

ارزیابی تاثیر شرایط فرایند تیمار گرمایی بر ویژگی‌های مکانیکی چوب صنوبر (*Populus deltoides*)

محمد غفرانی^{۱*} و آیسونا طلایی^۲

^۱ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

چکیده

در این پژوهش تیمار گرمایی چوب صنوبر در دو محیط فراگیر متفاوت (آب و بخار آب) در دمای 185°C به مدت ۱ و ۳ ساعت در مخزن مخصوص بخارزنی انجام شد. چگالی و مقاومت‌های مکانیکی آزمون‌های تیمار شده در این دو فرایند با یکدیگر مقایسه شدند. کاهش چگالی در آزمون‌های تیمار شده به روش آب‌گرمایی به نسبت بیشتر از آزمون‌های تیمار شده به روش بخارگرمایی بود. مدول کشسانی به جز در تیمار آب‌گرمایی ۱ ساعت، روند کاهشی نشان داد. مدول گسیختگی در هر دو فرایند کاهش یافت اگرچه کاهش در اثر تیمار بخارگرمایی شدیدتر بود. مقاومت فشاری موازی الیاف در تیمار آب‌گرمایی بدون تغییر بوده یا با افزایش جزئی همراه بود ولی در تیمار بخارگرمایی کاهش یافت. مقاومت به ضربه کاهش شدیدتری در تیمار بخارگرمایی نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمده کاربرد روش اصلاحی تیمار آب‌گرمایی به دلیل تأثیر کمتر بر مقاومت‌های مکانیکی چوب صنوبر پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تیمار گرمایی، مقاومت خمشی، مدول کشسانی، مقاومت فشاری موازی الیاف، مقاومت به ضربه، صنوبر

مقدمه

وابستگی صنایع چوب و کاغذ ایران به منابع جنگلی از یک سو و افزایش تقاضا برای فراورده‌های چوبی به دلیل رشد جمعیت از سوی دیگر منجر به کاهش روزافزون این منابع شده و محدودیت‌های زیادی برای این صنعت ایجاد کرده‌است و سبب روی آوردن صنایع به بهره‌برداری از منابع چوبی تندرشدی مانند صنوبر گشته‌است.

سازمان (خوار و بار و کشاورزی) FAO^۱ سطح زیر کشت صنوبر در ایران را حدود ۱۵۰ هزار هکتار اعلام کرده است. سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور میانگین تولید سالانه چوب صنوبر را در سال ۱۳۸۷، حدود ۳۱۱۳۵۰۰ متر مکعب اعلام می‌کند [۲]. چوب صنوبر از مهم‌ترین گونه‌های چوبی مورد استفاده در صنایع چوب و مبلمان، تخته‌لایه و فراورده‌های مرکب می‌باشد. با توجه به کاربرد گسترده و فراوانی نسبی چوب صنوبر در ایران به رغم چگالی پایین و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی به نسبت ضعیف، لزوم تیمارهای اصلاحی به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و کاربردی آن امری بدیهی است.

در دهه‌های اخیر روش‌های صنعتی تیمار گرمایی برای بهبود ثبات ابعاد و دوام طبیعی چوب توسط گروه‌های تحقیقاتی بسیاری گسترش یافته‌اند [۲۵ و ۶]. در اثر تیمار گرمایی، چوب ثبات ابعاد پیدا کرده و آبگریز می‌شود [۲۳، ۲۴، ۱۶]؛ مقاومت زیستی (بیولوژیکی) افزایش می‌یابد [۲۴] و مقاومت‌های مکانیکی تا حدی کاهش می‌یابند [۱۸ و ۲۱] که می‌تواند کاربرد چوب را در برخی موارد محدود کند.

گرما دادن چوب در رآکتور با سامانه بسته، باعث تولید ترکیبات ناشی از تخریب گرمایی می‌شود که می‌تواند تغییرات شیمیایی رخ داده در چوب را تحت تأثیر قرار دهد. حضور آب یا بخار آب بر شیمی اصلاح گرمایی و انتقال گرما در چوب تأثیر می‌گذارد [۷ و ۲۰]. هم‌چنین بخار آب را می‌توان به درون رآکتور تزریق نمود تا به عنوان محیط فراگیر انتقال گرما و نیز به عنوان پوشش

محافظ برای محدود کردن فرایندهای اکسایشی عمل کند. به این قبیل فرایندهای تیمار گرمایی در حضور بخار آب تیمارهای بخارگرمایی گفته می‌شود. اما هنگامی که تیمار گرمایی چوب در حضور آب انجام شود به آن تیمار آب‌گرمایی گفته می‌شود [۹].

