

## تعیین خواص مهندسی چوب بلوط بلندمازو از رویشگاه گلبند نوشهر ۱- در حالت تر

امیرهومن حمصی\*

نادر حسین پور دوگلسر\*\*

### چکیده

در این مطالعه، خواص فیزیکی و مکانیکی چوب گونه بلوط در حالت تر (رطوبت سبز)<sup>۱</sup>، از رویشگاه گلبند نوشهر اندازه گیری شد. نتایج آزمون براساس استاندارد ASTM حاکی از آنست که میانگین مهمترین خواص مهندسی (مکانیکی) چوب بلوط بلندمازو با وزن مخصوص ۰/۶۱۸ (وزن خشک بر حجم تر) و همکشیدگی حجمی ۱۳ درصد، عبارت است از مدول گسیختگی ۷۴۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، مدول الاستیسیته (ظاهری) ۸۲۵۵۶ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، انرژی کار حداکثر ۵۶ کیلو ژول بر متر مکعب، تنش حداکثر مقاومت فشار موازی الیاف ۳۱۷ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، فشار عمود بر الیاف حد تناسب ۱۱۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، تنش حداکثر برش موازی الیاف ۱۰۹ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، تنش حداکثر کشش عمود بر الیاف ۶۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، کار استاندارد مقاومت به ضربه ۳/۳۴ کیلوگرم متر، مقاومت به شکاف خوری ۹۰ کیلوگرم بر سانتیمتر. همچنین مقدار سختی سطوح مماسی، شعاعی و سطح مقطع به ترتیب ۶۴۲، ۶۶۱ و ۶۶۵ کیلوگرم و ظرفیت نگهداری میخ در سطوح فوق الذکر به ترتیب ۵۴، ۶۲ و ۴۰ کیلوگرم بر

\*- استادیار گروه مهندسی صنایع چوب و کاغذ، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی (تهران)

\*\* - کارشناس ارشد دفتر بهره برداری و صنایع چوب اداره کل منابع طبیعی استان گیلان

سانتیمتر مربع اندازه‌گیری شد. در همین راستا، چگونگی تأثیر ارتفاع درخت و جهات جغرافیایی رویشگاه بر خواص مهندسی چوب بلوط بلندمازو، بررسی گردید. در نهایت خواص مهندسی بلندمازو با گونه‌های بلوط بومی ایالات متحده مقایسه و وابستگی آن به وزن مخصوص تأیید شد.

واژه‌های کلیدی: بلوط (بلند مازو)، نمونه‌های تر (رطوبت سبز)، خواص مهندسی (مکانیکی)

## مقدمه

چوب و فراورده‌های مرکب آن از دیر باز اهمیت اقتصادی قابل توجهی در کشورهای در حال توسعه و صنعتی داشته‌اند. در امریکای شمالی طی سالهای ۱۹۷۰، حجم فراورده‌های چوبی در مصارف ساختمانی، از سایر مصالح ساختمانی بیشتر بوده است (۲). نیاز مستمر جوامع بشری به چوب آلات مستحصه از جنگل‌ها و لزوم کاربرد صحیح این ماده اولیه بی نظیر به صورت ماسیو و در صنایع تبدیلی، انگیزه شناخت هر چه بیشتر خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی گونه‌های بومی کشور تلقی می‌گردد. درخصوص خواص مکانیکی، عمدتاً امکان پیش بینی مقاومت‌های مجاز و حصول اطمینان از عملکرد سازه‌ها و محصولات چوبی، هم از جنبه ایمنی و هم از دیدگاه صرفه‌های اقتصادی، مدنظر می‌باشد.

با توجه به نقش ارزنده جنگل‌ها در حفظ محیط زیست و اهمیت استفاده منطقی و علمی از ذخائر جنگل‌های صنعتی کشور، ترویج کاربرد مهندسی شده چوب به جای مصارف سنتی، اجتناب‌ناپذیر است. بدین منظور تعیین ویژگی‌های مهندسی گونه‌های صنعتی کشور برای استفاده بهینه کارشناسان جنگلداری، متخصصان صنایع تبدیلی، معماران، دکورسازان، درودگران و مهندسان طراح سازه‌های چوبی الزامی است.

در این راستا، اندازه‌گیری خواص مهندسی نمونه‌ها در حالت تر، حائز اهمیت می‌باشد. به عنوان نمونه، به منظور برآورد تنش‌های رویشی<sup>۱</sup> با توجه به کرنش‌های<sup>۲</sup> اندازه‌گیری شده در درختان سرپا، مقدار مدول الاستیسیته مورد نیاز است. یکی از کاربردهای عملی این موضوع در تدوین الگوهای مناسب برش و تبدیل گرده بینه‌ها به منظور کاهش ضایعات پدید آمده از آزاد شدن تنش تجلی می‌یابد (۳). همچنین محاسبه تنش‌های ایجاد شده از خشک شدن<sup>۳</sup> چوب در کوره و نیز پیش‌بینی معایب حاصله، مستلزم آگاهی از برخی خواص مکانیکی چوب در حالت تر می‌باشد (۱۲). از طرفی مقایسه

1- Growth stress

2- Strain

3- Drying Stress

خواص مهندسی چوب در دو حالت تر و خشک، امکان شناخت چگونگی تأثیر رطوبت بر مقاومت‌های مکانیکی (۱۵) و تدوین توابع ریاضی به منظور انجام پیش‌بینی‌های لازم در شرایط رطوبتی مختلف را مهیا کرده (۱۶) و تأییدی بر اهمیت خشک شدن صحیح چوب در راستای افزایش مقاومت سازه‌ها و در نتیجه حصول صرفه‌جویی تلقی می‌گردد.

