

بررسی اثر ترکیبی تیمار نانوقره و تیمار حرارتی بخار گرمایی بر خواص چوب

چکیده

در این تحقیق اثر ترکیبی اشباع چوب با محلول نانوقره و تیمار حرارتی با بخار آب (بخار گرمایی) بر برخی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب‌های راش (*Fagus orientalis* Lipsky) و نوئل (*Picea abies*) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های چوب ابتدا به مدت ۲۰ دقیقه در فشار ۰/۲۵ مگاپاسکال در سیلندر اشباع، توسط محلول نانو قره اشباع شده و متعاقباً تحت تیمار بخار گرمایی در دماهای ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان ۱، ۳ و ۵ ساعت قرار گرفتند. نمونه‌های شاهد، بدون مرحله اشباع، فقط تحت تیمار بخار آب قرار گرفتند. واکنشیدگی حجمی بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، مقاومت خمشی، مقاومت به ضربه و مقاومت فشاری موازی با الیاف مطابق با ASTM D143 اندازه‌گیری شده و کلیه داده‌ها مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش واکنشیدگی و مقاومت‌های مکانیکی در نتیجه افزایش دما و زمان بخاردهی بود. همچنین، در نمونه‌های اشباع شده با محلول نانوقره و تیمار شده با افزایش زمان و دمای تیمار، مقدار واکنشیدگی حجمی بعد از ۲ و ۲۴ ساعت کاهش پیدا می‌کند. تیمار با نانو مقاومت‌ها را کاهش داده و زمان ۵ ساعت و دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس نیز کم‌ترین مقاومت‌های مکانیکی را ایجاد می‌کند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با عمل اشباع چوب توسط محلول نانوقره می‌توان تیمار بخار گرمایی را در دمای بالاتری (۱۸۰ درجه سلسیوس) انجام داد تا ضمن رسیدن به ثبات ابعاد بهتر، مقاومت‌های مکانیکی چوب تیمار و اشباع شده کم‌تر کاهش یابد.

واژگان کلیدی: تیمار بخار گرمایی، نانو قره، مقاومت خمشی، مقاومت فشاری موازی الیاف، واکنشیدگی حجمی

غنچه رسام^۱

حمیدرضا تقی‌یاری^۲

مستوره ابراهیمی^{۳*}

^۱عضو هیئت علمی، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

^۲کارشناس ارشد صنایع چوب دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، مربی فنی و حرفه ای شهرستان کامیاران

مسئول مکاتبات:

masture.ebrahimi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۲۰

مقدمه

تیمار حرارتی با بخار (تیمار بخار گرمایی) یکی از انواع روش‌های اصلاح چوب است که با بهبود ثبات ابعاد و افزایش دوام طبیعی و بیولوژیکی چوب، روشی دوست‌دار محیط زیست شناخته شده است، زیرا بدون استفاده از مواد

شیمیایی و فقط با حضور بخار در دمای بالا، منجر به تغییر و تبدیل ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده چوب می‌شود. محققین زیادی اصلاح چوب را به کمک تیمار حرارتی، در شرایط متفاوتی انجام داده و به نتایج مختلفی دست یافته‌اند از جمله:

بازگشت ضخامت و نهایتاً ثبات ابعاد و بهبود ویژگی‌های مکانیکی چوب پرداخته شده است [۷۶]. اخیراً استفاده از نانوسیالات که در حقیقت سوسپانسیون پایداری از نانوفیبرها و نانوذرات جامد هستند، به عنوان روشی جدید در عملیات انتقال حرارت نیز مطرح شده است. تحقیقات اخیر روی نانوسیالات، افزایش قابل توجهی را در هدایت حرارتی آن‌ها نسبت به سیالات بدون نانوذرات و یا همراه با ذرات بزرگ‌تر (ماکرو ذرات) نشان می‌دهد (Habibi 2006). در زمینه اثرات استفاده از نانو ذرات فلزی روی خواص چوب نیز، اخیراً تحقیقاتی صورت گرفته است [۱۰].

Taghiyari (۲۰۱۰)، در تحقیقی به این نتیجه رسید که با استفاده از نانوذرات نقره انتقال حرارت به قسمت‌های عمیق‌تر (مغز) چوب تسهیل می‌شود اما در اثر آن امکان تخریب ساختار چوب و پیرولیز آن افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان دادند که نمونه‌های اشباع شده‌ای که تحت تیمار حرارتی قرار گرفتند، نسبت به نمونه‌های اشباع نشده، دارای ضریب کشسانی و گسیختگی، و مقاومت فشار موازی الیاف کمتری بوده‌اند [۱۲]. همچنین در بررسی‌های مربوط به اثر اشباع با محلول نانو نقره بر ثبات ابعاد و خواص مکانیکی چوب‌های فشرده سپیدار و نوئل مشخص گردید که به دلیل هدایت حرارتی بالای ذرات نقره و تخریب بیشتر همی سلولزها در پرس گرم و همچنین امکان ایجاد اتصال بین یون‌های نقره و سایت‌های هیدروکسیل آزاد در چوب، میزان سایت‌های هیدروکسیل آزاد و در نتیجه میزان واکنشیدگی حجمی نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین اگر چه مقاومت‌های مکانیکی نمونه‌های اشباع شده با نانو نقره، در دمای 150°C و مدت زمان ۱ ساعت، کم‌تر از نمونه‌های اشباع نشده بوده اما در دمای بالای 175°C و زمان ۴ ساعت تفاوت معنی‌داری بین مقاومت نمونه‌های اشباع شده و اشباع نشده، دیده نشد [۱۱ و ۱۰]. هدف از این تحقیق، اعمال تیمار ترکیبی اشباع با محلول نانونقره و تیمار حرارتی با بخار آب برگونه‌های چوبی راش و نوئل بوده است تا تأثیر این تیمار بر برخی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب‌ها مشخص شود.

