

## بررسی مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ساختاری چوب راش پس از تیمار گرمایی در دو محیط فراگیر آب و بخار آب<sup>۱</sup>

آیسونا طلائی\*<sup>۱</sup>، علی‌نقی کریمی<sup>۲</sup>، قنبر ابراهیمی<sup>۳</sup>، سید احمد میرشکرایی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

<sup>۲</sup> استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳</sup> استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۴</sup> استاد گروه شیمی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

### چکیده

در این پژوهش تیمار گرمایی چوب راش در دو محیط فراگیر متفاوت (آب و بخار آب) در دمای  $180^{\circ}\text{C}$  انجام شده است. سپس ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ساختاری آزمون‌های تیمار شده در این دو فرایند مقایسه شدند. کاهش چگالی خشک در آزمون‌های تیمار شده به روش آب گرمایی بیشتر از آزمون‌های تیمار شده به روش بخار گرمایی بود. چوب راش در اثر تیمار آب گرمایی واکنشیدگی کمتر و پایداری ابعاد بیشتری نسبت به تیمار بخار گرمایی پیدا کرده بود. ویژگی‌های مکانیکی (MOR, MOE) در هر دو تیمار کاهش یافت ولی کاهش مقاومت در اثر تیمار بخار گرمایی بیشتر بود. تغییرات ساختاری آزمون‌ها با میکروسکوپ نوری بررسی شدند. چوب راش تیمار شده حساس به چین خوردگی درونی (Collapse) آوندها در هر دو محیط فراگیر آب و بخار آب بود. ترک‌های شعاعی در اطراف اشعه چوبی در هر دو تیمار دیده شدند. رسوب مواد استخراجی روی جدار سلولی و تغییر شکل لیف‌های دوکی شکل (لیبریفرم) نیز در حواشی اشعه‌ها دیده شدند.

**واژه‌های کلیدی:** تیمار آب گرمایی، تیمار بخار گرمایی، چوب راش، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، خواص ساختاری

<sup>۱</sup> Hydro & Hygrothermal treatment

\*مسئول مکاتبات: آیسونا طلائی Email: Talaei.srttu@gmail.com

## مقدمه

با تیمار آب‌گرمایی و درحضور هوا در مقایسه با شرایط نبود هوا تندتر است (McLean, ۱۹۵۴؛ Stamm, ۱۹۵۶؛ Babicki و همکاران، ۱۹۹۷). اشباع چوب با محلول نانوسیلور نیز سبب افزایش تأثیر منفی تیمار گرمایی بر مقاومت‌های مکانیکی می‌شود (Taghiyari, ۲۰۱۰).

Stamm (۱۹۵۶) دریافته بود که کاهش وزن ناشی از تخریب گرمایی در شرایط گرمادهی در حضور هوا بسیار بیشتر است. هم‌چنین Rusche (۱۹۷۳a,b) گزارش کرده است که کاهش وزن ناشی از تخریب گرمایی چوب در حضور هوا (در گستره دمایی  $200^{\circ}\text{C}$  -  $100^{\circ}\text{C}$ ) نسبت به شرایط خلأ یا در حضور نیتروژن بسیار بیشتر بوده است. Seborg و همکاران (۱۹۵۳) آزمون‌های چوب را در رآکتور با سامانه بسته در  $300^{\circ}\text{C}$  در شرایط خشک و مرطوب گرما دادند و دریافتند کاهش وزن در حضور آب تندتر بوده است. در هر حال کاهش وزن کلی در هر دو شرایط خشک و مرطوب تا حد یکسانی (۵۵٪) ثابت می‌ماند. Stamm (۱۹۵۶) دریافته بود که تخریب حرارتی در حضور بخار آب در مقایسه با شرایط خشک شدیدتر است. مقادیر کاهش وزن ناشی از تخریب گرمایی در تیمار گرمایی آب‌گرمایی یا بخارگرمایی نسبت به تیمار گرمایی در حضور هوا بیشتر می‌باشد (McLean, ۱۹۵۱).

علاوه بر این، تیمار آب‌گرمایی نسبت به تیمار بخارگرمایی باعث کاهش وزن بیشتری می‌شود. Rusche (۱۹۷۳a,b) تخریب گرمایی چوب راش و کاج را بررسی نمود و با تیمار در دمای  $200^{\circ}\text{C}$ ، کاهش وزن در چوب راش را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از چوب کاج گزارش نمود. کاهش مقاومت‌های مکانیکی به کاهش وزن بستگی دارد و مستقل از نوع گونه است.