به منظور فراهم نمودن معلومات مربوط به خواص مکانیکی گونه‌های چوبی برای مصارف مختلف، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، طرح تعیین خواص مهندسی چوبهای جنگلی شمال ایران را تدوین نموده است. در این راستا، شفیع‌فر و همکاران در سال ۱۳۷۴، خواص مهندسی گونه راش از رویشگاه گلبند نوشهر را تعیین نمودند (۵). همین پژوهشگران در سال ۱۳۷۵ به همراه حامدی نژاد و کیان، خواص مهندسی کاربردی گونه توسکا ییلاقی از رویشگاه گلبند نوشهر را بررسی کردند (۶). سپس در سال ۱۳۷۶ نخعی و همکاران در قالب طرح پژوهشی دیگری خواص مکانیکی گونه ممرز از رویشگاه سنگده ساری را اندازه‌گیری نمودند (۹). در مطالعه دیگری که توسط شفیع‌فر و همکاران در سال ۱۳۷۶ انجام گرفت، مقاومت‌های مکانیکی گونه افرا شیردار از رویشگاه گلبند نوشهر، تعیین گردید (۷). در سال ۱۳۸۰ مختومی و همکاران خواص مهندسی گونه توسکا ییلاقی از رویشگاه سنگده ساری را بررسی نمودند (۸).

در این تحقیق خواص مهندسی گونه بلوط بلندمازو از منطقه لاروچال رویشگاه گلبند نوشهر در حالت تر مطالعه گردید. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۵۰۰ متر و مقدار بارش آن ۱۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. گونه بلندمازو با نام علمی *Quercus Castaneaefolia* از خانواده *fagaceae* و نام‌های محلی موزی، سیاه‌مازو، پالوط، اشپرمازو و خیری در جنگل‌های شمال ایران از آستارا تا چناران گلی داغی، از نواحی ساحلی تا ارتفاعات ۱۸۸۰ متری دیده می‌شود.

## مواد و روش‌ها

کلیه آزمون‌ها، براساس اندازه‌گیری مقاومت نمونه‌های کوچک سالم در حالت تر انجام گردید. از مشاهدات به‌دست آمده از نمونه‌های سبز، تنش‌های قابل تحمل<sup>۱</sup> مشتق می‌شوند (۱۱). به منظور ایجاد امکان مقایسه نتایج حاصله در ایستگاه‌های مختلف رویشگاهی، تمامی مراحل اجرای تحقیق، شامل انتخاب رویشگاه‌های مورد نمونه‌برداری، تهیه شناسنامه برای نمونه‌های سالم، روش آزمون، ثبت و تحلیل مشاهدات و غیره، براساس آیین‌نامه شماره ۸۳-۱۴۳ استاندارد<sup>۲</sup> ASTM انجام گردید (۱۰). پس از مطالعه طرح‌های جنگلداری و بررسی آماری جوامع

1- Working Stress

2- American Society for Testing Materials

جنگلی منطقه گلبند نوشهر، محل نمونه برداری براساس ضوابط استاندارد تعیین و تعداد ۳ اصله درخت کاملاً سالم از گونه بلوط بلندمازو انتخاب و نشانه گذاری و کلیه مشخصات رویشگاه اعم از ارتفاع از سطح دریا، شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی، شیب و جهت جغرافیایی در فرم‌های مخصوص ثبت شد. پس از مرحله قطع، عمل بینه‌زنی صورت گرفته و کلیه مشخصات تعداد ۹ بینه ۱/۵ متری مستحصله از هر درخت شامل شماره درخت، شماره بینه، جهت جغرافیایی و غیره روی بینه‌ها ثبت و در فرم‌های مخصوص درج گردید. به منظور جلوگیری از تبخیر آب و ترک خوردن، مقاطع بینه‌ها با رنگ پوشیده شد.

پس از تبدیل بینه‌ها در کارخانه چوب‌بری طرح جنگلداری گلبند بر اساس جهت جغرافیایی و ثبت داده‌های لازم بر روی آنها، قطعات به دو بخش تر و خشک تقسیم شد. قطعات مربوط به بخش خشک به منظور کاهش رطوبت و حصول رطوبت ۱۲ درصد در محل مناسب دیو و داراب‌بندی شد. از قطعات بخش تر، به تعداد کافی نمونه‌های آزمون تهیه و متعاقب آن نمونه‌های کاملاً سالم براساس استاندارد از میان آنها انتخاب گردید.

کلیه آزمون‌های مربوطه، در بینه‌های مختلف استحصال شده از هر درخت که بیانگر ارتفاع‌های مختلف یک درخت بوده و نیز در نمونه‌های استخراج شده از جهت جغرافیایی مختلف هر درخت انجام گردید. بدین ترتیب امکان بررسی تغییرات خواص چوب در داخل تنه یک درخت و نیز با توجه به جهت‌گیری شیب رویشگاه میسر گردید.

