



دانشگاه گیلان، دانشکده مهندسی مکانیک

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم، شماره اول، ۱۳۹۲

<http://jwfst.gau.ac.ir>

تأثیر تیمار حرارتی بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چوب گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*)

* محمد دهمرده قلعه‌نو^۱ و مرتضی ناظریان^۲

^۱ مربی دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه زابل،

^۲ استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۷

چکیده

تیمار حرارتی بیش‌تر برای بهبود ثبات ابعادی چوب و تولیدات چوبی استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تیمار حرارتی بر خواص مکانیکی و فیزیکی چوب اکالیپتوس بود. نمونه‌های چوبی تحت حرارت‌های ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد برای دوره‌های زمانی ۳، ۶ و ۹ ساعت قرار گرفتند. خصوصیات مکانیکی شامل مقاومت فشاری موازی الیاف، مقاومت فشاری عمود بر الیاف، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، سختی در جهت‌های عرضی، شعاعی، مماسی و مقاومت برشی و خصوصیات فیزیکی شامل دانسیته خشک و واکنشیدگی نمونه‌های چوبی تیمار شده اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که مقدار دانسیته خشک و واکنشیدگی با افزایش درجه حرارت و زمان تیمار کاهش پیدا کرد. تأثیر افزایش زمان تیمار بر کاهش واکنشیدگی چشم‌گیرتر بوده است. هم‌چنین نتایج نشان داد که نمونه‌های تیمار شده خصوصیات مکانیکی کم‌تری در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارند. علاوه بر آن، افزایش درجه حرارت و زمان تیمار خصوصیات مکانیکی به‌خصوص مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و فشار موازی الیاف را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تیمار حرارتی، اکالیپتوس کاملدولنسیس، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی

* مسئول مکاتبه: mmdahmardeh@yahoo.com

مقدمه

چوب از مهم‌ترین منابع تجدیدشونده کره زمین، یک ماده طبیعی با جنبه‌های ظاهری زیبا و شکل‌پذیری خوب می‌باشد که از زمان‌های گذشته تاکنون به‌عنوان یک ماده مهندسی و ساختمانی و همچنین مورد استفاده برای دکوراسین داخلی و خارجی مطرح می‌باشد. بر خلاف محاسن زیاد چوب تیمار نشده (محافظت‌نشده به‌وسیله روش‌های حفاظتی) در شرایط محیطی به‌وسیله فاکتورهای مختلفی مانند نور، رطوبت، گرما و آلاینده‌ها دچار واکنش‌های تخریبی می‌شود (اوانس و همکاران، ۱۹۹۲؛ هان، ۱۹۹۴). این عیب‌ها می‌تواند با تیمارهای شیمیایی مختلف کاهش یابد. اما با توجه به هشدارهای محیط زیستی مبنی بر خطرات مواد شیمیایی مصرفی برای تیمار چوب‌آلات تقاضا برای روش‌های جایگزین که سازگار محیط زیست باشند رو به افزایش است. تیمار حرارتی یکی از روش‌های جایگزین پیشنهاد شده برای بهبود ثبات ابعاد و دوام چوب، بدون استفاده از مواد شیمیایی می‌باشد.

در هنگام حرارت دادن چوب ویژگی‌های آن دست‌خوش تغییرات دائمی و تغییر شکل ساختاری می‌شود. تیمار حرارتی، باعث اصلاح شیمیایی ترکیبات دیواره سلولی می‌شود که این تغییرات شیمیایی و اصلاحات ساختاری دیواره سلولی طی حرارت‌دهی، نقش مهمی در خاصیت آب‌گریزی چوب ایفا می‌کند (هاکو و همکاران، ۲۰۰۵؛ رپلین و گایونت، ۲۰۰۵). اصلاح لیگنین (الن و همکاران، ۲۰۰۲؛ جیرسما و میلیت، ۲۰۰۵؛ نگوئیل و همکاران، ۲۰۰۶؛ نگوئیل و همکاران، ۲۰۰۷؛ استوس و همکاران، ۲۰۰۸)، تغییر نسبت ساختار آمورف و کریستالی سلولز (فنگل و وگنر، ۱۹۸۹؛ سیونن و همکاران، ۲۰۰۲؛ یلدیز و همکاران، ۲۰۰۶)، تخریب شدید همی‌سلولز (سیونن و همکاران، ۲۰۰۲؛ یلدیز و همکاران، ۲۰۰۶؛ نئوپونن و همکاران، ۲۰۰۴)، باعث تغییر رنگ چوب می‌شود (میت‌سویی و همکاران، ۲۰۰۱؛ بنتا و نایمز، ۲۰۰۳؛ آیادی و همکاران، ۲۰۰۳) و در چوب خصوصیات جدیدی مانند بهبود ثبات ابعاد (استوس و همکاران، ۲۰۰۷؛ بونس‌ترا و همکاران، ۲۰۰۶a؛ جیرسما و همکاران، ۱۹۹۸) و دوام در برابر قارچ‌ها (شی و همکاران، ۲۰۰۷؛ هاکو و همکاران، ۲۰۰۶؛ کام‌دم و پیزی، ۲۰۰۲؛ بونس‌ترا و همکاران، ۲۰۰۶b) ایجاد می‌شود، در حالی که خصوصیات مقاومتی چوب بیش‌تر کاهش می‌یابد (کام‌دم و پیزی، ۲۰۰۲؛ گوس‌لینک و همکاران، ۲۰۰۴؛ کورکات و هیزبروگلو، ۲۰۰۹؛ گاندوز و همکاران، ۲۰۰۹).

