



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد هجدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۰

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

## قدرت نگهداری میخ و پیچ، مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در چوب فشرده شده صنوبر

\*محراب مدهوشی<sup>۱</sup>، محمد گری<sup>۲</sup>، تقی طبرسا<sup>۳</sup> و علی رفیقی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانش‌آموخته رشته فرآورده‌های چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>استاد گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup>استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱

### چکیده

هدف از این مطالعه بررسی تاثیر دمای بخار دهی و درصد فشرده سازی بر قدرت نگهداری اتصال‌دهنده (میخ و پیچ)، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چوب فشرده شده صنوبر دلتوئیدس می‌باشد. به همین منظور تعداد ۱۵ پایه درخت سالم صنوبر از جنگل آموزشی- پژوهشی دکتر بهرام‌نیا واقع در منطقه شصت کلاته گرگان بطور تصادفی انتخاب و قطع گردید و نمونه‌های مماسی از قسمت‌های سالم چوب برون تهیه شد. عوامل متغیر عبارت بودند از: درصد فشردگی در چهار سطح ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و دما بخاردهی در سه سطح ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس. نمونه‌ها بخارزنی و در جهت شعاعی فشرده شدند. دانسیته نمونه‌های فشرده شده تعیین و آزمون‌های قدرت نگهداری میخ و پیچ و آزمون خمش بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. جهت بررسی دقیق‌تر، تصاویر میکروسکوپی نیز از نمونه‌های فشرده شده تهیه گردید. نتایج نشان داد که با افزایش درصد فشردگی، مطابق با روند افزایش دانسیته، مقادیر قدرت نگهداری اتصال‌دهنده‌ها، مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته نمونه‌های فشرده شده افزایش می‌یابد و در تمامی موارد بیشترین آن‌ها در فشردگی ۵۰ درصد

\*مسئول مکاتبه: [mmadhoushi@hotmail.com](mailto:mmadhoushi@hotmail.com)

مشاهده می‌شود. با افزایش میزان فشردگی تا ۵۰ درصد قدرت نگهداری میخ و پیچ به ترتیب تقریباً ۲۲۰ و ۱۲۰ درصد، مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته به ترتیب حدود ۷۰ و ۴۰ درصد نسبت به نمونه‌های فشرده نشده افزایش یافت و این در حالی بود که دمای بخاردهی بر روی اغلب مقاومت‌ها به استثنا مدول الاستیسیته تاثیر معنی‌دار نداشت. همچنین تصاویر میکروسکوپی نتایج به دست آمده را تایید نمود و نشان داد که با افزایش درصد فشردگی میزان درهم‌رفتگی و همگنی الیاف بیشتر می‌شود و به لحاظ تئوری امکان افزایش میزان فشردگی چوب صنوبر وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** فشرده‌سازی، صنوبر دلتوئیدس، قدرت نگهداری اتصال دهنده، مقاومت خمشی

#### مقدمه

بدون تردید، یکی از روش‌های حل مساله کمبود چوب، منابع جنگلی و تامین ماده اولیه، در هنگام حفظ و صیانت از جنگل‌ها، زراعت درختان تند رشد است که نسبت به سایر درختان چوبی جنگلی رشدی سریع‌تر، چوب‌دهی بیشتر و سن برداشتی بسیار کم دارند. صنوبر از گونه‌های شاخص در این زمینه، در سن ۱۵-۱۰ سالگی و با قطری قابل قبول، برای کارهای درودگری و ساخت فرآورده‌های چوبی می‌تواند به سن بهره‌برداری برسد. اما، باید اذعان داشت صنوبرها که با تطابق اکولوژیکی کم‌نظیر خود در اغلب اقلیم‌ها قابل کشت هستند (عباسی، ۱۹۹۰)، به دلیل سبک بودن و پایین بودن مقاومت‌های مکانیکی، کمتر مورد توجه و استفاده تولیدکنندگان مصنوعات چوبی قرار گرفته‌اند.

فشرده‌سازی یکی از روش‌های بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب‌های سبک محسوب می‌شود (ابراهیمی، ۱۹۹۸؛ اینویی و همکاران، ۱۹۹۳) و به تازگی تحقیقاتی چند بر روی سوزنی برگان در مقیاس آزمایشگاهی (وانگ و کوپر، ۲۰۰۵) و نیز در مقیاس نیمه صنعتی انجام شده است (ولزباشر و همکاران، ۲۰۰۸). فشرده‌سازی چوب<sup>۱</sup> فرایندی است که در آن بخش اعظم فضاهای خالی بافت چوب توسط خود ماده چوبی جایگزین می‌گردد. طی این عمل، عناصر سازنده چوب شامل آوندها و فیبرها درهم فرو رفته، فضاهای خالی موجود در چوب کمتر شده و وزن مخصوص آن افزایش می‌یابد و از این طریق خصوصیات مکانیکی چوب بهبود می‌یابد (کلمن و کوت، ۱۹۸۴). در این میان مدول‌گسیختگی چوب از مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص رفتار چوب و فرآورده‌های مرکب آن

1- Wood densification

تحت بارهای خمشی محسوب می‌شود که تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله دانسیته می‌باشد. هر چقدر دانسیته چوب بیشتر باشد مدول گسیختگی آن نیز افزایش می‌یابد (ابراهیمی، ۱۹۹۸). مناسب است فرایند فشرده‌سازی در شرایطی انجام بگیرد که به ساختار سلولی چوب صدمه مکانیکی وارد نشود.