برای تعیین مقاومت‌های مکانیکی، از دستگاه Instron مدل ۱۱۸۶ آزمایشگاه دفتر صنایع چوب کلارآباد (متعلق به سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور) با قابلیت بارگذاری حداکثر ۲۰۰ کیلو نیوتن استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری مقاومت به ضربه، دستگاه Amesler آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران مورد استفاده قرار گرفت.

### شرح مختصر آزمایش‌ها:

#### ۱- جرم ویژه و همکشیدگی حجمی:

جرم ویژه بر مبنای حجم در حالت تر (سبز) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها با اندازه اسمی  $۵۰ \times ۵۰ \times ۱۵۰$  میلیمتر تهیه و ابعاد دقیق آنها توسط کولیس با دقت  $۰/۰۵$  میلیمتر اندازه‌گیری شد. وزن نمونه‌ها با ترازوی الکتریکی با دقت  $۰/۰۱$  گرم و حجم براساس روش غوطه‌وری تعیین گردید. همچنین تعداد دوایر رویش سالیانه در شعاع ۲ سانتیمتری سطح مقطع نمونه شمارش و ثبت شد. سپس نمونه‌ها در یک اتوو (آون) با دمای  $۱۰۳ \pm ۲$  درجه سانتیگراد خشک و پس از سرد شدن، توزین گردیدند. در نهایت با استفاده از روابط موجود، مقدار جرم ویژه و همکشیدگی حجمی محاسبه شد.

## ۲- خمش استاتیک

این آزمون به منظور تعیین تنش حد تناسب، مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته ظاهری و واقعی، کار در حد تناسب و کار حداکثر انجام شد. نمونه‌های مربوطه با اندازه اسمی  $۴۱۰ \times ۲۵ \times ۲۵$  میلیمتر تهیه گردید. نمونه آزمونی روی دو تکیه‌گاه با فاصله  $۳۶۰$  میلیمتر از یکدیگر ثابت شده و بارگذاری در وسط دهانه با سرعت یک میلیمتر بر دقیقه انجام شد.

## ۳- فشار موازی الیاف

این آزمون به منظور تعیین تنش حد تناسب، تنش لهیدگی، مدول الاستیسیته طولی، حداکثر کرنش، انرژی حد تناسب و حداکثر انرژی و همچنین در طراحی ستون‌های چوبی، با هدف اندازه‌گیری ظرفیت بار محوری، انجام می‌شود. در این آزمون، نمونه‌ها به ابعاد  $۱۰۰ \times ۲۵ \times ۲۵$  میلیمتر تهیه گردید. سرعت بارگذاری در این آزمون  $۰/۵$  میلیمتر در دقیقه می‌باشد.

## ۴- فشار عمود بر الیاف

در مصارف چوب به عنوان تراورس راه‌آهن، تکیه‌گاه تیرهای چوبی، لمبه کوبی کف، اعضای اسکله‌های چوبی و همچنین در اتصالات تحت زاویه‌ای نسبت به جهت الیاف، چوب تحت بار فشار عمود بر الیاف قرار می‌گیرد. نمونه‌ها در این آزمون با ابعاد  $۱۵۰ \times ۵۰ \times ۵۰$  میلیمتر تهیه شد. پهنای صفحه بارگذاری  $۵۰$  میلیمتر و سرعت بارگذاری نیم میلیمتر در دقیقه بود. در این آزمون، نیرو در سطحی برابر با یک سوم سطح نمونه به قسمت وسط آن وارد شده و فقط تنش حد تناسب محاسبه می‌گردد (۱۳ و ۱۱).

## ۵- برش موازی الیاف

آگاهی از این خصوصیت، در طراحی اعضای تیری و برای محل اتصالات ضروری است. در این آزمون، نمونه‌هایی با ابعاد  $۶۳ \times ۵۰ \times ۵۰$  میلیمتر که از یک طرف آن قطعه‌ای به ابعاد  $۲۰ \times ۱۳ \times ۵۰$  میلیمتر بریده شده بود، تهیه گردید. در انتهای دیگر، برشی در امتداد طولی الیاف به طول  $۱۳$  میلیمتر از لبه و در مقطعی به اندازه  $۵۰ \times ۲۰$  میلیمتر ایجاد می‌گردد. سرعت بارگذاری دستگاه در این آزمایش  $۰/۵$  میلیمتر در دقیقه تنظیم شد.

## ۶- کشش عمود بر الیاف

این خصوصیت، شاخصی از مقاومت چوب نسبت به نیروی اعمال شده در جهت عمود بر راستای الیاف است که سعی در دو نیم کردن نمونه دارد. خواص کششی چوب در طراحی بسیاری از

سازه‌های چوبی از قبیل خرپا، تیرهای لایه‌ای، پانل‌های پیش ساخته و سایر فرآورده‌های مرکب مهم است. در تهیه برنامه چوب خشک کنی با کوره، به اطلاعات مربوط به خاصیت کششی چوب در جهت عمود بر الیاف نیاز می‌باشد. طی سنوات اخیر، دقت در طراحی سازه‌های چوبی، بر اندازه‌گیری خواص کششی چوب تأکید می‌نماید (۲). برای این آزمون، نمونه‌ها با ابعاد  $63 \times 50 \times 50$  میلیمتر تهیه و در دو انتهای نمونه حفراتی به قطر ۲۵ میلیمتر ایجاد گردید.

