ۱- نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

سطح معنی‌داری (Sig.)								منبع تغییرات
مقاومت به ضربه	مقاومت فشاری موازی الیاف	مقاومت خمشی	مدول لاستیسیته	WRE	ASE	MME	WPG	
S	NS	S	S	S	S	S	S	دما
NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	غلظت صمغ بنه
NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	دما × غلظت صمغ بنه
								S معنی‌داری در سطح ۵٪
								NS عدم معنی‌داری در سطح اعتماد بالاتر از ۹۵٪

جدول ۲- درصد افزایش وزن (WPG) نمونه‌ها

افزایش وزن (درصد)	غلظت صمغ بنه (درصد)	دمای اصلاح حرارتی (درجه سانتی‌گراد)
۷۰/۲(۳/۹)	۰	
۷۴/۲(۱/۰۳)	۵	۱۸۰
۷۶/۵(۰/۹)	۱۰	
۶۵/۴(۱/۸)	۰	
۶۷/۲(۱/۹)	۵	۲۰۰
۷۷/۶(۲/۳)	۱۰	
۶۰/۷(۱/۹)	۰	
۷۱/۲(۲/۲)	۵	۲۲۰
۷۷/۵(۱/۳)	۱۰	

اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است

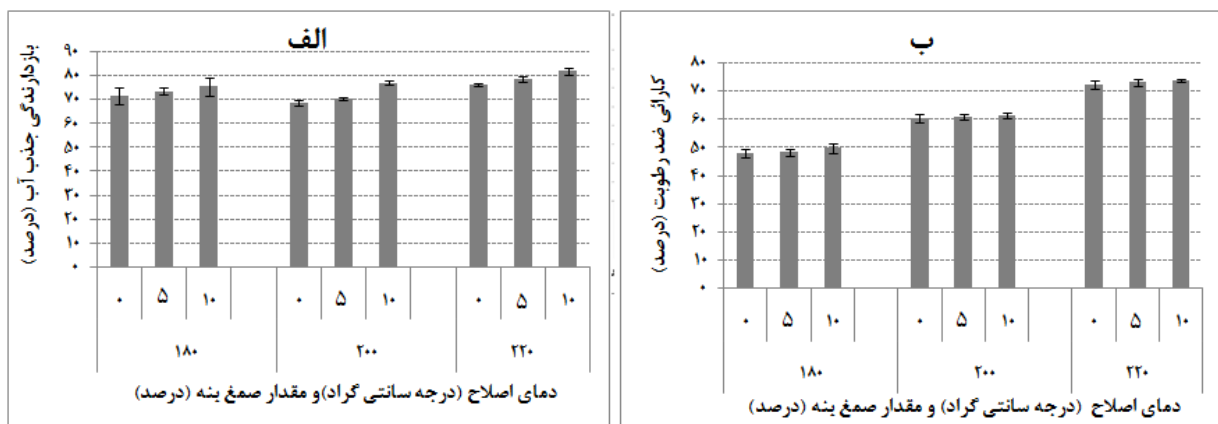
درصد صمغ بنه مشاهده شد. در مجموع، عملیات خنک کردن در صمغ بنه موجب بهبود بازدارندگی جذب آب نمونه‌ها شد (شکل ۳- الف). اصلاح حرارتی در روغن، رطوبت تعادل نمونه‌ها را به صورت معنی‌داری کاهش داد که این کاهش متناسب با افزایش دمای تیمار بود (شکل ۳- ب). میانگین کارایی ضد رطوبت نمونه‌های اصلاح‌شده در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب

بازدارندگی جذب آب، کارایی ضد رطوبت و ضدواکسیدگی

مقدار جذب آب همه نمونه‌های اصلاح‌شده در مقایسه با نمونه شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت. بازدارندگی جذب آب نمونه‌ها در دامنه ۶۸/۸ الی ۸۱/۹ درصد متغیر بود و بیشترین بازدارندگی جذب آب در نمونه اصلاح‌شده در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد و خنک شده در ۱۰

