

## تأثیر اصلاح بخار گرمایی بر ویژگی‌های سطحی و فرم‌های شکست چوب صنوبر

رضا حاجی حسنی<sup>۱\*</sup>، سامان قهری<sup>۲</sup>، کامیار صالحی<sup>۳</sup>، فرداد گلبابائی<sup>۳</sup> و سیده معصومه زمانی<sup>۲</sup><sup>۱\*</sup> - نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: Reza.hajihassani@gmail.com

<sup>۲</sup> - استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.<sup>۳</sup> - مربی پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۰

## چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی ویژگی‌های سطحی و فرم‌های شکست چوب صنوبر اصلاح شده با فرایند بخار گرمایی بود. عوامل متغیر در این بررسی شامل دمای بخار گرمایی (سه سطح ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان ماندگاری (دو سطح ۲۰ و ۴۰ دقیقه) بودند که تأثیر آنها بر زاویه تماس و زبری سطح نمونه‌های چوبی، قبل و بعد از پرداخت سطح نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. ویژگی‌های سطحی و فرم‌های شکست برای هر دو نمونه شاهد و تیمار شده ارزیابی شدند. نتایج نشان دادند که فرایند بخار گرمایی سبب افزایش زبری سطح نمونه‌های چوبی در هر دو حالت پرداخت‌نشده و پرداخت‌شده پس از تیمار می‌گردد. همچنین نتایج بیانگر کاهش میزان زاویه تماس قطره آب در اثر تیمار بخار گرمایی می‌باشند. مقاومت خمشی نمونه‌ها نیز در اثر تیمار بخار گرمایی کاهش یافتند. بر اساس نتایج به دست آمده، فرم‌های شکست نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخار گرمایی در آزمون مقاومت خمشی از نوع ساده و فشاری بودند.

واژه‌های کلیدی: زبری سطح، زاویه تماس، مقاومت خمشی، فرم شکست.

## مقدمه

مدرن و متعددی استفاده می‌شوند. یکی از روش‌های اصلاح چوب استفاده از ترکیب رطوبت و حرارت می‌باشد که با نام تکنیک‌های آب گرمایی و بخار گرمایی کاربرد دارند. این تیمارها به عنوان یک فناوری و روش دوستدار محیط زیست برای اصلاح چوب و بهبود ویژگی‌های ذاتی آن مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتایج بررسی‌ها در مورد این فرایندها نیز نشان می‌دهند که برخی ویژگی‌های چوب از قبیل ثبات ابعادی و دوام چوب بهبود می‌یابند (Navi & Sandberg, 2011).

یکی از فرایندهای اصلاح بر پایه آب، تیمار بخار گرمایی

چوب به عنوان یک ماده طبیعی با دارا بودن مزایای متعدد، همواره مورد توجه انسان بوده است و آن را به یکی از پرطرفدارترین مصالح در ساخت سازه‌ها مانند خانه‌ها، پل‌ها، اسکله‌ها، مبلمان و ... کرده است. اما وجود ویژگی‌های محدود کننده چوب از جمله جذب رطوبت، تغییرات ابعادی، تخریب بیولوژیک، تخریب آب و هوایی و ... محققان را بر آن داشته است تا با ایجاد تغییرات ساختاری در آن، به عملکرد و کاربرد مورد نظر دست یابند. امروزه برای بهبود مقاومت و دوام این ماده با ارزش، فناوری‌های

مواد استخراجی تخریب شده و متعاقب آن واکنش‌های اکسیداسیون و هیدرولیز سطح روی می‌دهند و سبب تغییر خصوصیات سطح از جمله زبری می‌شوند. با توجه به اینکه پدیده زبری سطح نمایه‌ای فیزیکی می‌باشد، از این رو بروز پدیده کلاپس ناشی از تیمار بخار گرمایی نیز سبب تغییر ساختار سلولی و در نتیجه ایجاد ناهمواری ساختاری در سطح چوب می‌گردد. به علاوه تفاوت شدت کلاپس بین چوب آغاز و پایان نیز می‌تواند عاملی مؤثر بر زبری سطح باشد، به طوری که انتظار بر کلاپس بیشتر چوب آغاز در مقایسه با چوب پایان و در نتیجه افزایش زبری سطح می‌باشد (Mirzaei et al., 2012).

در فرایندهای بر پایه آب که از تیمار فشرده‌سازی نیز استفاده می‌شود، ویژگی‌های سطحی چوب متراکم شده از جمله زبری، رطوبت‌پذیری، شیمی سطح و ظاهر چوب نیز به دلیل اثر همزمان رطوبت، حرارت و فشرده‌سازی می‌تواند تغییر کند (Jennings et al., 2006). اصلاح شدید سطح چوب ممکن است بر روی رطوبت‌پذیری و چسبندگی آن در فرایند چسب زنی و پوشش‌دهی تأثیر بگذارد؛ به عبارتی قرار گرفتن در درجه حرارت بالا می‌تواند غیرفعال شدن سطح چوب را افزایش داده و برخی مشکلات چسبندگی را به همراه داشته باشد. رطوبت‌پذیری یا ارتباط مولکولی نزدیک بین یک مایع و ماده جامد می‌تواند به وسیله محاسبه زاویه تماس مشخص گردد که در مورد چوب محاسبات دقیق رطوبت‌پذیری به دلیل ساختار شیمیایی ناهمسان، ناهمواری و زبری سطح و طبیعت آب‌دوست ذاتی آن، در عمل بسیار مشکل می‌باشد (Gindl et al., 2001; Gardner et al., 1991). زاویه تماس قطره آب در سطح چوب تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند دانسیته، تخلخل (خلل و فرج)، کشش سطحی و ترکیب شیمیایی سطح چوب، دما، ویسکوزیته و کشش سطحی مایع قرار دارد (Tsoumis, 1991). از این رو با توجه به اهمیت تأثیر کیفیت سطح چوب بر خواص کاربردی آن (رطوبت‌پذیری، چسب‌زنی، کیفیت اتصالات و ...)، این تحقیق تأثیر تیمار بخار گرمایی بر ویژگی‌های سطحی چوب را مورد ارزیابی قرار داده است.