به‌طور کلی، پس از تیمار گرمایی چوب تا حدی ترد و شکننده می‌شود و مقاومت‌های مکانیکی آن کاهش می‌یابد (Poncsak و همکاران، ۲۰۰۶؛ Sevim Korkut و همکاران، ۲۰۰۸؛ Korkut و Bektas، ۲۰۰۸؛ Korkut و همکاران، ۲۰۰۸؛ Mburu و همکاران، ۲۰۰۸). بسته به متغیرهای تیمار، مانند بیشینه دمای تیمار، سرعت گرمادهی، زمان ماندن در بیشینه دما، نوع محیط فراگیر

در دهه‌های اخیر گروه‌های تحقیقاتی بسیاری روش‌های صنعتی تیمار گرمایی را برای بهبود ثبات ابعاد و دوام طبیعی چوب گسترش داده‌اند (Jamsa و Viitaniemi, ۱۹۹۶؛ Weiland و Guyonnet, ۱۹۹۷؛ Boonstra و همکاران، ۱۹۹۸). در اثر تیمار گرمایی چوب پایداری ابعاد پیدا کرده و آب‌گریز می‌شود (Militz و Tjeerdsma, ۲۰۰۶؛ Boonstra و Tjeerdsma, ۲۰۰۶؛ Mohebbi و همکاران، ۲۰۰۷)، مقاومت زیست‌شناسی (بیولوژیکی) افزایش می‌یابد (Tjeerdsma و همکاران، ۲۰۰۰) و مقاومت‌های مکانیکی تا حدی کاهش می‌یابد (Santos, ۲۰۰۰؛ Talaei و Yaghoobi, ۲۰۰۹) 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 اسیدهای تشکیل‌شده از گروه‌های استیل همی سلولزها سبب شتاب تخریب ترکیبات پلی‌ساکاریدی جدار سلولی می‌شود (Stamm, ۱۹۵۶). حضور آب یا بخار آب بر شیمی اصلاح گرمایی و انتقال گرما در چوب تأثیر می‌گذارد (Burmester, ۱۹۸۱). در شرایط تیمار گرمایی خشک، چوب تا حد اصلاح گرمایی خشک می‌شود و رطوبت چوب در یک سامانه باز یا سامانه چرخشی مجهز به متراکم‌کننده (کندانسور) حذف می‌شود. در سامانه‌های بسته آب بخار شده از چوب به صورت بخار با فشار بالا در فرایند باقی می‌ماند. بخار آب هم‌چنین می‌تواند به درون رآکتور تزریق شود تا به عنوان محیط فراگیر انتقال گرما و نیز به عنوان پوشش محافظ برای محدود کردن فرایندهای اکسایشی عمل کند. به این گونه 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 (Hill, ۲۰۰۶).

کاهش مقاومت به شدت تحت تأثیر نوع تیمار گرمایی به‌کار رفته قرار دارد. کاهش مقاومت در سامانه‌های بسته در مقایسه با سامانه‌های باز، در تیمار بخارگرمایی در مقایسه

### تیمار گرمایی

برای انجام تیمار آب گرمایی (تیمار در محیط آبی)، سیلندر اتوکلاو با آزمون‌های چوبی و آب پر شد و تیمار گرمایی با دمای  $180^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ و ۲ ساعت اعمال شد. برای انجام تیمار بخار گرمایی (تیمار در محیط بخار آب) آزمون‌ها درون سیلندر قرار داده شدند و بخار آب با دمای  $180^{\circ}\text{C}$  به درون سیلندر تزریق شد. پس از پایان زمان تیمار و خنک شدن سیلندر، آزمون‌های تیمار شده به اتاق مشروط سازی (کلیما) منتقل شدند تا به رطوبت تعادل برسند.

### ویژگی‌های فیزیکی

ابعاد آزمون‌های به کار رفته برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی  $30 \times 20 \times 20$  mm بود. اندازه‌گیری واکشیدگی با دقت  $0.01$  mm در سه جهت متفاوت چوب با نقاط مشخص شده روی آزمون‌ها پیش و پس از غوطه‌وری در آب به مدت ۴۸ ساعت، انجام شد. میزان واکشیدگی آزمون‌ها برابر استاندارد ISO ۴۸۵۹ تعیین شد. برای تعیین چگالی خشک ( $D_0$ ) وزن و ابعاد به کلی خشک آزمون‌های تیمار شده و برای تعیین چگالی  $12$  ( $D_{12}$ ) وزن و ابعاد آزمون‌ها پس از ۱ ماه مشروط‌سازی در اتاق کلیما اندازه‌گیری شدند.