کاهش مقاومت به شدت تحت تأثیر شرایط تیمار گرمایی قرار دارد. کاهش مقاومت در سامانه‌های بسته در مقایسه با سامانه‌های باز، در تیمار بخارگرمایی در مقایسه با تیمار آب‌گرمایی و در حضور هوا در مقایسه با شرایط نبود هوا پر شتاب است [۲۰، ۲۱، ۱۴ و ۲۲]. ترکیب روشهای اصلاحی گرمایی و مکانیکی می‌تواند کاهش مقاومت‌های مکانیکی را تا حد زیادی جبران نماید [۱].

محققان با گرما دادن آزمون‌های چوبی در رآکتور با سامانه بسته در 300°C در شرایط خشک و مرطوب دریافتند کاهش وزن در حضور آب پر شتاب بوده‌است [۱۹]. مقادیر کاهش وزن ناشی از تخریب گرمایی در تیمار گرمایی آب‌گرمایی یا بخارگرمایی نسبت به تیمار حرارتی در حضور هوا بیشتر می‌باشد [۱۴]. علاوه بر این، تیمار آب‌گرمایی نسبت به تیمار بخارگرمایی باعث کاهش وزن بیشتری می‌شود. پس از تیمار گرمایی، چوب تا حدی ترد و شکننده می‌شود و مقاومت‌های مکانیکی آن کاهش می‌یابند [۱۲، ۱۷ و ۱۳]. بسته به متغیرهای تیمار، مانند بیشینه دمای تیمار، شتاب گرمادهی، زمان ماندن در بیشینه دما، نوع محیط فراگیر تیمار (هوا، بخار آب، آب، نیتروژن) و باز یا بسته بودن سامانه، ترک‌ها می‌توانند در چوب ظاهر شوند و ساختار میکروسکوپی چوب نیز ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرد [۱۷، ۱۱ و ۲۱].

در این پژوهش هدف ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های مکانیکی چوب صنوبر پس از تیمار گرمایی در دو محیط فراگیر مختلف (آب و بخار آب) در دمای 185°C می‌باشد تا تأثیر محیط فرایند تیمار گرمایی بر ویژگی‌های کاربردی مشخص شود.

مواد و روشها

آزمون‌های چوب صنوبر به ابعاد مورد نیاز آزمون‌های مکانیکی بریده شدند. به منظور انتقال بهتر گرما در حین تیمار گرمایی تمامی آزمون‌ها به طور کامل در آب

¹ Food and Agriculture Organization (FAO Internet Site, 2007)

در رطوبت تعادل (D_{12}) می‌گذارد. با افزایش زمان تیمار گرمایی چگالی کاهش می‌یابد. کمترین میزان چگالی در چوب تیمار شده به روش آب‌گرمایی در زمان ۳ ساعت (با $28/43\%$ کاهش نسبت به نمونه شاهد) و بیشترین میزان چگالی در چوب تیمار نشده دیده شده است. می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آب‌گرمایی نسبت به تیمار بخارگرمایی اثر بیشتری بر کاهش چگالی چوب داشته است. در شکل ۱ اثر تیمار گرمایی بر کاهش چگالی نمونه‌ها نشان داده شده است. تیمار آب‌گرمایی نسبت به تیمار بخارگرمایی سبب کاهش چگالی بیشتری در چوب می‌شود که به دلیل خروج ترکیبات محلول در آب از چوب می‌باشد [۱۴]. کاهش وزن می‌تواند ناشی از تخریب همی‌سلولزها در اثر تیمار گرمایی باشد زیرا همی‌سلولزها در برابر حرارت ناپایدار هستند. در اثر آبکافت (هیدرولیز) همی‌سلولزها ترکیباتی مانند اسید استیک، اسید فرمیک، فورفورال و ... تشکیل می‌شوند و با انحلال و خروج آنها وزن چوب کاهش می‌یابد [۸ و ۵، ۷]. مقایسه تیمار گرمایی در دو محیط فراگیر آب و بخار آب روشن می‌سازد که تیمار در حضور آب سبب انحلال و خروج ترکیبات محلول در آب ناشی از تخریب گرمایی می‌شود؛ در حالی که در تیمار بخارگرمایی بخشی از ترکیبات ناشی از تخریب کربوهیدرات‌های چوب کماکان در چوب باقی می‌مانند و کاهش وزن کمتری را سبب می‌شوند.