است که در آن از بخار آب با دمای بالا استفاده می‌شود. این فرایند، با حذف گروه‌های استیل همی سلولز و تولید اسید استیک سبب هیدرولیز همی سلولزها و کاهش گروه‌های هیدروکسیل می‌گردد. هیدرولیز اسیدی پلی ساکاریدهای دیواره سلولی، مونوساکاریدهای قابل حل در آب (آرابینوز، گالاکتوز، گلوکز، زایلوز و مانوز) را تولید می‌نماید (Lam, 2011; Ramos, 2003). وجود اسید استیک مشتق شده از همی سلولز نیز عاملی برای افزایش تخریب لیگنین می‌باشد. در فرایندهای بر پایه آب، تخریب پیوندهای  $\beta$ -O-4 در لیگنین دلیل اصلی کاهش سفتی چوب است (Assor et al., 2009). بسیار لیگنین در زمان تیمار دچار تخریب، نوآرایی و تشکیل ساختار جدید می‌شود. لیگنین اصلاح شده مقاومت چوب تیمار شده را به جذب آب افزایش داده و گاهی نیز موجب افزایش مقاومت به ضربه در نمونه‌های تیمار شده می‌شود (Biswas et al., 2011).

در تیمار بخار گرمایی، تغییرات شیمیایی ایجاد شده در ساختار چوب، سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب از قبیل کاهش جذب و دفع رطوبت و بهبود ثبات ابعادی، افت وزن و کاهش دانسیته، کاهش مقاومت خمشی ابعادی، افزایش مدول الاستیسیته، بروز پدیده کلاپس، تغییر رنگ و افزایش زبری سطح می‌گردد (Hajihassani et al., 2017).

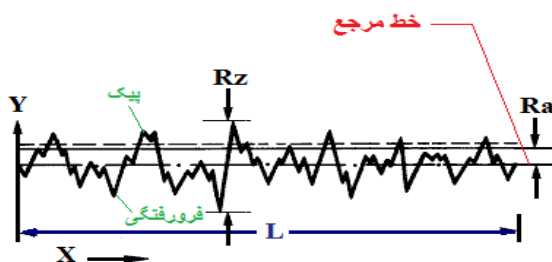
بررسی‌ها نشان می‌دهند که بخاردهی ذرات چوب در دمای بیش از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد سبب هیدرولیز همی سلولزها و انجام واکنش‌های تراکمی لیگنین، افزایش خاصیت ارتجاعی و کاهش سختی ذرات چوب دوگلاس فر می‌گردد. بهبود ثبات ابعادی و سختی ذرات تیمار شده با بخار به دلیل نقش اتصال‌دهندگی مونوساکاریدهای آزاد شده از چوب دوگلاس فر در طول فرایند بخار گرمایی روی می‌دهند (Lam et al., 2013).

نتایج تحقیقات Diouf و همکاران (۲۰۱۱) که روی نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخار گرمایی مکانیکی انجام شد، تغییرات شیمیایی سطح لایه‌ها را تأیید می‌نماید؛ به طوری که در طول این فرایند ترکیبات دارای کربن بالا و

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از گونه چوب صنوبر (*Populus deltoides*) استفاده شد. نمونه‌ها در ابعاد مورد نظر برش داده شدند و برای انجام مراحل زیر آماده‌سازی گردیدند. تیمار بخارگرمایی چوب صنوبر: برای بررسی تأثیر فرایند بخارگرمایی بر ویژگی‌های سطحی چوب صنوبر، قطعات تهیه شده در دماهای ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان‌های ماندگاری ۲۰ و ۴۰ دقیقه تیمار شدند. سپس با توجه به تأثیرگذار بودن رطوبت بر ویژگی‌های سطحی، نمونه‌ها تا رسیدن به رطوبت تعادل محیط خشک شدند تا خصوصیات سطحی آنها بر اساس روش‌های گفته شده در پایین مورد ارزیابی قرار گیرند. نتایج به‌دست آمده، براساس طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمون فاکتوریل با دو فاکتور دمای تیمار بخارگرمایی و مدت زمان ماندگاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

زبری سطح چوب صنوبر: تغییر زبری سطح نمونه‌های چوب پس از تیمار بخارگرمایی با استفاده از زبری‌سنج Huatec به روش پروفایلومتری و اندازه‌گیری دو پارامتر زبری سطح (Ra): میانگین زبری سطح، Rz: متوسط اوج تا دره برای ۵ نقطه) و بر اساس استاندارد ISO 4287 تعیین شدند. لازم به ذکر است که طول اندازه‌گیری زبری سطح توسط دستگاه پروفایلومتر بر روی هر نمونه ۱۷/۵ میلی‌متر، با برش‌های (cut off) ۲/۵ میلی‌متری و با سرعت ۱ mm/s بوده است. پروفایل سطحی Ra، معمولاً به صورت میانگین ارتفاع پیک‌ها و فرورفتگی‌ها نسبت به خط مرجع محاسبه می‌گردد (شکل ۱). زبری میانگین ده نقطه‌ای Rz نیز پارامتر جایگزین دیگری برای پروفایل یا زبری سطح است که در آن فاصله عمودی میان پنج عدد از بلندترین پیک‌ها و پنج عدد از عمیق‌ترین فرورفتگی‌ها اندازه‌گیری شده و میانگین آنها به‌دست می‌آید.