کورکات و گالر (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی تأثیر تیمار حرارتی روی خواص فیزیکی و کیفیت سطح چوب گونه افرا در دماهای ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و دوره حرارت‌دهی ۲، ۶ و ۱۰ ساعت پرداخت. وی کاهش واکنشیدگی در جهت شعاعی، مماسی و طولی را به ترتیب ۲۴/۴۳، ۳۴/۶۴ و ۲۰/۰۴ درصد در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدت حرارت‌دهی ۱۰ ساعت نشان داده است.

گاندوز و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تیمار حرارت‌دهی در دمای ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان حرارت‌دهی ۲، ۴ و ۶ ساعت روی چوب گلابی عنوان کردند که کاهش واکشیدگی در جهت‌های مماسی، شعاعی و طولی در دماهای ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۹، ۷ و ۱۲ درصد و ۱۲/۵، ۱۱ و ۱۴ درصد به دست آمده است. در بررسی مقدار دانسیته، کاهش دانسیته در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲، ۴ و ۶ ساعت به ترتیب ۲/۵، ۴/۵ و ۵ درصد اندازه‌گیری شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش دانسیته به ترتیب در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶ ساعت و درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان حرارت‌دهی ۲ ساعت به دست آمد.

خصوصیات مکانیکی چوب تیمار شده بیش‌تر بستگی به نوع گونه چوبی و شرایط تیماردهی دارد. بر طبق بررسی‌های بختا و نایمز (۲۰۰۳) مقاومت خمشی گونه نوئل تقریباً ۵۰ درصد با افزایش درجه حرارت از ۱۰۰ به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش نشان داده است. در حالی‌که مدول الاستیسیته به سختی تحت‌تأثیر این افزایش درجه حرارت قرار گرفته و به مقدار ۹-۴ درصد کاهش نشان داده است. کامدم و همکاران (۲۰۰۲) خواص مکانیکی گونه نوئل و راش تیمار شده تحت حرارت ۲۰۰ و ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد را مورد بررسی قرار دادند. نوئل کاهش مقاومت خمشی ۸ درصد و مدول الاستیسیته ۱۱ درصد و راش کاهش مقاومت خمشی ۴۰ درصد و مدول الاستیسیته ۲۰ درصد را نشان داده است. در مورد چوب گونه اکالیپتوس بهبود مدول الاستیسیته و کاهش مقاومت کششی با افزایش درجه حرارت گزارش شده است (سانتوز، ۲۰۰۰).

کورکات و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که برای تیمار حرارتی کاج جنگلی تحت درجه حرارت ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲، ۶ و ۱۰ ساعت، ماکزیمم کاهش مقاومت فشاری ۲۵/۴ درصد در درجه حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ ساعت بوده است. در یک مطالعه دیگر توسط آنسل و ایریل‌میس (۲۰۰۵) ماکزیمم کاهش مقاومت فشاری چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس، ۱۹ درصد در درجه حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ گزارش شده است.

آنسل و همکاران (۲۰۰۳) عنوان نمودند که در نمونه‌های چوب گونه اکالیپتوس کاملدولنسیس تیمار شده با حرارت، بیش‌ترین کاهش سختی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و دوره ۱۰ ساعت به دست آمده است. کاهش مقدار سختی در جهت‌های عرضی، شعاعی و مماسی به ترتیب ۲۳/۹۱، ۴۴/۲۰ و ۳۳/۵۷ درصد بوده است.

کورکات و هیزبروگلو (۲۰۰۹) در پژوهشی چوب فندق را در دمای ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۱۰-۲ ساعت تحت تیمار کردند. نتایج نشان داد که ماکزیمم کاهش مکانیکی، ۶۸/۱۱، ۶۴/۹۷ و ۵۸/۷۵ درصد به ترتیب برای مقاومت به سختی در جهت‌های شعاعی و مماسی و مقاومت کششی موازی الیاف برای نمونه‌های چوبی تیمار شده در درجه حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ ساعت به دست آمده است.

با توجه به این‌که چوب تیمار شده به وسیله حرارت به عنوان یک جایگزین مناسب اکولوژیکی نسبت به مواد چوبی اشباع شده به وسیله مواد حفاظتی شیمیایی مطرح می‌باشد و این واقعیت که تأثیر تیمار حرارتی بر روی خواص مقاومتی چوب پیچیده بوده و به مقدار زیادی به فاکتورهای به کار رفته در هنگام تیمار از جمله دوره تیمار، درجه حرارت و نوع گونه چوبی بستگی دارد، در این مطالعه به بررسی تغییرات خواص فیزیکی و مکانیکی چوب گونه اکالیپتوس کاملدولنسیس تحت تیمار حرارت‌دهی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این بررسی به طور تصادفی تعداد ۵ اصله درخت از منطقه سیستان با طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه واقع در جنوب شرقی ایران انتخاب و قطع گردید. نمونه‌های آزمونی شامل مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته (۲۵×۲۵×۴۱۰ میلی‌متر)، فشار موازی الیاف (۲۵×۲۵×۱۰۰ میلی‌متر)، فشار عمود بر الیاف (۵۰×۵۰×۱۵۰ میلی‌متر)، کشش عمود بر الیاف (۵۰×۵۰×۶۳ میلی‌متر)، سختی در جهت‌های شعاعی، مماسی و طولی (۵۰×۵۰×۱۵۰ میلی‌متر)، دانسیته (۵۰×۵۰×۱۰۰ میلی‌متر) و واکنشیدگی در جهت‌های شعاعی و مماسی (۲۵×۲۵×۱۰۰ میلی‌متر) مطابق با استاندارد ASTM-D143 تهیه گردید.