تکنولوژی فشرده‌سازی چوب که اولین بار در سال ۱۹۳۰ در آلمان معرفی شد هنوز در سوئد برای حدود ۲۰ گونه چوبی تقریباً با همان روش اولیه استفاده می‌شود (ناوی و گیراردت، ۲۰۰۰). مطالعات اولیه بر روی صنوبر زرد نشان داده است که جهت فشرده‌سازی نسبت به جهت الیاف (مماسی یا شعاعی)، درصد رطوبت (در حد لازم)، و میزان نیروی فشاری از عوامل موثر در این فرایند به‌شمار می‌روند (کونش، ۱۹۶۱). تاثیر جهت الیاف در فشرده‌سازی در مطالعات اخیر نیز گزارش شده است (وانگ و کوپر، ۲۰۰۵). درصد فشردگی و درجه حرارت لازم از عوامل موثری دیگری محسوب می‌شوند. به‌عنوان مثال اثر دما فشرده‌سازی در گستره ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سلسیوس بر روی خواص چوب فشرده نوئل مناسب می‌باشد و به دیواره سلول آسیب وارد نمی‌آورد (طبرسا و چویی، ۱۹۹۷). به‌طور مشابه ایتوو همکاران (۱۹۹۸a) و ایتوو همکاران (۱۹۹۸b) مشاهده نمودند که بخاردهی در دما ۲۰۰ درجه سلسیوس و به‌مدت ۴ دقیقه یا بیشتر و یا بخاردهی در دما ۱۸۰ درجه سلسیوس و به‌مدت ۸ دقیقه یا بیشتر، موجب برگشت ضخامت چوب فشرده شده به حالت اولیه نمی‌شود.

رفتار چوب تحت فرایند فشرده‌سازی در جهت عمود بر الیاف ارتباط نزدیک با شکل عناصر سازنده بافت چوب دارد. در پهن‌برگان عناصر آوندی بلند با دیواره نازک و سلول‌های پارانشیمی، تغییرات بیشتری دارند و شکست ابتدا در این عناصر و بیشتر در ناحیه چوب بهره اتفاق می‌افتد (طبرسا و چویی، ۲۰۰۱). فشرده‌سازی نمونه‌های شعاعی و بینابینی از گونه کاج جنگلی تحت فشارهای مختلف و مطالعه رفتار خزش نمونه‌ها و تغییرات دانسیته در مدت ۵ سال نشان داد که در فشار ۱۴۰ MPa چوب با رسیدن به دانسیته  $1400 \text{ kg/m}^3$  بیشترین فشردگی را می‌تواند داشته باشد. اما، با برگشت ضخامت، دانسیته آن نیز به کمتر از  $1000 \text{ kg/m}^3$  تقلیل می‌یابد. به هنگام فشرده‌سازی نمونه‌های بینابینی در مقایسه با نمونه‌های شعاعی، کرنش الاستیک بیشتری دارند و در نمونه‌های شعاعی تغییرات کرنش الاستیک به شدت توسط اشعه شعاعی محدود می‌شود (بلومبرگ، ۲۰۰۵).

در حال حاضر اطلاعات در خصوص رفتار چوب‌های فشرده شده سبک داخلی محدود و رفتار اتصال‌دهنده‌ها در آن‌ها نیز ناشناخته است. از این‌رو، هدف از این پژوهش بهبود خصوصیات مکانیکی چوب صنوبر از جمله قدرت نگهداری میخ و پیچ و نیز مقاومت خمشی (MOR) و مدول الاستیسیته

ظاهری (MOE) آن جهت کاربردهای جدید و همچنین بررسی تاثیر دما بخاردهی و میزان فشرده‌سازی بر روی خواص یاد شده می‌باشد. لازم به یادآوری است که چوب صنوبر همگن و جزو گونه‌های پراکنده آوند با حفرات آوندی نسبتاً درشت، بسیار فراوان و با پراکنش منظم و قطرهای یکسان در پهنا دایره سالیانه به‌طور مجزا و یا به هم چسبیده به تعداد ۲ یا ۳ در جهت شعاعی دیده می‌شوند (پارسا‌پژوه، ۱۹۹۳).