شکل ۱- نمایش پروفایل یا زبری سطح Ra و Rz

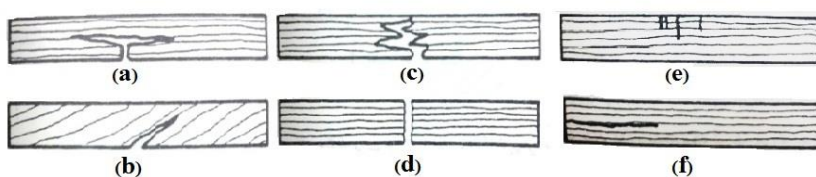
چوب می‌تواند بر کیفیت اتصال تأثیرگذار باشد، از این رو برای بررسی تأثیر فرایند بخارگرمایی بر زبری سطح و زاویه تماس، نمونه‌ها در دو حالت پرداخت‌نشده و پرداخت‌شده پس از تیمار مورد ارزیابی قرار گرفتند تا اثرگذاری این تیمار بر زبری سطح و زاویه تماس نمونه‌ها در هر دو حالت مورد بررسی قرار گیرد.

فرم‌های شکست در آزمون مقاومت خمشی: در این بررسی فرم‌های شکست نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخارگرمایی تحت آزمون خمش به‌عنوان بخشی از آزمایش،

زاویه تماس سطح چوب صنوبر: رفتار سطح آب‌دوستی و تغییر ناشی از تیمار بخارگرمایی با روش تعیین زاویه تماس قطره آب به روش Goniometry و با کمک دستگاه Goniometer PGX با ۵ تکرار روی سطح هر نمونه بررسی شد. برای هر تیمار نیز از ۵ نمونه استفاده شد. روش تعیین زاویه تماس قطره آب به روش دینامیک و با زمان سیر قطره به مدت ۳۰۰ ثانیه انجام گردید. حجم قطره آب (مقطر) برابر ۳/۵ میکرولیتر تنظیم شد. خط سیر با برش‌های ۲/۵ میلی‌متر تعیین گردید. با توجه به اینکه ویژگی‌های سطحی

ساختمان مولکولی غیرنرمال مانند چوب فشاری و یا پوسیدگی در چوب است)، شکست فشاری (معمولاً در چوب‌های سالم و سبک اتفاق می‌افتد) و شکست برشی افقی (معمولاً در نزدیکی صفحه خنثی اتفاق می‌افتد که دلیل آن وجود ترک‌های داخلی و توزیع غیرعادی تنش ناشی از ناهمگنی داخلی چوب می‌باشد) می‌باشد که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد (Boding and Jayne, 1982).

تصویربرداری و طبقه‌بندی گردید. ارزیابی مدهای شکست می‌تواند وضعیت فیزیکی نمونه‌های آزمونی را به صورت نسبی آشکار نماید تا مهر تأییدی بر صحت آزمایش‌ها باشد. مدهای شکست در آزمون خمش شامل شکست کششی یا ساده (این نوع شکست در مورد چوب‌های سنگین به ندرت مشاهده می‌شود)، شکست مورب (به دلیل وجود الیاف عرضی یا مورب رخ می‌دهد)، شکست تراشه‌وار (در چوب‌های با رطوبت کم اتفاق می‌افتد)، شکست ترد (معرف وجود



شکل ۲- مدهای شکست چوب در آزمون خمش استاتیک

a- ساده یا کششی، b- مورب، c- تراشه‌وار، d- ترد، e- فشاری، f- برشی افقی

بخارگرمایی شده می‌گردد؛ اما با این حال اختلاف معنی‌داری بین زبری سطح نمونه‌های تیمار بخارگرمایی شده در دماهای مختلف ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ماندگاری ۲۰ و ۴۰ دقیقه در هر دو حالت پرداخت‌نشده و پرداخت‌شده پس از تیمار وجود ندارد. شکل‌های ۳ تا ۶ و نیز میانگین تغییرات زبری سطح در دما و زمان‌های مختلف فرایند بخارگرمایی که در جدول ۱ آورده شده‌اند بیانگر این مطلب می‌باشند.