#### ۷- آزمایش ضربه

مقاومت به ضربه، کار لازم برای شکستن نمونه معینی تحت بار ضربه‌ای است (۲). این نوع مقاومت چوب، معیار مناسبی برای مقایسه کیفی گونه‌ها با یکدیگر و حصول اطمینان از سلامت چوب، در مواردی که تردیدی از بابت پوسیدگی وجود دارد، تلقی می‌شود. به این منظور نمونه‌های سالمی به ابعاد  $280 \times 20 \times 20$  میلیمتر تهیه و آزمون ضربه بر روی آن به روش پاندولی<sup>۱</sup> انجام گردید (۱۱). در این آزمون، بار ضربه در وسط دهانه ۲۴ میلیمتری وارد می‌گردد.

#### ۸- شکاف خوری

میزان مقاومت به شکاف‌خوری، که عمدتاً با هدف مقایسه بین گونه‌ها و برای مقاصد خاص از قبیل شناسایی گونه‌های مناسب برای بشکه‌سازی (۴) اندازه‌گیری می‌شود، برابر حداکثر نیروی صرف شده به عرض نمونه برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر عرض نمونه می‌باشد. بدین منظور نمونه‌ها با ابعاد  $96 \times 50 \times 50$  میلیمتر که در یک طرف آن سوراخی جانبی به قطر ۲۵ میلیمتر ایجاد شده، تهیه و بارگذاری به طور مستمر با سرعت ۲ میلیمتر در دقیقه اعمال گردید.

#### ۹- سختی چوب

این خصوصیت، نشانگر مقدار مقاومت چوب در مقابل سوراخ کردن و از شکل انداختن آن است. این ویژگی در ساخت کف‌پوش چوبی (پارکت) و تولید فرآورده‌های مرکب و برآورد مقدار فرسایش ادوات برشی کاربرد دارد (۱۷). برای این آزمون نمونه‌ها با ابعاد  $150 \times 50 \times 50$  میلیمتر تهیه و مقدار نیرو برای نفوذ نصف گوی فلزی به قطر  $11/3$  میلیمتر در سطح نمونه چوبی، اندازه‌گیری شد. تعداد نفوذ، دو بار در هر سطح (مماسی، شعاعی، مقطع) و بدین ترتیب جمعاً برای هر نمونه آزمونی ۶ مقدار ثبت گردید.

## ۱۰- قابلیت نگهداری میخ

این خصوصیت، در واقع بیانگر ظرفیت تحمل بار اتصالات چوبی بهم پیوسته با میخ بوده و برحسب گونه (مرتبط با جرم ویژه) و اندازه میخ متغیر است. بدین منظور نمونه‌هایی با ابعاد  $۱۵۰ \times ۵۰ \times ۵۰$  میلیمتر تهیه و میخ‌هایی با قطر  $۲/۵$  میلیمتر به طور عمود بر سطوح چوب کوبیده شده و تا عمق  $۳۲$  میلیمتری در داخل نمونه نفوذ داده شد. سپس حداکثر بار لازم به منظور کشیدن میخ از هر یک از سطوح شعاعی، مماسی و سطح مقطع نمونه چوب برای محاسبه ظرفیت نگهداری میخ، اندازه‌گیری شد.

## نتایج

جرم ویژه نسبی چوب بلوط بلندمازو بر مبنای وزن خشک بر حجم‌تر، مقدار  $۰/۶۱۸$  محاسبه شد. در ارتباط با خواص مکانیکی، به عنوان نمونه، مقادیر میانگین مدول گسیختگی نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک به تفکیک شماره درخت و بینه‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقادیر حاصله حاکی از آنست که بین مقادیر مدول گسیختگی نمونه‌های تر در بینه‌های مختلف (ارتفاع‌های مختلف درخت) در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۱- مقادیر میانگین مدول گسیختگی نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در بینه‌های مختلف درختان

مدول گسیختگی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)				
شماره بینه	درخت اول	درخت دوم	درخت سوم	میانگین مجموع
۱	۷۹۷	۷۶۳	۶۴۸	۷۵۴
۲	۷۷۷	۷۵۷	۵۷۷	۷۵۵
۳	۷۵۷	۷۷۸	۶۴۶	۷۴۵
۴	۷۹۷	۸۱۶	۶۳۴	۷۷۹
۵	۷۷۶	۷۵۶	۶۹۷	۷۴۰
۶	—	۷۳۶	۶۴۱	۷۰۷
۷	—	۷۴۳	۶۵۲	۷۰۴
۸	—	۷۸۹	۶۳۹	۷۴۴
۹	—	۷۷۹	۵۵۱	۷۱۴
میانگین	۷۸۰	۷۷۰	۶۵۲	۷۴۴

جدول ۲ - آنالیز واریانس یک طرفه مدول گسیختگی نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در بین‌های مختلف درختان

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	سطح احتمال
بین گروه‌ها	۸	۱۰۵۶۲۶/۶۴۰۶	۱۳۲۰۳/۳۳۰۱	۱/۵۱۷۸	۰/۱۵۱۰
درون گروه‌ها	۲۶۴	۲۲۹۶۵۴۶/۶۲۹	۸۶۹۹/۰۴۰۳		
مجموع	۲۷۲	۲۴۰۲۱۷۳/۲۷۰	—		

مقادیر میانگین مدول گسیختگی نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در جهات مختلف درختان مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقادیر حاصله، وجود اختلاف معنی‌دار ما بین مقادیر مدول گسیختگی در جهات مختلف درخت در سطح اطمینان یک درصد را تأیید می‌نماید (جدول ۴).