Tjeerdsma و Boonstra (۲۰۰۶) در بررسی اثر دما در تیمار بخار اعلام نمودند که در اصلاح چوب به روش بخار گرمایی، شکل‌گیری اسیداستیک، در اثر آب‌کافت همی سلولزها، باعث افزایش اسیدیته (یا کاهش pH) چوب می‌گردد. حضور آب در این تجزیه برای شکستن گروه‌های استیل به اسیداستیک که بعداً نقش کاتالیزور را در واپسپارش پلی‌مرهای کربوهیدراتی ایفا می‌کند، ضروری است. در درجه حرارت 180°C و بالاتر، تمامی گروه‌های استیل در دسترس، تجزیه می‌شوند، اما تا دمای 165°C فقط بخشی از آنها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. تعداد گروه‌های هیدروکسیل پس از تیمار در دمای بالا، کاهش می‌یابد که سبب کاهش نهم‌پذیری چوب می‌شود و در نتیجه ثبات ابعاد و دوام طبیعی آن را افزایش می‌دهد [۱]. Stamm (۱۹۵۶)، در مقایسه اثر تیمار حرارتی خشک و تیمار بخار گرمایی اعلام نمود که تخریب حرارتی و کاهش جرم در حضور بخار آب در مقایسه با شرایط خشک شدیدتر است و نهایتاً منجر به افزایش ثبات ابعاد و کاهش مقاومت‌های مکانیکی در چوب می‌شود [۲]. Talaei و Yaghoobi (۲۰۰۹)، به بررسی اثر تیمار آب گرمایی بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب توت پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر این تیمار ثبات ابعاد چوب افزایش یافته و مقاومت‌های مکانیکی آن کاهش می‌یابد [۳]. به‌طور کلی تیمار حرارتی منجر به افزایش مقاومت چوب در برابر تغییر ابعاد در شرایط متفاوت رطوبتی، خاصیت عایق حرارتی، مقاومت در برابر پوسیدگی و هوازگی و همچنین کاهش تغییر شکل‌های ناشی از رطوبت و ایجاد رنگ‌های جدید و شبیه به چوب‌های مناطق گرمسیری استوایی می‌شود [۴-۸].

از آنجا که تیمار حرارتی منجر به کاهش مقاومت‌های مکانیکی چوب می‌گردد لذا تحقیقات دیگری نیز توسط دیگر محققین جهت بهبود مقاومت‌های مکانیکی این چوب‌ها صورت گرفته است که از جمله می‌توان به تیمار ترکیبی گرمایی- مکانیکی (فشرده کردن چوب قبل و یا بعد از تیمارهای حرارتی) اشاره نمود. اما جهت کاهش بازگشت ضخامت چوب‌های فشرده شده، که منجر به عدم ثبات ابعاد این چوب‌ها می‌شود، نیز بررسی‌های مختلفی صورت گرفته است. در این بررسی‌ها با تغییر متغیرهای مربوط به تیمار حرارتی شامل دما و زمان تیمار به کاهش

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای انجام این تحقیق از الوارهای راش مناطق جنگلی شمال کشور و الوارهای نوئل وارداتی کشور روسیه و محلول نانو سیلور (AgNO₃) ppm ۴۰۰ استفاده شد. یون-های نقره به صورت کلوییدی در محلولی که به حالت سوسپانسیون است، قرار دارند که خاصیت مقاوم‌بودن در برابر نور، آنتی‌باکتریال (ضدباکتری)، آنتی‌فونگاس (ضدقارچ) و آنتی‌ویروس دارند. الوارها به مدت ۲ ماه در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵٪ قرار گرفتند تا به درصد رطوبت ۶-۷٪ رسیدند. سپس عملیات اشباع نمونه‌ها در سیلندر مخصوص با روش سلول خالی (روپینگ) در فشار ۲/۵ Bar (معادل ۰/۲۵ MPa) و مدت زمان ۲۰ دقیقه صورت گرفت. در این تحقیق میزان جذب محلول نانونقره اندازه‌گیری شد که برای گونه راش

0.38 g/cm^3 و برای گونه نوئل 0.23 g/cm^3 بود (جدول ۲). برای انجام تیمار بخار آب، نمونه‌ها به دانشگاه تهران انتقال داده شدند و در دماهای 120°C ، 150°C و 180°C و سه بازه زمانی ۱، ۳ و ۵ ساعت، تحت تیمار بخار گرمایی (شرایط تولید بخار به این صورت بود که بعد از اینکه بخار مورد نیاز در مخزن دیگری به نام بخارساز آماده شد، به‌طور تدریجی و مستمر به داخل مخزن بخارزن تزریق گردید) قرار گرفتند. بعد از انجام تیمار، نمونه‌ها به اتاق کلیما (دمای 30°C و رطوبت نسبی ۵۰-۴۵٪) منتقل شدند تا به رطوبت تعادل با محیط برسند. جدول ۱، ضریب هدایت حرارتی گونه‌های چوب و نقره و میانگین دانسیته چوب‌های راش و نوئل این بررسی را نشان می‌دهد. جدول ۲ مربوط به خواص نانو نقره مورد استفاده و مقدار جذب نانوذرات در دو گونه راش و نوئل را نشان می‌دهد.

جدول ۱- ضرایب هدایت حرارتی و دانسیته گونه‌های چوب و نقره

نقره	نوئل	راش	ماده
۴۲۰	۰/۱	۰/۲	ضریب هدایت حرارتی ($\text{j/sm}^2\text{c}$)
۱۰/۴۹	۰/۴	۰/۷	دانسیته (g/cm^3)

جدول ۲- خواص نانوذرات مورد استفاده

نام محلول	غلظت	میزان جذب در چوب راش	میزان جذب در چوب نوئل
نانونقره پایه آبی	۴۰۰ PPM	۰/۳۸ گرم بر سانتی متر مکعب	۰/۲۳ گرم بر سانتی متر مکعب

حجمی بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب طبق استاندارد ASTM D 143/94 (۲۰۰۷) با کولیس با دقت 0.1 mm مورد اندازه‌گیری قرار گرفت [۱۷].

ویژگی‌های مکانیکی

ابعاد نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی $25 \times 25 \times 410$ میلی‌متر، آزمایش فشارموازی با الیاف $25 \times 25 \times 100$ میلی‌متر و مقاومت به ضربه $20 \times 20 \times 250$ میلی‌متر طبق استاندارد ASTM D143/94 (۲۰۰۷) تعیین گردید [۱۷]. تعداد تکرار برای هر آزمایش ۳ بار بود که به علت قیمت بالای نانو و بالا رفتن هزینه بیشتر از این دفعات تکرار میسر نبود. یعنی برای هرگونه ۵۴ عدد نمونه مورد بررسی قرار گرفت پس به این معنی که برای هر

لذا عوامل متغیر این بررسی شامل: نوع گونه در دو سطح (راش و نوئل)، دمای بخار در سه سطح (120°C و 150°C و 180°C)، زمان بخاردهی در سه سطح (۱، ۳ و ۵ ساعت) و تیمار اشباع در دو سطح (اشباع شده و فاقد اشباع) بوده‌است. نمونه‌های شاهد در این پژوهش نمونه‌هایی بودند که نه تحت تیمار بخار گرمایی و نه تیمار نانو نقره قرار گرفتند. عوامل ثابت شامل: فشار مخزن اشباع (۰/۲۵ مگاپاسکال) و مدت اشباع (۲۰ دقیقه) بوده‌است.

اندازه‌گیری خواص

ویژگی‌های فیزیکی

ابعاد نمونه‌های چوبی جهت اندازه‌گیری واکنش‌پذیری

نتایج

واکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب

مطابق با تحلیل‌های آماری انجام شده، (جدول ۳) مشخص گردید که اثر مستقل زمان و تیمار حرارتی بر درصد واکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح اعتماد ۹۵٪، معنی‌دار بوده است.