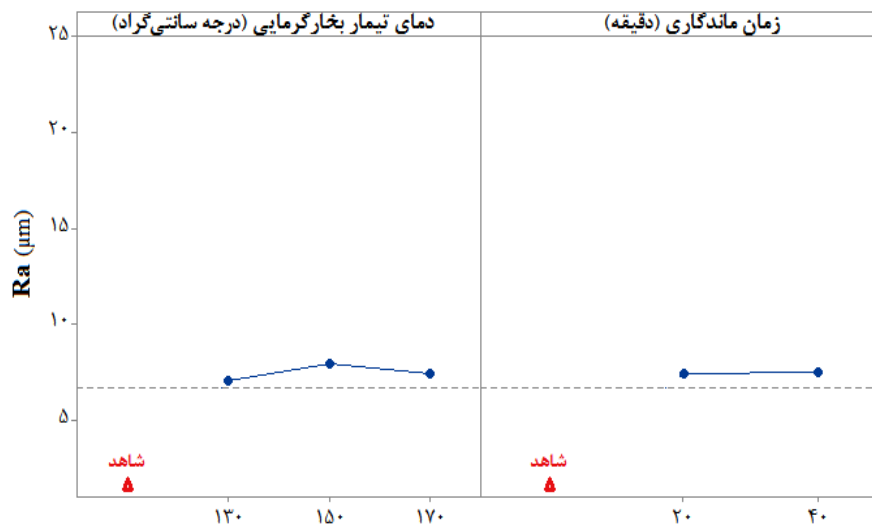
نتایج

زبری سطح چوب صنوبر

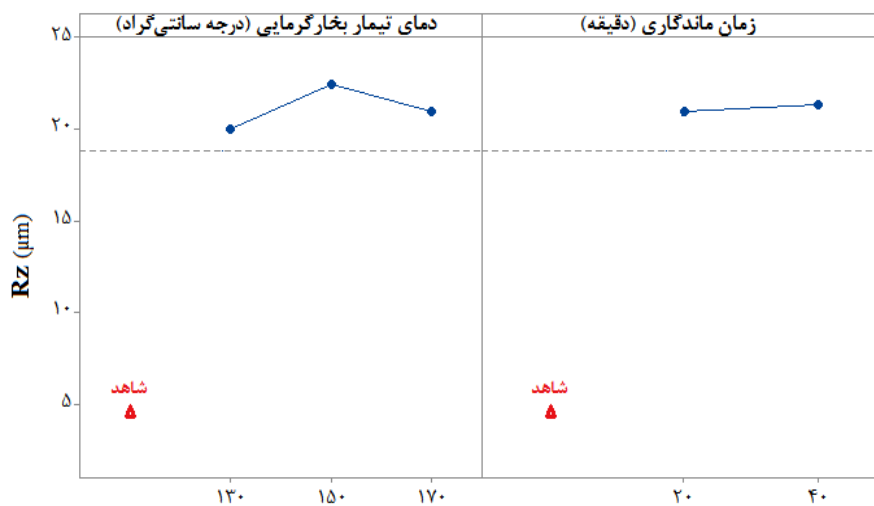
نتایج بررسی مقایسه میانگین پارامترهای زبری سطح (Ra): میانگین زبری سطح، Rz: متوسط اوج تا دره برای ۵ نقطه) نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخارگرمایی و نمونه‌های شاهد نشان دادند که این فرایند دارای اثر معنی‌دار بر زبری سطح در هر دو حالت پرداخت‌نشده و پرداخت‌شده پس از تیمار بود و سبب افزایش زبری سطح نمونه‌های تیمار

جدول ۱- میانگین زبری سطح (Ra و Rz) نمونه‌های تیمار شده با روش اصلاح بخارگرمایی

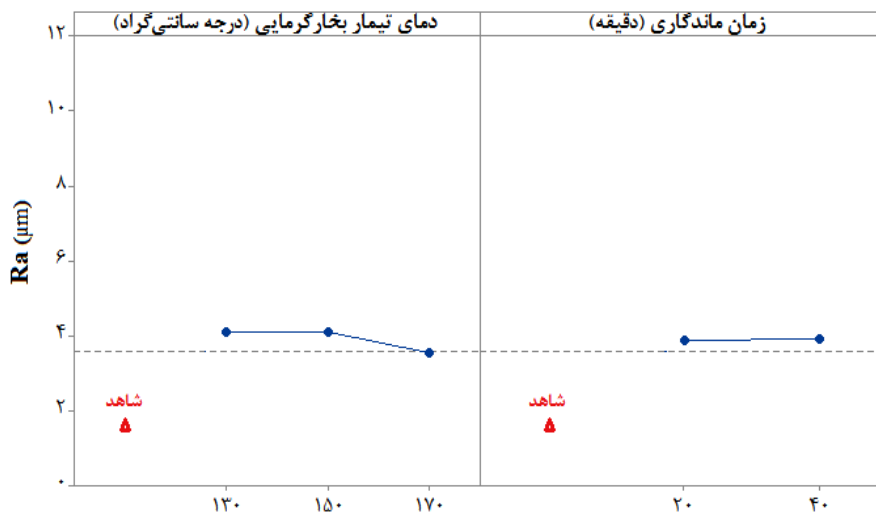
شاهد	۱۷۰		۱۵۰		۱۳۰		دمای تیمار بخارگرمایی (درجه سانتی‌گراد)	
	۴۰	۲۰	۴۰	۲۰	۴۰	۲۰	زمان ماندگاری (دقیقه)	
۱/۶	۷	۷/۹	۸/۱	۷/۸	۷/۶	۶/۶	Ra	پرداخت
۴/۶	۱۹/۸	۲۲/۲	۲۲/۹	۲۲/۱	۲۱/۴	۱۸/۷	Rz	زبری سطح نشده
۱/۶	۳/۳	۳/۸	۴/۳	۳/۹	۴/۳	۳/۹	Ra	پرداخت (μm)
۴/۶	۹/۲	۱۰/۸	۱۲/۱	۱۱/۲	۱۲/۲	۱۱/۱	Rz	شده



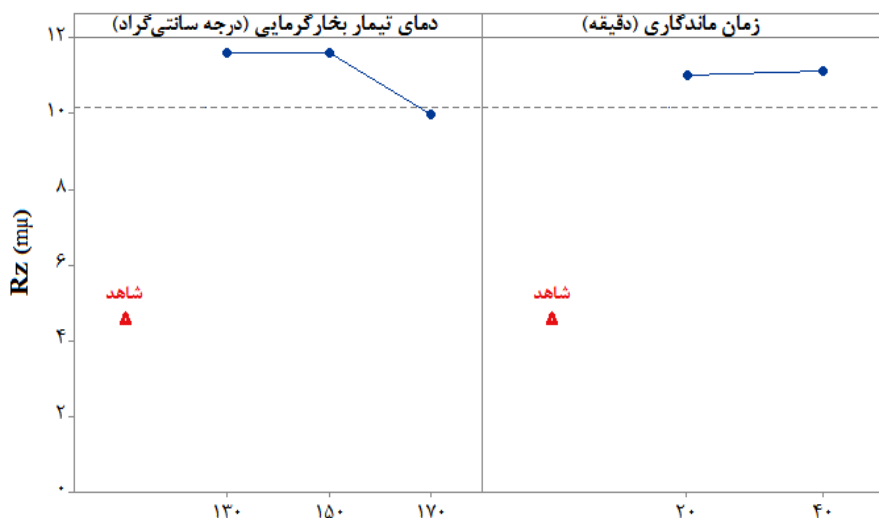
شکل ۳- اثر مستقل دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری بر میانگین زبری سطح (Ra) نمونه‌های پرداخت‌نشده چوب صنوبر پس از تیمار بخار گرمایی