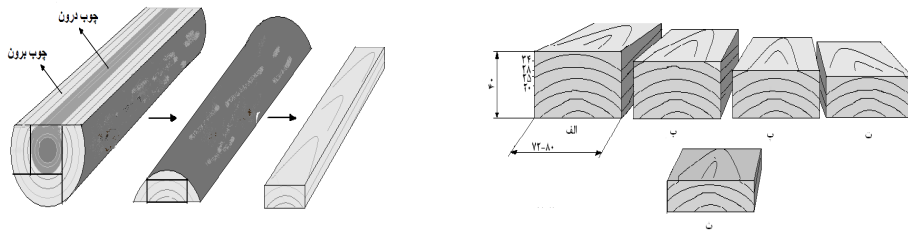
### مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش ۱۵ پایه درخت نرمال ۲۵-۲۰ ساله با قطر حداقل ۲۵ سانتی‌متر و با فرم و رشد طبیعی از گونه صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) به‌طور تصادفی از جنگل شصت‌کلاته گرگان انتخاب و قطع گردید. برش گرده‌بینه‌ها به‌طوری‌که بیشترین مقدار چوب‌درون آن حذف گردد و پهنا نمونه‌ها در جهت مماسی و ضخامت آن در جهت شعاعی باشد صورت گرفت (تخته‌های مماسی). عوامل متغیر در این مطالعه عبارتند بودند از: دما بخاردهی در سه سطح ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس و میزان فشردگی در چهار سطح ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد. نمونه‌ها با ابعاد مقطع ۸۰×۳۴۰ میلی‌متر و ضخامت‌های متغیر ۲۵، ۲۸، ۳۴ و ۴۰ میلی‌متر به‌ترتیب برای فشردگی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد تهیه گردید (شکل ۱) تا پس از فشرده شدن به ضخامت نهایی ۲۰ میلی‌متر برسند. برای این منظور از شابلن با ضخامت ۲۰ میلی‌متر استفاده شد.

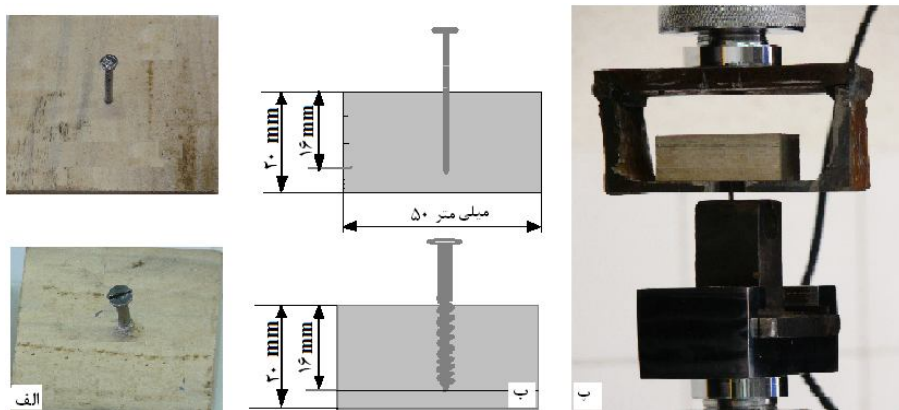
نمونه‌ها پس از بخاردهی در فشار اتمسفر به‌مدت ۱۰ دقیقه در دماهای ذکر شده فوق، بلافاصله به زیر پرس داغ با دما ۱۶۰ درجه سلسیوس منتقل و تحت فشار ۵۰ بار در جهت شعاعی فشرده شدند و به‌مدت ۲۰ دقیقه در زیر پرس باقی ماندند. علت انتخاب این دما در پرس به نتایج بهتر به‌دست آمده از مطالعات بر روی نمونه‌های اولیه بر می‌گردد. جهت جلوگیری از برگشت ضخامت و تعدیل تنش‌های ناشی از فشار، نمونه‌ها در انتها به‌مدت ۲۰ دقیقه تحت فشار صفر قرار گرفتند. دانسیته نمونه‌های فشرده‌شده تعیین و نمونه‌های اندازه‌گیری قدرت نگهداری اتصال‌دهنده‌ها و آزمون خمشی تهیه گردیدند. قدرت نگهداری اتصال‌دهنده‌ها در جهت عمود بر سطح اندازه‌گیری شد.

آزمون‌ها توسط دستگاه تست مکانیکی یونیورسال ۱۰۰ kN که متصل به کامپیوتر و مجهز به نرم‌افزار تحلیل داده‌های مقاومتی نمونه‌ها بود مطابق استاندارد BSEN ۱۳۸۳-۱۹۹۹ انجام شد. میخ‌های مورد استفاده به طول ۳۰ با قطر ۱/۶ میلی‌متر و پیچ‌های مورد استفاده به طول ۳۰ با ضخامت حدود ۳/۱۵ میلی‌متر و هردو از جنس فولاد بود (شکل ۲). جهت بررسی دقیق‌تر نمونه‌ها، مقاطع

نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ پیشرفته نوری و تحلیل تصاویر بررسی گردید. پس از استخراج داده‌ها، به منظور تحلیل نتایج از نرم‌افزار SPSS 13 استفاده شد.



شکل ۱- شماتیک تهیه نمونه‌های آزمونی (اندازه‌ها به میلی‌متر)



شکل ۲- الف) نمونه آزمونی، ب) شکل شماتیک نمونه‌ها حاوی اتصال دهنده‌ها و ب) چگونگی اندازه‌گیری قدرت نگهداری اتصال دهنده‌ها.

### نتایج و بحث

دانسیتة چوب فشرده نشده صنوبر  $0/370$  گرم برسانتی‌مترمکعب اندازه‌گیری شد که این مقدار این گونه را در گروه چوب‌های خیلی سبک قرار دارد. جدول ۱ نشان می‌دهد با عمل فشرده‌سازی، دانسیته چوب صنوبر افزایش می‌یابد، به طوری‌که با افزایش فشردگی تا ۵۰ درصد، دانسیته تا مقدار  $0/740$  گرم برسانتی‌مترمکعب (دو برابر) افزایش می‌یابد (شکل ۳). رابطه افزایشی دانسیته و درصد فشرده‌سازی معنی‌دار بوده (جدول ۲)، مطابق آزمون دانکن در ۴ گروه مستقل و جداگانه قرار می‌گیرند.



