

فشرده‌سازی چوب پالونیا با استفاده از پرس گرم

حمیدرضا عدالت^{۱*}، تقی طبرسا^۲ و مرضیه رئیسی^۱

* - مسئول مکاتبات، کارشناسی ارشد صنایع چوب، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، Hamidrezae@ut.ac.ir

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده جنگلداری و فناوری چوب دانشگاه گرگان

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۸۶

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۸۶

چکیده

به منظور انجام این پروژه تعداد ۱۰ اصله گرده‌بینه پالونیا از جنگل شصت کلاته گرگان انتخاب گردید. پس از تهیه ۴۵ عدد نمونه مماسی از قسمت‌های سالم چوب، رطوبت نمونه‌ها به ۵٪ رسانده و دانسیته ظاهری و ضخامت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. عوامل متغیر آزمایش درصد فشرده‌گی و درجه حرارت بودند که هر کدام در سه سطح مورد بررسی قرار گرفت. سطوح حرارت پرس ۱۳۰، ۱۴۵ و ۱۶۰ درجه سانتیگراد و سطوح فشرده‌گی ۱۶، ۳۳ و ۵۰ درصد بود. خواص فیزیکی برگشت ضخامت، درصد فشرده‌گی باقیمانده و واکنش‌دهی ضخامت هر یک از نمونه‌ها تعیین گردید. پس از این مراحل، آزمونهای مکانیکی خمش و ضربه نیز بر روی آنها انجام و جهت بررسی دقیق‌تر، تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های فشرده شده تهیه گردید. بررسی نتایج نشان داد که با بالا رفتن درصد فشرده‌گی میزان برگشت ضخامت و واکنش‌دهی ضخامت افزایش می‌یابد. همچنین، فشرده‌گی ۱۶ درصد تغییر شکلی در ناحیه حد تناسب چوب ایجاد می‌کند و فشرده‌گی ۳۳ و ۵۰ درصد موجب فشرده‌گی باقیمانده بیشتری می‌شوند. همگام با افزایش درصد فشرده‌گی، مقاومت‌های مکانیکی افزایش یافتند و بیشترین آنها در ۵۰٪ فشرده‌گی بدست آمد. تأثیر دما در اغلب موارد معنی‌دار نگردید و بهترین تیمار برای فشرده‌سازی پالونیا، دمای ۱۳۰ درجه و فشرده‌گی ۵۰٪ شناخته شد. مشاهده تصاویر میکروسکوپی، نتایج یادشده را تأیید نمود و نشان داد که امکان بالا بردن درصد فشرده‌گی به میزان بیش از ۵۰ درصد، وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: فشرده‌سازی، پالونیا، تیمار حرارتی، مقاومت‌های مکانیکی، برگشت ضخامت، فشرده‌گی باقیمانده.

مقدمه

از قبیل پلی اتیلن گلاکول، فنل فرم آلدهید و ... جایگزین نموده و یا فضاهای مملو از هوا را با مواد پلیمری اشباع می‌کنند (عدالت، ۱۳۸۵).

فشرده‌سازی چوب^۱ فرایندی است که در آن بخش اعظم فضاهای خالی یا حفره‌های هوا توسط خود ماده چوبی جایگزین می‌گردد. این عمل را می‌بایست در شرایطی انجام داد که به ساختار سلولی چوب صدمه مکانیکی وارد نشود. به عبارتی، چوب در تأثیر اعمال بار بیش از حد، دچار شکست می‌گردد، ولی با اعمال شرایطی که در آن از مواد نرم کننده چوب یا مواد

چوب ماده جامدی است که قابلیت تغییر و تبدیل به انواع محصولات از جمله مصالح ساختمانی، تراورس، تیر، درب، دکوراسیون، انواع پانل فشرده، کاغذ، مقوا، سلوفان، ویسکوز و ... را دارد.

یک تکه چوب به طور کلی از سه بخش تشکیل می‌شود:

۱- فضاهای حاوی ماده چوبی

۲- فضاهای حاوی رطوبت

۳- فضاهای مملو از هوا

در ساختن برخی محصولات مقاوم به رطوبت و دارای

ثبات ابعادی، آب آغستگی موجود در چوب را با موادی

^۱-Wood densification

نتیجه بالا رفتن میزان حرارت مورد نیاز برای گرم شدن چوب می‌باشد که با حضور رطوبت بیشتر، گرم شدن چوب و انتقال حرارت در آن سریعتر و یکنواخت‌تر صورت می‌پذیرد (Tabarsa, 1995).

Macdonald (۱۹۵۱) بیان می‌کند که با افزایش درصد رطوبت اولیه چوب، میزان قابلیت فشرده‌گی زیاد می‌شود، ولی با افزایش جرم ویژه کاهش می‌یابد. تأثیر حرارت بر فرایند فشرده‌سازی به قابلیت حرارتی چوب بستگی دارد. و در حین پرس گرم در جهت ضخامت تخته گرادیان دما ایجاد می‌شود همین عامل موجب بوجود آمدن گرایان فشرده‌گی بین سطوح و مغز تخته لایه می‌شود.

Kunesh (۱۹۶۱) رفتار غیر الاستیک چوب در فرایند فشرده‌سازی را مورد بررسی قرار داد. وی آزمایش‌های خود را بر روی صنوبر زرد انجام داد و دریافت که فشرده‌سازی در جهت شعاعی در مقایسه با جهت مماسی نتایج بسیار متفاوتی را خواهد داشت. وی در این فرایند درصد رطوبت را مهمترین فاکتور معرفی کرد و اظهار داشت که وجود رطوبت تغییر شکل بدون برگشت را موجب می‌گردد. ولی اگر رطوبت هم زیاد از حد باشد، تقریباً بطور کامل، تغییر شکل برگشت‌پذیر می‌شود. وی عقیده داشت که برای فشرده‌سازی دائمی چوب دو عامل فشار و درجه حرارت باید از میزان بالایی برخوردار باشند.