### ویژگی‌های مکانیکی

از آزمون‌های با ابعاد  $360 \times 20 \times 20$  mm برای تعیین مدول کشسانی (MOE) و مقاومت به خمش (MOR) برابر آیین‌نامه D143 استاندارد ASTM (۱۹۹۲) استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها با دستگاه Instron model 4486 انجام شد. برای هر تیمار ۸ تکرار در نظر گرفته شد.

### ویژگی‌های ساختاری

آزمون‌های تیمار گرمایی شده برای بررسی تغییرات ایجاد شده در ترکیب ساختاری، با میکروسکوپ نوری بررسی شدند و از نواحی تغییر یافته عکس تهیه شد.

تیمار (هوا، بخار آب، آب، نیتروژن) و باز یا بسته بودن سامانه، ترک‌ها می‌توانند در چوب ظاهر شوند و ساختار میکروسکوپی چوب ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرد (Poncsak و همکاران، ۲۰۰۶؛ Kocaefe و همکاران، ۲۰۰۷). اثر دمای تیمار نسبت به مدت تیمار بر ویژگی‌های چوب بیشتر است (Kartal و همکاران، ۲۰۰۷). دماهای بالاتر از  $150^{\circ}\text{C}$  ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب را به طور دائمی تغییر می‌دهند (Mitchell، ۱۹۹۸).

در اثر تیمار گرمایی معایبی مانند ترک‌ها (ترک‌های درونی و/یا سطحی)، چین خوردگی درونی (Collapse) و انواع تغییر شکل (کمانش، پیچش، ناودانی شدن و...) ممکن است به وجود بیاید که ناشی از تغییر در ساختار ساختمانی چوب می‌باشد (Boonstra و همکاران، ۲۰۰۶). این معایب ممکن است در اثر فرایندهای شیمیایی و فیزیکی در چوب در حین تیمار گرمایی بروز کنند. در این پژوهش هدف بررسی و مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ساختاری چوب راش پس از تیمار حرارتی در دو محیط فراگیر مختلف (آب و بخار آب) در دمای  $180^{\circ}\text{C}$  می‌باشد تا تأثیر محیط فرایند تیمار گرمایی بر ویژگی‌های آنها مشخص شود.

### مواد و روشها

#### آماده‌سازی آزمون‌ها

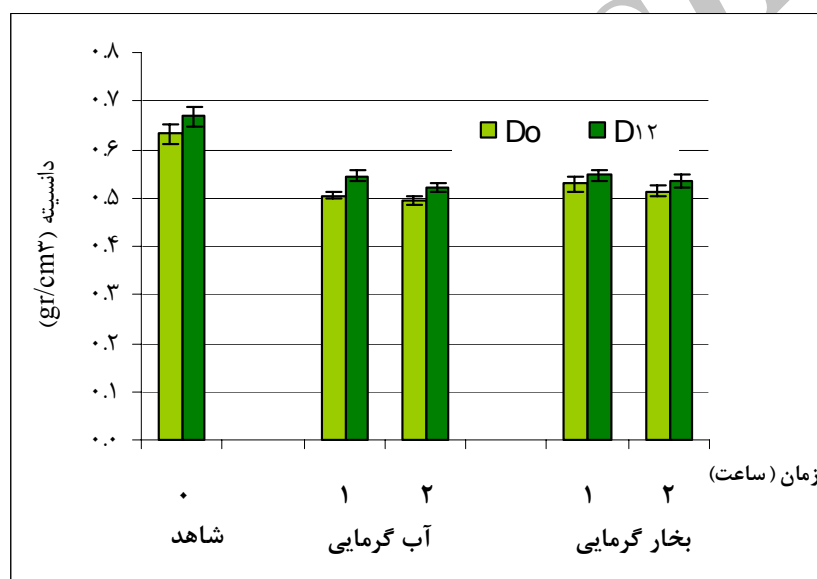
یک گرده‌بینه چوب راش (*Fagus orientalis* Lipsky) از جنگل آموزشی خیرودکنار نوشهر تهیه شد. آزمون‌هایی به ابعاد  $360 \times 20 \times 20$  mm از آن بریده شدند و برای رسیدن به رطوبت تعادل (EMC) به مدت ۲ ماه در اتاق مشروط سازی (کلیما) در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی ۶۵٪ قرار داده شدند. عامل‌های متغیر تیمار شامل نوع محیط فراگیر تیمار گرمایی (آب و بخار آب) و زمان تیمار (۱ و ۲ ساعت) بودند. عامل ثابت دمای تیمار گرمایی ( $180^{\circ}\text{C}$ ) بود.