نتایج و بحث

در جدول ۱ درصد تغییرات چگالی و مقاومت‌های مکانیکی چوب صنوبر پس از تیمار گرمایی در محیط آب و بخار آب نسبت به نمونه شاهد محاسبه شده است. مقادیر منفی کاهش ویژگی و مقادیر مثبت افزایش ویژگی‌ها را نشان می‌دهند.

عوطه‌ور شدند و تیمارهای گرمایی با چوب به طور کامل سبز آغاز شدند. عامل‌های متغیر تیمار شامل نوع محیط فراگیر تیمار گرمایی (آب و بخار آب) و زمان تیمار (۱ و ۳ ساعت) بودند. عامل ثابت دمای تیمار گرمایی (185°C) بود. برای انجام تیمار آب‌گرمایی (تیمار در محیط آبی)، مخزن بخارزن با نمونه‌های چوبی و آب پر شد و پس از رسیدن دمای مخزن به 185°C ، تیمار گرمایی به مدت ۱ و ۳ ساعت اعمال شد.

برای انجام تیمار بخارگرمایی (تیمار در محیط بخار آب) نمونه‌ها درون سیلندر قرار داده شدند و بخار آب با دمای 185°C به درون سیلندر تزریق شد. پس از پایان زمان تیمار و خنک شدن سیلندر و نمونه‌ها، نمونه‌های تیمار-شده درون کیسه‌های دربسته به اتاق مشروط سازی (کلیما) با دمای 20°C و رطوبت نسبی 65% منتقل شدند تا به رطوبت تعادل برسند.

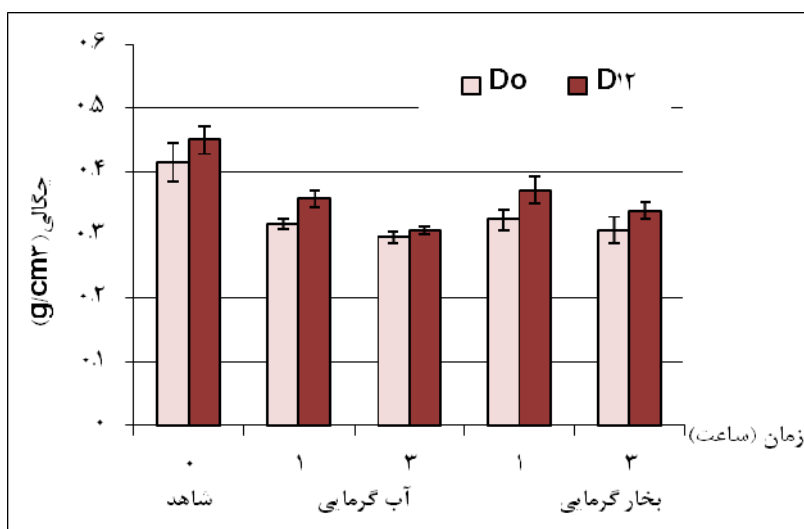
برای تعیین چگالی نمونه‌های تیمار شده و شاهد از بلوک‌های کوچک به ابعاد $20 \times 20 \times 20$ mm بر پایه استاندارد ASTM D143-94 استفاده شد [۴]. برای تعیین مدول کشسانی (MOE) و مدول گسیختگی (MOR) از نمونه‌های با ابعاد $300 \times 20 \times 20$ mm برای تعیین مقاومت فشاری موازی الیاف از نمونه‌های با ابعاد $100 \times 25 \times 25$ mm برابر آیین‌نامه D143-94 استاندارد ASTM استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها با دستگاه Instron model 4486 انجام شدند. تعیین مقاومت به ضربه نیز با نمونه‌هایی به ابعاد $300 \times 20 \times 20$ mm و با استفاده از دستگاه آزمون ضربه پاندولی^۱ انجام شد.

در هر یک از آزمون‌های تعیین مقاومت و برای هر یک از تیمارهای گرمایی تعداد ۸ نمونه به‌عنوان تکرار گزینش و مورد سنجش قرار گرفتند. میانگین، انحراف معیار و درصد تغییرات داده‌های مربوط به هر آزمون محاسبه شد و برای مقایسه اثر تیمارهای گرمایی بر ویژگی‌های مکانیکی از طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل استفاده شد و برای مقایسه تیمارها از روش مقایسه میانگین دانکن بهره گرفته شد. نتایج بررسی چگالی نشان دادند که تیمار گرمایی اثر معنی‌داری بر چگالی خشک (D_0) و چگالی

^۱ Universal Toughness Testing Machine

جدول ۱- درصد تغییرات چگالی و مقاومت‌های مکانیکی آزمونه‌های تیمار شده صنوبر نسبت به آزمونه شاهد