Leijten (۱۹۹۴) واقعیاتی را در مورد فشرده‌سازی روکش و لایه بیان کرد. وی اظهار داشت که بسیاری از خصوصیات مکانیکی مثل MOR و MOE در چوب فشرده شده، افزایش می‌یابد و این روند با بکارگیری فشاری تا حد ۲۰ مگاپاسگال عملی می‌گردد و اگر فشار بیشتری اعمال گردد به ساختار سلولی چوب و الیاف آن آسیب وارد می‌آید و باعث کاهش خصوصیات مکانیکی می‌شود.

پلاستیکی کننده چوب استفاده می‌شود، می‌توان مقدار زیادی تغییر شکل را با اعمال فشار ثابت بدست آورد. بعنوان مثال، چوب تحت تأثیر آمونیاک به طور موقت نرم می‌شود و می‌توان آن را به هر شکلی درآورد (بادیگ و جین، ۱۳۷۶). عامل رطوبت نیز قادر است که به کمک دما چوب را پلاستیکی کند. یعنی آن را خم پذیر سازد. در واقع، بخار دادن چوب در گذشته تنها شگرد خم کردن آن بوده است.

با اعمال حرارت لیگنین نرم شده و می‌توان چوب را بدون وارد آمدن صدمه به دیواره سلولها و ساختار آن، تغییر شکل داد و فشرده نمود. ولی این کار به دمای بالایی^۱ احتیاج دارد. همچنین بدلیل پایین بودن هدایت حرارتی چوب و بالا بودن گرمای ویژه آن، به زمان طولانی نیاز داریم. اما با حضور رطوبت می‌توان این حالت را در دمای پایین تر دست یافتنی نمود و از عواقب دیگر همچون تخریب حرارتی، تردی و سوختن قسمت‌های سطحی جلوگیری نمود. مسلماً با حضور رطوبت هدایت حرارتی چوب بیشتر شده و موجب کاهش زمان مورد نیاز و بهبود کیفیت چوب فشرده شده می‌گردد. در واقع حین عملیات پرس، قسمت‌های سطحی چوب سریعتر گرم شده و نسبت به قسمت‌های مغزی به دمای بالاتری می‌رسند. این پدیده موجب ایجاد گرادیان درصد فشرده‌گی و در نهایت گرادیان دانستیه می‌شود. ولی با حضور رطوبت و تبخیر آن، رساندن حرارت از سطح به مغز چوب تسهیل شده و از شدت گرادیان دانستیه کاسته می‌شود (عدالت، ۱۳۸۵).

تحقیقات نشان داده است که برای فشرده کردن گونه‌های با دانستیه بیشتر از 0.5 gr/cm^3 در دمای ثابت بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، به رطوبت بیشتری نیاز می‌باشد و این به خاطر بیشتر بودن مواد دیواره‌ای و در

^۱ - به این دما که در آن لیگنین از حالت سخت و شکننده خارج می‌گردد، دمای انتقال شیشه‌ای می‌گویند (Glass transition temperature).

مواد و روشها

به منظور انجام این تحقیق ۱۰ اصله گرده‌بینه پالونیای (*Paulownia.furtunie*) ۵ تا ۷ ساله از جنگل شصت کلاته گرگان تهیه و سپس به آزمایشگاه صنایع چوب دانشگاه گرگان منتقل گردید. سپس از آنها نمونه‌هایی جهت تعیین دانسیته و درصد رطوبت بدست آمد. عوامل متغیر آزمایش طبق جدول شماره ۱ درصد فشرده‌گی و درجه حرارت بودند که هر کدام در سه سطح بررسی گردید. هر تیمار در پنج تکرار انجام شد. به جهت اینکه ابعاد نمونه‌ها در آزمونهای مکانیکی یکسان باشد، طول و عرض همه نمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شد، اما ضخامت نمونه‌ها با توجه به درصد فشرده‌گی تعیین گردید. بدین صورت که ضخامت نهایی هر نمونه می‌بایست به اندازه نمونه شاهد و به ۲۰ میلیمتر می‌رسید. بنابراین برای رسیدن به فشرده‌گی ۱۶٪، ۳۳٪ و ۵۰٪ لازم بود که ضخامت اولیه نمونه‌ها به ترتیب ۲۴، ۳۰ و ۴۰ میلیمتر انتخاب شوند. ضخامت نمونه‌های شاهد نیز برای سهولت مقایسه ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- عوامل متغیر در آزمایش و سطوح هر یک

عوامل متغیر			سطوح متغیرها
دمای پرس (°C)	۱۳۰	۱۴۵	۱۶۰
درصد فشرده‌گی (%)	۱۶	۳۳	۵۰

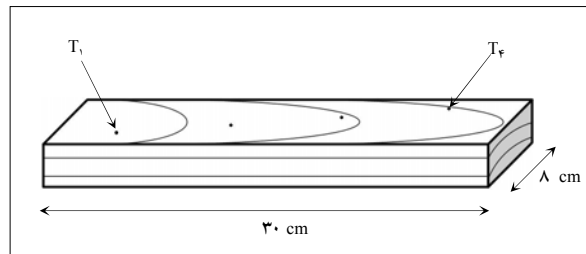
برش نمونه‌ها به طریقی انجام گردید که دایره‌های اطراف مغز در آنها قرار نگیرند و همچنین پهنای آنها در جهت مماسی چوب و ضخامت آنها در جهت شعاعی چوب باشد. ضخامت همه نمونه‌ها در ۴ نقطه مطابق شکل ۱ اندازه‌گیری شد و به عنوان T_0 ثبت گردید. سپس نمونه‌ها با رطوبت اولیه ۱۲٪ تا ۱۴٪ درون یک آون آزمایشگاهی با دمای ۵۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند و رطوبتشان به ۵٪ رسانده شد و آماده پرس گردیدند.