شکل ۳- دانسیته نمونه‌های فشرده شده صنوبر در مقایسه با نمونه شاهد.

جدول ۱- مقادیر مقاومت‌های چوب فشرده شده صنوبر.

مدول الاستیسیته (GPa)	مدول گسیختگی (MPa)	قدرت نگهداری اتصال دهنده (N/mm)		تیمار	
		پیچ	میخ	میزان فشردگی (درصد)	دما بخاردهی (درجه سانتی‌گراد)
۱۱/۴۶۳	۱۱۰/۵۶۶	۹۰/۰۱	۱۵/۰۸	۲۰	۱۲۰
۱۲/۰۰۶	۱۱۷.۹۴۴	۱۰۰/۶۵	۱۸/۰۵	۳۰	
۱۳/۷۳۱	۱۳۰/۵۶۸	۱۴۷/۱۶	۳۲/۹۷	۴۰	
۱۴/۶۳۴	۱۴۸/۳۳۵	۱۵۹/۵۸	۳۴/۷۳	۵۰	
۱۳/۳۶۹	۱۱۵/۸۵۰	۹۰/۲۰	۱۵/۷۶	۲۰	۱۴۰
۱۴/۳۷۱	۱۲۶/۳۲۳	۱۰۲/۹۶	۱۸/۵۶	۳۰	
۱۴/۶۲۳	۱۳۶/۴۸۴	۱۳۲/۲۲	۲۹/۸۰	۴۰	
۱۵/۰۳۷	۱۵۶/۱۶۹	۱۵۱/۶۱	۳۸/۹۸	۵۰	
۱۳/۷۳۹	۱۰۹/۷۴۰	۹۱/۰۴	۱۴/۹۴	۲۰	۱۶۰
۱۴/۵۹۹	۱۲۲/۵۹۶	۱۰۳/۶۶	۱۷/۵۲	۳۰	
۱۵/۵۰۵	۱۴۳/۴۸۸	۱۴۱/۸۶	۲۶/۷۴	۴۰	
۱۶/۰۱۹	۱۶۰/۰۳۳	۱۵۶/۱۵	۴۰/۶۰	۵۰	
۱۱/۴۵۶	۹۰	۶۷/۳۱	۱۲/۵	۰	نمونه کنترل

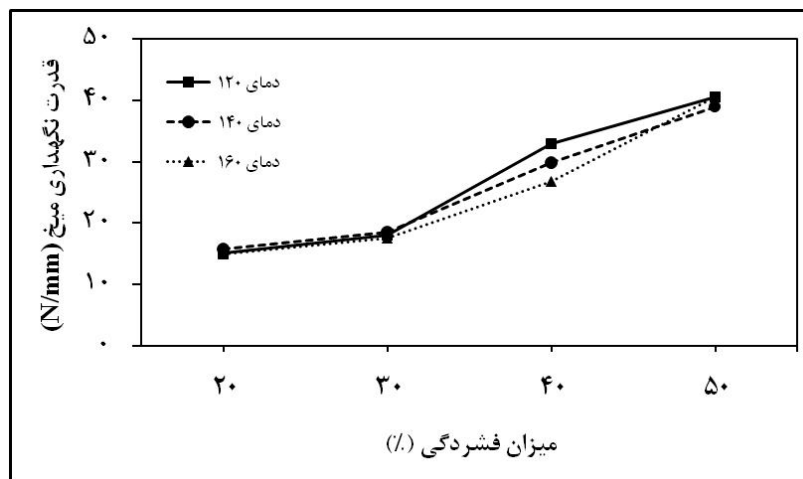
محراب مدهوشی و همکاران

جدول ۲- تجزیه واریانس مقادیر مقاومتی اندازه‌گیری شده در چوب فشرده شده صنوبر.

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	مقادیر مقاومتی	منبع تغییرات
۸۷۰ <sup>ns</sup>	۳۰/۷۱۳	۶۱/۴۲۷	۲	قدرت نگهداری میخ	دما بخاردهی (a)
۵/۸۵۷ <sup>ns</sup>	۷۱/۰۴۱	۱۴۲/۰۸۲	۲	قدرت نگهداری پیچ	
۲۳/۸۵ <sup>ns</sup>	۲۶۰/۳۳	۵۲۰/۶۶	۲	MOR	
۲۷۸/۰۸ <sup>**</sup>	۱۶/۹۶۷	۳۳/۹۳۵	۲	MOE	
۳۵۹/۸۵۱ <sup>*</sup>	۱۲۷۰/۴۰۰	۳۸۱۷/۲۰۱	۳	قدرت نگهداری میخ	درصد فشردگی (b)
۹۵۹/۴۴۸ <sup>*</sup>	۱۱۶۳۷/۱۸۱	۳۴۹۱۱/۵۴۲	۳	قدرت نگهداری پیچ	
۳۷۹/۹۵ <sup>*</sup>	۴۱۴۶/۸۳	۱۲۴۴۰/۴۸	۳	MOR	
۲۱۵/۱۸ <sup>**</sup>	۱۳/۱۲۹	۳۹/۳۸۷	۳	MOE	
۱/۷۲۵ <sup>ns</sup>	۶/۰۸۹	۳۶/۵۳۱	۶	قدرت نگهداری میخ	دمای بخاردهی × درصد فشردگی (a×b)
۴/۱۶۱ <sup>ns</sup>	۵۰/۴۶۶	۳۰۲/۷۹۷	۶	قدرت نگهداری پیچ	
۵ <sup>ns</sup>	۵۴/۵۳	۳۲۷/۱۸	۶	MOR	
۱۳/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۸۲۲	۴/۹۲۹	۶	MOE	

\*معنی‌داری در سطح ۱ درصد، \*\*معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns غیر معنی‌دار.