شکل ۴- اثر مستقل دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری بر متوسط اوج تا دره ۵ نقطه (Rz) نمونه‌های پرداخت‌نشده چوب صنوبر پس از تیمار بخار گرمایی



شکل ۵- اثر مستقل دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری بر میانگین زبری سطح (Ra) نمونه‌های پرداخت‌شده چوب صنوبر پس از تیمار بخار گرمایی



شکل ۶- اثر مستقل دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری بر متوسط اوج تا دره ۵ نقطه (Rz) نمونه‌های پرداخت‌شده چوب صنوبر پس از تیمار بخار گرمایی

که برای ارزیابی تأثیر فرایند بخار گرمایی بر آبدوستی یا آب-گریزی سطح چوب انجام شد. در بررسی تأثیر فرایند بخار گرمایی بر زاویه تماس قطره آب در سطح چوب نیز، نمونه‌ها در دو حالت پرداخت‌نشده و پرداخت‌شده پس از تیمار

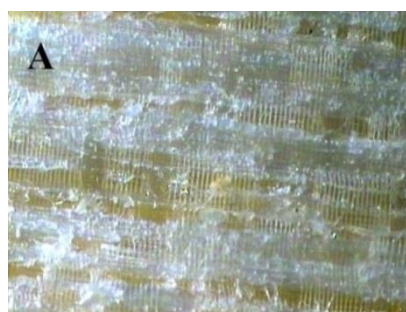
زاویه تماس سطح چوب صنوبر یکی دیگر از ویژگی‌های سطح که در این تحقیق بررسی شد، اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب روی نمونه‌های تیمار شده به روش بخار گرمایی با استفاده از دستگاه Goniometer PGX بود

دقیقه (A, C و E) و ۴۰ دقیقه (B, D و F) مقدار زاویه تماس قطره آب کاهش یافته است. همچنین نمونه‌های تیمار شده با زمان ماندگاری ۲۰ دقیقه (A, C و E) نسبت به نمونه‌های تیمار شده با زمان ماندگاری ۴۰ دقیقه (B, D و F) و با دمای تیمار بخارگرمایی مشابه، دارای زاویه تماس قطره آب بیشتری می‌باشند؛ به عبارتی دیگر، افزایش زمان ماندگاری یا تشدید شرایط تیمار سبب کاهش زاویه تماس قطره آب شده است. به نحوی که بررسی میکروسکوپی سطح نمونه‌های تیمار شده در شرایط مختلف نیز بیانگر بروز تغییرات در سطح چوب می‌باشد (شکل ۷).

بخارگرمایی مورد ارزیابی قرار گرفتند تا اثرگذاری این تیمار بر زاویه تماس قطره آب در سطح نمونه‌ها در هر دو حالت مورد ارزیابی قرار گیرد. باید توجه کرد که اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب در سطح چوب به دلیل ساختار شیمیایی ناهمسان، ناهمواری و زبری سطح، طبیعت آب‌دوست ذاتی آن و همچنین اثرگذاری متفاوت تیمار بخارگرمایی بر این ویژگی‌ها در عمل بسیار مشکل می‌باشد (Gardner et al., Gindlet et al., 2001). یافته‌های به دست آمده نشان دادند که به طور کلی در اثر تیمار بخارگرمایی میزان زاویه تماس قطره آب کاهش می‌یابد. جدول ۲ نشان می‌دهد که در نمونه‌های تیمار شده پرداخت نشده، با افزایش دمای تیمار بخارگرمایی در هر دو زمان ماندگاری ۲۰

جدول ۲- زاویه تماس در چوب صنوبر تیمار شده با روش اصلاح بخارگرمایی

مدت زمان سیر قطره (ثانیه)	زاویه تماس پس از پرداخت (درجه)		مدت زمان سیر قطره (ثانیه)	زاویه تماس قبل از پرداخت (درجه)		کد مربوطه	زمان ماندگاری (دقیقه)	دمای بخارگرمایی (درجه سانتی‌گراد)
	تعداد	صفر		تعداد	صفر			
۲۰	۵۲/۲	۷۵/۳	۳	۴۴/۴	۸۷	A	۲۰	۱۳۰
۵	۱۷/۶	۶۸/۱	۴	۶۵/۲	۷۳	B	۴۰	
۹	۸/۵	۶۰/۴	۶	۷۱/۷	۷۲/۶	C	۲۰	۱۵۰
۱۰	۵۳/۹	۶۸/۹	۴	۶۲/۱	۶۶/۵	D	۴۰	
۲۰	۶۳/۶	۶۸/۳	۲	۶۴/۱	۷۰/۶	E	۲۰	۱۷۰
۱۳۰	۴۹/۴	۸۰/۸	۲	۵۸/۲	۶۷/۳	F	۴۰	
۱۰۰	۴۲/۵	۷۲/۷۷	-	-	-	U	-	شاهد

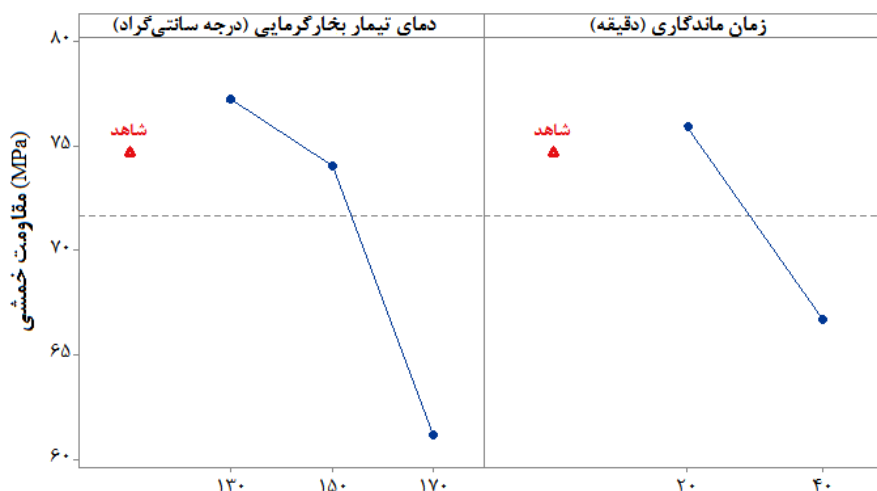


شکل ۷- تأثیر شرایط مختلف تیمار بخارگرمایی بر کیفیت سطح مماسی چوب صنوبر پس از پرداخت با بزرگنمایی ۴۰ برابر (کدهای مربوطه در جدول ۲ می‌باشد)