Tabarsa (۱۹۹۵) تحقیقاتی را بر روی فشرده‌سازی شعاعی گونه اسپروس انجام داد و تأثیر درجه حرارت و فشرده‌گی را بر روی خواص چوب اسپروس بررسی نمود. وی اظهار داشت که در تأثیر فشرده‌سازی، شکست، ابتدا در ناحیه چوب بهاره اتفاق می‌افتد.

Chui و Tabarsa (۱۹۹۷) با مطالعه خود بر روی فشرده‌سازی گونه اسپروس بیان داشتند که عمل فشرده‌سازی در دمای مناسب، به دیواره سلول آسیب وارد نمی‌آورد و فشرده‌سازی در دمای ۱۰۰ درجه موجب کاهش میزان فشرده‌گی باقیمانده و افزایش برگشت ضخامت می‌شود. همچنین دریافتند که تأثیر دما بر خواص چوب فشرده در گستره دمایی ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد کاملاً مشخص و سریع بوده و در بالای ۱۵۰ درجه تأثیر دما کاهش می‌یابد.

با توجه به موقعیت و جایگاه فعلی جنگل در جهان و به‌خصوص در کشور ایران، حفظ، تجدید و استفاده بهینه از جنگلها، مسئله مورد توجهی می‌باشد. در این رابطه استفاده از گونه چوبی پالونیا، با توجه به سریع‌الرشد بودن آن، مسیری نوین را در عرصه صنایع چوب کشور فراهم می‌آورد. کشت این گونه بطور دست‌کاشت و بهره برداری کوتاه‌مدت آن، بسیاری از نگرانی‌های تأمین مواد اولیه را برطرف می‌کند و با وجود داشتن دانسیته پایین، محصول فشرده شده آن از مقاومتهای کافی برخوردار می‌باشد که می‌توان آن را در بخش‌هایی همچون چوبهای فشرده صنعتی، صنایع مبلمان، سازه‌های چوبی در منازل و... که توجیه اقتصادی دارند، مورد استفاده قرار داد.

پالونیا اولین بار در باغ گیاه‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران و پس از آن به طور تحقیقاتی در گرگان کاشته شد (سجودی و حسن عباسی، ۱۳۶۶). در حال حاضر نیز گزارشهایی در مورد کاشت این گونه در تهران و تبریز شنیده شده است.



شکل ۱- شکل و ابعاد نمونه‌ها به همراه نقاط اندازه‌گیری ضخامت

پس از ۱ ساعت ضخامت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و بعنوان T_1 ثبت گردید. کلیه نمونه‌ها به مدت ۳ هفته در شرایط دمایی ۲۱ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۶۵٪ نگهداری شده و ضخامت آنها مجدداً اندازه‌گیری شد و بعنوان T_2 ثبت گردید. سپس با مقادیر T_1 ، T_0 و T_2 خواص فیزیکی زیر محاسبه گردید:

$$Sp: \text{برگشت ضخامت}^4 \text{ بلافاصله پس از } 20 \text{ ساعت } T_1$$

$$\%Sp = \frac{T_1 - T_0}{T_0} \times 100$$

$$Ts: \text{واکشدگی ضخامت}^5 \text{ پس از } 3 \text{ هفته لگاریت دهی}$$

$$\%Ts = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100$$

$$Cs: \text{درصد فشردگی باقیمانده}^6 \text{ (فشردگی واقعی) پس}$$

از ۳ هفته

$$\%Cs = \frac{T_0 - T_2}{T_0} \times 100$$

$$T_0: \text{ضخامت نمونه‌ها قبل از فشردگی}$$

$$T_1: \text{ضخامت نمونه‌ها بلافاصله پس از پرس}$$

$$T_2: \text{ضخامت نمونه‌ها بعد از } 3 \text{ هفته شرایط دهی}$$

۲۰: ضخامت نهایی نمونه‌ها زمان فشردگی در

پرس

پس از این مرحله طبق استاندارد *ASTM D143* نمونه‌های آزمون خمش و ضربه تهیه گردید. آزمون خمش توسط دستگاه *Instron* مدل ۴۴۸۶ متعلق به آزمایشگاه مکانیک چوب دانشگاه تهران و آزمون ضربه توسط دستگاه *Schenk* آزمایشگاه مکانیک چوب دانشگاه گرگان انجام گردید.

فرایند فشردگی با پرس گرم شامل سه مرحله اصلی می‌باشد:

۱- زمان حرارت دهی^۱

۲- زمان فشردگی همراه با کاهش حجم نمونه^۲

۳- زمان فشار ثابت بدون تغییر در حجم نمونه به

منظور تثبیت فشردگی^۳

نحوه حرارت‌دهی به گونه‌ای بود که صفحات داغ پرس با سطوح نمونه‌ها بدون فشردگی چوب تماس حاصل می‌کردند. زمان مورد نیاز در این مرحله برای گرم کردن نمونه‌ها توسط آزمایش دیگری با اندازه‌گیری زمان لازم برای رسیدن دمای مغز نمونه‌ها به مقدار ۱۰۰ درجه سانتیگراد تعیین گردید. زمان گرم کردن با توجه به ضخامت نمونه و دمای فشردگی متفاوت بود که در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

پس از گرم شدن نمونه‌ها، فشار نهایی پرس به مقدار ۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بر سطوح چوب اعمال شد تا عملیات فشردگی تکمیل گردد. ضخامت نهایی توسط شابلون‌های فولادی ۲۰ میلیمتری کنترل گردید. زمان نگهداری در ضخامت نهایی ۴ دقیقه برای کلیه تیمارها بود. پس از فشردگی نمونه‌ها و باز شدن صفحات پرس، نمونه‌ها به داخل یک آون منتقل شده و در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد نگهداری شدند تا معایب ناشی از افت سریع دمای نمونه‌ها در آنها بوجود نیاید.