صمغ بنه در مقایسه با نمونه‌های اصلاح‌شده در دماهای کمتر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۴). بیشترین میانگین کارایی ضد واکنشیدگی در چوب صنوبر اصلاح‌شده در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد و خنک شده در صمغ بنه ۵ درصد به میزان ۵۵/۵ درصد بود. پس تیمار خنک کردن نمونه‌ها در صمغ بنه تأثیر معنی‌داری بر کارایی ضد واکنشیدگی نمونه‌های اصلاح‌شده در دمای ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نداشت. در فرایند اصلاح حرارتی در روغن علاوه بر ایجاد تغییرات شیمیایی در ترکیبات دیوار سلولی چوب، با قرار گرفتن روغن که خاصیت آب‌گریز دارد در حفره سلولی، جذب آب و واکنشیدگی دیوار سلولی کاهش می‌یابد [۱۴].

برابر با ۴۸/۶، ۶۰/۸ و ۷۳ درصد بود. خنک کردن در صمغ بنه به مقدار جزئی کارایی ضد رطوبت را بهبود بخشید ولی این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. اصلاح حرارتی چوب در دماهای بالا به علت تخریب ترکیبات دیوار سلولی به‌ویژه همی‌سلولزها و کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد و افزایش پیوندهای عرضی در ترکیبات لیگنین موجب کاهش رطوبت تعادل آن می‌شود [۱]. نتایج نشان داد که بین کارایی ضد واکنشیدگی نمونه‌های اصلاح‌شده در دماهای ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری وجود دارند و میانگین کارایی آن‌ها در دامنه ۲۵/۸ الی ۳۷/۷ درصد متغیر بود. در مقابل، کارایی ضد واکنشیدگی چوب صنوبر اصلاح‌شده در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد در صورت انجام عملیات خنک کردن در



شکل ۳- تأثیر دمای اصلاح حرارتی و مقدار رزین بنه بر بازدارندگی جذب آب (الف) و کارایی ضد رطوبت (ب)

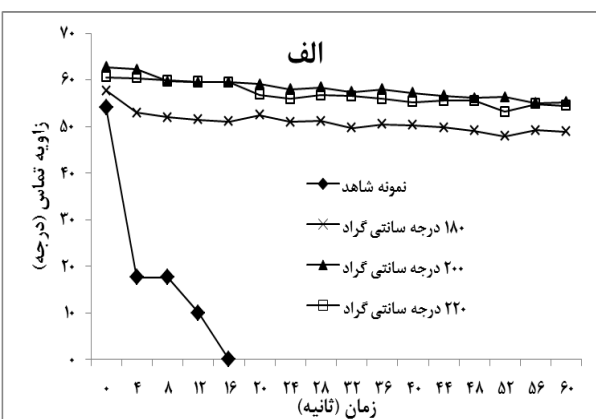
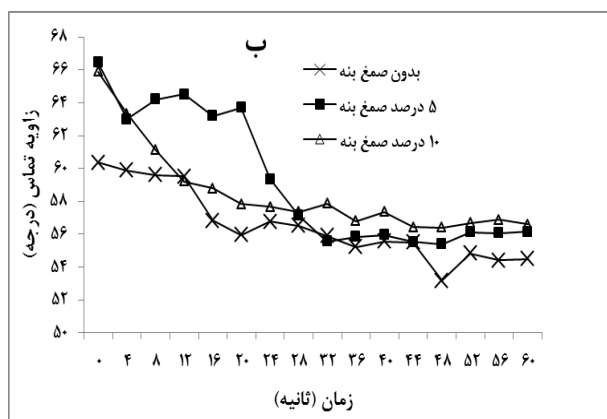