آزمایش ۱۰۸ نمونه وجود داشته است و تحت آزمایش قرار گرفته است.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی استفاده گردید و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تفکیک میانگین‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نرم افزارهای آماری مورد استفاده در این بررسی نیز نرم‌افزار Excel و نرم‌افزار آماری SPSS بوده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ویژگی‌های واکشیدگی حجمی ۲ و ۲۴ ساعت فشارموازی بالیاف - مقاومت خمشی - مقاومت به ضربه

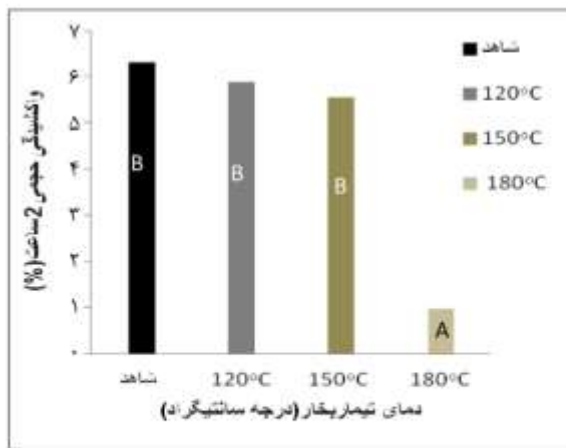
فاکتورهای متغیر (متغیرهای مستقل و وابسته)	درجه آزادی (df)	مربع میانگین (MS)	(F) محاسبه شده	اثر معنی‌داری (Sig)	معنی‌دار بودن (P)
زمان (واکشیدگی حجمی ۲ ساعت)	۲	۴۱/۷۲۷	۴/۴۷۲	۰/۰۱۴	*
دما (واکشیدگی حجمی ۲ ساعت)	۲	۲۷۰/۶۳۳	۵۴/۴۴۲	۰/۰۰۰	*
زمان (واکشیدگی حجمی ۲۴ ساعت)	۲	۶۴/۱۳۹	۳/۴۹۱	۰/۰۳۴	*
دما (واکشیدگی حجمی ۲۴ ساعت)	۲	۶۰۴/۴۸۸	۷۴/۸۲۸	۰/۰۰۰	*
زمان*دما*اشباع (واکشیدگی حجمی ۲۴ ساعت)	۴	۱۹/۷۰۰	۲/۸۸۳	۰/۰۲۷	*
دما (مقاومت خمشی)	۲	۸۴۰۸/۹۶۵	۱۸/۴۰۴	۰/۰۰۰	*
اشباع (مقاومت خمشی)	۱	۲۸۵۲/۴۹۴	۴/۸۸۲	۰/۰۲۹	*
گونه چوبی*دما*اشباع (مقاومت خمشی)	۲	۷۷۹/۰۶۳	۳/۳۸۵	۰/۰۳۸	*
دما (مقاومت به ضربه)	۲	۲۶۲/۰۳۰	۷/۱۹۵	۰/۰۰۱	*
گونه چوبی*دما (مقاومت به ضربه)	۲	۱۵۹/۶۷۴	۴/۶۶۲	۰/۰۱۲	*
دما*اشباع (مقاومت به ضربه)	۲	۱۱۸/۷۶۶	۳/۳۸۷	۰/۰۳۸	*
اشباع (فشارموازی با الیاف)	۱	۸۹۴/۸۷۴	۴/۹۳۶	۰/۰۲۸	*
گونه چوبی*دما (فشارموازی با الیاف)	۲	۵۸۰/۴۱۷	۶/۵۷۰	۰/۰۰۲	*
گونه چوبی*اشباع (فشارموازی با الیاف)	۱	۶۹۲/۷۱۵	۵/۱۷۱	۰/۰۲۵	*
زمان*دما (فشارموازی با الیاف)	۴	۳۵۶/۳۰۶	۲/۶۹۴	۰/۰۳۵	*

که اثر مستقل زمان تیمار حرارتی بر درصد واکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب، در سطح اعتماد ۹۵٪، معنی‌دار بوده است. همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود، کم‌ترین مقدار واکشیدگی در زمان ۵ ساعت قرار می‌گیرد. همچنین اثر مستقل دمای تیمار حرارتی بر مقدار واکشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار بوده است و کم‌ترین مقدار واکشیدگی مربوط به دمای ۱۸۰°C می‌باشد که طبق گروه‌بندی دانکن در گروه A قرار می‌گیرد (شکل ۴).

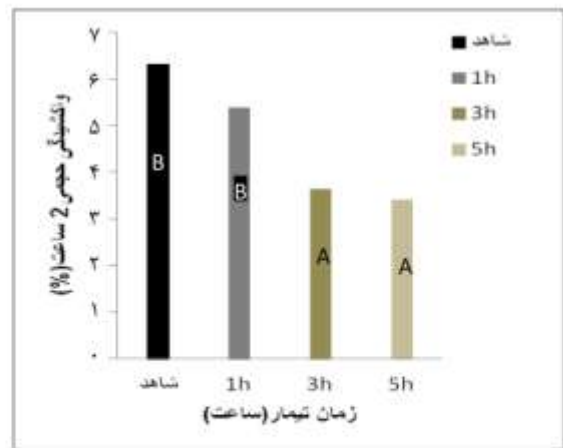
همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، کم‌ترین مقدار واکشیدگی حجمی در زمان ۵ ساعت بخار دهی اتفاق می‌افتد که در گروه A جدول دانکن قرار می‌گیرد. همچنین اثر دمای تیمار بخار آب بر مقادیر واکشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب در سطح اعتماد ۹۵٪، معنی‌دار بوده است و دمای ۱۸۰°C در گروه A جدول دانکن قرار می‌گیرد که کم‌ترین مقدار واکشیدگی را به خود اختصاص داده است (شکل ۲).

واکشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

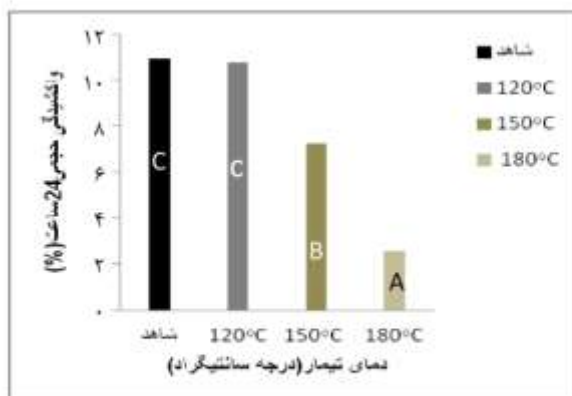
مطابق با تحلیل‌های آماری انجام شده، مشخص گردید