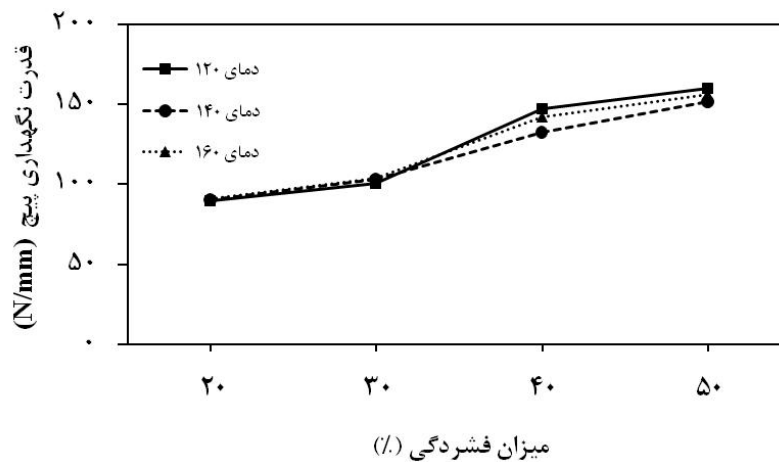
**قدرت نگهداری میخ:** قدرت نگهداری میخ به بافت چوب و فرم، شکل، چسبندگی و عمق نفوذ میخ در چوب بستگی دارد. هرچه چوب فشرده‌تر باشد بافت چوب متراکم‌تر شده، قدرت نگهداری میخ افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد (جدول ۱، شکل ۴) با افزایش درصد فشردگی، قدرت نگهداری میخ در چوب فشرده شده صنوبر به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد (جدول ۲). به‌طوری‌که این افزایش در فشردگی ۵۰ درصد به بیش از ۲۰۰ درصد بالغ می‌شود. مطابق آزمون دانکن، قدرت نگهداری میخ در فشردگی‌های مختلف نیز در ۴ گروه مستقل قرار می‌گیرد. این در حالی است که دما بخاردهی در مقادیر قدرت نگهداری میخ نمونه‌های فشرده شده اثر مستقل معنی‌داری در سطح ادرصد نداشت (شکل ۴).



شکل ۴ - روند تغییرات قدرت نگهداری میخ در چوب فشرده شده صنوبر.

**قدرت نگهداری پیچ:** مشابه میخ، قدرت نگهداری پیچ در چوب فشرده شده صنوبر بهبود یافت (جدول ۱، شکل ۵). پیچ‌ها در مقایسه با میخ، قطر بیشتر و بدنه شیاردار و حالت رزوه‌ای دارند. این شیارها در پیچ باعث افزایش سطح تماس آن با چوب می‌شود. همین مسئله سبب می‌گردد که قدرت نگهداری پیچ به مراتب بیشتر از قدرت نگهداری میخ باشد. با افزایش فشردگی تراکم الیاف چوب بیشتر می‌شود، در نتیجه رزوه‌های پیچ با الیاف بیشتری تماس برقرار می‌کند و قدرت اتصال آن افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد با افزایش فشردگی چوب تا ۴۰ درصد قدرت نگهداری پیچ بیش از ۱۰۰ درصد و در فشردگی ۵۰ درصد این مقاومت تقریباً ۱۲۰ درصد افزایش می‌یابد. مقادیر میانگین مقاومت‌ها با استفاده از آزمون دانکن در ۴ گروه مستقل و جداگانه طبقه‌بندی گردید (شکل ۵). رزوه‌های پیچ در چوب فرو می‌رود و عمل کشیدن پیچ همراه با برش الیاف اتفاق می‌افتد. در قدرت نگهداری پیچ، علاوه بر تراکم الیاف چوبی و چسبندگی الیاف، ساختار و ماهیت جسم و به خصوص مقاومت برشی الیاف نیز بسیار موثر خواهد بود (ابراهیمی، ۱۹۹۸). تفاوت کم مقادیر قدرت نگهداری پیچ در فشردگی ۴۰ و ۵۰ درصد شاید به همین موضوع برگردد (جدول ۱، شکل ۵). مشابه قدرت نگهداری میخ، اثر مستقل دما بخاردهی بر روی قدرت نگهداری پیچ نیز معنی‌دار نیست، هر چند تفاوت جزئی در مقادیر آن در دماهای مختلف مشاهده گردید.