⁴-Spring back

⁵-Thickness swelling

⁶-Compression set

¹-Heating time

²-Densification time

³-Fixing time

آزمایش در قالب طرح فاکتوریل با دو عامل انجام گرفت. جهت تجزیه آماری داده‌ها از نرم افزارهای *Minitab13* و *Spss11* و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

جدول ۲- زمان لازم برای رسیدن دمای مغز نمونه‌ها به ۱۰۰ درجه سانتیگراد

جدول ۲- زمان لازم برای رسیدن دمای مغز نمونه‌ها به ۱۰۰ درجه سانتیگراد									
۱۶۰			۱۴۵			۱۳۰			دما (°C)
۴۰	۳۰	۲۴	۴۰	۳۰	۲۴	۴۰	۳۰	۲۴	ضخامت نمونه (میلیمتر)
۵	۴	۳	۷	۵	۴	۱۰	۷	۵	زمان گرم کردن (دقیقه)

نتایج و بحث

اختلاف دانسیته نمونه‌ها قبل از فشرده‌سازی معنی‌دار نگردید. بنابراین لزومی برای تبدیل خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های فشرده شده به حالت ویژه وجود نداشت.

جدول ۳ مقادیر مجموع مربعات ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی و شاخص معنی‌داری هر یک را نشان می‌دهد:

جدول ۳- مقادیر مجموع مربعات و شاخص معنی‌داری هر یک از ویژگیها

منبع تغییرات	برگشت ضخامت (%)	واکشیدگی ضخامت (%)	فشردگی باقیمانده (%)	درجه آزادی	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت خمشی (MPa)	مقاومت به ضربه (N.m)	درجه آزادی
فشردگی	۴۹۶۱/۵۹۳**	۷/۹۰۲**	۴۵۴۹/۵۱۳**	۲	۱۱۹۷۱۱۴۹/۹**	۲۲۰**	۸۳۱/۱۴۴**	۲
دما	۶۹/۷۶۸ ^{NS}	۰/۴۷۴ ^{NS}	۴۱/۸۶۳ ⁺	۲	۱۴۳۷۰۳۹/۴۷ ^{NS}	۷۰۱۲	۳۷/۶۴ ^{NS}	۲
فشردگی × دما	۷۲/۳۹۸ ^{NS}	۰/۹۰۱ ^{NS}	۲۸/۷۰۷ ^{NS}	۴	۱۰۷۵۵۳۳/۳ ^{NS}	۱۵۲/۵۲۶ ^{NS}	۲۷۹/۳۲۲ ⁺	۴
خطا	۱۰۳۸/۹۳۹	۶/۰۰۴	۳۱۶/۰۰۸	۳۶	۳۷۲۰۴۲۷۶/۹	۷۳۶۷/۷۳۱	۸۴۳/۰۶۴	۴۵
مجموع	۶۱۴۲/۶۹۸	۱۵/۲۸۰	۴۹۳۶/۰۹۰	۴۴	۶۹۹۱۵۱۸۵/۱	۲۰۶۲۳/۷۱۸	۲۵۰۶/۱۳۵	۵۴

NS غیر معنی‌دار

+ معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد

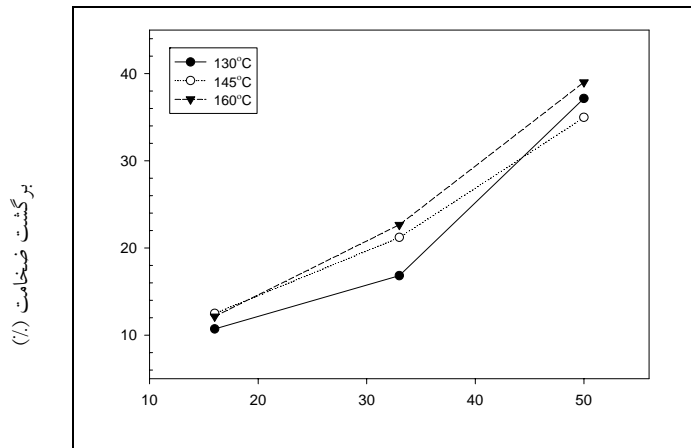
* معنی‌دار در سطح ۵ درصد

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

برگشت ضخامت

تجزیه واریانس تنها تأثیر مستقل فشردگی را در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار نشان داد. که بر طبق آن، کمترین میزان برگشت در فشردگی ۱۶٪ و بیشترین مقدار آن در فشردگی ۵۰٪ مشاهده شده است. شکل ۲ این روند را نشان می‌دهد:

مقدار این خاصیت را کمتر می‌توان به تأثیر جذب رطوبت و واگشیدگی رطوبتی مرتبط دانست، چرا که این پدیده لحظه‌ای می‌باشد. برگشت ضخامت بیشتر در تأثیر نیروهای ناشی از برگشت دیواره‌ها و نزدیک شدن آنها به حالت اولیه است که با فشردگی بیشتر مقدار این برگشت هم زیادتر می‌شود.



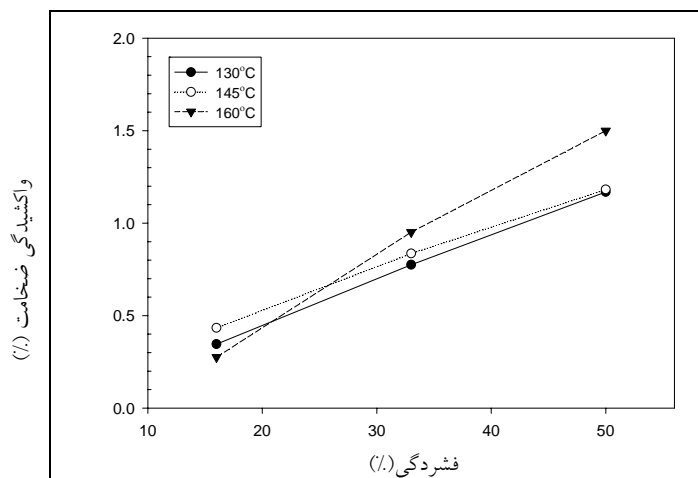
فشردگی (%)

شکل ۲- تأثیر فشردگی و درجه حرارت بر برگشت ضخامت

تأثیر مستقل فشردگی بر واكشیدگی ضخامت در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی‌دار گردید و آزمون دانکن کمترین مقدار آن را در فشردگی ۱۶٪ و بیشترین مقدار آن را در فشردگی ۵۰٪ نشان داد. دمای ۱۶۰ درجه در سطح فشردگی ۵۰ درصد، اثر بیشتری بر واكشیدگی ضخامت داشته است ولی این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل ۳).