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های فیزیکی

چگالی - نتایج نشان داده‌اند که تیمار گرمایی اثر معنی‌داری بر چگالی  $D_0$  و  $D_{12}$  می‌گذارد. کمترین میزان چگالی در چوب تیمار شده به روش آب‌گرمایی به مدت ۲ ساعت و بیشترین میزان چگالی در چوب تیمار نشده مشاهده شده‌است. می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آب-گرمایی نسبت به تیمار بخارگرمایی اثر بیشتری بر کاهش وزن چوب داشته‌است. در شکل ۱ اثر تیمار گرمایی بر کاهش وزن آزمون‌ها نشان داده شده است. به طور کلی، کاهش وزن ناشی از تیمار گرمایی در حضور آب یا

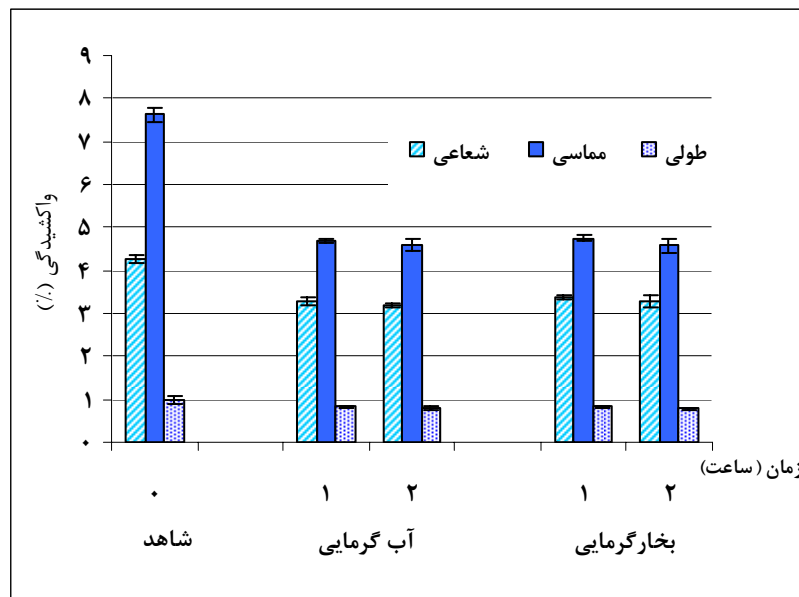
بخار آب در مقایسه با فرایندهای خشک، بیشتر است. به-علاوه تیمار آب‌گرمایی نسبت به تیمار بخارگرمایی سبب کاهش وزن بیشتری در چوب می‌شود که به دلیل خروج ترکیبات محلول در آب از چوب می‌باشد (McLean, ۱۹۵۱). کاهش وزن می‌تواند ناشی از تخریب همی-سلولزها در اثر تیمار گرمایی باشد زیرا همی‌سلولزها برابر گرما ناپایدار هستند. در اثر آبکافت همی‌سلولزها ترکیباتی مانند اسید استیک، اسید فرمیک، فورفورال و ... تشکیل می‌شوند (Garrote و همکاران، ۱۹۹۹؛ Gonzalez-Boonstra و Tjeerdsma، ۲۰۰۶؛ Pena و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۱- تأثیر تیمار گرمایی بر دانسیته چوب راش

شعاعی و طولی در آزمون‌های شاهد اندازه‌گیری شدند. کمترین میزان واکنشیدگی در تیمار آب‌گرمایی ۲ ساعت مشاهده شد. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که چوب راش در اثر تیمار آب‌گرمایی نسبت به تیمار بخارگرمایی پایداری ابعاد بیشتری پیدا می‌کند.