### فرم‌های شکست در آزمون مقاومت خمشی

در این بررسی فرم‌های شکست نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخارگرمایی تحت آزمون خمش، ارزیابی و طبقه‌بندی گردید. ارزیابی مدهای شکست می‌تواند وضعیت فیزیکی نمونه‌های آزمونی را به صورت نسبی آشکار نماید. برای ارزیابی فرم شکست، آزمون خمش بر روی نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخارگرمایی انجام شد. نتایج بررسی اثرگذاری تیمار بخارگرمایی بر مقاومت خمشی نمونه‌های تیمار شده نشان دادند که فقط اثر مستقل دمای تیمار بخارگرمایی معنی‌دار می‌باشد؛ به طوری که با افزایش دمای تیمار بخارگرمایی مقاومت خمشی نمونه‌ها دچار افت می‌گردد. افت مقاومت خمشی با افزایش دمای تیمار به بیش از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و میزان مقاومت خمشی به‌طور چشمگیری به کمتر از مقدار نمونه تیمار نشده می‌رسد (شکل ۸).

همچنین جدول ۲، زاویه تماس قطره آب نمونه‌های پرداخت شده را پس از تیمار بخارگرمایی نشان می‌دهد، به طوری که تغییرات متفاوتی در زاویه تماس قطره آب نمونه های تیمار شده با فرایند بخارگرمایی ملاحظه می‌گردد. همان‌طور که قبلاً گفته شد اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب در سطح چوب به دلیل ساختار شیمیایی ناهمسان، ناهموازی و زبری سطح، طبیعت آب‌دوست ذاتی آن در عمل بسیار مشکل می‌باشد (Gardner et al., 1991; Gindlet et al., 2001)؛ مضاف بر اینکه تیمار بخارگرمایی نیز سبب تشدید این تغییرات می‌گردد. از سویی پرداخت جزئی سطح نمونه‌های تیمار شده نیز ممکن است موجب آزاد شدن برخی از تنش‌های نهفته در چوب گردد که ناشی از خصوصیات ذاتی چوب و یا تیمار بخارگرمایی باشند و تغییرات متفاوتی را در زاویه تماس قطره آب در سطح نمونه‌های تیمار شده به همراه داشته باشد.



شکل ۸- اثر مستقل دمای تیمار بخارگرمایی و زمان ماندگاری بر مقاومت خمشی چوب صنوبر در تیمار بخارگرمایی

و سالم می‌باشند که این موضوع نشان‌دهنده سالم بودن نمونه‌ها در هنگام آزمایش می‌باشد. به‌علاوه شکل ۹ نیز به‌خوبی نشان می‌دهد که بخش زیرین نمونه‌ها که تحت تنش کششی قرار گرفته‌اند، دچار ضعف شده و شکست نیز در این مناطق روی

نتایج خلاصه شده در جدول ۳ نشان‌دهنده مدهای شکست نمونه‌های شاهد و تیمار شده با فرایند بخارگرمایی می‌باشند؛ به طوری که بیشتر شکست‌ها از نوع ساده یا کششی و فشاری (نوع a و e) بودند. این نوع شکست‌ها مختص چوب‌های سبک

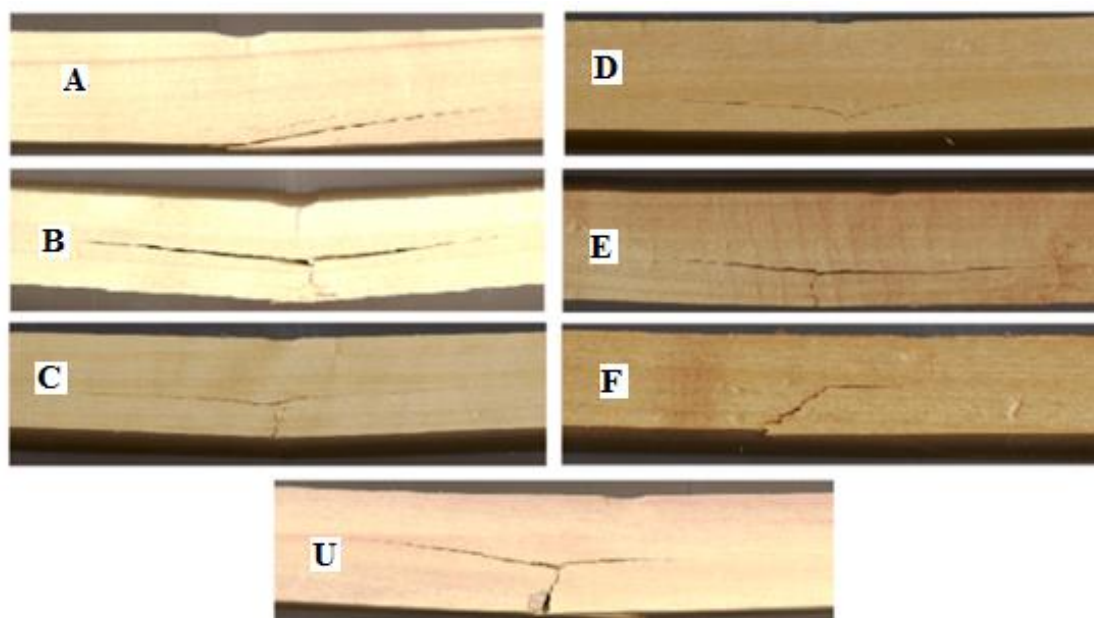


سلولز و شکننده شدن ساختار پلی‌ساکاریدهای چوب می‌گردد، در نتیجه سبب افت مقاومت خمشی و شکست در بخش زیرین (مدکششی) نمونه شده است.