واكشیدگی ضخامت

مقدار واكشیدگی ضخامت را می‌توان هم به تأثیر جذب رطوبت و واكشیدگی رطوبتی و هم به تأثیر بازگشت دیواره‌ها در طولانی مدت مرتبط دانست. مسلم است که درصد فشردگی‌های بالاتر به علت جرم بیشتر در واحد حجم، توان بیشتری برای جذب رطوبت و واكشیدگی ضخامت خواهند داشت. همچنین نیروی ناشی از برگشت دیواره‌ها در سطوح بالاتر فشردگی بیشتر است.



شکل ۳- تأثیر فشردگی و درجه حرارت بر واكشیدگی ضخامت

و ۵۰٪ تغییرات از حد تناسب تجاوز نموده و موجب فشردگی باقیمانده بیشتری می‌شوند (شکل شماره ۴). حضور دما و رطوبت لازمه عمل فشرده‌سازی هستند، اما اگر دما و رطوبت خارج از حد اپتیمم بکارگرفته شوند، تأثیر منفی خواهند داشت. در این مطالعه رطوبت به عنوان یک عامل ثابت در نظر گرفته شد، اما دمای آزمایش در سه سطح متغیر بود. تأثیر دما در این تحقیق نتایج مشاهده شده در سایر مطالعات را تأیید نمود. دمای بیش از حد موجب بالا رفتن فشار بخار درون نمونه می‌شود و زمانی که مقدار این فشار از پایداری بافت فشرده شده بیشتر گردد، موجب برگشت ضخامت و کاهش فشردگی باقیمانده می‌شود. در این مطالعه افزایش فشار بخار داخل نمونه در دمای بیش از ۱۳۰ درجه تأثیر منفی بر میانگین فشردگی باقیمانده داشت و تجزیه واریانس تأثیر مستقل دما بر فشردگی باقیمانده را در سطح ۹۰٪ اطمینان معنی‌دار نشان داد.

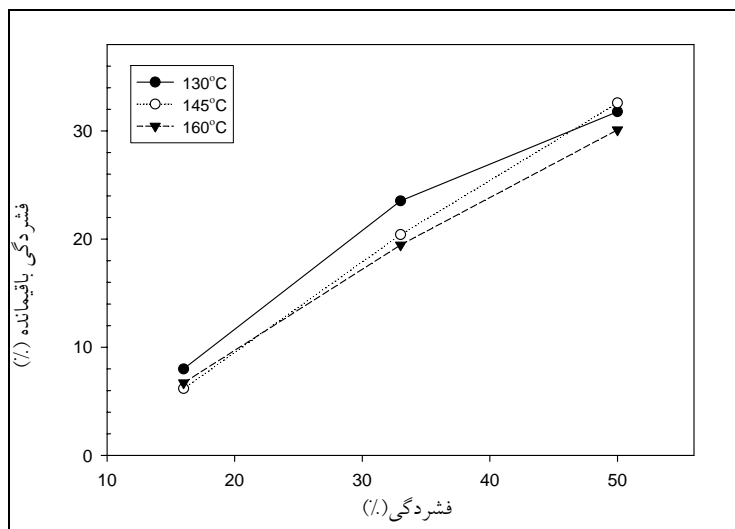
فشردگی باقیمانده

میزان فشردگی باقیمانده اثرگذاری فاکتورهای آزمایش را بر تثبیت فشردگی نمونه‌ها نشان می‌دهد. تأثیر مستقل فشردگی در سطح ۹۹٪ اطمینان معنی‌دار گردید و آزمون دانکن نتایج مشابه با نتایج واکنش فشردگی و ضخامت برگشت ضخامت نشان داد.

مسلم بود که در درصد فشردگی بالاتر، فشردگی باقیمانده بیشتر خواهد بود، بنابراین برای مقایسه بهتر، نسبت فشردگی باقیمانده به فشردگی هر سطح، محاسبه گردید:

$$K = \frac{\%Cs}{\%C}$$

مقدار این نسبت برای فشردگی ۳۳٪ و ۵۰٪ حدوداً برابر با ۰/۶۵ و برای ۱۶٪ مقدار آن ۰/۴۳ گردید. توجیه این مشاهده می‌تواند بدین صورت بیان گردد که در مورد گونه پالونیا، در فشردگی ۱۶٪ بیشترین سهم تغییرات در ناحیه حد تناسب (حد الاستیک) رخ می‌دهد، اما در ۳۳٪