جدول ۳ - مقادیر میانگین مدول گسیختگی نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در جهت‌های مختلف درختان

مدول گسیختگی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)				
جهت جغرافیایی	درخت اول	درخت دوم	درخت سوم	میانگین مجموع
شرق	۷۷۷	۷۶۷	۶۶۷	۷۳۳
شمال	۶۶۸	۷۵۵	۶۲۰	۷۳۳
جنوب	۸۱۶	۸۱۱	۶۸۲	۷۸۶
غرب	۷۶۹	۷۴۰	۶۲۷	۷۲۶
میانگین	۷۸۰	۷۷۰	۶۵۲	۷۴۴

جدول ۴ - آنالیز واریانس مدول گسیختگی نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در جهت‌های مختلف درختان

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	سطح احتمال
بین گروه‌ها	۳	۱۵۷۶۰۵/۹۶۵۰	۵۲۵۳۵/۳۲۱۷	۶/۲۹۶۱	۰/۰۰۰۴
درون گروه‌ها	۲۶۹	۲۲۴۴۵۶۷/۳۰۵	۸۳۴۴/۱۱۶۴		
مجموع	۲۷۲	۲۴۰۲۱۷۳/۲۷۰	—		



در جدول ۵، مقادیر میانگین مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک به تفکیک شماره درخت و بینه‌های مختلف درختان مورد آزمایش درج شده است. با استفاده از این داده‌ها و با اندازه‌گیری کرنش‌های سطحی، می‌توان تغییرات تنش‌های رویشی در ارتفاعات مختلف درختان بلوط را بررسی نمود (۳). همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، بین مقادیر مدول الاستیسیته ظاهری در بینه‌های مختلف در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۵ - مقادیر میانگین مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در بینه‌های مختلف درختان

مدول الاستیسیته (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)				
شماره بینه	درخت اول	درخت دوم	درخت سوم	میانگین مجموع
۱	۷۶۰۵۷	۷۶۴۲۱	۵۸۱۱۰	۷۲۰۹۸
۲	۷۳۹۱۸	۱۰۱۱۳۳	۶۵۲۸۱	۸۷۴۲۱
۳	۷۲۸۴۲	۹۶۷۲۶	۶۳۴۵۷	۸۳۹۵۰
۴	۶۸۹۴۳	۱۰۸۵۸۹	۶۳۰۵۲	۸۷۵۸۸
۵	۸۶۰۳۸	۱۰۶۹۱۳	۶۶۰۹۳	۸۴۳۰۴
۶	—	۹۶۵۲۰	۶۲۱۵۸	۸۵۶۶۹
۷	—	۱۰۰۰۴۷	۶۳۶۴۶	۸۶۳۹۷
۸	—	۹۳۷۹۰	۶۱۰۵۲	۸۲۳۳۲
۹	—	۹۵۲۸۱	۵۱۲۱۲	۷۹۵۴۲
میانگین	۷۶۶۳۶	۹۵۶۷۹	۶۲۱۰۲	۸۲۵۵۶

جدول ۶ - آنالیز واریانس مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در بینه‌های مختلف درختان

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	سطح احتمال
بین گروه‌ها	۸	۸۰۶۲۱۷۶۴۸۹	۱۰۰۷۷۷۲۰۶۱		
درون گروه‌ها	۲۷۱	$۳/۴۰۵۲۰ \times ۱۰^{۱۱}$	۱۲۵۶۵۲۹۵۵۳	۰/۸۰۲۰	۰/۶۰۱۳
مجموع	۲۷۹	$۳/۴۸۵۸۲ \times ۱۰^{۱۱}$	—		

جدول ۷، مقادیر میانگین مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در جهت‌های مختلف درختان را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد (جدول ۸)،

مابین مقادیر مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های تر در جهات مختلف، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. لازم به ذکر است درخصوص مدول الاستیسیته واقعی، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار مابین بینه‌های مختلف و جهات جغرافیایی مختلف مشاهده شد.