داده است؛ با توجه به اینکه زنجیره‌های سلولزی نقش مهمی در مقاومت کششی و خمشی ایفا می‌کنند (Rowell, 2005)، از این رو شکست زنجیره‌های سلولزی بر اثر تخریب بسیاری ناشی از تیمار بخارگرمایی سبب کاهش طول زنجیره‌های

جدول ۳- فرم‌های شکست مشاهده شده در چوب‌های صنوبر شاهد و تیمار شده با روش اصلاح بخارگرمایی

فرم شکست						کد مربوطه	زمان ماندگاری (دقیقه)	دمای تیمار بخارگرمایی (°C)
شکست افقی	فشاری	ترد	زناشوار	چرخشی	ساده			
-	*	-	-	*	*	A	۲۰	۱۳۰
-	*	-	-	-	*	B	۴۰	
-	*	-	-	-	*	C	۲۰	۱۵۰
-	*	-	-	-	*	D	۴۰	
-	*	-	-	-	*	E	۲۰	۱۷۰
-	*	-	-	*	*	F	۴۰	
-	-	-	-	-	*	U	-	شاهد



شکل ۹- فرم‌های شکست چوب‌های صنوبر شاهد و تیمار شده با روش اصلاح بخارگرمایی در آزمون خمش استاتیک (کدهای مربوطه در جدول ۳ می‌باشد)

## بحث

نتایج بررسی مقایسه میانگین پارامترهای زبری سطح (Rz و Ra) نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخارگرمایی و نمونه‌های شاهد نشان دادند که این فرایند دارای اثر معنی‌دار بر زبری سطح در هر دو حالت پرداخت‌نشده و پرداخت‌شده پس از تیمار بود و سبب افزایش زبری سطح نمونه‌های تیمار بخارگرمایی شده می‌گردد. در فرایند بخارگرمایی ویژگی‌های سطحی چوب تیمار شده به دلیل اثر همزمان رطوبت و حرارت تغییر می‌نماید، به طوری که این تیمار سبب افزایش زبری نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد می‌گردد (Jennings et al., 2006). نتایج تحقیقات Diouf و همکاران (۲۰۱۱) که بر روی نمونه‌های تیمار شده با فرایند بخارگرمایی مکانیکی انجام شد، نشان می‌دهد در طول این فرایند ترکیبات دارای کربن بالا و مواد استخراجی تخریب شده و متعاقب آن واکنش‌های اکسیداسیون و هیدرولیز سطح روی می‌دهند و سبب تغییر خصوصیات سطح از جمله زبری می‌شوند. با توجه به اینکه پدیده زبری سطح نمایه‌ای فیزیکی می‌باشد، از این رو بروز پدیده کلاپس ناشی از تیمار بخارگرمایی نیز سبب تغییر ساختار سلولی و در نتیجه ایجاد ناهمواری ساختاری در سطح چوب می‌گردد. به علاوه تفاوت شدت کلاپس بین چوب آغاز و پایان نیز می‌تواند عاملی مؤثر بر زبری سطح باشد؛ به طوری که انتظار بر کلاپس بیشتر چوب آغاز در مقایسه با چوب پایان و در نتیجه افزایش زبری سطح می‌باشد (Mirzaei et al., 2012).

نتایج به دست آمده نشان دادند که به طور کلی در اثر تیمار بخارگرمایی میزان زاویه تماس قطره آب کاهش می‌یابد. زاویه تماس قطره آب در سطح چوب تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند دانسیته، تخلخل (خلل و فرج)، کشش سطحی و ترکیب شیمیایی سطح چوب، دما، ویسکوزیته و کشش سطحی مایع قرار دارد (Tsoumis, 1991)؛ با توجه به اینکه افزایش دمای تیمار بخارگرمایی و زمان ماندگاری سبب افزایش خلل و فرج و نیز توسعه ترک‌های کوچک می‌شود، از این رو می‌تواند سبب تغییر زاویه تماس قطره آب گردد؛

بنابراین می‌توان گفت که تیمار بخارگرمایی از یکسو سبب افزایش زاویه تماس قطره آب به دلیل کاهش گروه‌های هیدروکسیل و نیز کاهش کشش سطحی می‌گردد و از سوی دیگر به دلیل افزایش خلل و فرج و توسعه ترک‌های کوچک و اثرگذاری بیشتر آن بر زاویه تماس، سبب کاهش زاویه تماس قطره آب می‌شود.

بررسی نتایج به دست آمده اثرگذاری تیمار بخارگرمایی بر مقاومت خمشی و نیز فرم‌های شکست نمونه‌های شاهد و تیمار شده نشان دادند که با افزایش دمای تیمار بخارگرمایی مقاومت خمشی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. بر اساس گزارش‌ها و یافته‌های پیشین، افزایش دما و زمان تیمار سبب تخریب بیشتر بسپارهای سازنده چوب و در نتیجه کاهش مقاومت خمشی می‌گردد (Taghiyari et al., 2013). به عبارتی دیگر کاهش ویژگی‌های مکانیکی در دما و زمان ماندگاری بالاتر به دلیل کاهش طول زنجیره‌های سلولز و ترد و شکننده شدن لیگنین می‌باشد (Mohebbi et al., 2009). نتایج نشان دادند که بیشتر شکست‌ها از نوع ساده یا کششی و فشاری بودند که این نوع شکست‌ها مختص چوب‌های سبک و سالم می‌باشند. Hajihassani و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقات خود به این نتیجه دست یافتند که تیمار بخارگرمایی سبب افت وزن و کاهش دانسیته نمونه‌های چوبی می‌گردد؛ از این رو ممکن است کاهش وزن ناشی از تیمار بخارگرمایی نمونه‌ها سبب بروز این نوع از فرم‌های شکست شده باشد.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از تمامی اساتید و کارکنان دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس و نیز موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور و حمایت‌های مادی و معنوی ایشان در به انجام رسیدن این تحقیق، کمال تشکر و قدردانی را می‌نماید.