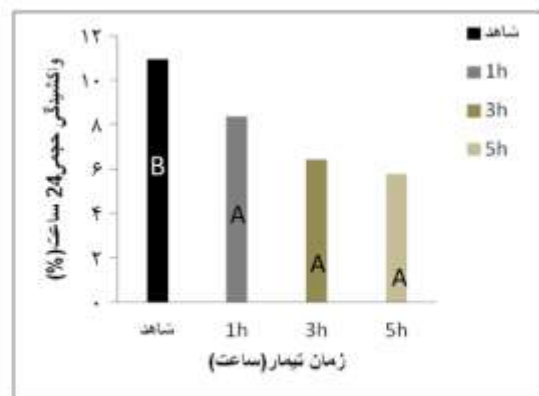
شکل ۲- اثر دمای تیمار بر واکنشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری



شکل ۱- اثر زمان تیمار بر واکنشیدگی حجمی بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری



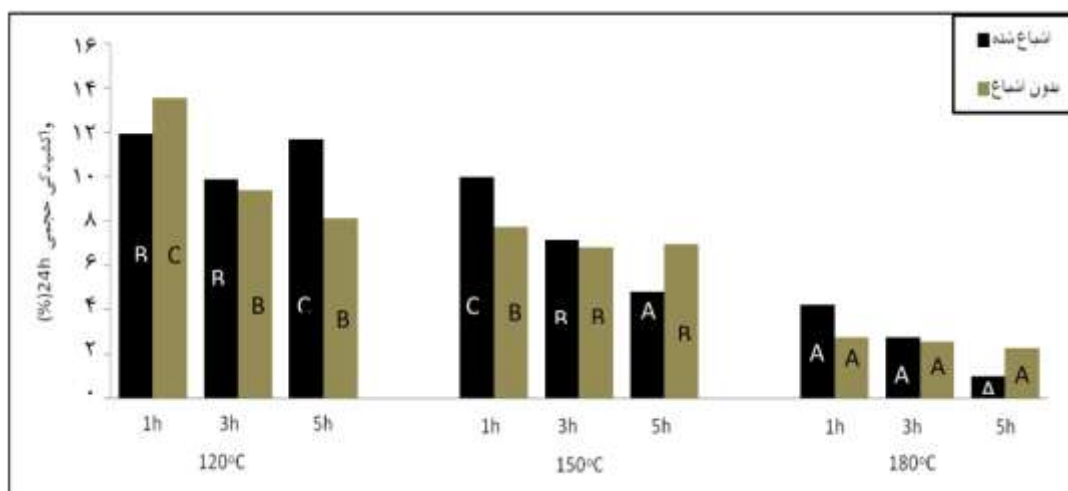
شکل ۴- اثر دمای تیمار بر واکنشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری



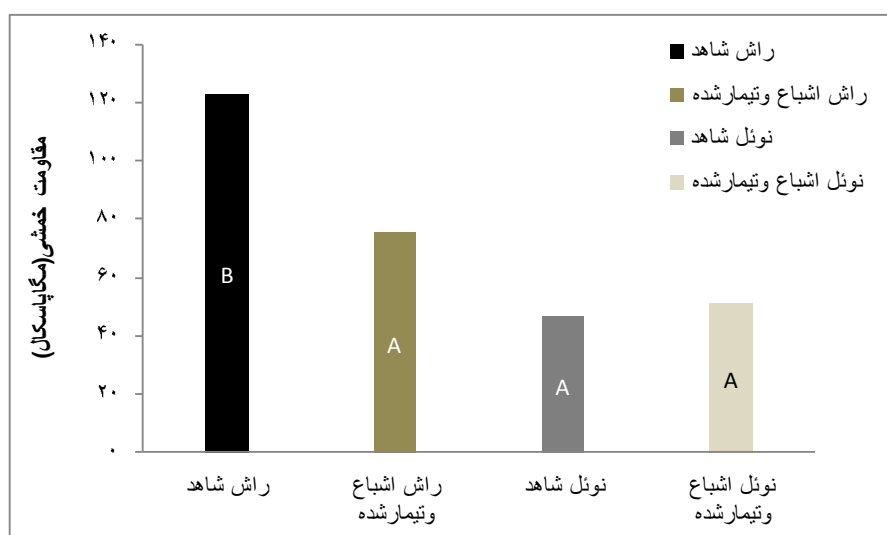
شکل ۳- اثر زمان تیمار بر واکنشیدگی حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری

در همان دما و زمان دارد. اثر مستقل گونه چوبی بر مقاومت خمشی نمونه‌ها در سطح اعتماد ۰.۹۵٪ معنی‌دار بوده است (جدول ۳). شکل ۶ مقادیر مقاومت خمشی نمونه‌های راش و نوئل مربوطه را نشان می‌دهد. حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌ها مربوط به نمونه راش شاهد (۱۲۲/۸۸ MPa) و کم‌ترین مقدار مربوط به نمونه نوئل شاهد (۴۶/۵۹ MPa) می‌باشد.

اثر متقابل زمان و دمای بخاردهی و همچنین اشباع با نانو نقره بر مقادیر واکنشیدگی حجمی بعد از ۲۴ غوطه‌وری در آب، در سطح اعتماد ۰.۹۵٪ معنی‌دار بوده است. مطابق شکل ۵، با افزایش دما و زمان تیمار مقدار واکنشیدگی کاهش می‌یابد. کم‌ترین مقدار واکنشیدگی مربوط می‌شود به نمونه اشباع شده‌ای که در دمای ۱۸۰°C و زمان ۵ ساعت تیمار شده است. همچنین، نمونه اشباع شده با محلول نانو نقره در دمای ۱۲۰°C و زمان ۱ ساعت بخاردهی، واکنشیدگی کم‌تری نسبت به نمونه بدون اشباع



شکل ۵- میانگین اثر متقابل دما، زمان تیمار بخار آب و اشباع با محلول نانو نقره بر واکنش پذیری حجمی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری



شکل ۶- میانگین اثر مستقل گونه چوبی بر مقاومت خمشی

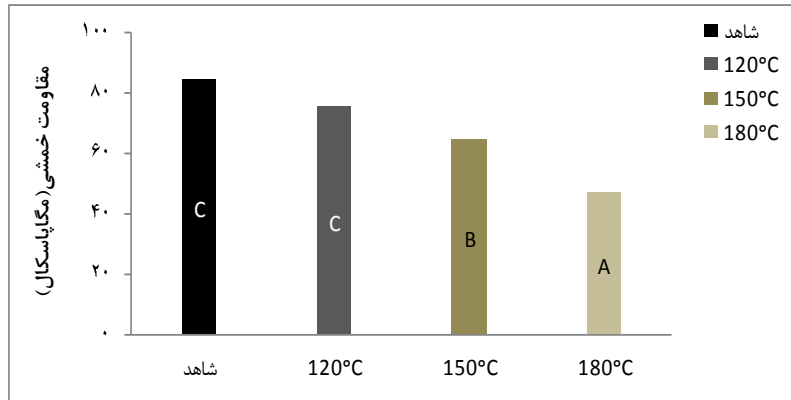
اثر متقابل گونه چوبی و دمای تیمار بر مقاومت خمشی نمونه‌ها در سطح اعتماد ۰.۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. بالاترین مقاومت خمشی مربوط به گونه راش است که در دمای ۱۲۰°C تیمار شده‌است. اثر متقابل گونه چوبی، دمای تیمار و اشباع بر مقاومت خمشی نمونه‌ها در سطح اعتماد ۰.۹۵٪ معنی‌دار بوده‌است (جدول ۳). بیشترین مقاومت خمشی (۱۱۵/۰۲ MPa) مربوط می‌شود به نمونه اشباع نشده راش که در دمای ۱۲۰°C تحت تیمار بخار گرمایی قرار گرفته‌است و کم‌ترین مقدار آن