جدول ۷- مقادیر میانگین مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در جهت‌های مختلف درختان

مدول گسیختگی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)				
جهت جغرافیایی	درخت اول	درخت دوم	درخت سوم	میانگین مجموع
شرق	۶۹۱۸۹	۱۱۶۴۹۲	۶۳۴۴۵	۸۶۳۲۶
شمال	۷۸۶۵۲	۷۷۳۵۰	۶۳۱۷۷	۷۴۷۹۲
جنوب	۷۳۵۴۳	۹۴۵۱۹	۵۹۳۹۹	۸۱۹۶۰
غرب	۸۲۷۲۵	۱۰۹۳۶۴	۶۱۱۷۷	۸۹۱۳۴
میانگین	۷۶۶۳۶	۹۵۶۷۹	۶۲۱۰۲	۸۲۵۵۶

جدول ۸- آنالیز واریانس مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های تر آزمایش خمش استاتیک در جهت‌های مختلف درختان

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
بین گروه‌ها	۳	۸۵۵۵۱۳۷۴۴۸	۲۸۵۱۷۱۲۴۸۳		
درون گروه‌ها	۲۷۶	$۳/۴۰۰۲۷ \times ۱۰^{۱۱}$	۱۲۳۱۹۸۰۲۴۶	۲/۳۱۴۷	۰/۰۷۶۱
مجموع	۲۷۹	$۳/۴۸۵۸۲ \times ۱۰^{۱۱}$	—		

آنالیز واریانس مقادیر میانگین تنش حداکثر نمونه‌های تر آزمایش فشار موازی الیاف در بینه‌های مختلف حاکی از آنست که مابین مقدار مقاومت فشار موازی الیاف درختان در بینه‌های مختلف در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار است، در حالی که بین جهات مختلف جغرافیایی، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. تجزیه واریانس مقادیر تنش حد تناسب نمونه‌های تر آزمایش فشار عمود بر الیاف درختان حاکی از آنست که مابین مقادیر مقاومت فشار عمود بر الیاف در بینه‌های مختلف در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار نیست در حالی که در جهات مختلف، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در خصوص مقادیر میانگین تنش حداکثر نمونه‌های تر آزمایش برش موازی الیاف در بینه‌های مختلف درختان، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. به همین ترتیب نتایج حاصل از

تجزیه واریانس نمونه‌ها، حاکی از آنست که بین مقاومت برش موازی الیاف در جهات مختلف، اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد وجود ندارد.

تجزیه واریانس مشاهدات مربوط به مقادیر میانگین تنش حداکثر نمونه‌های تر آزمایش کشش عمود بر الیاف در بینه‌های مختلف درختان بیانگر آنست که، مقاومت کششی عمود بر الیاف نمونه‌های تر در بینه‌ها (ارتفاع‌های) مختلف در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیست. وضعیتی مشابه درخصوص جهات جغرافیایی مختلف، حاکم می‌باشد.

مقادیر میانگین کار استاندارد نمونه‌های تر آزمایش مقاومت به ضربه حاکی از آنست که بین کار استاندارد مقاومت به ضربه نمونه‌های تر، در بینه‌های مختلف در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همین وضعیت درخصوص جهات جغرافیایی مختلف مشاهده می‌شود. در رابطه با مقاومت به شکاف‌خوری، در بینه‌های مختلف در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار دیده می‌شود، در حالی که در جهات جغرافیایی مختلف، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده نشد. تجزیه واریانس مشاهدات مربوط به سختی سطح مماسی و شعاعی، اختلاف معنی‌داری را ما بین بینه‌ها (ارتفاع‌های) مختلف درختان در سطح یک درصد نشان می‌دهد. درحالی‌که چنین اختلافی برای جهات جغرافیایی در سطح پنج درصد مشاهده نشد.

در خصوص میانگین سختی سطح مقطع نمونه‌های تر درختان مورد آزمون در بینه‌ها (ارتفاع‌ها) و جهات مختلف، تجزیه واریانس مشاهدات مذکور، حاکی از آنست که اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. مقادیر میانگین ظرفیت نگهداری میخ در سطح مماسی نمونه‌های تر درختان در بینه‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری را در سطح پنج درصد نشان می‌دهد. در حالی‌که در جهات جغرافیایی مختلف، تجزیه واریانس مشاهدات مذکور، حاکی از اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

مقادیر میانگین ظرفیت نگهداری میخ در سطح شعاعی نمونه‌های تر درختان در بینه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان می‌دهد، در حالی‌که تجزیه واریانس مشاهدات در جهت‌های مختلف جغرافیایی حاکی از آنست که بین ظرفیت نگهداری میخ شعاعی نمونه‌های تر آزمایش در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار نیست.

در خصوص مقادیر میانگین ظرفیت نگهداری میخ در سطح مقطع نمونه‌های تر درختان در بینه‌های مختلف، در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود. در حالی‌که بین سختی سطح مقطع نمونه‌های تر آزمایش در جهات جغرافیایی مختلف، اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است.

در جدول ۹، خلاصه نتایج حاصل از انجام آزمون‌های نمونه‌های تر گونه بلوط از رویشگاه گل‌بند نوشهر به همراه ضرایب تغییرات محاسبه شده و میانگین ضریب تغییرات مندرج در کتابچه راهنمای چوب<sup>۱</sup> مشاهده می‌گردد.