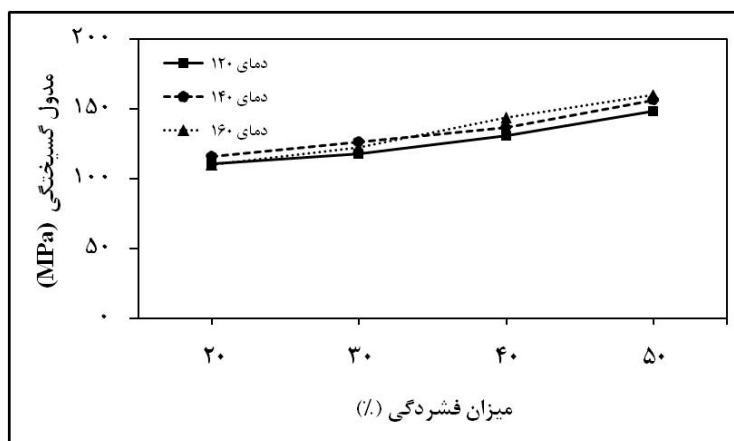


شکل ۵ - روند تغییرات قدرت نگهداری پیچ در چوب فشرده شده صنوبر.

لازم به یادآوری است که شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد با افزایش درصد فشردگی نمونه‌ها، قدرت نگهداری اتصال دهنده‌ها نیز به‌طور معنی‌دار و در ۳ مرحله افزایش می‌یابد (جدول ۲). این افزایش تا فشردگی ۳۰ درصد با شیب بسیار کم و با افزایش فشردگی تا ۴۰ درصد با شیب تند و در فشردگی بیشتر، مجدداً توأم با شیب کم می‌باشد. این مسئله به وضوح پتانسیل تراکم‌پذیری بافت چوب صنوبر را در درصدهای مختلف فشرده‌سازی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، چوب در فشردگی‌های کمتر مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد و با افزایش میزان فشردگی، ساختار چوب احتمالاً به دلیل تخریب بیشتر بافت آمادگی بیشتری برای تراکم‌پذیری خواهد داشت. هرچند با افزایش بیش از حد میزان فشردگی (با توجه با بافت چوب)، ساختار آن دچار تخریب بیشتر شده، پتانسیل تراکم‌پذیری آن کاهش می‌یابد.

مدول گسیختگی (MOR): شکل ۶ نشان می‌دهد که اثر درصد فشردگی چوب به‌طور مستقل در مقدار مدول گسیختگی آن در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول‌های ۱ و ۲). کمترین مدول گسیختگی در نمونه شاهد (۹۰ مگاپاسکال) و بیشترین آن در فشردگی ۵۰ درصد (۱۵۴/۸۵ مگاپاسکال) مشاهده شد که در حدود ۷۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. می‌دانیم مدول گسیختگی ویژگی است که مقدار نهایی آن به مقاومت لایه سطحی ارتباط نزدیکی دارد (ابراهیمی، ۱۹۹۸). از این‌رو، افزایش مدول گسیختگی نمونه‌های فشرده شده، علاوه بر بافت متراکم‌تر آن‌ها و

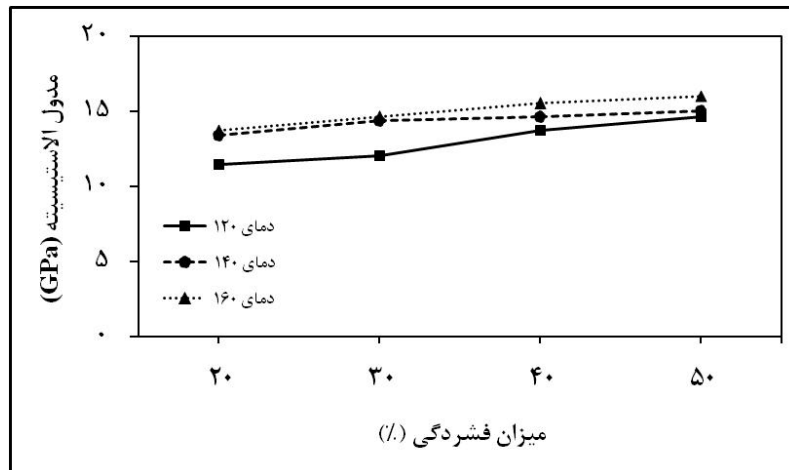
افزایش میزان تحمل بارهای خمشی وارده، می‌تواند به بهبود کیفیت و یکنواختی لایه‌های سطحی نمونه‌ها نیز مربوط شود. مقادیر میانگین مقاومت نمونه‌ها با استفاده از آزمون دانکن در ۴ گروه مجزا طبقه‌بندی گردید. لازم به یادآوری است، هرچند با افزایش دما بخاردهی مقادیر مدول گسیختگی افزایش یافت، این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود.



شکل ۶- روند تغییرات مدول گسیختگی در چوب فشرده شده صنوبر.