همچنین، اثر مستقل دمای تیمار بخار آب بر مقاومت خمشی در سطح اعتماد ۰.۹۵٪ معنی‌دار بوده‌است و بالاترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه شاهد (۸۴/۷۳ MPa) است. شکل ۷، این اثر و گروه‌بندی دانکن مربوطه را نشان می‌دهد.

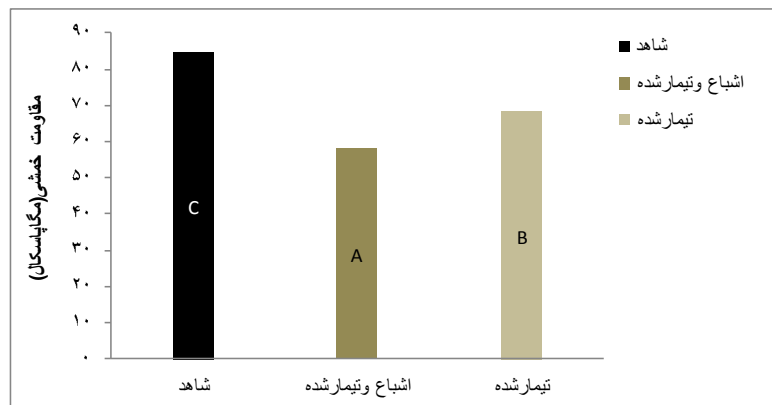
اثر مستقل اشباع با محلول نانوقره بر میانگین مقاومت خمشی نمونه‌ها معنی‌دار بوده‌است و بالاترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه شاهد (۸۴/۷۳ MPa) می‌باشد (شکل ۸).

نمونه‌های اشباع نشده اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند که به معنای عدم کاهش مقاومت خمشی نمونه‌های اشباع شده نسبت به نمونه‌های اشباع نشده در دمای بالای ۱۸۰°C می‌باشد.

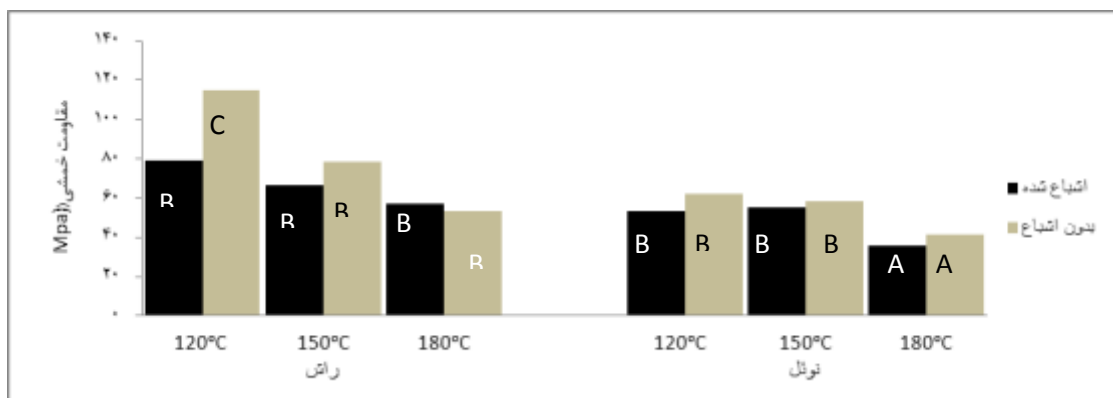
(۳۵/۵۶ MPa) مربوط می‌شود به نوئل اشباع شده با نانو نقره که در دمای ۱۸۰°C تیمار بخار گرمایی شده است (شکل ۹). همچنین مطابق با شکل ۹، مقادیر مقاومت خمشی، به خصوص در نمونه‌های راش اشباع شده که در دمای ۱۸۰°C تیمار بخار گرمایی شدند با مقادیر مقاومت



شکل ۷- میانگین اثر مستقل دمای تیمار بخار آب بر مقاومت خمشی



شکل ۸- اثر مستقل اشباع با محلول نانو نقره بر مقاومت خمشی

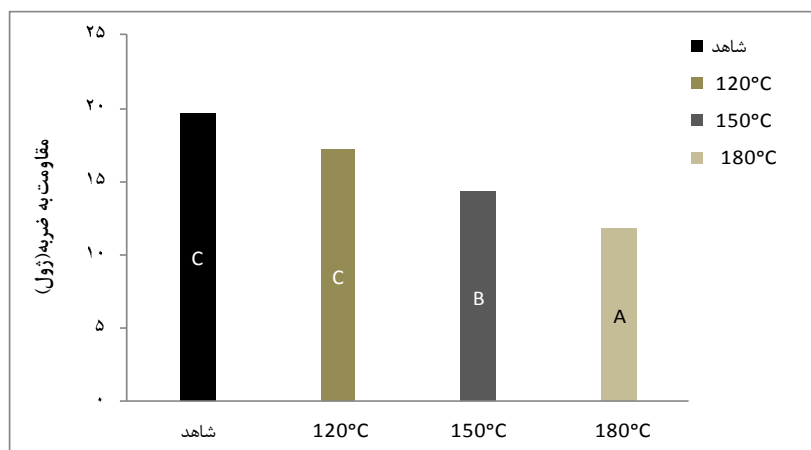


شکل ۹- اثر متقابل دمای تیمار بخار آب و گونه‌چوبی و اشباع با محلول نانونقره بر مقاومت خمشی

مقاومت به ضربه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر مستقل دمای تیمار بخار آب بر مقاومت به ضربه در سطح اعتماد ۰/۹۵٪، معنی دار بوده است و هر چه دمای تیمار بالاتر رود این مقاومت مکانیکی نیز به دلیل تخریب بیشتر