نمونه‌های آماده شده برای انجام تیمار حرارتی به طور تصادفی به ۹ گروه با ۹ تکرار تقسیم شدند. نمونه‌های شاهد (کنترل) برای هر آزمون نیز جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. تیمار حرارتی تحت شرایط حرارتی ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و دوره‌های زمانی ۳، ۶ و ۹ ساعت به طور مستقیم بر روی نمونه‌های آزمونی در آن آزمایشگاهی انجام گرفت. بعد از تیمار حرارتی، نمونه‌ها در اتاق کليماتيزه تحت حرارت 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد متعادل‌سازی شدند و

در نهایت مقاومت‌های موردنظر شامل مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، فشار موازی الیاف، فشار عمود بر الیاف، مقاومت برشی و سختی در جهت‌های شعاعی، مماسی و طولی، دانسیته خشک و واکشیدگی در جهت‌های شعاعی و مماسی اندازه‌گیری گردید. قبل از آزمون، ابعاد و وزن نمونه‌ها به ترتیب با دقت $0/001$ میلی‌متر و $0/01$ گرم محاسبه شدند.

برای تجزیه و تحلیل اثر مستقل و متقابل فاکتورهای مورد مطالعه، از آزمون فاکتوریل و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده گردید.

نتایج

نتایج مربوط به تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی چوب گونه اکالیپتوس کاملدولنسیس به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. همچنین میانگین مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت فشاری موازی الیاف، مقاومت فشاری عمود بر الیاف، مقاومت برشی و سختی در جهت‌های عرضی، مماسی و شعاعی نمونه‌های چوبی در شرایط مختلف تیمار در جدول ۳ و میانگین دانسیته خشک و واکشیدگی در جهت‌های شعاعی و مماسی تحت شرایط مختلف تیمار در جدول ۴، نشان داده شده است. آزمون دانکن تأثیر درجه حرارت و زمان تیمار بر مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی نیز در جدول‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

با توجه به جدول‌های ۳ و ۴ مشاهده شد که تحت شرایط حرارتی 190 درجه سانتی‌گراد و دوره حرارت‌دهی ۹ ساعت بیش‌ترین کاهش در خواص مکانیکی و بیش‌ترین تغییرات در خواص فیزیکی نمونه‌ها مشاهده گردید. از طرف دیگر کم‌ترین تأثیر تیمار حرارتی در نمونه‌های تحت تیمار حرارتی 130 درجه سانتی‌گراد و برای مدت ۳ ساعت اندازه‌گیری شد.

فاکتورهای اندازه‌گیری شده روی نمونه‌های چوبی از نظر درصد تغییرات نسبت به نمونه‌های شاهد متفاوت می‌باشند. تعدادی از آن‌ها کاهش تدریجی و نامحسوس و تعدادی از آن‌ها تغییرات چشم‌گیر بیش‌تری دارند. درصد کاهش پارامترهای اندازه‌گیری شده نمونه‌های چوبی تحت شرایط مختلف تیمار نسبت به نمونه‌های شاهد در شکل‌های ۱ و ۲ ارایه شده است.

با توجه به شکل ۱ کم‌ترین کاهش در مقاومت خمشی نسبت به نمونه‌های شاهد در دمای 130 درجه سانتی‌گراد و دوره حرارت‌دهی ۳ ساعت به‌دست آمد. بیش‌ترین کاهش در مقاومت خمشی

نسبت به نمونه‌های شاهد ۳۲/۶۲ درصد می‌باشد که در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و دوره حرارت‌دهی ۹ ساعت به‌دست آمد. کاهش در مقاومت برشی و کاهش سختی در جهت‌های عرضی، مماسی و شعاعی نسبت به نمونه‌های شاهد به‌ترتیب ۲۳/۳۷، ۱۴/۷۶، ۴۱/۶۱ و ۶۵/۷۶ درصد در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و دوره حرارت‌دهی ۹ ساعت به‌دست آمد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت‌های مکانیکی.

محاسباتی F								منابع تغییر
H			S	C _⊥	C	MOE	MOR	
H _r	H _t	H _c						
۱۴/۲۴*	۲/۶۳ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۳/۷۵*	۶/۶۹*	۱/۲۳ ^{ns}	۰/۸۳ ^{ns}	۵/۶۴*	درجه حرارت
۴/۸۱*	۰/۶۱ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۲/۴۵ ^{ns}	۲/۱۱ ^{ns}	۲/۵۲ ^{ns}	۳/۷۵*	۴/۶۶*	زمان
۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	درجه حرارت × زمان

* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، MOR = مقاومت خمشی، MOE = مدول الاستیسیته، C_{||} = مقاومت فشاری موازی الیاف، C_⊥ = مقاومت فشاری عمود بر الیاف، S = مقاومت برشی، H = سختی، H_c = سختی در مقطع عرضی، H_t = سختی در مقطع مماسی و H_r = سختی در مقطع شعاعی.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ویژگی‌های فیزیکی.

محاسباتی F			منابع تغییر
TS _r	TS _t	D	
۰/۹۹ ^{ns}	۱/۷۳ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	درجه حرارت
۳/۵۹*	۶/۲۳*	۰/۰۴ ^{ns}	زمان
۰/۰۲ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	درجه حرارت × زمان
		-	خطا
		-	کل

* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، D = دانسیته خشک، TS = واکنشیدگی، TS_t = واکنشیدگی در جهت مماسی و TS_r = واکنشیدگی در جهت شعاعی.