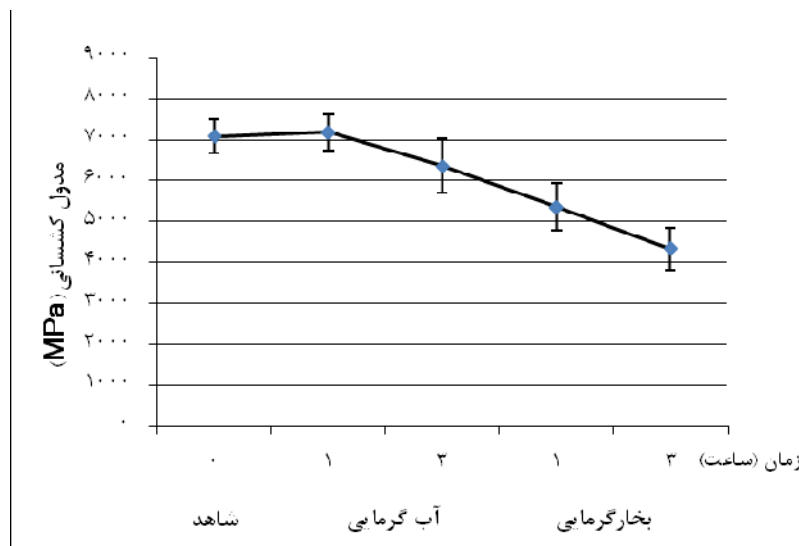
محیط تیمار	زمان تیمار	چگالی خشک %	چگالی در رطوبت تعادل %	مدول گسیختگی %	مدول کشسانی %	مقاومت فشاری موازی با الیاف %	مقاومت به ضربه %
آب	۱	-۲۳/۶۱۴	-۲۰/۴۴۴	-۲۰/۶۷۸	+۱/۴۱۹	+۳/۰۹۸	-۱۹/۶۹۷
	۳	-۲۸/۴۳۴	-۳۱/۵۵۶	-۲۶/۲۴۷	-۱۰/۲۱۶	-۱/۸۹۲	-۲۸/۷۸۸
بخار آب	۱	-۲۱/۹۲۸	-۱۷/۵۵۶	-۳۲/۱۰۳	-۲۴/۳۹۳	-۹/۵۵۲	-۴۸/۴۸۵
	۳	-۲۵/۷۸۳	-۲۴/۶۶۷	-۳۶/۴۹۷	-۳۸/۸۲۹	-۱۹/۷۸۳	-۵۶/۰۶۱



شکل ۱- تأثیر تیمار گرمایی بر چگالی چوب صنوبر

افزایش MOE در شرایط ملایم تیمار گرمایی را گزارش نمودند، که در دما و زمان‌های بالاتر به کاهش MOE منجر شده بود [۱۱ و ۶]. در تیمار بخار گرمایی با افزایش زمان میزان MOE کاهش پیدا می‌کند. تخریب همی سلولزها در اثر تیمارهای گرمایی به‌عنوان عامل اصلی کاهش اغلب مقاومت‌های مکانیکی بیان شده که به خصوص بر مقاومت خمشی و کششی تأثیر می‌گذارد [۶]. روند تغییرات MOE در تیمارهای مختلف در شکل (۲) نشان داده شده است.

بررسی اثر تیمار گرمایی آب گرمایی و بخار گرمایی بر مدول کشسانی (MOE) نشان داد که تیمار آب گرمایی در زمان ۱ ساعت سبب افزایش نسبی MOE به میزان ۱/۴۱٪ می‌شود ولی با افزایش زمان تیمار به ۳ ساعت به میزان ۱۰/۴۱٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد (جدول ۱). دلیل افزایش اولیه MOE را می‌توان به اصلاح و نوآرایی ساختار سلولز، رشد و افزایش پهنا و درازای نواحی بلوری سلولز نسبت داد که نقش به‌سزایی در افزایش مدول کشسانی دارد [۳ و ۲۶]. برخی محققان نیز



شکل ۲- تاثیر تیمار گرمایی بر مدول کشسانی (MOE) چوب صنوبر

هوا مربوط دانست که سبب انتقال یکنواخت گرما در آزمونه‌های چوبی در شرایط غرقابی می‌شود. در تیمار آب گرمایی بود آب سبب انتقال بهتر گرما در حین تیمار و توزیع یکنواخت گرما در بافت چوب از سطح به عمق آزمونه‌ها می‌شود. درحالی‌که در تیمار بخار گرمایی به دلیل هدایت گرمایی کمتر هوا نسبت به آب، توزیع گرما در سطوح و عمق آزمونه‌ها یکنواخت نبوده و تجمع گرما در بخشهای سطحی چوب سبب تخریب گرمایی بیشتری در سطوح می‌شود. به نظر می‌رسد توزیع غیریکنواخت گرما و تخریب گرمایی بیشتر دلیل کاهش شدیدتر مقاومت خمشی در تیمار بخار گرمایی می‌باشد.