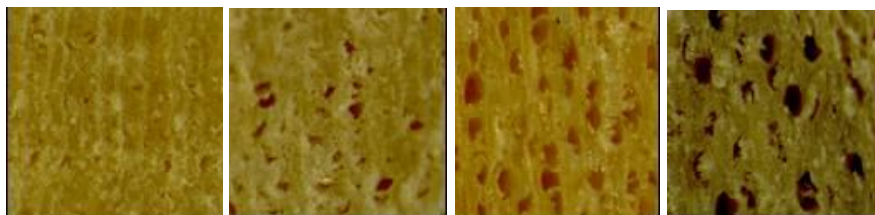
شاید در نگاه اول افزایش جزئی مدول گسیختگی در اثر افزایش حرارت با مبانی تئوری کلاسیک مکانیک چوب مغایر به نظر برسد، اما باید توجه داشت که اندازه‌گیری‌ها پس از بخاردهی اولیه و فشرده‌سازی نمونه‌ها و در نهایت تثبیت حرارتی بعدی نمونه‌ها و در دما اتاق انجام گرفته است. در این ارتباط، باید اذعان داشت که افزایش دما بخاردهی بالاتر شاید بتواند در میزان فشرده‌سازی بیشتر و به تبع آن افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها موثر باشد.

**مدول الاستیسیته (MOE):** با افزایش میزان فشردگی و دما بخاردهی مدول الاستیسیته نمونه‌ها به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد (جدول‌های ۱ و ۲). با افزایش فشردگی تا ۵۰ درصد، مدول الاستیسیته تقریباً ۴۰ درصد افزایش می‌یابد که این مقدار تقریباً متناسب با افزایش دانسیته است (شکل ۷). این موضوع خود مطابق با تئوری پیش‌بینی رابطه بین دانسیته و مدول الاستیسیته چوب ارائه شده در منابع می‌باشد (ابراهیمی، ۱۹۹۸). میانگین مقادیر مدول الاستیسیته با استفاده از آزمون دانکن در ۴ گروه مستقل قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که بر خلاف مدول گسیختگی، افزایش دما بخاردهی سبب افزایش معنی‌دار مدول الاستیسیته در سطح ۵ درصد می‌شود.



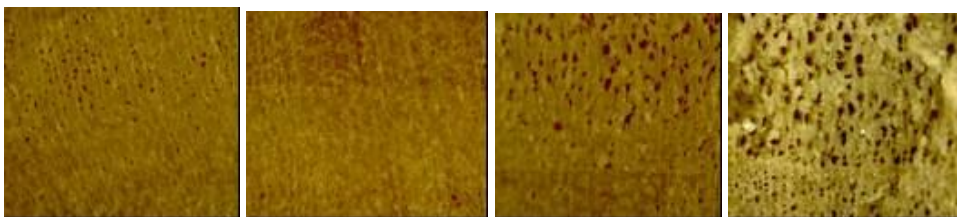
شکل ۷- روند تغییرات مدول الاستیسیته در چوب فشرده شده صنوبر.

تغییرات ساختار چوب فشرده شده صنوبر



(الف) (ب) (ب) (پ) (ت)

شکل ۸- لایه میانی نمونه‌های فشرده شده صنوبر با بزرگ‌نمایی ۱۱۲ در فشرده‌گی (الف) ۲۰ درصد، (ب) ۳۰ درصد، (پ) ۴۰ درصد و (ت) ۵۰ درصد.



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۹- لایه سطحی نمونه‌های فشرده شده صنوبر با بزرگ‌نمایی ۵۰. در فشرده‌گی (الف) ۲۰ درصد، (ب) ۳۰ درصد، (پ) ۴۰ درصد و (ت) ۵۰ درصد.

با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود که در فشردگی ۲۰ و ۳۰ درصد، در لایه میانی تغییرات خاصی مشاهده نمی‌شود و در مقابل آوندهای درشت چوب بهاره نواحی سطحی که در تماس با صفحات پرس قرار دارند بیشتر فشرده می‌شوند. با افزایش فشردگی، تغییرات در لایه میانی روند افزایشی داشته به طوری که در فشردگی ۵۰ درصد به بیشترین حد خود می‌رسد. وجود آوندهای فشرده نشده چوب تابستانه در لایه سطحی (شکل ۹) در سطح فشردگی ۵۰ درصد و وجود آوندهای درشت فشرده شده در لایه میانی نشان می‌دهد که چوب صنوبر به لحاظ تئوری توان فشرده شدن بیشتر از ۵۰ درصد را نیز دارد. در فرایند فشرده‌سازی، ابتدا عناصر آوندی درشت و ضعیف چوب بهاره فشرده می‌شوند و چوب تابستانه مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد که برای فشرده کردن آن نیروی بیشتر و به عبارت دیگر، درصد فشردگی بیشتری لازم است.

### نتیجه گیری

چوب صنوبر در چهار سطح ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد، و دما بخاردهی در سه سطح ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس فشرده شده و قدرت نگهداری اتصال دهنده‌ها و مقاومت خمشی آن‌ها بررسی گردید. نتایج به طور شاخص نشان داد که تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه با افزایش درصد فشردگی افزایش می‌یابد. همچنین، علی‌رغم این‌که عمل بخاردهی سبب ثبات و بهبود کیفیت سطح چوب فشرده شده صنوبر شده، از برگشت ضخامت نمونه جلوگیری می‌کند، افزایش دما بخاردهی روی اغلب مقاومت‌های چوب فشرده شده (به استثناء MOE) تاثیر معنی داری ندارد. از آنجایی که فرایند بخارزنی چوب عملی هزینه بر است، می‌توان گفت که شاید دما بخاردهی پایین‌تر (در این جا ۱۲۰ درجه سلسیوس) با توجه به هزینه کمتر آن مطلوب‌تر باشد.