واکنشیدگی - نتایج نشان داده‌اند که به طور کلی واکنشیدگی در چوب‌های تیمار گرمایی شده کمتر از آزمون‌های شاهد است و واکنشیدگی جهات مختلف (شعاعی، مماسی، طولی) در اثر تیمار حرارتی در هر دو فرایند کاهش نشان می‌دهد. کاهش واکنشیدگی در جهت مماسی بیشتر از جهات شعاعی و طولی بوده‌است. با توجه به شکل ۲ بیشترین میزان واکنشیدگی در جهت مماسی،

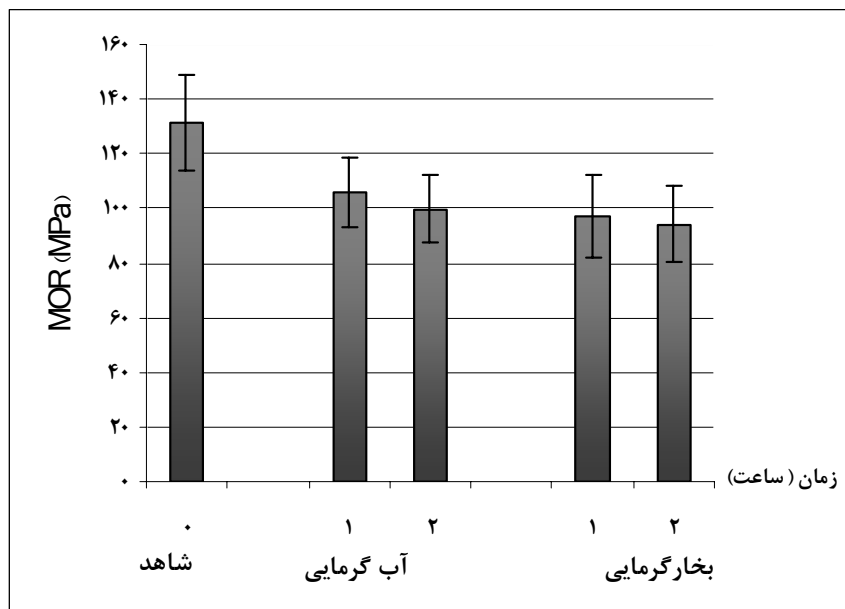


شکل ۲- تأثیر تیمار گرمایی بر واکسیدگی شعاعی، مماسی و طولی

در سامانه های بسته نسبت به سامانه های باز، در شرایط بخار گرمایی نسبت به شرایط آب گرمایی و در حضور هوا نسبت به شرایط نبود هوا تندتر گزارش شده است (McLean, ۱۹۵۴؛ Stamm, ۱۹۵۶). رابطه مستقیمی بین تجزیه همی سلولزها و کاهش مقاومت در دماهای بالا وجود دارد (Kubojima و همکاران، ۲۰۰۰؛ Kartal و همکاران، ۲۰۰۸). کاهش چگالی در چوب های تیمار گرمایی شده بر ویژگی های مکانیکی تأثیر می گذارد که می تواند ناشی از تخریب همی سلولزها در اثر دمای بالا باشد (Tjeerdsma و Boonstra, ۲۰۰۶).

#### ویژگی های مکانیکی

تأثیر تیمار گرمایی در محیط فراگیر آب و بخار آب بر مقاومت خمشی (MOR) و مدول الاستیسیته (MOE) به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج تعیین مقاومت خمشی و مدول کشسانی این دو ویژگی آزمونه ها در هر دو فرایند نسبت به آزمونه های شاهد کاهش پیدا کرده اند ولی در آزمونه های تیمار شده به روش بخار گرمایی کاهش مقاومت ها بیشتر از روش آب گرمایی می باشد. کاهش مقاومت تا حد زیادی تحت تأثیر نوع تیمار گرمایی به کار رفته است. کاهش مقاومت