شکل ۴- تأثیر دمای اصلاح حرارتی و مقدار رزین بنه بر کارایی ضد واکنشیدگی

زاویه تماس

نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس نشان داد که چوب روغن گرمایی شده در مقایسه با نمونه شاهد زاویه تماس بیشتر (نم‌پذیری کمتری) دارد که حاکی از آب‌گریزی چوب اصلاح‌شده است. همان‌طور که در شکل ۵-الف قابل‌مشاهده است، زاویه تماس نمونه شاهد به‌سرعت کاهش یافته و پس از ۱۶ ثانیه از قرار گرفتن قطره بر روی سطح مقدار آن از ۵۴/۱ درجه به صفر درجه کاهش می‌یابد. در مقابل، در نمونه‌های اصلاح‌شده به‌طور متوسط زاویه تماس پس از یک دقیقه قطره‌گذاری تنها به مقدار ۶/۲ الی ۸/۸ درجه کاهش یافت و مقدار آن در پایان این مدت‌زمان بیشتر از ۴۸/۹ درجه بود. اغلب محققین گذشته نیز دریافتند که اصلاح حرارتی از نم‌پذیری چوب می‌کاهد [۱۵، ۱۶]. با افزایش دمای تیمار از ۱۸۰ به ۲۰۰ درجه

سانتی‌گراد، از مقدار زاویه تماس کاسته شد ولی تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های اصلاح‌شده در دمای ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. خنک کردن نمونه‌ها در روغن حاوی صمغ بنه تأثیر معنی‌داری بر زاویه تماس نمونه‌های اصلاح‌شده داشت و موجب کاهش نم‌پذیری آن‌ها شد (شکل ۵-ب). زاویه تماس در ثانیه ابتدایی و پایانی قطره‌گذاری در نمونه‌های خنک شده در روغن حاوی صمغ بنه به ترتیب به‌طور متوسط ۵ و ۲ درجه بیشتر از نمونه‌های خنک شده در روغن بود. افزایش مقدار صمغ بنه از ۵ به ۱۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر مقدار زاویه تماس نداشت. کاهش ترشوندگی چوب اصلاح حرارتی شده به افزایش درجه بلورینگی چوب در اثر تخریب همی‌سلولزها و کاهش گروه‌های هیدروکسیل در دسترس چوب [۱۵] و پلاستیکی شدن لیگنین [۱۶] نسبت داده می‌شود.



شکل ۵-الف) تأثیر دمای اصلاح حرارتی (الف) و مقدار صمغ بنه (ب) بر زاویه تماس دینامیک قطره آب طی مدت ۶۰ ثانیه