شکل ۴- تأثیر فشردگی و درجه حرارت بر فشردگی باقیمانده

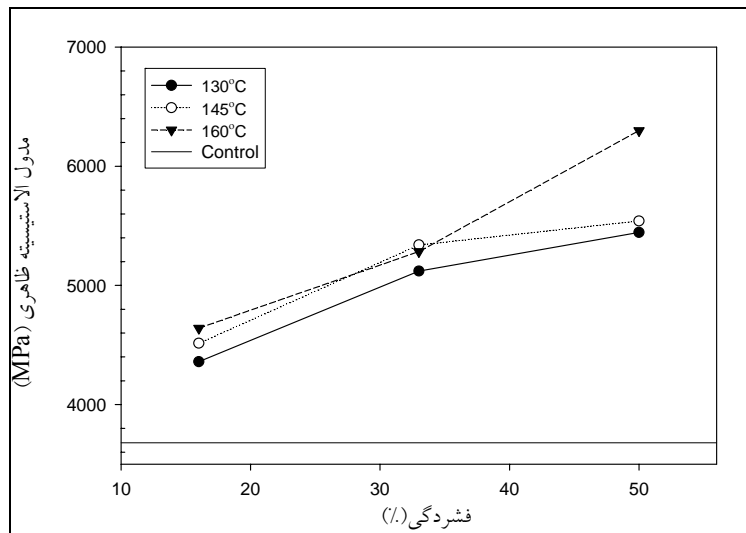
این اساس، کمترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به نمونه‌های شاهد و بیشترین آن مربوط به درصد فشردگی ۵۰٪ می‌باشد (شکل ۵). در واقع در فشردگی‌های

مدول الاستیسیته ظاهری

نتایج نشان داد که تنها تأثیر مستقل فشردگی در سطح ۹۹٪ بر روی مدول الاستیسیته ظاهری معنی‌دار است. بر

به ترتیب ۴۳ و ۵۷ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. در ۵۰٪ فشردگی، دمای ۱۶۰ درجه موجب افزایش بیشتری در مقدار مدول الاستیسیته شده است اما تجزیه واریانس این تأثیر را معنی‌دار نشان نداد.

بالتر، مدول الاستیسیته مرتباً افزایش یافت. نمونه‌های با فشردگی ۱۶٪ نسبت به نمونه شاهد ۲۲ درصد افزایش در مقدار میانگین مدول الاستیسیته نشان دادند. میانگین مدول الاستیسیته در نمونه‌های با درصد فشردگی ۳۳٪ و ۵۰٪ نیز

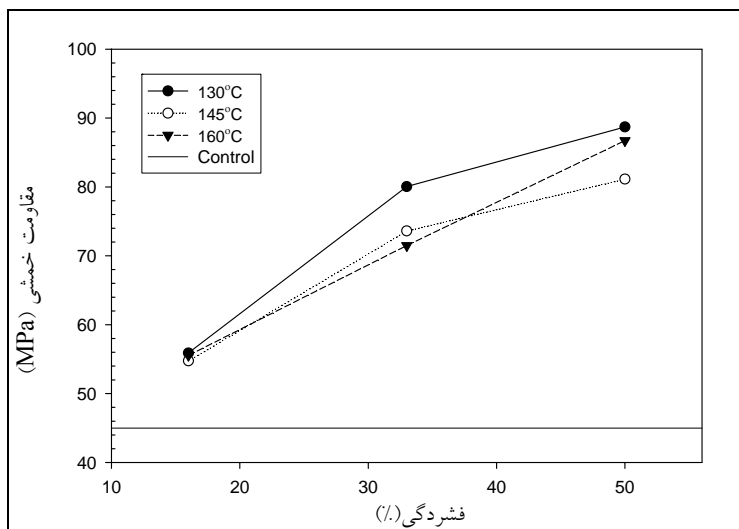


شکل ۵- تأثیر فشردگی و درجه حرارت بر مدول الاستیسیته ظاهری

نمونه شاهد با استفاده از آزمون دانکن، در ۴ گروه مجزا طبقه‌بندی گردید. مسلم است که به علت فشردگی چوب و در واقع کاهش حجم آن، دانسیته افزایش می‌یابد، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نیز ارتباط مستقیم با دانسیته دارند. در نتیجه، همگام با افزایش درصد فشردگی تا قبل از وقوع شکست در دیواره‌ها، مقاومت‌های مکانیکی چوب افزایش پیدا می‌کنند.

مقاومت خمشی

تأثیر مستقل درصد فشردگی در سطح ۹۹٪ نشان داد که بیشترین مقاومت در سطح فشردگی ۵۰٪ و کمترین آن در نمونه شاهد بدست می‌آید. میزان افزایش میانگین مقاومت خمشی در اثر فشرده‌سازی برای نمونه‌های با درصد فشردگی ۱۶، ۳۳ و ۵۰ درصد، به ترتیب ۲۲، ۶۶ و ۸۹ درصد بود (شکل ۶). مقادیر میانگین مقاومت تیمارها و

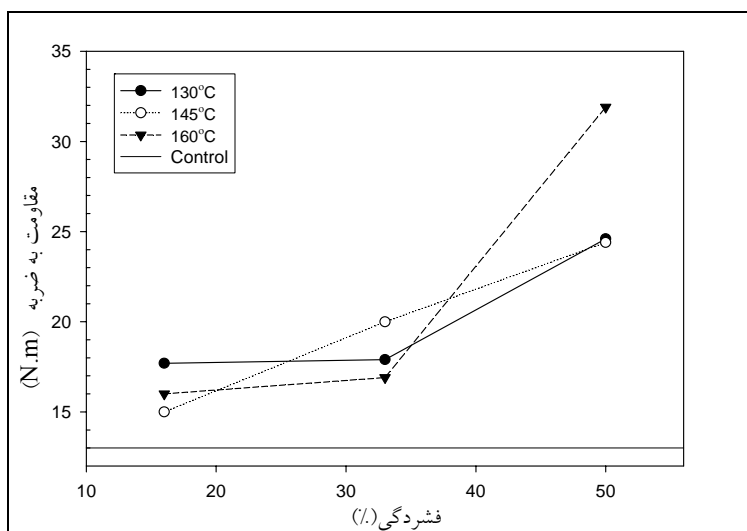


شکل ۶- تأثیر فشردگی و درجه حرارت بر مقاومت خمشی

برخلاف تأثیر مستقل دما، تأثیر متقابل دما و درصد فشردگی در سطح ۹۰٪ معنی‌دار گردید و آزمون دانکن نشان داد که دمای ۱۶۰ درجه در سطح فشردگی ۵۰٪، تأثیر فزاینده‌ای بر روی مقاومت به ضربه دارد. بنابراین مقاومت به ضربه در سطح ۵۰٪ فشردگی افزایش می‌یابد و در دمای ۱۶۰ درجه این افزایش شدیدتر رخ می‌دهد (شکل ۷).