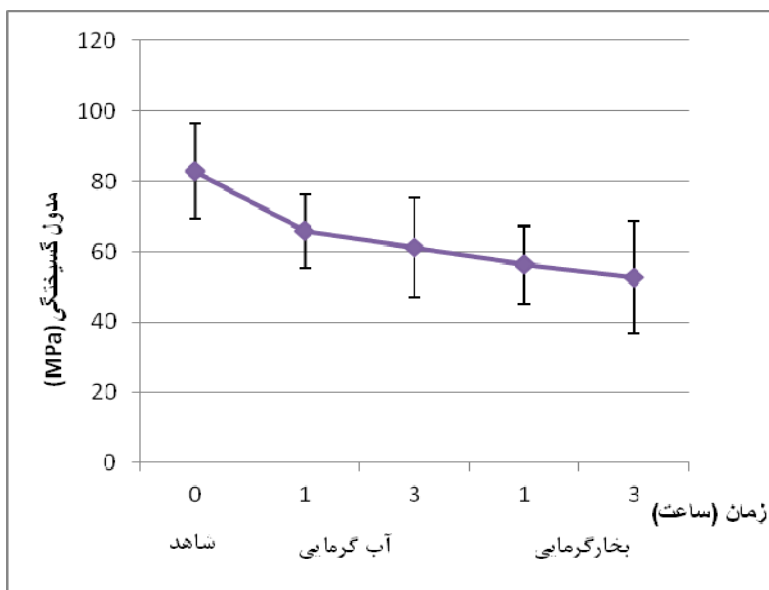
در شکل (۴) تاثیر تیمار گرمایی بر مقاومت فشاری موازی الیاف چوب صنوبر نشان داده شده‌است. بررسی اثر تیمار آب گرمایی بر مقاومت فشاری موازی الیاف چوب صنوبر تغییر معنی‌داری در این ویژگی نشان نداد. تیمار آب گرمایی در زمان ۱ ساعت سبب افزایش نسبی میزان مقاومت فشاری نسبت به آزمونه‌های شاهد (۳/۰۹٪ افزایش) شده و در زمان ۳ ساعت نیز تا حدودی بدون تغییر باقی مانده‌است (جدول ۱). می‌توان این‌طور توجیه کرد که از یک طرف واکنش‌های تراکمی لیگنین در اثر تیمار گرمایی باعث اتصال‌های عرضی و ایجاد تاثیر مثبت در جهت طولی شده‌است و از سوی دیگر افزایش بلورینگی سلولز و هرسونایکسانی سلولز بلورین (کریستالی) باعث افزایش مقاومت فشاری موازی الیاف

ارزیابی تاثیر تیمار گرمایی آب گرمایی و بخار گرمایی بر مدول گسیختگی (MOR) روشن ساخت که میزان MOR در هر دو فرایند نسبت به آزمونه‌های شاهد کاهش پیدا کرده‌است ولی در آزمونه‌های تیمار شده به روش بخار گرمایی کاهش مقاومت شدیدتر از روش آب گرمایی می‌باشد (شکل ۳ و جدول ۱).