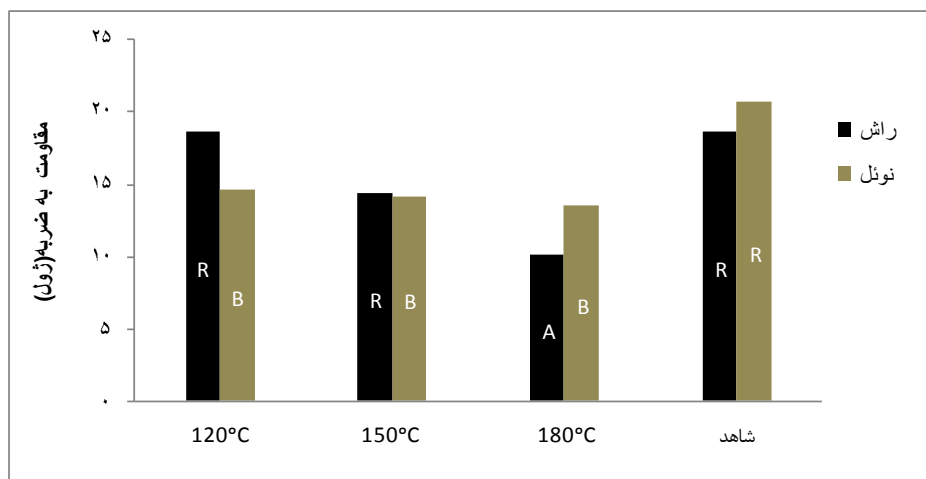
همی سلولز ولیگنین کاهش می‌یابد [۱۵ و ۱۶]. شکل ۱۰ مقادیر مقاومت به ضربه را در دماهای مختلف تیمار نشان می‌دهد. بالاترین مقدار مقاومت به ضربه مربوط به نمونه شاهد (۱۹/۷ ژول) می‌باشد.



شکل ۱۰- اثر مستقل دمای تیمار بخار آب بر مقاومت به ضربه

اثر متقابل گونه‌چوبی و دمای تیمار بخار آب بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها در سطح اعتماد ۰/۹۵٪ معنی دار بوده است. همان‌گونه که در شکل ۱۱ قابل مشاهده است نمونه نوئل

شاهد (نمونه‌هایی که نه تحت تیمار آب گرمایی و نه تحت تیمار نانوقره قرار گرفته‌اند)، بالاترین مقاومت به ضربه (۲۰/۷ ژول) را دارد.



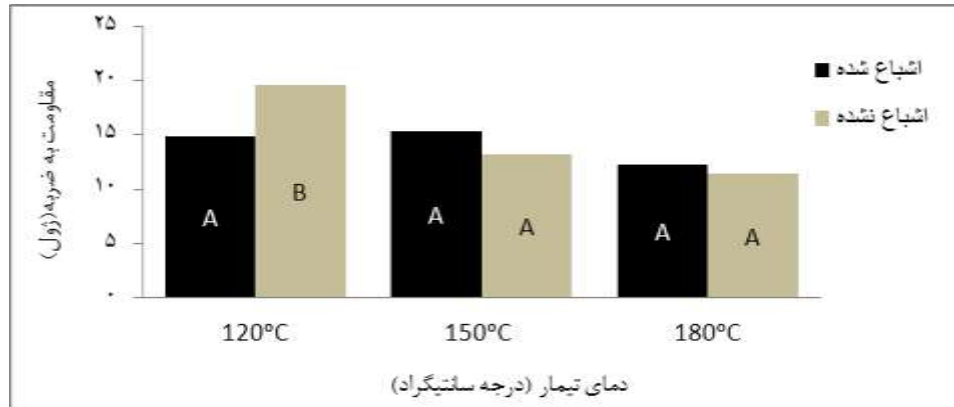
شکل ۱۱- اثر متقابل دمای تیمار بخار آب و گونه‌چوبی بر مقاومت به ضربه

اثر متقابل دمای تیمار بخار آب و اشباع با محلول نانوقره بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها در سطح اعتماد ۰/۹۵٪ معنی دار می‌باشد. بیشترین مقدار مقاومت به ضربه مربوط

می‌شود به نمونه‌های اشباع نشده‌ای که در دمای ۱۲۰°C تیمار بخار گرمایی شده‌اند (شکل ۱۲). شکل ۱۲ همچنین نشان می‌دهد که در دمای ۱۸۰°C مقاومت به ضربه در

دمای 150°C تیمارشده‌اند مقاومت به ضربه بیشتری نسبت به نمونه اشباع نشده داشته‌اند.

چوب‌های اشباع شده با مقدار این مقاومت در نمونه‌های اشباع نشده اختلاف معناداری نداشته و نسبت به آنها کاهش نیافته‌است. همچنین نمونه‌های اشباع شده‌ای که در

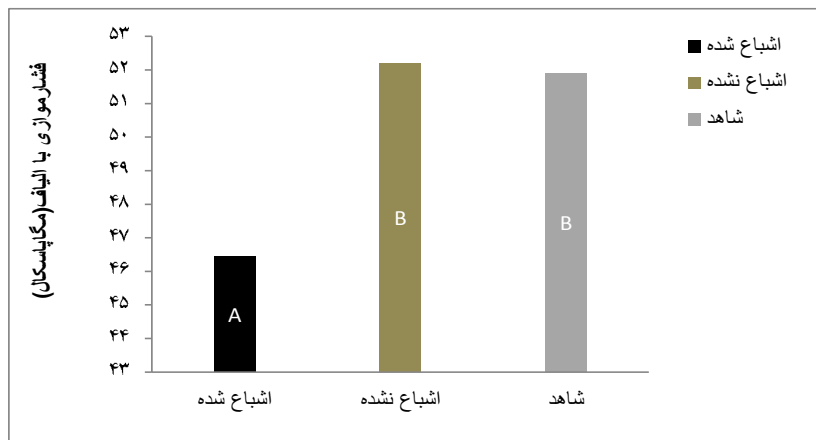


شکل ۱۲- اثر متقابل دمای تیمار بخار آب و اشباع با نانو نقره بر مقاومت به ضربه

در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار بوده‌است و بالاترین مقاومت فشارموازی با الیاف (۵۲/۱۸ MPa) مربوط به نمونه اشباع نشده می‌باشد (شکل ۱۳).

مقاومت فشاری موازی با الیاف

طبق نتایج به دست آمده از تحلیل واریانس اثر مستقل اشباع با محلول نانونقره بر مقاومت فشاری موازی با الیاف



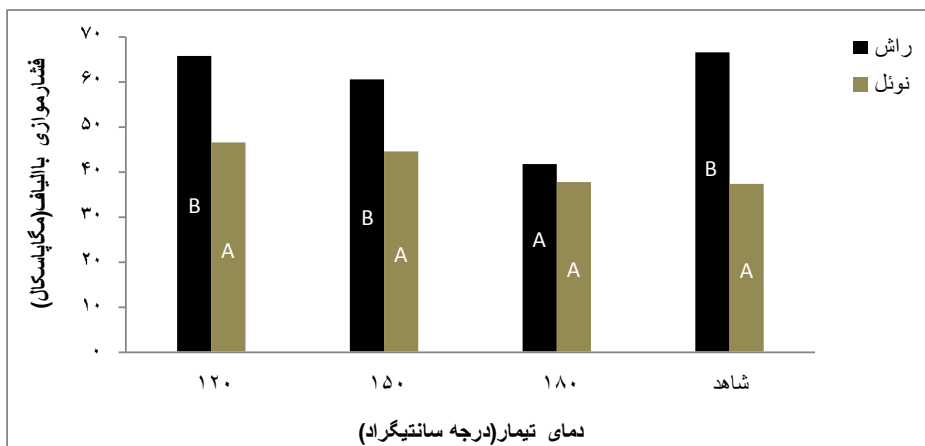
شکل ۱۳- اثر مستقل اشباع با محلول نانونقره بر مقاومت فشارموازی با الیاف

فشارموازی با الیاف بیشتری (۶۱/۲۴ MPa) داشته‌اند (شکل ۱۵).