جدول ۳- میانگین مقاومت‌های مکانیکی نمونه‌های تیمار شده و نمونه‌های شاهد.

H_f (کیلو نیوتن)	H_t (کیلو نیوتن)	H_c (کیلو نیوتن)	S (نیوتن بر میلی متر مربع)	C_{\perp} (نیوتن بر میلی متر مربع)	$C_{ }$ (نیوتن بر میلی متر مربع)	MOE (نیوتن بر میلی متر مربع)	MOR (نیوتن بر میلی متر مربع)	زمان (ساعت)	درجه حرارت (درجه سانتی گراد)
۶۸۲	۶۳۷	۶۱۷	۱۶/۹۲	۱۱/۵۲	۵۶/۳۹	۱۶۳۴/۵۱	۱۰۲/۶۲	۳	
۵۷۵	۷۰۶	۷۷۳	۶۳/۱۱	۷۱/۱۹	۵۲/۵۲	۵۸۴۱/۸۳	۹۱/۷۱	۶	۱۳۰
۱۶۱۵	۵۵۵	۱۶/۸	۷۶/۲۱	۱۰/۵۶	۴۶/۸۷	۱۱۰۹/۵۱	۸۸/۵۲	۹	
۷۳۵	۶۰۳	۳۸۸	۸۷/۱۱	۱۰/۲	۶۲/۵۲	۶۰۳۶/۱۱	۹۴/۳۵	۳	
۴/۳	۱۶/۵	۳۵/۸	۵۲/۱۱	۱۱/۲	۴۶/۸۳	۳۳۲۶/۵۱	۸۱/۷۷*	۶	۱۶۰
۴/۳*	۹/۵	۶۶/۸	۳۷/۱۱	۹/۷	۳۰/۱۳	۵۷/۲۰۶۳	۶۳/۱۷*	۹	
۷۷/۳*	۷۷/۳	۶۶/۸	۳۰/۲۱	۹/۳	۶۱/۵	۱۳/۱۹۵۱	۳۸/۷۷*	۳	
۳/۳*	۱۱/۳	۵۳/۸	۷۸/۱۱	۸/۶	۶۸/۳۳*	۳۱/۷۲۵۱	۷۰/۵۸*	۶	۱۹۰
۸۱/۲	۶۸/۸	۳۰/۸	۱۶/۱۰	۱۶/۷	۸۱/۶۵	۳/۱۷۱۳۱	۷۲/۸	۹	
۶۸/۲	۳۴/۶	۶۸/۷	۱۶/۳۱	۳۸/۱۱	۱۳/۷۵	۶۴۶۷/۰۵	۷۱/۷۱	۶	

* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد (در مقایسه با نمونه‌های شاهد).

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۰)، شماره (۱) ۱۳۹۲

جدول ۴- میانگین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های تیمار شده و نمونه‌های شاهد.

درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	زمان (ساعت)	D (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	TS _i (درصد)	TS _r (درصد)
۱۳۰	۳	۰/۶۹	۸/۹۴	۵/۳۱
	۶	۰/۶۸	۸/۲۱	۴/۷۲
	۹	۰/۶۸	۷/۴۳	۴/۱۸
۱۶۰	۳	۰/۶۸	۸/۶۲	۵/۰۶
	۶	۰/۶۷	۷/۸۱	۴/۳۱
	۹	۰/۶۶	۷/۰۵	۳/۵۹
۱۹۰	۳	۰/۶۷	۷/۸	۴/۶۶
	۶	۰/۶۷	۶/۹۶*	۴/۱۱
	۹	۰/۶۶	۶/۱۴*	۳/۴۷*
نمونه‌های شاهد				۵/۹۶
				۹/۸۷
				۰/۶۹

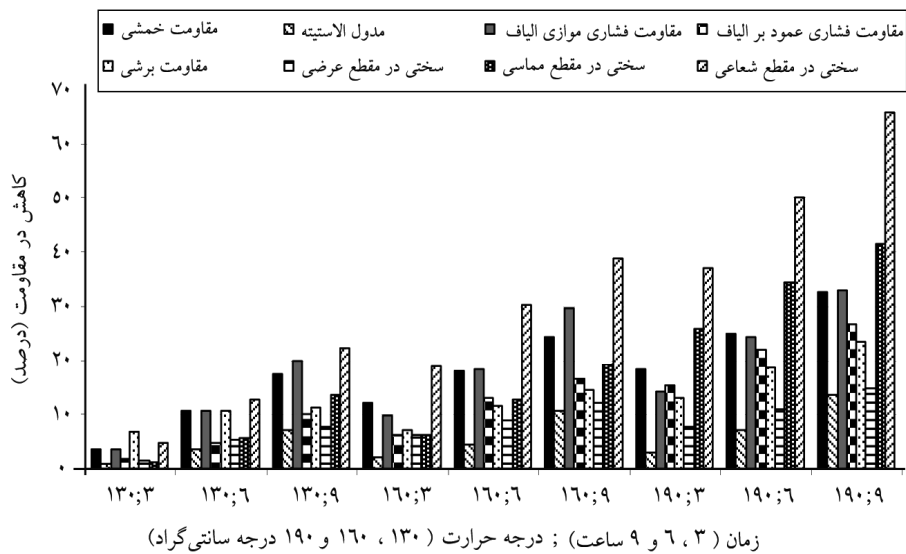
* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد (در مقایسه با نمونه‌های شاهد).

جدول ۵- آزمون دانکن تأثیر درجه حرارت بر مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی.