مقاومت به ضربه

تأثیر مستقل فشردگی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار گردید و طبق آن بیشترین مقاومت به ضربه در سطح ۵۰٪ و کمترین آن در نمونه‌های شاهد مشاهده گردید. افزایش دانسیته در اثر بیشتر شدن میزان فشردگی می‌تواند عاملی برای افزایش مقاومت به ضربه باشد.

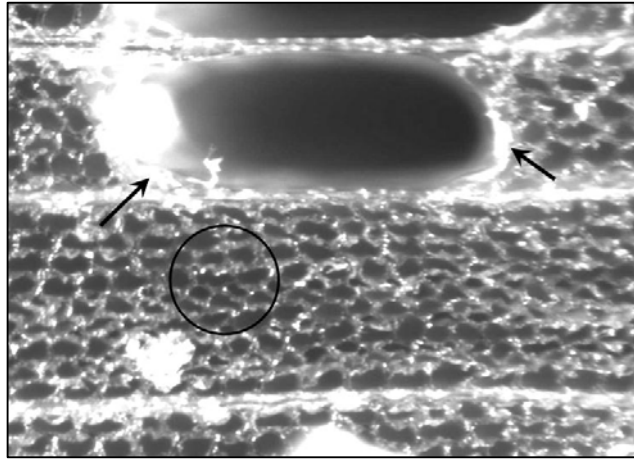


شکل ۷- تأثیر فشردگی و درجه حرارت بر مقاومت به ضربه

تصاویر میکروسکوپی

در آنها مشاهده نمی‌شود. مقطع عرضی فیبرها درصد کم فشردگی را نشان می‌دهند. این موارد، حاکی از تغییر شکل الاستیک بافت چوب می‌باشند.

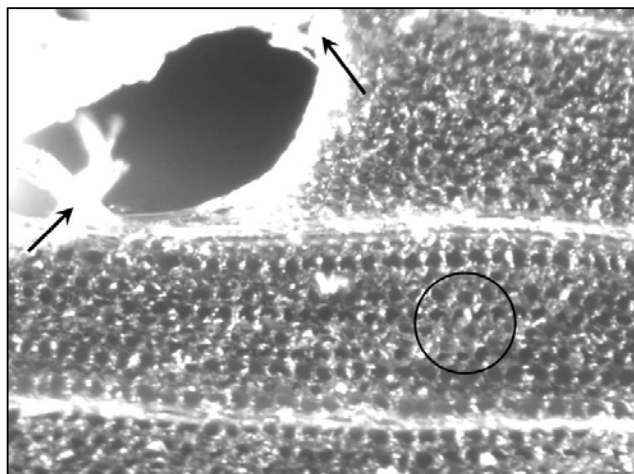
همانطور که شکل ۸ مقطع عرضی چوب پالونیا را در مقیاس میکروسکوپی پس از ۱۶٪ فشردگی نشان می‌دهد، دیواره آوندها شکل خود را حفظ نموده‌اند و آثار شکست



شکل ۸- مقطع میکروسکوپی نمونه پالونیا با ۱۶٪ فشردگی (بزرگ‌نمایی ۹۰۰).

دچار شکست شده است. فیبرها نسبت به شکل قبلی دچار تغییر شکل بیشتری شده و افزایش فشردگی را کاملاً نشان می‌دهند.

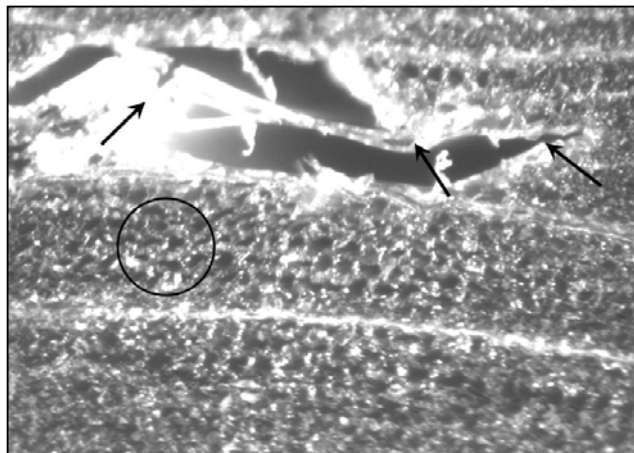
شکل ۹ نمونه پالونیا را پس از ۳۳٪ فشردگی نشان می‌دهد. ساختار دیواره آوند در تأثیر افزایش درصد فشردگی، نسبت به حالت ۱۶٪، تغییر شکل داده و بخشی از آن



شکل ۹- مقطع میکروسکوپی نمونه پالونیا با ۳۳٪ فشردگی (بزرگ‌نمایی ۹۰۰).

فیبرها به گونه مشخصی کاهش یافته است. این تغییرات افزایش دانسیته چوب در تأثیر فشرده‌گی و متعاقب آن بهبود مقاومت‌های مکانیکی را اثبات می‌کنند.

شکل ۱۰ نمونه پالونیا را پس از ۵۰٪ فشرده‌گی نشان می‌دهد. دیواره آوند کاملاً دچار شکست شده و فیبرها به حد بالاتری از فشرده‌گی رسیده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، دیواره‌ها به یکدیگر نزدیک شده و فضای سلولی



شکل ۱۰- مقطع میکروسکوپی نمونه پالونیا با ۵۰٪ فشرده‌گی (بزرگ‌نمایی ۹۰۰).