میزان فشردگی ۵۰ درصد به دستیابی به بیشترین مقادیر در مقاومت‌ها منجر می‌شود. اما، از آنجایی که این مقادیر نسبت به فشردگی ۴۰ درصد افزایش قابل توجه‌ای ندارد، جهت صرفه جویی در هزینه‌های فشردگی و کاهش زمان آن و نیز جلوگیری از احتمال بیشتر طبله شدن و برگشت ضخامت نمونه‌ها، با لحاظ کردن سایر شرایط ذکر شده، فشردگی ۴۰ درصد برای چوب صنوبر می‌تواند پیشنهاد گردد.

### منابع

1. Abbasi, H. 1990. Fast growing trees. Jahad-e-Daneshghahy, Publication. Gorgan, 340p. (In Persian)
2. Blomberg, J. 2005. Elastic strain at semi-isostatic compression of Scots pine (*Pinus sylvestris*). J. Wood Sci. 51: 4. 401- 404.

3. British Standard Institute. BS EN 1383-1999. Timber structures-Test methods-pull through resistance of timber fasteners.
4. Ebrahimi, Gh. 1998. Mechanics of wood and wood composites. (In Persian). Tehran University Publications. 68 4p.
5. Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., and Rowell, R.M. 1993. Steam or heat fixation of compression wood. *Wood Fiber Sci.* 25: 3.224-235.
6. Ito, Y., Tanahashi, M., Shigematsu, M., Shinoda Y., and Ohta, Ch. 1998a. Compressive-molding of wood by high-pressure steam-treatment: Part 1. Development of compressively molded squares from thinning. *Holzforschung*, 52: 2.211–216.
7. Ito, Y., Tanahashi, M. M., Shigematsu, M., and Shinoda, Y. 1998b. Compressive-molding of wood by high-pressure steam-treatment: Part 2. Mechanism of permanent fixation. *Holzforschung*. 52: 2.217–221.
8. Kolmann, F.D., and Cote, W.A. 1984. Principles of wood science and technology. V.I, Springer Verlag, Berlin. 592 p.
9. Kunesh, R.H. 1961. The inelastic behaviour of wood: A new concept for improved panel forming process. *Forest Prod. J.* 11: 9.395-406.
10. Navi, P., Girardet, F. 2000. Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood. *Holzforschung*. 54: 287-293.
11. Parsapajouh, D. 1993. Atlas north woods of Iran. Tehran Univ. Pub. 136 p.
12. Tabarsa T., Chui, Y.H. 1997. Effects of hot-pressing on properties of white spruce, *Forest Prod. J.* 47: 5.71-76.
13. Tabarsa, T., Chui, Y.H. 2001. Characterizing microscope behavior of wood under transverse compression. Effect of species and loading direction. *Wood Fiber Sci.* 33: 2.223-232.
14. Wang, J.Y., Cooper P.A. 2005. Effect of grain orientation and surface wetting on vertical density profiles of thermally compressed fir and spruce. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 63: 397–402.
15. Welzbacher, C.R., Wehsener, J., Rapp, A.O., Haller, P. 2008. Thermo-mechanical densification combined with thermal modification of Norway spruce (*Picea abies* Karst) in industrial scale–Dimensional stability and durability aspects. *Holz Roh Werkst*, 66: 39–49.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 18(4), 2012  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Nail and Screw Withdrawal Strength, MOE and MOR in Densified Poplar Wood**

**M. Madhoushi<sup>1</sup>, M. Grey<sup>2</sup>, T. Tabarsa<sup>3</sup> and A. Rafighi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept. of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>M.Sc student of Wood Composites, Dept. of Wood and Paper Sciences and Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Professor, Dept. of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Sciences and Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2009-9-15; Accepted: 2011-6-22

### **Abstract**

This research has been conducted to investigate the influence of steam temperature and densification percentage on withdrawal strength of nail and screw joints as well as flexural strength in compressed wood of eastern cottonwood (*Populus deltoides*). For this purpose 15 healthy standing trees of eastern cottonwood were selected from Dr. Bahramnia forest located in Shasht-Kola (Gorgan). The flatsawn samples were selected and prepared from defect free parts of sapwood. Densification was done at 4 percentages, namely 20%, 30%, 40% and 50%. Steaming treatment was selected at 3 temperature levels, 120, 140 and 160 °C for this purpose. Density, withdrawal strength of nail and screw joints and also flexural strength (MOR and MOE) of compressed specimens were measured. Also, the microscopic images of compressed samples were studied. The results showed that the percentage of densification may significantly influence the density of samples, especially at the higher percentages. Furthermore, it was found that the amount of densification has significant influence on the withdrawal strength of nails (up to 220%) and screws (up to 120%). Regarding the flexural strength, MOR and MOE possessed higher amount as their amount were increased by 70% and 40%, respectively, compared with control samples. In addition, the microscopic images showed that more homogenous material could be obtained at higher densification percentages.

**Keywords:** Densification; Eastern cottonwood; Flexural strength; Fastener Withdrawal Strength

---

\*Corresponding author; Email: mmadhoushi@hotmail.com