خصوصیت	۱۳۰ (درجه سانتی‌گراد)	۱۶۰ (درجه سانتی‌گراد)	۱۹۰ (درجه سانتی‌گراد)
MOR	۹۶/۰۸ ^a	۸۷/۹۶ ^b	۸۰/۲۴ ^c
MOE	۱۵۷۷۲/۴ ^a	۱۵۴۵۳/۴ ^b	۱۵۱۳۲/۴ ^c
C	۵۱/۸۱ ^a	۴۶/۹۸ ^b	۴۴/۵۳ ^c
C _⊥	۱۱/۰۹ ^a	۱۰/۳۴ ^a	۹/۲۳ ^a
S	۱۲/۵۳ ^a	۱۲/۳۱ ^a	۱۱/۳ ^a
Hc	۷/۸۶ ^a	۷/۵۱ ^a	۷/۳۳ ^a
Ht	۶/۱۱ ^a	۵/۶۱ ^a	۴/۲۵ ^a
Hr	۵/۷۵ ^a	۴/۶۹ ^{ab}	۳/۲۵ ^b
D	۰/۶۸ ^a	۰/۶۷ ^a	۰/۶۶ ^a
TSt	۸/۱۹ ^a	۷/۸۲ ^a	۶/۹۶ ^a
TSr	۴/۷۳ ^a	۴/۳۲ ^a	۴/۰۸ ^a

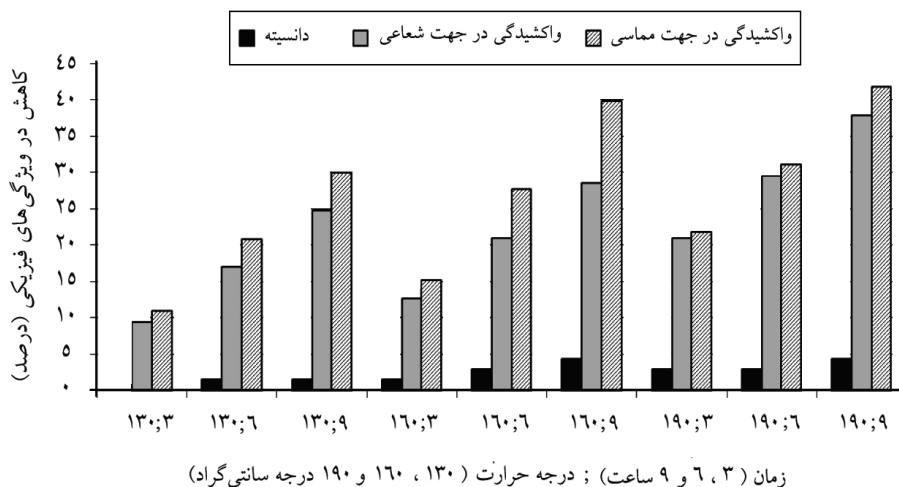
جدول ۶- آزمون دانکن تأثیر زمان حرارت‌دهی بر مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی.

خصوصیت	۳ ساعت	۶ ساعت	۹ ساعت
MOR	۹۵/۲ ^a	۸۸/۲۷ ^b	۸۰/۸ ^c
MOE	۱۶۱۰۶/۴ ^a	۱۵۶۰۱/۴ ^b	۱۴۶۴۸/۴ ^c
C	۵۲/۹۳ ^a	۴۸/۰۳ ^b	۴۲/۳۵ ^c
C _⊥	۱۰/۸۲ ^a	۱۰/۱۹ ^a	۹/۶۵ ^a
S	۱۲/۶۱ ^a	۱۱/۹۶ ^a	۱۱/۵۷ ^a
Hc	۷/۸۳ ^a	۷/۵۷ ^a	۷/۳۰ ^a
Ht	۵/۸۳ ^a	۵/۳ ^a	۴/۸۴ ^a
Hr	۵/۲۹ ^a	۴/۵۷ ^a	۳/۸۳ ^a
D	۰/۶۸ ^a	۰/۶۷ ^a	۰/۶۶ ^a
TSt	۸/۴۵ ^a	۷/۶۶ ^a	۶/۸۷ ^a
TSr	۵/۰۱ ^a	۴/۳۸ ^{ab}	۳/۷۴ ^b



شکل ۱- درصد کاهش مقاومت خمشی، مدول الاستیسته، مقاومت برشی، مقاومت فشاری موازی الیاف، مقاومت فشاری عمود بر الیاف، سختی در جهت عرضی، سختی در جهت شعاعی و سختی در جهت مماسی.

در شکل ۲ بهبود ثبات ابعادی (کاهش واکشیدگی) با افزایش درجه و زمان حرارت نشان داده شده است. بیش‌ترین کاهش واکشیدگی در شرایط تیمار ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹ ساعت به‌دست آمده است که نسبت به نمونه‌های شاهد، ۴۱/۷۷ و ۳۷/۷۹ درصد کاهش (بهبود) در جهت مماسی و شعاعی نشان داده‌اند. همچنین میزان کاهش واکشیدگی مماسی بیش‌تر از شعاعی گزارش گردید.