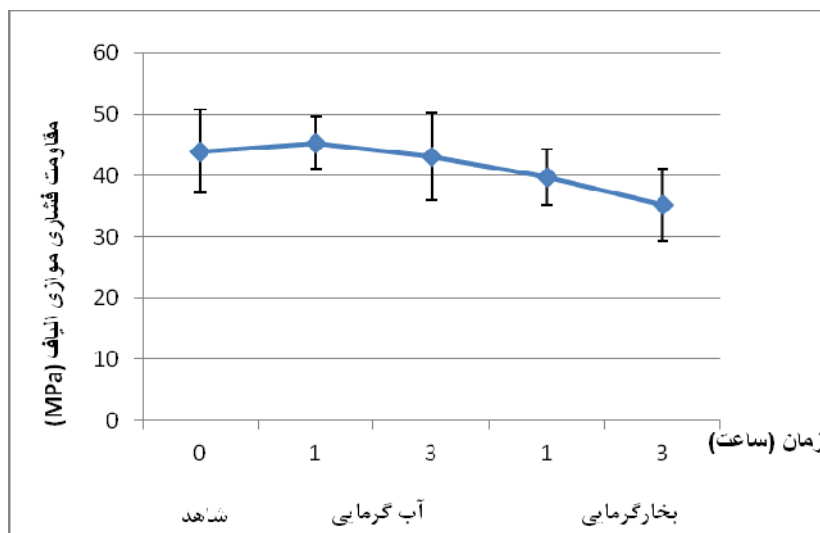
کاهش مقاومت‌های مکانیکی تا حد زیادی تحت تاثیر نوع تیمار گرمایی به کار رفته است. کاهش مقاومت در سامانه‌های بسته نسبت به سامانه های باز، در شرایط بخار گرمایی نسبت به شرایط آب گرمایی و در حضور هوا نسبت به شرایط نبود هوا پرشتاب گزارش شده‌است [۲۰ و ۱۴]. تخریب پلی‌ساکاریدهای چوب با تولید اسیدهای آلی همراه است که می‌تواند سبب گسستن پیوندهای اتری در بسپار سلولز و کوتاه شدن طول زنجیره آن شود. به دلیل تاثیر بارز طول زنجیره سلولز بر مقاومت‌های کششی چوب، افت مدول گسیختگی در تیمارهای گرمایی قابل انتظار می‌باشد [۳، ۱۰ و ۲۳]. کاهش چگالی نیز در چوب‌های تیمار گرمایی شده بر ویژگی‌های مکانیکی تاثیر می‌گذارد که می‌تواند ناشی از تخریب همی‌سلولزها در اثر دمای بالا باشد [۶]. مقایسه دو فرایند تیمار آب گرمایی و بخار گرمایی نشان می‌دهد که تیمار در شرایط غوطه‌ور در آب مقاومت خمشی را کمتر از تیمار بخار گرمایی کاهش می‌دهد. علت این امر را می‌توان به هدایت گرمایی بیشتر آب نسبت به چوب و

تیمار آب‌گرمایی دانست که سبب تجمع غیریکنواخت گرما در نمونه‌ها و تخریب گرمایی بیشتر به‌ویژه در همی‌سلولزها می‌شود.

می‌شود [۲۶۰۶]. اما تیمار بخارگرمایی سبب کاهش بیشتری در مقاومت فشاری موازی الیاف چوب صنوبر می‌شود. دلیل این امر را نیز می‌توان به قابلیت انتقال کمتر گرما در نمونه‌ها در تیمار بخارگرمایی نسبت به



شکل ۳- تأثیر تیمار گرمایی بر مدول گسیختگی (MOR) چوب صنوبر



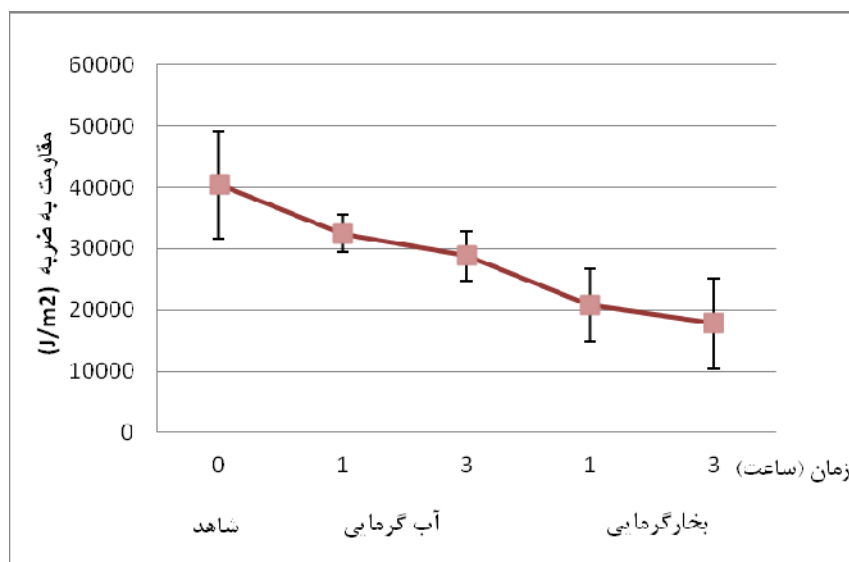
شکل ۴- تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت فشاری موازی الیاف چوب صنوبر