مسئله را تأیید نمود، فشرده‌گی باقیمانده بیشتری را خواهیم داشت و این نتیجه مطابق با مطالعات Chui و Tabarsa (۱۹۹۷) بود. اگرچه، در این دو سطح از فشرده‌گی، سایر خواص فیزیکی مناسب نخواهند بود. بنابراین در مواردی که خواص مکانیکی نسبت به خواص فیزیکی اهمیت بیشتری دارند، با توجه به مقاومت مورد نیاز، درصد فشرده‌گی بالاتر مناسب‌تر می‌باشد. برای فشرده‌سازی گونه پالونیا با درصد رطوبت اولیه ۵٪، بهترین شرایط به گونه‌ای پیشنهاد می‌گردد که دما ۱۳۰ درجه و میزان فشرده‌گی ۵۰٪ باشد. روند تغییرات مقاومت‌های مکانیکی در تأثیر افزایش میزان فشرده‌گی، کاهش را در برنداشت. بنابراین برای افزایش مقاومت‌های مکانیکی، باز هم می‌توان میزان فشرده‌گی را بالا برد. به نظر می‌رسد که در گونه‌های سبک (با دانسیته کمتر از 0.5 gr/cm^3) می‌بایست تا مرز ۷۰٪ فشرده‌گی پیش رفت تا تغییر شکل پلاستیک و شکست دیواره سلول‌ها رخ دهد.

بحث

در این مطالعه، فرایند فشرده‌سازی چوب پالونیا توسط پرس گرم، تحت تأثیر دو متغیر دما و درصد فشرده‌گی انجام گرفت. در این تحقیق تأثیر مستقل دما در سطح اطمینان ۹۵٪ بر کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی معنی‌دار نگردید. به علاوه، با افزایش دما از ۱۳۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد، درصد فشرده‌گی باقیمانده کاهش یافت. این یافته با نتایج مطالعه Chui و Tabarsa (۱۹۹۷) بر روی فشرده‌سازی گونه اسپروس متفاوت بود. بنابراین می‌توان فرایند فشرده‌سازی پالونیا را در دمای پایین‌تر از ۱۴۵ و ۱۶۰ درجه نیز انجام داد و با این کار میزان انرژی گرمایی مصرفی را کاهش و فشرده‌گی باقیمانده را افزایش داد. با توجه به نتایج خواص مکانیکی، با افزایش درصد فشرده‌گی می‌توان به مقاومت مکانیکی بالاتری دست یافت. با توجه به مقدار نسبت K ، در ۳۳٪ و ۵۰٪ فشرده‌گی، همان‌گونه که تصاویر میکروسکوپی نیز این

عدالت، ح.ر. ۱۳۸۵. فشردگی‌سازی گونه پالونیا با استفاده از تیمار حرارتی و رطوبتی، پروژه کارشناسی، دانشگاه گلستان، دانشکده منابع طبیعی.

Inoue, M. 1993a. Steam or heat fixation of compression wood. *Wood and Fiber Science Journal* 25(3):224-235

Irving, G.m. 1984. The glass transition of lignin and hemicellulose and their measurement by different thermal analysis. *TAPPI Journal* 67(5):118-121

Kunesh, R.H. 1961. The inelastic behaviour of wood: A new concept for improved panel forming process. *Forest Products Journal* 11(9):395-406

Leijten 1994. Properties of densified veneer. *Proceeding of the Pacific Timber Engineering Conference Gold Coast Australia.*

Macdonald, M.D. 1951. Compression of Douglas-fir veneer during pressing.

Tabarsa, T. 1995. The effects of transverse compression and press temperature on wood response during hot - pressing, M.Sc Thesis, University of New Brunswick.

Tabarsa, T & Chui, Y.H. 1997. Effects of hot-pressing on properties of white spruce, *Forest Products Journal*, 47(5):71-76.

سپاسگزاری

از آقایان مهندس سعید مرادی‌کیا و مهندس حمید زارع، به دلیل همکاری در انجام آزمایشهای مکانیکی و همچنین از جناب آقای دکتر محمدرضا بی‌همتا به دلیل راهنمایی‌شان در زمینه تجزیه و تحلیل آماری، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

بادیگ، ژ و جین، ب. ۱۳۷۶. مکانیک چوب و فرآورده‌های مرکب آن، ترجمه قنبر ابراهیمی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۶ صفحه
سجودی، م. ا. و حسن عباسی، ن. ۱۳۶۶. پالونیا درخت شگفت انگیز، نشریه جنگل و مرتع، سال دوم، شماره پنجم. ۲۳-۱۹

Densification of Paulownia wood by using of hot-press

Edalat, H.R.^{*1}, Tabarsa, T.² and Reisi, M.³

1* - Corresponding author, MSc, Wood Industries Department, University of Tehran, Iran. Hamidrezae@ut.ac.ir

2- Associate Professor, Wood Industries Department, University of Golestan, Iran.

3-MSc., Wood Industries Department, University of Tehran, Iran.

Received: Dec. 2007

Accepted: Feb. 2008

Abstract

For this study 10 logs of *Paulownia.furtunie* from Shastkalateh forest of Gorgan in Iran were selected randomly. After that, 45 clear flat swan specimens prepared and dried to 5% moisture. Density of each log and thickness of specimens were measured. Three levels of compression percent (16%, 33% and 50%) and temperature (130°C, 145°C and 160°C) were the variables. The physical properties of specimens such as spring back, compression set and thickness swelling were calculated. Also, MOE, MOR and impact resistance of specimens were evaluated. In order to have accurate examination, microscopic images were taken. Results show that, with increasing in compression percent, the amounts of spring back and thickness swelling enhance. Densification with 16% compression, yields deformation in elastic region while 33% and 50% compression, causes more compression set. The more compression percent, the more mechanical strengths and the highest strength attained in 50% compression. The effect of temperature was insignificant mostly. Finally, the proper treatment for Paulownia densification, was 130°C and 50% compression. Microscopic images asserted the above results and illustrated that, the enhancing of densification above 50% compression is possible.

Keyword: Densification, Paulownia, Thermal treatment, Mechanical strength, Spring back, Compression set.