شکل ۲- درصد کاهش دانسیته، واکشیدگی در جهت شعاعی و واکشیدگی در جهت مماسی.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تأثیر تیمار حرارتی بر خواص مکانیکی شامل مقاومت فشاری موازی الیاف، مقاومت فشاری عمود بر الیاف، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، سختی در جهت‌های عرضی، شعاعی، مماسی و مقاومت برشی و خصوصیات فیزیکی شامل دانسیته خشک و واکشیدگی چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس تحت شرایط حرارتی ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد برای دوره‌های زمانی ۳، ۶ و ۹ ساعت پرداخته شد. طبق نتایج به‌دست آمده (جدول ۳) برخی از خواص مکانیکی با افزایش درجه حرارت و دوره حرارت‌دهی کاهش معنی‌داری پیدا کرده‌اند. تغییر در مقدار مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و فشار موازی الیاف با افزایش درجه حرارت و زمان تیمار چشم‌گیرتر بوده است، به‌طوری‌که مقدار مقاومت‌های یاد شده در درجه حرارت‌های ۱۳۰، ۱۶۰ و

۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های حرارت‌دهی ۳، ۶ و ۹ ساعت به ترتیب در گروه‌های a، b و c جدول مربوط به آزمون دانکن قرار گرفتند (جدول‌های ۵ و ۶). بیش‌ترین تغییرات نسبت به نمونه‌های شاهد در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان حرارت‌دهی ۹ ساعت به‌دست آمده است که به بهترین نحو در شکل ۱ قابل مشاهده است.

کاهش معنی‌دار در برخی از خصوصیات مکانیکی را می‌توان به نسبت تخریب حرارتی مواد چوبی بعد از تیمار حرارتی نسبت داد که این به‌طور عمده به واکنش‌های وابسپارش پلیمرهای چوب مربوط می‌باشد (کوتیلانن، ۲۰۰۰؛ ویکبرگ و مانو، ۲۰۰۴). اولین دلیل برای کاهش مقاومت چوب با تیمار حرارتی به تخریب همی سلولز مربوط می‌شود که در برابر حرارت نسبت به لیگنین و سلولز از پایداری پایین‌تری برخوردار است. یلدیز و همکاران (۲۰۰۶) و هیلپس (۱۹۸۴) عنوان نموده‌اند تغییر در ساختار همی سلولز نقش کلیدی در خصوصیات مقاومتی چوب در حرارت‌های بالا بازی می‌کند.

آنسل و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که در نمونه‌های چوب گونه اکالیپتوس کاملدولنسیس تیمار شده با حرارت، بیش‌ترین کاهش سختی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و دوره ۱۰ ساعت به‌دست آمده است. در پژوهشی دیگر آنسل و ایریلمیس (۲۰۰۵) عنوان نمودند که بیش‌ترین کاهش مقاومت فشاری موازی الیاف چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس تحت شرایط حرارتی ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ ساعت به‌دست آمده است.

کورکات و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که برای تیمار حرارتی کاج جنگلی تحت درجه حرارت ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲، ۶ و ۱۰ ساعت، بیش‌ترین کاهش مقدار مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و سختی در جهت‌های عرضی، شعاعی و مماسی نسبت به نمونه‌های شاهد در شرایط حرارتی ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ ساعت به‌دست آمده است. در بررسی ما (تیمار حرارتی گونه اکالیپتوس کاملدولنسیس تحت شرایط حرارتی ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد برای دوره‌های زمانی ۳، ۶ و ۹ ساعت) بیش‌ترین کاهش مقاومت‌های یاد شده در شرایط حرارتی ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و دوره ۱۰ ساعت به‌دست آمد که با نتایج به‌دست آمده با پژوهش یاد شده هم‌خوانی دارد. هم‌چنین گاندوز و همکاران (۲۰۰۹) در تیمار حرارتی چوب درخت گلابی تحت حرارت‌های ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۲، ۴ و ۶ ساعت، بیش‌ترین کاهش مقاومت خمشی و مقاومت فشاری را نسبت به نمونه‌های شاهد در شرایط تیمار ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶ ساعت گزارش نمودند. نتایج پژوهش‌های کورکات و هیزروگلو (۲۰۰۹) نیز بر روی چوب فندق

نشان داد که بیش‌ترین کاهش در مقاومت‌های مکانیکی برای مقاومت به سختی در جهت‌های شعاعی و مماسی و مقاومت کششی موازی الیاف برای نمونه‌های چوبی تیمار شده در درجه حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ ساعت به‌دست آمده است.

بر طبق جدول ۴ مقدار دانسیته چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس با افزایش درجه حرارت از ۱۹۰-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و زمان تیمار از ۹-۳ ساعت کاهش پیدا کرده است، ولی به هر حال در این پژوهش بین مقدار دانسیته نمونه‌های تیمار شده و نمونه‌های شاهد در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همان‌طور که می‌دانید با حرارت دادن، چوب کاهش وزن پیدا می‌کند. بر خلاف نبود اختلاف معنی‌دار بین دانسیته نمونه‌های تیمار شده و نمونه‌های شاهد، کاهش مقدار دانسیته در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹ ساعت نسبت به دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳ ساعت و هم‌چنین نمونه شاهد را می‌توان به کاهش مقدار ماده چوبی تحت تیمار نسبت داد. کاهش مقدار ماده چوبی تحت تیمار نیز به روش تیمار، درجه حرارت و زمان تیمار بستگی دارد (گاندوز و همکاران، ۲۰۰۹). کورکات و گالر (۲۰۰۸) در بررسی مقدار دانسیته گونه فندق تحت تیمار حرارتی عنوان نمودند که کاهش مقدار دانسیته خشک نسبت به نمونه‌های شاهد در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ ساعت به‌دست آمده است.

با توجه به شکل ۴، کاهش واکشیدگی در جهت‌های مماسی و شعاعی با افزایش درجه حرارت و زمان حرارت‌دهی افزایش پیدا نموده است. کاهش واکشیدگی باعث بهبود ثبات ابعادی چوب اکالیپتوس شده که این عامل باعث استفاده‌های بیش‌تر از چوب آن می‌شود.