بخارگرمایی کاهش مقاومت شدیدتر از روش آب‌گرمایی بوده و نزدیک به به نصف نمونه شاهد کاهش پیدا کرده- است (شکل ۵ و جدول ۱). تخریب پلی‌ساکاریدهای چوب در تیمار حرارتی با تولید اسیدهای آلی همراه است که

بررسی تأثیر تیمار گرمایی آب‌گرمایی و بخارگرمایی بر مقاومت به ضربه نشان داد که میزان مقاومت به ضربه در هر دو فرایند نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش پیدا کرده‌است، ولی در نمونه‌های تیمار شده به روش

آب مقاومت به ضربه را نیز کمتر از تیمار بخارگرمایی کاهش می‌دهد. به طوری می‌توان گفت، در تیمار آب گرمایی انتقال یکنواخت گرما مانع از تجمع گرما در سطوح آزمونه‌ها شده و باعث تخریب گرمایی کمتری می‌شود.

می‌تواند سبب گسستن پیوندهای اتری در بسیار سلولز و کوتاه شدن طول زنجیره آن شود. کاهش طول زنجیره سلولز در کنار تخریب همی‌سلولزها و افت چگالی می‌تواند منجر به کاهش مقاومت به ضربه چوب صنوبر شود [۳،۲۳،۱۱،۵]. مقایسه دو فرایند تیمار آب گرمایی و بخارگرمایی نشان می‌دهد که تیمار در شرایط غوطه‌ور در



شکل ۵- تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت به ضربه چوب صنوبر

نشان داد. تیمار گرمایی در هر دو محیط سبب کاهش مقاومت به ضربه شد و در تیمار بخارگرمایی به کمتر از نصف نمونه شاهد کاهش یافت. پژوهش‌های محققان تأثیر مثبت تیمارهای گرمایی به‌عنوان روش اصلاحی دوستدار محیط زیست را بر ویژگی‌های کاربردی چوب اثبات نموده‌است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این بررسی تیمار آب گرمایی به دلیل تأثیر بسیار کمتر بر ویژگی‌های مکانیکی چوب صنوبر نسبت به تیمار بخارگرمایی برای کاربردهایی مانند تیرهای چوبی، مبلمان باغی و ... پیشنهاد می‌شود. برای اطمینان هرچه بیشتر از تأمین نیازهای مقاومتی چوب صنوبر برای کاربردهای سازه‌ای ترکیب روش اصلاح مکانیکی و آب-گرمایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش برای مقایسه ویژگی‌های مکانیکی و چگالی چوب صنوبر پس از تیمار گرمایی در دو محیط مختلف (آب و بخار آب) انجام شد. در این بررسی مشخص شد که هر دو تیمار آب گرمایی و بخارگرمایی سبب کاهش چگالی چوب صنوبر شدند و میزان این کاهش در تیمار آب گرمایی بیشتر بوده‌است. مدول کشسانی (MOE) به‌جز در تیمار آب گرمایی ۱ ساعت، روند کاهشی نشان داد و مدول گسیختگی (MOR) با افزایش زمان تیمار کاهش یافت؛ گرچه این کاهش در تیمار بخارگرمایی شدیدتر بود. مقاومت فشاری موازی الیاف روند متفاوتی را نشان داد. به‌گونه‌ای که در تیمار آب گرمایی با افزایش جزئی و یا بدون تغییر باقی ماند. اما در تیمار بخارگرمایی کاهش