ویژگی‌های مکانیکی

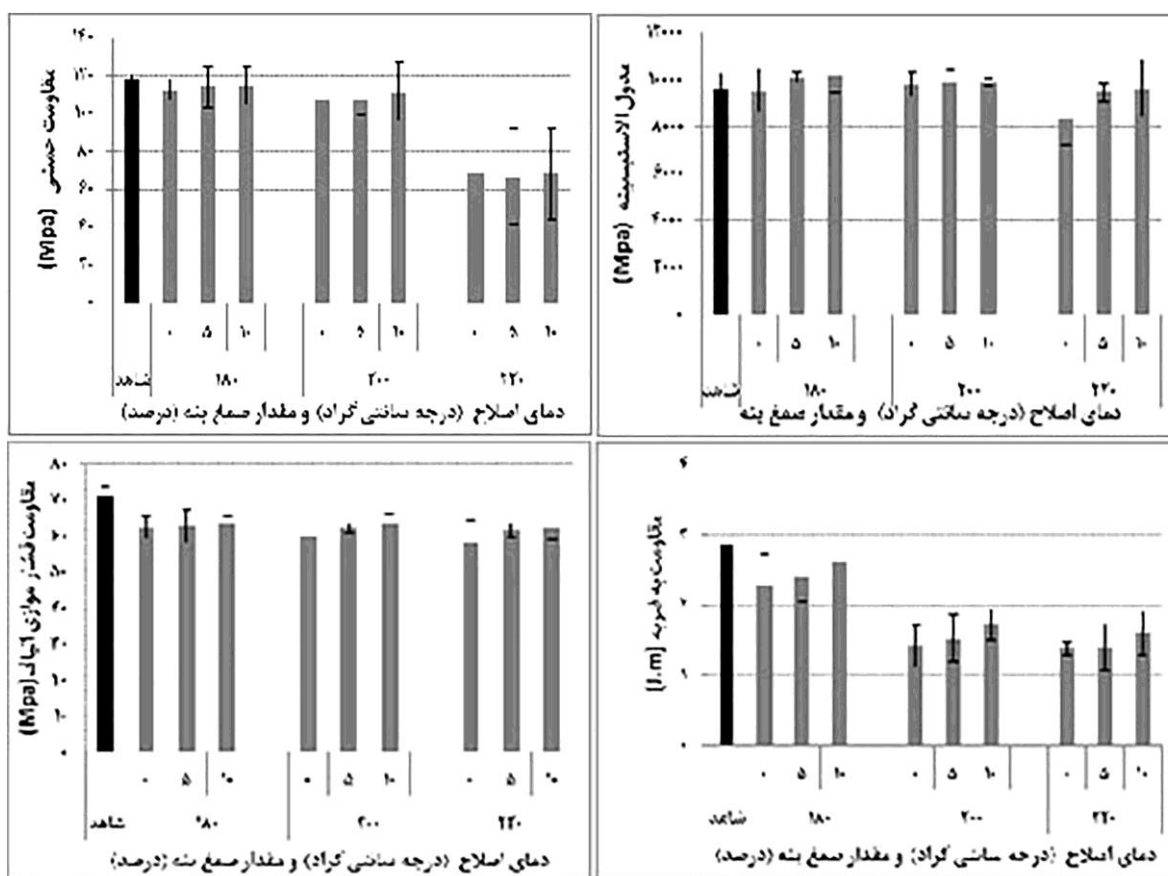
نمونه شاهد بود. از مقاومت به ضربه نمونه‌ها در اثر اصلاح حرارتی کاسته شد و مقدار این کاهش در دماهای بالاتر بیشتر بود. مقاومت به ضربه نمونه اصلاح‌شده در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد ۱۰۹ درصد کمتر از نمونه شاهد بود. با مقایسه داده‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تیمار روغن گرمایی ویژگی‌های دینامیکی (مقاومت به ضربه) چوب صنوبر را بیشتر از سایر مقاومت‌ها کاهش داده است. در تحقیقات گذشته نیز به نتایج مشابهی دست‌یافته‌اند [۱۷]. اعتقاد بر این است که به علت جذب روغن توسط چوب و افزایش دانسیته آن مقاومت‌های مکانیکی چوب روغن گرمایی شده به‌ویژه مقاومت به فشار موازی الیاف آن کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۵]. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که در مقایسه با مقاومت خمشی و مقاومت

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی در شکل ۶ ارائه شده است. تفاوت معنی‌داری بین مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه‌های اصلاح‌شده در دماهای ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و نمونه شاهد در سطح ۵ درصد وجود نداشت ولی اصلاح در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی به ترتیب به میزان ۱۳/۲ و ۴۲/۹ درصد شد. در اثر اصلاح حرارتی از مقاومت فشار موازی الیاف چوب به‌طور معنی‌داری کاسته شد ولی تفاوت معنی‌داری بین مقاومت به فشار موازی الیاف نمونه‌های اصلاح‌شده در دماهای مختلف مشاهده نشد. به‌طور متوسط مقاومت به فشار موازی الیاف نمونه‌های اصلاح‌شده ۱۵/۴ درصد کمتر از

میزان کاهش مقاومت‌ها بسته به گونه و شرایط اصلاح متفاوت است. هر یک از ترکیبات اصلی دیوار سلولی چوب (لیگنین، سلولز و همی‌سلولز) سهمی در تأمین مقاومت‌های مکانیکی آن دارند؛ بنابراین، هر روش اصلاح حرارتی یا شیمیایی که ساختار شیمیایی این ترکیبات و نیز برهمکنش آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد موجب تغییر در مقاومت‌های مکانیکی چوب می‌شود. بر این اساس، کاهش مقاومت‌های چوب اصلاح‌شده به تخریب همی-سلولزها و افزایش درجه بلورینگی سلولز ناشی از تخریب بخش آمورف و یا کریستالی شدن آن و واکنش‌های تراکمی لیگنین نسبت داده می‌شود [۱۸].

به ضربه، مدول الاستیسیته و مقاومت به فشار موازی الیاف نمونه‌ها پس از اصلاح حرارتی تغییرات کمتری نشان دادند. به‌رحال، میزان تغییرات در مقاومت‌های مکانیکی چوب متأثر از گونه چوبی، ابعاد نمونه و شرایط اصلاح حرارتی (دما و مدت‌زمان تیمار) است.