شکل ۳- تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت خمشی MOR چوب راش

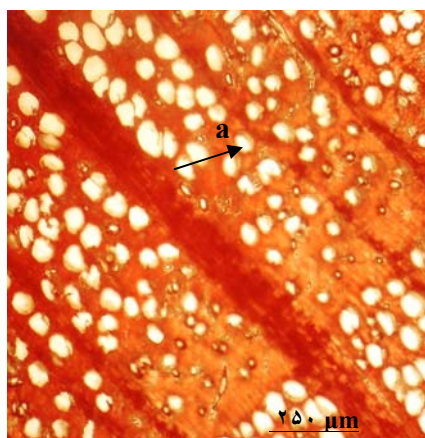


شکل ۴- تأثیر تیمار گرمایی بر مدول کشسانی MOE چوب راش

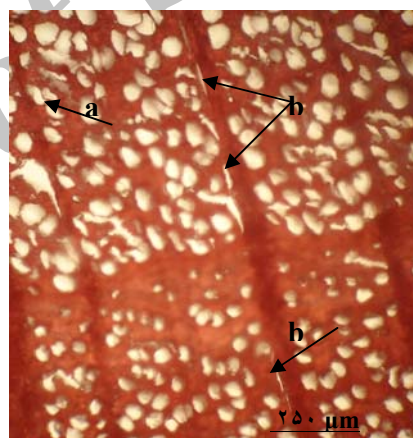
## ویژگی‌های ساختاری

ساختار میکروسکوپی چوب راش پس از تیمار گرمایی در محیط فراگیرهای مختلف با استفاده از میکروسکوپ نوری بررسی شد. در حین تیمار آب گرمایی آزمونه‌ها آب جذب کرده و رطوبت آنها تا بالای حد اشباع الیاف FSP افزایش یافته بود. حضور آب آزاد جاری در حفره‌های سلولی احتمال چین خوردگی درونی (Collapse) جدارهای سلولی به ویژه آوندها را افزایش می‌دهد. نرم شدن جدارهای سلولی که در اثر تیمار آب گرمایی رخ می‌دهد نیز می‌تواند باعث افزایش احتمال چین خوردگی درونی (Collapse) شود. شکل ۶ رخداد چین خوردگی در آوندهای بهاره چوب راش و گسیختگی‌های نزدیک اشعه‌ها

را نشان می‌دهد. در شکل ۷ تغییرشکل فیبرهای دوکی-شکل نزدیک آوندها قابل دیدن است. در شکل ۸ ترک-های شعاعی در نزدیکی اشعه‌های بزرگ و پهن دیده می‌شوند که می‌تواند از علل کاهش مقاومت در چوب‌های تیمار شده باشد. همچنین سلول‌های پارانشیمی اشعه که پیش از تیمار، باز و تمیز بودند، پس از تیمار آب گرمایی دارای مواد استخراجی قرمز قهوه‌ای می‌باشند. در شکل ۹ رسوب مواد استخراجی روی جدارهای سلولی دیده می‌شود. این مواد استخراجی روی پونکتواسیون‌های جدار سلولی را می‌پوشانند و از انتقال هوا و رطوبت از راه روزنه‌ها در جهت شعاعی جلوگیری می‌کنند (Boonstra و همکاران، ۲۰۰۶).

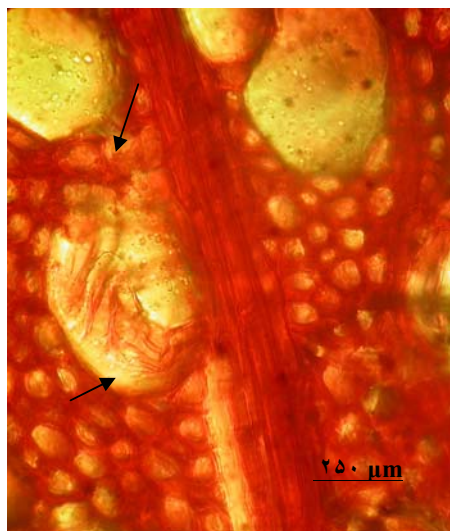


تیمار بخار گرمایی 180°C و ۲ ساعت

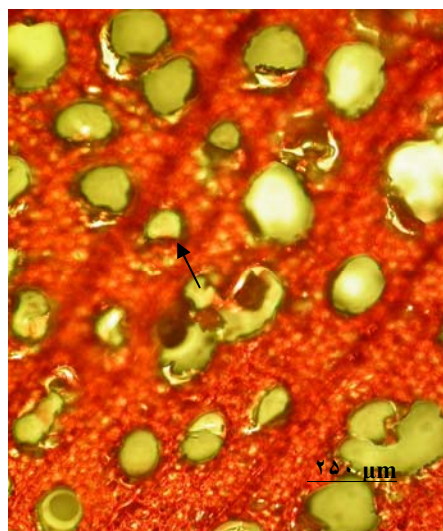


تیمار آب گرمایی 180°C و ۲ ساعت

شکل ۶- a. چین خوردگی درونی (کلاپس) در آوندهای چوب بهاره و b. گسیختگی در نزدیکی اشعه‌ها پس از تیمار گرمایی