اثر متقابل زمان و دمای تیمار بخار آب بر مقاومت فشار موازی با الیاف در سطح اعتماد ۹۵٪ معنادار بوده‌است و همان‌طور که در شکل [۱۶] نشان داده شده، بالاترین مقدار فشار موازی با الیاف مربوط به دمای 120°C و زمان بخاردهی ۵ ساعت (۵۶/۷۷ MPa) بوده‌است.

اثر متقابل گونه‌چوبی و دمای تیمار بخار آب بر مقاومت فشاری موازی با الیاف نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار بوده‌است و نمونه راش شاهد (بدون تیمار آب- گرمایی و تیمار نانونقره) بالاترین مقاومت فشارموازی با الیاف (۶۶/۵ MPa) را داشته‌اند [شکل ۱۴].

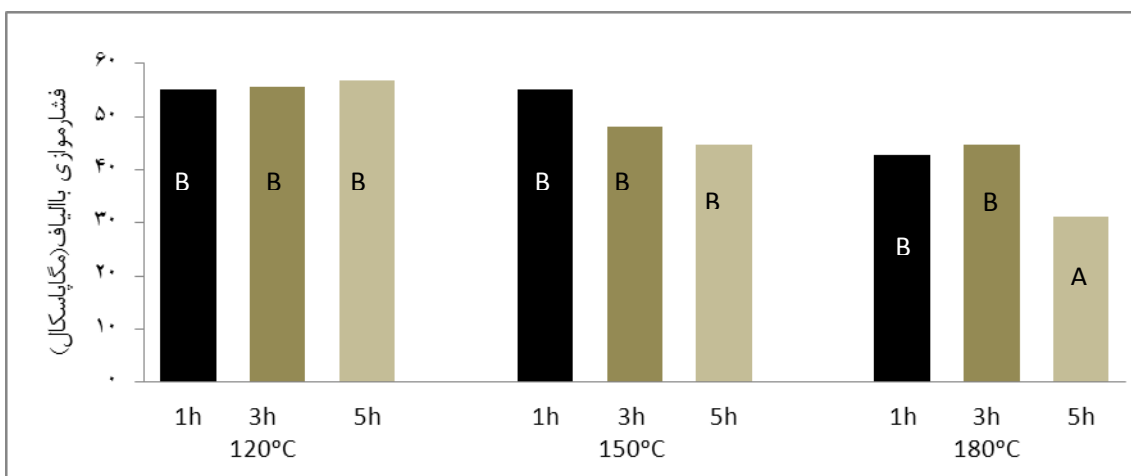
اثر متقابل گونه‌چوبی و اشباع با محلول نانونقره بر مقاومت فشارموازی با الیاف نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار بوده‌است و نمونه‌های راش اشباع نشده مقاومت



شکل ۱۴- اثر متقابل گونه چوبی و دمای تیمار بخار آب بر مقاومت فشارموازی با الیاف



شکل ۱۵- اثر متقابل گونه چوبی و اشباع با محلول نانوقره بر مقاومت فشارموازی با الیاف



شکل ۱۶- اثر متقابل زمان و دمای تیمار بخار آب بر مقاومت فشار موازی با الیاف

بحث و نتیجه گیری

بررسی اثر ترکیبی اشباع با نانو نقره و تیمار بخار آب بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب راش و نوئل نشان داد که تیمار اشباع با محلول نانو نقره منجر به افزایش ثبات ابعاد هر چه بیشتر چوب‌های تیمار شده با بخار شده‌است که این امر می‌تواند به دلیل ایجاد اتصال بین یون‌های نقره، Ag^+ ، با مکان‌های جذب آب (سایت‌های هیدروکسیل) باشد که از تعداد سایت‌های هیدروکسیل آزاد چوب کم شده لذا جذب آب و در نتیجه واکنشیدگی چوب کاهش یافته‌است. همچنین این ویژگی در دمای بالاتر و زمان بیشتر تیمار بخار گرمایی بهبود بیشتری یافته‌است. این امر به دلیل قابلیت هدایت حرارتی بالای نقره و انتقال بهتر حرارت توسط ذرات نانو نقره (جدول ۱) به بخش‌های درونی چوب [۱۰-۱۵] و تخریب و افت بیشتر همی سلولزها به خصوص در دماهای بالا [۱-۳] و مدت زمان بیشتر تیمار بخار می‌باشد که منجر به کاهش جذب آب و افزایش ثبات ابعاد در چوب می‌شود. البته در دمای پایین‌تر (۱۲۰ درجه سلسیوس) نیز مقادیر واکنشیدگی نمونه‌های اشباع شده با نانو نقره نیز کم‌تر از نمونه‌های اشباع نشده بوده‌است. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده از تحقیقات سایر محققین نیز نشان می‌دهد که تیمار حرارتی منجر به افزایش مقاومت چوب در برابر تغییر ابعاد در شرایط متفاوت رطوبتی می‌گردد [۴، ۵، ۷، ۹].

از سوی دیگر، گونه نوئل به‌دلیل داشتن دانسیته کم‌تر نسبت به راش (جدول ۲) و ماده چوبی کم‌تر واکنشیدگی حجمی و مقاومت‌های مکانیکی کم‌تری نسبت به گونه راش داشته‌است. مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه نمونه‌هایی که با محلول نانو نقره اشباع شده نسبت به نمونه‌های اشباع نشده، در دمای بالاتر تیمار بخار گرمایی (۱۸۰ درجه سلسیوس)

کاهش داشته‌است. (شکل ۹ گواه این مطلب است که هر چه دمای تیمار بالاتر رود در هر دو گونه مقاومت خمشی پایین می‌آید). این نتیجه با نتایج سایر محققان [۱]. نیز مطابقت دارد. نانوذرات نقره امکان انتقال حرارت به قسمت‌های عمیق‌تر (مغز) چوب را تسهیل می‌نمایند اما در اثر آن امکان تخریب ساختار چوب در نقاط مختلف افزایش می‌یابد. اما در دماهای بالاتر تیمار (۱۸۰) مقادیر این مقاومت‌ها در نمونه‌های اشباع شده در مقایسه با نمونه‌های اشباع نشده اختلاف معنی‌داری نداشته و یا به عبارت دیگر کاهش نیافته‌است. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که دماهای بالای تیمار بخار به حدی بر چوب تأثیرگذار بوده که تخریب حرارتی آن را به درجه‌ای رسانیده که تفاوتی با حالتی که چوب با نانو نقره اشباع شده، نداشته‌است.