کاهش واکشیدگی و در نتیجه بهبود ثبات ابعاد چوب طی عملیات حرارت‌دهی را می‌توان این‌چنین عنوان نمود. از نظر علمی گروه‌های OH موجود در همی‌سلولزها تأثیر مهمی در خصوصیات جذب آب و واکشیدگی چوب دارند. در شرایط معمولی وقتی چوب در شرایط محیطی مرطوب قرار می‌گیرد مولکول‌های آب بین پلیمرهای چوب نفوذ کرده و باعث واکشیدگی آن می‌شوند. در خلال تیمار حرارتی دیواره‌های سلولی دچار تغییرات شده و تعداد گروه‌های هیدروکسیل کاهش پیدا می‌کند (هومان و همکاران، ۲۰۰۰). در نتیجه، با کاهش گروه‌های هیدروکسیل واکشیدگی کاهش پیدا کرده و ثبات ابعاد چوب بهبود می‌یابد. هم‌چنین طی تیمار حرارتی لیگنین نرم شده و می‌تواند منافذ دیواره سلولی را مسدود کند (روول و همکاران، ۲۰۰۰). در نتیجه مقدار آب وارد شده به ساختار چوب کاهش پیدا کرده و ثبات ابعادی چوب بهبود می‌یابد.

نتایج به‌دست آمده در این بررسی که با افزایش دما و دوره حرارت‌دهی واکشیدگی چوب کاهش و در نتیجه ثبات ابعاد آن بهبود پیدا کرده است، با نتایج پژوهش‌های رضایتی‌چرانی و همکاران (۲۰۰۷)، بختا و نایمز (۲۰۰۳)، (استوس و همکاران (۲۰۰۷) و گاندوز و همکاران (۲۰۰۹) هم‌خوانی دارد. رضایتی‌چرانی و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی به بررسی تأثیر تیمار گرمایی روی ثبات ابعادی چوب راش در دماهای ۱۵۰، ۱۶۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان حرارت‌دهی ۱، ۳، ۵ و ۷ ساعت پرداخت. وی بهبود ثبات ابعادی چوب راش را در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان حرارت‌دهی ۷ ساعت نشان داده است.

استوس و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش‌های خود کاهش واکشیدگی شعاعی چوب کاج (*Pinus pinaster*) و اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) را تحت تیمار حرارتی به‌ترتیب ۵۷ و ۹۰ درصد گزارش نمودند.

براساس یافته‌های این بررسی می‌توان ذکر نمود که اگرچه با تیمار حرارتی برخی از خواص مکانیکی چوب اکالیپتوس کاهش معنی‌داری پیدا کرده است ولی بهبود خواص واکشیدگی در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶ و ۹ ساعت، کاهش خواص مکانیکی به‌ویژه مقاومت خمشی و سختی در جهت شعاعی را جبران نموده است. به هر حال چوب‌آلات تیمار شده با حرارت با توجه به ثبات ابعادی بالا برای استفاده در محیط‌های بیرون مطلوب می‌باشد. بنابراین برای بهبود ثبات ابعادی و استفاده‌های بهینه‌تر از چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس، تیمار حرارتی توصیه می‌شود.

منابع

1. Alen, R., Kotilainen, R. and Zaman, A. 2002. Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225 °C. *Wood Sci. Technol.* 36: 163-171.
2. Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B. and Merlin, A. 2003. Color stability of heat treated wood during artificial weathering. *Holz Roh Werkst.* 61: 221-6.
3. Bekhta, P. and Niemz, P. 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57: 539-46.
4. Boonstra, M., Pizzi, A., Zomers, F., Ohlmeyer, M. and Paul, W. 2006a. The effects of a two stage heat treatment process on the properties of particleboard. *Holz Roh Werkst.* 64: 157-164.
5. Boonstra, M., Van Acker, J., Kegel, E. and Stevens, M. 2006b. Optimisation of a two stage heat treatment process: durability aspects. *Wood Sci. Technol.* 41: 31-57.

6. Esteves, B., Graca, J. and Pereira, H. 2008. Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood. *Holzforschung*, 62: 344-51.
7. Esteves, B., Domingos, I. and Pereira, H. 2007. Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200 °C. *For. Prod. J.* 57: 1/2. 47-52.
8. Esteves, B., Velez Marques, A., Domingos, I. and Pereira, H. 2007. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Sci. Technol.* 41: 193-207.
9. Evans, P.D., Michell, A.J. and Schmalz1, K.J. 1992. Studies of the degradation and protection of wood surfaces, *Wood Science and Technology*, 26: 151-163.
10. Fengel, D. and Wegener, G. 1989. *Wood chemistry ultrastructure reactions*. Walter de Gruyter.
11. Gosselink, R.J.A., Krosse, A.M.A., Van der Putten, J.C., Van der Kolk, J.C., De Klerk-Engels, B. and Van Dam, J.E.G. 2004. Wood preservation by low-temperature carbonisation. *Ind. Crops Prod.* 19: 3-12.
12. Gunduz, G., Aydemir, D. and Karakas, G. 2009. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. *J. Mater. Des.* 30: 4391-4395.
13. Hakkou, M., Petrissans, M., El Bakali, I., Gerardin, P. and Zoulalian, A. 2005. Wettability changes and mass loss during heat treatments of wood. *Holzforschung*. 59: 35-37.
14. Hakkou, M., Petrissans, M., Gerardin, P. and Zoulalian, A. 2006. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polym Degrad Stabil.* 91: 393-7.
15. Hillis, W.E. 1984. High temperature and chemical effects on wood stability. *Wood Sci. Technol.* 18: 281-93.
16. Homan, W., Tjeerdsma, B., Beckers, E. and Joressen, A. 2000. In: *Proceedings of congress WCTE, Whistler, Canada, 2000*. CD-ROM, 3: 5. 1-8.
17. Hon, D.N.S. 1994. Degradative effects of ultraviolet light and acid rain on wood surface quality, *Wood and Fiber Science*, 26: 185-191.
18. Kamdem, D.P., Pizzi, A. and Jermannaud, A. 2002. Durability of heat-treated wood. *Holz Roh Werkst.* 60: 1-6.
19. Korkut, S. and Hizirolu, S. 2009. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). *J. Mater. Des.* 30: 1853-1858.
20. Korkut, D.S. and Guller, B. 2008. The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology*, 99: 2846-2851.
21. Korkut, D.S., Korkut, S., Bekar, I., Budakci, M., Dilik, T. and Cakicier, N. 2008. The Effects of Heat Treatment on the Physical Properties and Surface Roughness of Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.) Wood. *Inter. J. Mol. Sci.* 9: 1772-1783.