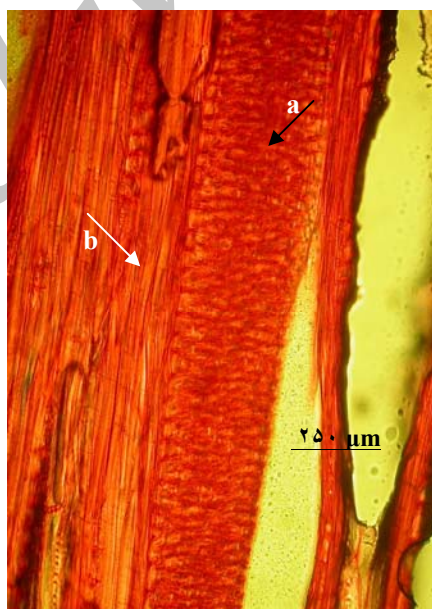


تیمار بخار گرمایی 180°C و ۲ ساعت



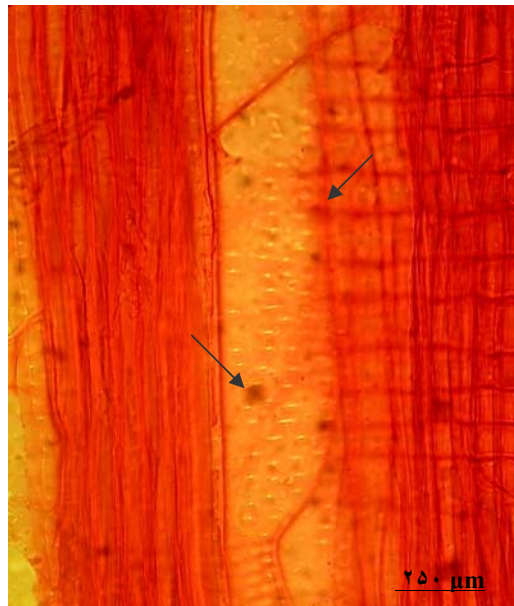
تیمار آب گرمایی 180°C و ۲ ساعت

شکل ۷- تغییر شکل فیبرهای دوکی شکل ( لیبریفرم) در نزدیکی آوندها



شکل ۸- a. سلول‌های پاراننشیمی اشعه دارای مواد استخراجی قهوه پس از تیمار آب گرمایی  
b. ترک‌های شعاعی در نزدیکی اشعه‌های پهن و بزرگ





شکل ۹- رسوب مواد استخراجی روی جداره‌های سلولی

### نتیجه‌گیری

تغییرات ویژگی‌های ساختاری چوب‌های تیمار گرمایی-شده شامل چین خوردگی درونی (Collapse) در آوندهای بهاره، تغییر شکل لیف‌های لیبریفرم در نزدیکی آوندها، رسوب مواد استخراجی روی جدار سلول‌ها، ترکهای شعاعی نزدیک اشعه‌های پهن و بزرگ بوده‌اند. سلول‌های اشعه که پیش از تیمار باز و تمیز بودند پس از تیمار دارای مواد استخراجی قرمز قهوه‌ای شده‌بودند. در ساختار میکروسکوپی چوب‌های تیمار شده به روش آب-گرمایی و بخارگرمایی تفاوت قابل ملاحظه‌ای دیده نشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این بررسی، تیمار آب-گرمایی به دلیل اثر کمتر بر کاهش مقاومت‌های مکانیکی برای چوب راش توصیه می‌شود.

چوب ماسیو راش به‌طور گسترده‌ای در صنایع چوب و مبلمان به کار می‌رود. بهره‌گیری از تیمارهای گرمایی در جهان به منظور بهبود ویژگی‌های کاربردی مانند بهبود رنگ، پایداری ابعاد و افزایش دوام طبیعی رو به گسترش می‌باشد. بررسی مقایسه‌ای تیمار گرمایی چوب راش در محیط فراگیر آب و بخار آب نشان داد که کاهش وزن در اثر تیمار آب‌گرمایی بیشتر از تیمار بخارگرمایی بوده‌است. چوب‌های تیمار شده به روش آب‌گرمایی پایداری ابعاد بیشتری نسبت به چوب‌های تیمار شده به روش بخارگرمایی داشته‌اند. کاهش مقاومت چوب راش در اثر تیمار بخارگرمایی شدیدتر از تیمار آب‌گرمایی بوده‌است.