منابع

- ۱- شریف‌نیا ح و محبی ب؛ ۱۳۸۹: بررسی امکان بهبود ویژگی‌های مقاومتی چوب صنوبر با روش ترکیبی اصلاح گرمایی- مکانیکی (CHTM)، مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال اول، شماره ۱، ص ۶۵-۵۷.
- ۲- مدیر رحمتی ع؛ ۱۳۸۷: برنامه راهبردی زراعت چوب در کشور، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، گروه تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد.
- 3- Abe K. and Yamamoto H. 2006: Changes in the mechanical interaction between cellulose microfibril and matrix substance in wood cell wall induced by hygrothermal treatment, *Wood Science* 52: 107-110.
- 4- American Society for Testing and Materials, 2000. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, American Society for Testing and Materials, D143-94.
- 5- Boonstra M. and Tjeerdsma B. 2006: Chemical analysis of heat treated softwoods, *Holz als Roh- und werkstoff* 64: 204-211.
- 6- Boonstra M., Rijdsdijk J.F., Sander C., Kegel E., Tjeerdsma B., Militz H., Acker J. van and Stevens M. 2006: Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 2. Hardwoods, *Maderas. Ciencia y tecnologia* 8(3): 209-217.
- 7- Garrote G., Domínguez H. and Parajó J.C. 1999: Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57(3), 191-202.
- 8- Gonzalez-Pena MM., Curling S.F. and Hale M.D.C. 2009: On the effect of heat on the chemical composition and dimensions of thermally modified wood. *Polymer Degradation and Stability*. Doi: 10.1016.
- 9- Hill C., 2006: *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley & Sons, Ltd. 239p.
- 10- Kartal S.N., Hwang W.J. and Imamura Y. 2008: Combined effect of boron compounds and heat treatment on wood properties: Chemical and strength properties of wood, *Journal of Materials Processing Technology* 198: 234-240.
- 11- Kocaefe D., Chaudhry B., Poncsak S., Bouazara M. and Pichette A. 2007: Thermogravimetric study of high temperature treatment of aspen: effect of treatment parameters on weight loss and mechanical properties. *Journal of Materials Science* 42(3):355-361.
- 12- Korkut S., Kök M.S., Sevim Korkut D. and Gürleyen T. 2008: The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology* 99(6): 1538-1543.
- 13- Mburu F., Dumarcay S., Bocquet JF., Petrissans M. and Gerardin P. 2008: Effect of chemical modification caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood. *Polymer Degradation and Stability* 93: 401-405.
- 14- McLean JD. 1951: Rate of disintegration of wood under different heating conditions. *Proceedings of the American Wood Preservers Association*, 47, 155-169.
- 15- McLean JD. 1954: Effects of heating in water on the strength properties of wood. *American Wood Preservers Association Proceeding*, 50: 253-80.
- 16- Mohebbi B., Yaghoobi K., Roohnia M., 2007: Acoustic Properties of Hydrothermally Modified Mulberry (*Morus alba* L.) Wood; *European Conference on Wood Modification 2007*, 8p.
- 17- Poncsak S., Kocaefe D., Bouzara M. and Pichette A. 2006: Effect of High Temperature Treatment on the Mechanical Properties of Birch (*Betula pendula*). *Wood Science and Technology* 40(8): 647-663.
- 18- Santos JA. 2000: Mechanical behavior of eucalyptus wood modified by heat. *Wood Science and Technology* 34: 39-43.
- 19- Seborg R.M., Tarkow H. and Stamm A.J. 1953: Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. *Journal of the Forest Products Research Society* 3(3): 59-67.

- 20- Stamm A.J. 1956: Thermal degradation of wood and cellulose. *Industrial and Engineering Chemistry* 48(3): 413–417.
- 21- Talaei A. and Yaghoobi K. 2009: Physical and mechanical properties of hydrothermally modified mulberry (*Morus alba* L.) Wood, The International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No. IRG/WP 09-40425.
- 22- Talaei A., Yaghoobi K. and Karimi A. 2010: Comparative Study of Heat Treatment of Beech Wood in Hot Water and Steam Medium, The International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No. IRG/WP 10-40536.
- 23- Tjeerdsma B.F. and Militz H. 2006: Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood, *Holz als Roh- und werkstoff*, 63: 102-111.
- 24- Tjeerdsma B.F., Stevens M. and Militz H. 2000: Durability of (hydro)thermal treated wood, The International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No. IRG/WP 00-40160.
- 25- Viitaniemi P. and Jamsa S. 1996: Modification of wood with heat treatment, Espo 1996, VTT Juskaisuja- Publikationer 814.
- 26- Yildiz S. and Gumushkaya E. 2007: The effect of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwoods, *Building and Environment* 42(4): 62-67.

Influence of Heat Treatment Conditions on Strength Properties of Poplar Wood (*Populus deltoides*)

M. Ghofrani^{*1} and A. Talaei²

Abstract

In this research heat treatments of poplar wood in 2 different mediums (hot water and steam) in 185°C were done in the sealed autoclave for 1 and 3 hours. Specimens were compared in density and mechanical properties. Density loss in hydrothermally treated wood was higher than hygrothermally treated samples. Mechanical properties (MOR and MOE) were decreased in both mediums, but strength loss was higher for hygrothermal treated samples. Compression strength parallel to grain didn't show any significant change for hydrothermally treated wood but decreased in specimens with hygrothermal treatment. Poplar wood showed more decrease in toughness test with hygrothermal treatment. According to the results, hydrothermal treatment of poplar wood is recommended as a modification method with less negative effects on mechanical properties.

Keywords: Heat treatment, MOE, MOR, Compression strength parallel to grain, Toughness, Poplar.

* Corresponding author: Email: Ghofrani@srttu.edu