- Lim, C.J., 2013. Mechanical and compositional characteristics of steam-treated douglas fir (*Pseudotsugamenziesii* L.) during pelletization. *Biomass and Bioenergy*, 56: 116-126.
- Mirzaei, Gh., Mohebbi, B. and Tasooji, M., 2012. The effect of hydrothermal treatment on bond shear strength of beech wood. *Eur. J. Wood Prod*, 70: 705-709.
- Mohebbi, B., Sharifnia-Dizboni, H. and Kazemi-Najafi, S., 2009. Combined hydro-thermo-mechanical modification (CHTM) as an innovation in mechanical wood modification. In: *Proceeding of 4th European Conference on Wood Modification (ECWM4)*. 27-29th April, Stockholm, Sweden, pp. 353-360.
- Navi, P. and Sandberg, D., 2011. Thermo-hydro-mechanical processing of wood, *Engineering Sciences*, Taylor & Francis Group, LLC, Swiss, p. 360.
- Ramos, L.P., 2003. The Chemistry Involved in the Steam Pretreatment of Lignocellulosic Materials. *Quim Nova* 26, 863-871.
- Rowell, R.M., 2005. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. chapter 11: Chemistry of Wood Strength, 432-435.
- Surface Texture: Profile method rules and procedures for the assessment of surface texture, 1:1158-1159, ISO/DIS 4287.1. 1998
- Taghiyari, H.R., Bayani, S., Militz, H. and Papadopoulos, A.N., 2020. Heat Treatment of Pine Wood: Possible Effect of Impregnation with Silver Nanosuspension. *Forests*. 11(4):466.
- Taghiyari, H.R., Enayati, A. and Gholamiyan, H., 2013. Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods. *Wood Sci Technol*. 47, 467-480.
- Tsoumis, G., 1991. *Science and Technology of Wood*. Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York. pp. 494.
- منابع مورد استفاده**
- Assor, C., Placet, V., Chabbert, B., Habrant, A., Lapiere, C., Pollet, B. and Perre, P., 2009. Concomitant changes in viscoelasticity properties and amorphous polymers during the hydrothermal treatment of hardwood and softwood. *J. Agric. Food. Chem*, 57: 6830-6837.
- Biswas, A.K., Yang, W. and Blasiak, W., 2011. Steam pretreatment of salix to upgrade biomass fuel for wood pellet production. *Fuel Process Technol*, 92: 1711-1717.
- Bodig, J. and Jayne, B.A., 1982. *Mechanics of wood and wood composites*. The University of Michigan, 712 pages.
- Dioufa, P.N., Stevanovicb, T., Cloutierb, A., Fangb, C.H., Blanchetc, P., Koubaad, A. and Mariottib, N., 2011. Effects of thermo-hydro-mechanical densification on the surface characteristics of trembling aspen and hybrid poplar wood veneers, *Applied Surface Science*, 257: 3558-3564.
- Gardner, D.J., Generalla, N.C., Gunnells, D.W. and Wolcott, M.P., 1991. *Dynamic Wettability of Wood*. *Langmuir*, 7: 2498-2502.
- Gindl, M., Sinn, G., Reiterer, A. and Tschegg, S., 2001. Wood Surface Dependence of Wettability: A Comparison of Different Wood Surfaces Using an Acid-Base Approach, *Holzforschung*, 55: 433-440.
- Hajihassani, R., Mohebbi, B., Kazemi-Najafi, S. and Navi, P., 2017. Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Hygro-thermal Modified Wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. Vol. 32, No. (1): 1-12.
- Jennings, J.D., Zink-Sharp, A., Frazier, C.E. and Kamke, F.A., 2006. Properties of compression densified wood, Part II, Surface Energy, *J. Adhes. Sci. Technol*, 20 (4): 335-344.
- Lam, P.S., 2011. *Steam Explosion of Biomass to Produce Durable Pellet*. Ph.D. Dissertation. The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Lam, P.S., Lam, P.Y., Sokhansanj, Sh., Bi, X.T. and

## **Influence of hygrothermal modification on surface characteristics and failure modes of poplar wood**

**R. Hajihassani<sup>1\*</sup>, S. Ghahri<sup>2</sup>, K. Salehi<sup>3</sup>, F. Golbabaee<sup>3</sup> and S.M. Zamani<sup>2</sup>**

1\*- Corresponding author, Assistant Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran, Email: Reza.hajihassani@gmail.com

2- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran.

3- Senior Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran.

Received: Jan., 2021 Accepted: May, 2021

### **Abstract**

In this research, surface properties and failure modes of hygrothermally modified poplar wood (*Populus deltoides*) were evaluated. For this purpose, the effect of variable factors including hygrothermal temperature (130, 150 and 170°C) and treatment time (20 and 40 minutes) on poplar wood properties (contact angle and surface roughness) prior to and after planning were investigated. The surface characteristics and failure modes were evaluated for both treated and untreated wood specimens. The results revealed that surface roughness of poplar wood was enhanced due to the hygrothermal treatment in both states of before and after planning. It was also found that the hygrothermal treatment decreased contact angle of distilled water. The bending strength of specimens was reduced by hygrothermal treatment. According to the results, failure modes of hygrothermally treated specimens were simple and compression types in bending strength test.

**Keywords:** Surface roughness, contact angle, bending strength, failure mode.