نتایج نشان داد که خنک کردن نمونه‌ها در روغن حاوی صمغ بنه بر مقاومت خمشی و مقاومت به فشار موازی الیاف آن‌ها تأثیرگذار نیست ولی موجب بهبود معنی‌داری در مقاومت به ضربه نمونه‌های اصلاح‌شده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدول الاستیسیته نمونه‌های اصلاح‌شده در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد شد.



شکل ۶- اثر دمای اصلاح حرارتی و مقدار صمغ بنه بر ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها

کردن موجب بهبود بازدارندگی جذب آب مویبگی و افزایش زاویه تماس (کاهش نهم‌پذیری) آن می‌شود ولی بر کارایی ضدواکشی‌دگی و ضد رطوبت آن تأثیر معنی‌داری ندارد. علاوه بر آن، برخی مقاومت‌های مکانیکی چوب‌های اصلاح حرارتی شده به‌ویژه مقاومت به ضربه آن‌ها در اثر

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثرات خنک کردن چوب صنوبر روغن‌گرمایی شده در روغن سرد حاوی صمغ بنه بر ویژگی‌های کیفی چوب اصلاح‌شده بررسی شد. در مجموع نتایج نشان داد که افزودن صمغ بنه به روغن کلزا در مرحله خنک

صمغ بنه بود و افزایش مقدار صمغ بنه از ۵ به ۱۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی نداشت. در مقابل، اثر مستقل دما و مقدار صمغ بنه بر میزان WPG و همه ویژگی‌های فیزیکی معنی‌دار بود. با توجه به تأثیر روش و شرایط خنک کردن چوب روغن گرمایی شده بر ویژگی چوب اصلاح‌شده پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی سایر روش‌های خنک کردن مانند خنک کردن در هوای آزاد و یا خنک کردن در روغن داغ با کاهش تدریجی دمای آن بر ویژگی‌های کاربردی چوب روغن گرمایی شده موردبررسی قرار گیرد.

خنک‌کردن در روغن حاوی صمغ بنه افزایش یافت. همچنین، میزان WPG در اثر خنک کردن در روغن حاوی صمغ بنه افزایش یافت. در مقابل، وقتی عملیات خنک کردن در روغن بدون صمغ بنه انجام شد، میزان WPG با افزایش دمای اصلاح حرارتی شاید به علت تخریب بیشتر ترکیبات دیوار سلولی به‌ویژه همی سلولزها کاهش یافت؛ بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان جذب صمغ بنه در نمونه‌های اصلاح‌شده در دمای بالا بیشتر بوده است. به‌طور کلی، میزان تأثیرگذاری عملیات خنک کردن چوب روغن گرمایی شده در روغن حاوی صمغ بنه بر ویژگی‌های مکانیکی وابسته به دمای اصلاح و تقریباً مستقل از مقدار

منابع

- [1] Hill, C. A. S., 2006. Wood Modification – Chemical, Thermal and Other Processes, C. Stevens (ed.), John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- [2] Sailer, M, Rapp, A.O. and Leithoff, H., 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. The International Research Group on Wood Preservation IRG/WP 00-40162.
- [3] Rapp, A.O. and Sailer, M., 2001. Oil heat treatment of wood in Germany-State of the art. In: Review on heat treatments of wood. COST Action E22, Environmental optimisation of wood protection. Proceedings of the special seminar held in Antibes, Forestry and Forestry Products, France, 66p.
- [4] Wang, J., 2007. Initiating evaluation of thermal-oil treatment for post-MPB lodgepole pine. Forintek Canada Corp., Vancouver BC, Canada.
- [5] Tomak, E. D., Hughes, M., Yildiz, U.C. and Viitanen, h., 2011. The combined effects of boron and oil heat treatment on beech and Scots pine wood properties. Part 1: Boron leaching, thermogravimetric analysis, and chemical composition. Journal of Materials Science, 46:598–607.
- [6] 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).
- [7] Mohebbi, B., Kevily, H. and Kazemi-Najafi, S., 2014. Oleothermal modification of fir wood with a combination of soybean oil and maleic anhydride and its effects on physico-mechanical properties of treated wood. Wood Science Technology, 48:797–809.
- [8] Pourreza, M., Shaw, J.D. and Zangeneh, H., 2008. Sustainability of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in Zagros forests, Iran. Forest Ecology and Management. 255: 3667–3671.
- [9] Daryaei, M.G., Hoseiny, S.K., Taheri, K., Mirzaei, J. and Mzbani, A., 2012. Effect of morphological variables of *Pistacia atlantica* on gum and seed production. Iranian Journal of Biology, 25(2): 303-315. (In Persian).
- [10] Awoyemi, L., Cooper, P.A. and Ung, T.Y., 2009. In-treatment cooling during thermal modification of wood in soy oil medium: soy oil uptake, wettability, water uptake and swelling properties. European Journal of Wood and Wood Products, 67: 465–470.