جدول ۹ - خلاصه نتایج حاصل از انجام آزمون نمونه‌های تر گونه بلوط از رویشگاه گلپند نوشهر

درصد ضریب تغییرات (مشاهده شده) (کتابچه راهنما)		میانگین	مشخصه	نوع آزمون
—	۱۷	$568 \text{ kg/cm}^2$	تنش حد تناسب	خمش استاتیک
۱۵	۱۳	$744 \text{ kg/cm}^2$	مدول گسیختگی	
—	۴۳	$82556 \text{ kg/cm}^2$	مدول الاستیسیته ظاهری	
—	۱۶	$86063 \text{ kg/cm}^2$	مدول الاستیسیته واقعی	
—	۳۲	$20 \text{ kJ/m}^2$	انرژی حد تناسب	
۳۴	۲۵	$56 \text{ kJ/m}^2$	انرژی حداکثر	
—	۱۸	$264 \text{ kg/cm}^2$	تنش حد تناسب	فشار موازی الیاف
۱۸	۱۳	$317 \text{ kg/cm}^2$	تنش حداکثر	
—	۲۰	$0.18 \text{ mm/mm}$	کرنش حداکثر	
—	۳۷	$27183 \text{ kg/cm}^2$	مدول الاستیسیته طولی	
—	۲۷	$1888 \text{ Kgmm}$	انرژی حد تناسب	
—	۳۳	$4665 \text{ Kgmm}$	انرژی حداکثر	
۲۸	۲۵	$112 \text{ kg/cm}^2$	تنش حد تناسب	فشار عمود بر الیاف
—	۴۵	$1610 \text{ Kgmm}$	انرژی حد تناسب	
—	۱۷	$6745 \text{ Kgmm}$	انرژی حداکثر	
۱۴	۱۱	$109 \text{ kg/cm}^2$	تنش حداکثر	برش موازی الیاف
—	۲۸	$3211 \text{ Kgmm}$	انرژی حد تناسب	
—	۲۸	$3508 \text{ Kgmm}$	انرژی حداکثر	
—	۲۸	$63 \text{ kg/cm}^2$	تنش حداکثر	کشش عمود بر الیاف
۳۴	۳۱	$3/34 \text{ Kgm}$	کار استاندارد	مقاومت به ضربه
—	۲۰	$90 \text{ kg/cm}$	مقاومت به شکافخوری	شکافخوری
۲۰	۱۰	$642 \text{ kg}$	سختی سطح مماسی	سختی
۲۰	۱۲	$661 \text{ kg}$	سختی سطح شعاعی	
۲۰	۹	$665 \text{ Kg}$	سختی سطح مقطع	
—	۶	$54 \text{ kg/cm}$	ظرفیت نگهداری میخ در سطح مماسی	میخ کنشی
—	۱۶	$62 \text{ kg/cm}$	ظرفیت نگهداری میخ در سطح شعاعی	
—	۲۰	$40 \text{ kg/cm}$	ظرفیت نگهداری میخ در سطح مقطع	
—	۱۵	۱۳ %	همکشیدگی حجمی	همکشیدگی

## بحث نتیجه گیری

چوب یک ماده طبیعی بوده و به همین علت در خواص آن تغییرات زیادی مشاهده می‌شود. اساساً خواص چوب بین گونه‌های مختلف، در داخل یک گونه برحسب رویشگاه و شرایط آن در ارتفاعات مختلف تنه یک درخت، در جهات مختلف جغرافیایی و با توجه به مقاطع مختلف آن در تغییر می‌باشد (۱۱ و ۱۳).

بدین ترتیب تغییرات مشاهده شده در بینه‌ها و جهات جغرافیایی مختلف (جدول ۱، ۳، ۵ و ۷) قابل توجه است. از طرفی ضریب تغییرات مشاهدات در مقایسه با میانگین ضریب تغییرات مندرج در کتابچه راهنمای چوب، عمدتاً کمتر بوده و قابل قبول می‌باشد.

تحلیل آماری مشاهدات، حاکی از آنست که عمده خواص مهندسی چوب بلندمازو در طول درخت و در جهات جغرافیایی مختلف آن، در تغییر می‌باشد که این امر می‌تواند به سبب طبیعت چوب و یا بعضاً شرایط محیطی رویشگاه باشد. لازم به ذکر است در خصوص برش موازی الیاف، کشش عمود بر الیاف و مقاومت به ضربه اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد در راستای طولی درخت و در جهات جغرافیایی مختلف مشاهده نگردید. همچنین براساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد مقاومت‌های مکانیکی نمونه‌های تر در طول درخت دارای تغییرات بیشتری نسبت به جهات جغرافیایی مختلف می‌باشند که این مطلب با توجه به سطوح معنی داری تفاوت‌ها در آزمون‌های شکاف خوری، سختی سطوح مماسی و شعاعی و ظرفیت نگهداری میخ سطوح شعاعی و سطح مقطع مشخص می‌گردد.

در جدول ۱۰، خواص مهندسی چوب بلوط بلندمازو در سیستم متریک در مقایسه با چوب گونه‌های مختلف جنس بلوط بومی ایالات متحده آمریکا، برگرفته از کتابچه راهنمای چوب، مشاهده می‌گردد (۱۳). لازم به ذکر است مقادیر سختی مندرج در جدول، میانگین سختی سطوح مماسی و شعاعی است. به منظور تعیین گونه‌ای که چوب آن بیشترین قرابت را از نظر خواص مکانیکی با بلندمازو داشته باشد از روش کمترین مجموع مربعات اختلافات استفاده شد. به علت تفاوت در دیمانسیون واحد خواص مکانیکی و نیز عدم تجانس در بزرگی اعداد، در ابتدا مقدار هر یک از خواص گونه‌های مختلف، بی‌مقیاس گردید. این کار از طریق تقسیم کردن مقدار هر یک از خواص گونه‌های مختلف بر مجموع این مقادیر انجام شد. در نهایت پس از جذرگیری از میانگین مجموع مربعات اختلافات مقادیر حاصله، شاخص انحراف محاسبه شد.