همچنین تیمار اشباع با نانو نقره منجر به کاهش مقاومت فشاری موازی الیاف در مقایسه با نمونه‌های اشباع نشده گردیده‌است که این نتیجه با نتایج تحقیق سایر محققین همخوانی دارد [۱۲]. همچنین با افزایش دما و زمان تیمار بخار خواص مقاومتی چوب کاهش یافته‌است که این امر به دلیل کاهش جرم ناشی از تخریب ترکیبات شیمیایی چوب در دماهای بالا (۱۸۰ درجه سلسیوس) می‌باشد. این نتیجه با نتایج دیگر محققین نیز مطابقت دارد [۲، ۳، ۱۲].

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که تیمار در در دمای ۱۸۰ درجه و زمان ۵ ساعت کم‌ترین مقاومت مکانیکی را در نمونه‌ها ایجاد می‌کند و نمونه‌هایی که با محلول نانو نقره اشباع شده و سپس تیمار شده‌اند کم‌ترین مقاومت را دارند. در این وضعیت در مقایسه با نمونه‌هایی که فقط تیمار بخار گرمایی شده‌اند، ثبات ابعاد بهتر شده ولی خواص مکانیکی کاهش پیدا می‌کند.

مراجع

- [1] Boonstra, M., and Tjeerdsma, B., 2006. Chemical analysis of heat treated softwoods. HolzRoh- Werkst, 64: 204-211.
- [2] Stamm, A.J., 1956. Thermal degradation of wood and cellulose. Industrial and Engineering Chemistry 48(3): 413-417.
- [3] Talaei, A., and Yaghoobi, K., 2009. Physical and mechanical properties of hydrothermally modified mulberry wood. The International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No. IRG/WP 09-40425.
- [4] SevimKorkut, D., Korkut, S., Bekar, I., Budakci, M., Dilik, T., and Cakicier, N., 2008. The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.) wood. International Journal of Molecular Sciences 9(9):1772-1783.
- [5] Viitaniemi, P., and Jamsa, S., 2001. Modification of wood with heat treatment. Lisbon 1996, VTT Juskaisuja- Publikationer, 814p.
- [6] Heger F., Girardet F., and Navi P., 2003. Proceeding Second International Conference of the European Society for Wood Mechanics, printed by STFi (European Society for Wood Mechanics, Stockholm, Sweden, May 2003 p.193.
- [7] Homan, W., Tjeerdsma, B., Beckers, E., and Jorissen, A., 2004. Structural and other properties of modified wood, Stitching Research Haut (SHR) Report.
- [8] Heger, F., Groux, M., Girardet, F., Welzbacher, C., Rapp, A.O., and Navi, P., 2004. Mechanical and durability performance of THM-densified wood. Final Workshop COST Action E22 'Environmental Optimisation of Wood Protection' Lisbon – Portugal.
- [9] Heger F., Girardet, F., and Navi, P., 2003. Proc. First European Conference on Wood Modification, edited by J Van Acker and C. Hill (European Thematic Network for Wood Modification, Ghent, Belgium, April 2003 p.33.
- [10] Habibi, S., and Mohamadi shadpor M., and Tavakoli, M., 2006. Nanotechnology and The emergence of new application, Tehran publisher of diamonds, 96p.
- [11] Rassam, G., Thaghiyari, H.R., Jamnani, B., and Khajeh, M.A., 2010. Effect of Nano-Silver Treatment on Densified Wood Properties, Part one. International Research Group of Wood Protection, Biarritz France. Doc.No.: IRG/WP 10-40533.
- [12] Taghiyari, H.R., 2010. Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated *Populus nigra*. Wood Science and Technology 45: 399-404.
- [13] Rassam G., Thaghiyari H.R., Jamnani B., and Khajeh, M.A., 2011. Effect of Nano-Silver Treatment on Densified Poplar Wood properties. Part two: Spring back, Compression set, Impact Load Resistance and Hardness. International Research Group of Wood Protection, Queenstown, New Zealand. Doc. No. : IRG/WP 11-40568.
- [14] Rassam G., Ghofrani, M., Thaghiyari, H.R., Jamnani, B., and Khajeh, M.A., 2011. Mechanical performance and dimensional stability of nano-silver impregnated densified spruce wood. European Journal of Wood and Wood Products 70(5): 595-600.
- [15] Schwarz, F., and Navi, P., 2004. Investigation of factors that enhance the resistance of thermo- hydro-mechanically (THM) densified wood to colonization and degradation by wood decay fungi, Cost Action E37: Sustainability through new Technologies for enhanced wood durability, Switzerland.

- [16]Navi, P., Huguenin, P.H., and Girardet, F., 1997. Development of synthetic-free plasticized wood by thermohygro-mechanical treatment, Use of recycled wood and paper in building applications, Forest Products Society, Madison, WI., 168-171.
- [17]American society for testing and materials, 2007. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, ASTM D 143-94.

Study on the Effect of Combined Nanosilver- Hygrothermal Treatments on Wood Properties

Abstract

In this research, the combined effect of impregnation of wood with nanosilver solution and hygrothermal treatment on some physical and mechanical properties of beech (*Fagus orientalis Lipskey*) and spruce (*Picea abies*) woods was studied. Wood specimens, Initially, were impregnated in an impregnation cylinder for 20 minutes at the pressure of 0.25 MPa, with nanosilver solution. Then, hygrothermal treatment was carried out at the temperatures of 120, 150 and 180°C for 1, 3 and 5 hours. Control specimens, without any impregnation process, were hygrothermally treated. Volumetric Swelling after 2 and 24 hours soaking in water, bending strength, impact load resistance and compressive strength parallel to the grain of specimens were measured, according to ASTM D143 and all data were analyzed statistically. The results showed that swelling and mechanical properties were decreased by increasing the temperature and duration of hygrothermal treatment. Also, nanosilver impregnated specimens which were treated at 180 °C had lower swelling without Not clear and not seems. Consequently or it can be concluded that with nanosilver impregnation process of wood, hygrothermal treatment would be carried out at higher temperature (180 °C) to obtain better dimensional stability with no more decrease in mechanical properties.

Key words: Hygrothermal treatment, Nano silver, Volumetric swelling, Bending strength

G. Rassam¹
H.R Taghiyari²
M. Ebrahimi^{3*}

¹Faculty Member, Department of Wood Science and Technology, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Corresponding Author

²Faculty Member, Department of Wood Science and Technology, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University

³Master of wood industry, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University and professional trainer at Fanny Herfei center in Kamyaran

Corresponding author:
masture.ebrahimi@gmail.com

Received: 2013.03.05
Accepted: 2013.12.11