- [11] Baker, B. and Owen, N.L., 1999. Identifying softwoods and hardwoods by infrared spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, 76: 1706-1709.
- [12] Bazyar, B., 2012. Aspen decay & oil heat treatment. *Bio-Resources*, 7(1): 696-705.
- [13] Grenier, D., Bailleres, H., Meot, J.M., Langbour, P. and Lanvin, J.D., 2003. Oil absorption during oleothermic treatment of wood. In: *The First European Conference on Wood Modification ECWM 2003*, Ghent, Belgium.
- [14] Dubey, M.K., Pang, S. and Walker, J., 2012. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment. *Holzforschung*, 66(1): 49-57.
- [15] Pétrissans, M., Gerardin, P. and Serraj, M., 2003. Wettability of heat-treated wood. *Holzforschung*, 57(3): 301-307.
- [16] Hakkou, M., Petrisans, M., Zoulalin, A. and Gerardin, P., 2005. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 89: 1-5.
- [17] Esteves, B.M. and Pereira, H.M., 2009. Wood modification by heat treatment: a review. *Bioresources*, 4:370-404.
- [18] Boonstra, M.J., Van Acker, J., Tjeerdsma, B.F. and Kegel, E.V., 2007. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of forest science*, 64:679-690.

Effect of Bene (*Pistacia atlantica*) gum on the physical and mechanical properties of oil-heat treated wood

Abstract

Cooling of oil-heat treated wood which is carried out at the final stage of thermal modification process can affect the properties of the modified wood. In the present study, poplar wood modified in canola oil (at 180, 200 and 220°C for 2 h) was cooled in the cold oil containing 0, 5 and 10% Bene gum (*Pistacia atlantica*) for 30 minutes. The weight gain percentage (WPG) of specimens ranged from 60.7 to 77.6 % and reduced by increasing the modification temperature; however, the WPG increased as a result of cooling the oil containing Bene gum. On the whole, cooling the oil containing Bene gum had no significant effect on the moisture exclusion and anti-swelling efficiencies whereas improved the water repellent efficiency. The results of dynamic contact angle measurement for 60 s also showed that cooling the oil with Bene gum reduced the wettability of the modified wood, even more. However, increasing the gum content from 5 to 10% had no significant effect on this property. As a result of adding the Bene gum in oil, the bending strength and compression strength parallel to grain were not changed but the impact resistance of the wood specimens modified at 180°C and modulus of elasticity of those modified at 220°C were improved. The results of ATR-FTIR showed that the peak intensity at wavenumber of 1745 cm⁻¹ which is related to the stretching vibration of carbonyl group (C=O) was higher in the modified wood compared with the untreated wood probably due to the presence of oil in the modified wood.

Keywords: oil heat treated wood, Bene gum, physical and mechanical properties.

M. Mahmoud kia¹
A. Tarmian^{2*}
A.N. Karimi³
A. Abdulkhani⁴
M.R. Mastri Farahani⁵

¹ Ph.D. student, Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Associate Prof., Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Professor, Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁴ Associate Prof., Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁵ Associate Prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:
tarmian@ut.ac.ir

Received: 2016/11/14
Accepted: 2017/01/04