- 22.Korkut, S., Akgul, M. and Dundar, T. 2008. The effects of heat treatment on some technological properties in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Biores Technol.* 99: 6. 1861-8.
- 23.Kotilainen, R. 2000. Chemical changes in wood during heating at 150-260 °C. PhD thesis, Jyvaskyla University, Research report 80, Finland, 2000.
- 24.Mitsui, K., Takada, H., Sugiyama, M. and Hasegawa, R. 2001. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment: Part 1. Effect of treatment conditions on the change in colour. *Holzforschung.* 55: 601-5.
- 25.Nguila Inari, G., Petrisans, M., Lambert, J.L., Erhardt, J.J. and Gerardin, P. 2006. XPS characterization of wood chemical composition after heat treatment. *Surf Interf Anal.* 38: 1336-42.
- 26.Nguila Inari, G., Petrisans, M. and Gerardin, P. 2007. Chemical reactivity of heat treated wood. *Wood Sci. Technol.* 41: 157-68.
- 27.Nuopponen, M., Vuorinen, T., Jamsa, S. and Viitaniemi, P. 2004. Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies. *J. Wood Chem. Technol.* 24: 1. 13-26.
- 28.Repellin, V. and Guyonnet, R. 2005. Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition. *Holzforschung,* 59: 28-34.
- 29.Rezayati Charani, P., Mohammadi Rovshandeh, J., Mohebbi, B. and Ramezani, O. 2007. Influence of hydrothermal treatment on the dimensional stability of beech wood. *Caspian J. Env. Sci.* 5: 2. 125-131.
- 30.Rowell, R., Lange, S. and Davis, M. 2000. In: Evans, P.D. (ed) Proceedings of 5th Pacific Rim bio-based composites symposium, Canberra, Australia, December 10 13, 2000. ACIAR Proceedings, Pp: 425-438.
- 31.Santos, J.A. 2000. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. *Wood Sci. Technol.* 34: 39-43.
- 32.Sivonen, H., Maunu, S.L., Sundholm, F., Jamsa, S. and Viitaniemi, P. 2002. Magnetic Resonance studies of thermally modified wood. *Holzforschung.* 56: 648-54.
- 33.Shi, J.L., Kocaefe, D., Amburgey, T. and Zhang, J. 2007. A comparative study on brown rot fungus decay and subterranean termite resistance of thermally-modified and ACQ-C-treated wood. *Holz Roh Werkst.* 65: 353-8.
- 34.Tjeerdsma, B. and Militz, H. 2005. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Roh Werkst.* 63: 102-11.
- 35.Tjeerdsma, B.F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P. and Militz, H. 1998. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz Roh-Werkst.* 56: 149-153.
- 36.Unsal, O., Korkut, S. and Atik, C. 2003. The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. *Ciencia Y. Technol. J.* 5: 2. 145-152.

37. Unsal, O. and Ayrimis, N. 2005. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. *J. Wood. Sci.* 51: 405-9.
38. Wikberg, H. and Maunu, S.L. 2004. Characterization of thermally modified hard and softwoods by ¹³C CPMAS NMR. *Carbohydrate Polymer* 58: 461-466.
39. Yildiz, S., Gezer, D. and Yildiz, U. 2006. Mechanical and chemical behaviour of Spruce wood modified by heat. *Build Environ.* 41: 1762-6.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 20 (1), 2013
<http://jwfst.gau.ac.ir>

The effects of heat treatment on the mechanical properties of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) wood and changes in physical properties

***M. Dahmardeh Ghaleno¹ and M. Nazerian²**

¹Lecturer, Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Zabol,

²Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Zabol

Received: 07/13/2011; Accepted: 04/16/2013

Abstract

Heat treatment is often used to improve the dimensional stability of wood and wood products. The aim of the study was to investigate the effects of heat treatment on the mechanical and physical properties of eucalyptus wood. Wood samples were exposed to temperature levels of 130, 160 and 190 °C for time spans ranging from 3 to 9 hour. Mechanical properties including compression strength parallel to grain, compression strength perpendicular to grain, bending strength, modulus of elasticity in bending, janka-hardness and shear strength and physical properties including oven-dry density and swelling of heat-treated samples were determined. The results showed that the values of density and swelling decreased with increasing temperature treatment and treatment times. Also the results indicated that treated samples had lower mechanical properties compared to the control samples. In addition, increase in temperature and durations decreased the mechanical properties.

Keywords: Heat treatment, Eucalyptus wood, Mechanical properties, Physical properties

* Corresponding Author; Email: mmdahmardeh@yahoo.com