## منابع

- 1- Babicki R., Grzeczynski T. and Wroblewska H. 1997: Effect of hydro-thermal treatment of green beech wood on its chemical and physic-mechanical properties, *Wood Sci. Technol.* 11: 125-131 (1997).
- 2- Boonstra M. and Tjeerdsma B. 2006: Chemical analysis of heat treated softwoods, *Holz als Roh- und werkstoff* 64: 204-211.
- 3- Boonstra M., Rijdsijk 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.
- 4- Burmester A., 1981: Dimensional stabilization of wood. International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 3171.
- 5- Garrote G., Domínguez H. and Parajó J.C. 1999: Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57(3), 191–202.
- 6- 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.
- 7- Hill C., 2006: *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley & Sons, Ltd. 239p.
- 8- 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.
- 9- Kocafe 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.
- 10- Korkut S. and Bektas I. 2008: The effects of heat treatment on physical properties of Uludağ fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Forest Products Journal* 58(3): 95-99.
- 11- 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.
- 12- Kubojima Y., Okano T. and Ohta M. 2000: Bending strength and toughness of heat treated wood, *J. Wood Sci* 46:8-15.
- 13- Mburu F., Dumarcay S., Bocquet JF., Petrisans 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- Mitchell PH. 1988: Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. *Wood and Fiber Science*; 20(3): 320-55.
- 17- Mohebbi B., Yaghoobi K., Roohnia M., 2007: Acoustic Properties of Hydrothermally Modified Mulberry (*Morus alba* L.) Wood; *European Conference on Wood Modification 2007*, 8p.
- 18- Poncsak S., Kocafe 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.
- 19- Rusche H. 1973a: Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 deg C. I. Strength properties of wood after heat treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31(7), 273–281.

- 20- Rusche H. 1973b: Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 deg C. Part II. Reaction kinetics of loss of mass during heat treatment of wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31(8), 307–312.
- 21- Santos JA. 2000: Mechanical behavior of eucalyptus wood modified by heat. *Wood Science and Technology* 34: 39-43.
- 22- 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.
- 23- Sevim Korkut D., Korkut S., Bekar I., Budakçi M., Dilik T. and Çakicier 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 (IJMS)* 9(9): 1772-1783.
- 24- Stamm A.J. 1956: Thermal degradation of wood and cellulose. *Industrial and Engineering Chemistry* 48(3): 413–417.
- 25- Sundqvist B., Karlsson O. and Westermark U. 2006: Determination of formic-acid and acetic-acid concentrations formed during hydrothermal treatment of Birch wood and its relation to colour, strength and hardness, *Wood Sci Technol* 40: 549-561.
- 26- Taghiyari HR. 2010: Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated *Populus nigra*, *Wood Sci Technol* DOI 10.1007/s00226-010-0343-5.
- 27- 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.
- 28- 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.
- 29- 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.
- 30- Viitaniemi P. and Jamsa S. 1996: Modification of wood with heat treatment, *Espo* 1996, VTT Juskaisuja- Publikationer 814.
- 31- Weiland J.J. and Guyonnet R. 1997: Retifiziertes Holz. 16, Verdichteter Holzbau in Europa. Motivation, Erfahrung, Entwicklung. Dreiländer Holztagung. 10. Joanneum Research Fachtagung. 2-5/11/1997. Grazer Congress. Graz, Austria.

## Comparative Study of Heat Treated Beech Wood in Hot Water and Steam Mediums

Aisona Talaei<sup>\*1</sup>, Ali Naghi Karimi<sup>2</sup>, Ghanbar Ebrahimi<sup>3</sup>, Seyed Ahmad Mirshokraee<sup>4</sup>

### Abstract

Heat treatment of wood is an effective method to improve the dimensional stability and durability against biodegradation. Heat treatments of beech wood in 2 different mediums (hot water and steam) at 180°C were compared by physical, mechanical and anatomical properties. Mass loss in hydrothermally treated wood was higher than hygrothermally treated specimens. Mechanical properties (MOR and MOE) were decreased in both mediums, but strength loss was higher for hygrothermal treated samples. Anatomical changes were investigated by means of a light microscopic analysis. Beech was sensitive to collapse of the vessels in both mediums. In treated beech, radial cracks were observed near the rays both in hydro and hygrothermal treatments. Depletion of extractives on the cell walls and deformation of libriform fibers near the vessels were also observed.

**Keywords:** hydrothermal, hygrothermal treatment, beech, density, swelling, strength loss, anatomy

---

\* Corresponding author: Email: Talaei.srttu@gmail.com