بدین ترتیب گونه‌هایی که بیشترین نزدیکی را از لحاظ خواص مهندسی با بلندمازو دارند شناسایی شد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود گونه Live white oak دارای کمترین شاخص انحراف نسبت به بلندمازو می‌باشد که البته به علت عدم وجود داده‌های مربوط به کشش عمود بر الیاف و سختی ممکن است قیاس مناسبی نباشد. در میان سایر گونه‌ها، با لحاظ نمودن کلیه ۸ خصوصیت مندرج در کتابچه راهنمای چوب، ملاحظه می‌گردد که در حالت تر، خواص مهندسی گونه Post white oak در مجموع دارای کمترین شاخص انحراف از بلندمازو بوده و در نتیجه بیشترین قرابت را با آن دارا می‌باشد. در این میان، مدول الاستیسیته ظاهری، کشش عمود بر الیاف و برش موازی الیاف، به ترتیب کمترین تفاوت (بیشترین قرابت) و فشار عمود بر الیاف بیشترین تفاوت موجود ما بین دو گونه مذکور را دارا می‌باشد. لازم به ذکر است چنانچه تنها یک خصوصیت

منفرد به منظور کاربردی مشخص مدنظر باشد، ملاحظه می‌شود که هر یک از خصوصیات بلندمازو به یکی از گونه‌های بلوط بومی امریکا مشابهت بیشتری دارد. به طور مثال در مورد مدول گسیختگی و برش موازی الیاف، بلندمازو بیشترین قرابت را به گونه Scarlet Red Oak دارا بوده و از لحاظ سختی و فشار موازی الیاف بیشترین نزدیکی را با Cherrybark Red Oak دارا می‌باشد. از آنجا که خواص مکانیکی چوب به وزن مخصوص آن وابسته می‌باشد (۱ و ۱۳)، توجه در وزن مخصوص چوب بلندمازو در حالت تر (۰/۶۱۸) و وزن مخصوص گونه‌های Scarlet Red Oak, Post White Oak, Cherrybark Red Oak (به ترتیب ۰/۶، ۰/۶۱، ۰/۶)، مشابهت خواص مهندسی گونه‌های مذکور را توجیه می‌کند.

جدول ۱۰- خواص مهندسی چوب بلوط بلندمازو در مقایسه با نمونه‌های بلوط بومی ایالات متحده امریکا (در حالت تر)

	شاخص انحراف	سختی (N)	کشش عمود برالیاف (kpa)	برش موازی الیاف (kpa)	فشار عمود برالیاف (kpa)	فشار موازی الیاف (kpa)	کارحداکثر (kJ/m <sup>3</sup> )	مدول الاستیسینه ظاهری (Mpa)	مدول گسیختگی (kpa)	وزن مخصوص درحالت تر
Q.Castanaefolia	—	۶۳۸۷	۶۱۷۶	۱۰۶۸۶	۱۰۹۸۰	۳۱۰۷۸	۵۶	۸۰۹۴	۷۲۹۴۱	۰/۶۱۸
Red Oak	Black	۰/۰۲۷۵	۴۷۰۰	—	۸۴۰۰	۴۹۰۰	۲۳۹۰۰	۸۴	۵۷۰۰۰	۰/۵۶
	Cherrybark	۰/۰۲۶۰	۵۵۰۰	۵۵۰۰	۹۱۰۰	۵۲۰۰	۳۱۹۰۰	۱۰۱	۷۴۰۰۰	۰/۶۱
	Laurel	۰/۰۲۹۹	۴۴۰۰	۵۳۰۰	۸۱۰۰	۳۹۰۰	۲۱۹۰۰	۷۷	۵۴۰۰۰	۰/۵۶
	Northern red	۰/۰۲۹۲	۴۴۰۰	۵۲۰۰	۸۳۰۰	۴۲۰۰	۲۳۷۰۰	۹۱	۵۷۰۰۰	۰/۵۶
	Pin	۰/۰۲۶۲	۴۸۰۰	۵۵۰۰	۸۹۰۰	۵۰۰۰	۲۵۴۰۰	۹۷	۵۷۰۰۰	۰/۵۸
	Scarlet	۰/۰۲۴۱	۵۳۰۰	۴۸۰۰	۹۷۰۰	۵۷۰۰	۲۸۲۰۰	۱۰۳	۷۲۰۰۰	۰/۶۰
	Southern red	۰/۰۳۴۱	۳۸۰۰	۳۳۰۰	۶۴۰۰	۳۸۰۰	۲۰۹۰۰	۵۵	۴۸۰۰۰	۰/۵۲
	Water	۰/۰۲۷۶	۴۵۰۰	۵۷۰۰	۸۵۰۰	۴۳۰۰	۲۵۸۰۰	۷۷	۶۱۰۰۰	۰/۵۶
	Willow	۰/۰۲۹۰	۴۴۰۰	۵۲۰۰	۸۱۰۰	۴۲۰۰	۲۰۷۰۰	۶۱	۵۱۰۰۰	۰/۵۶
White Oak	Bur	۰/۰۲۶۶	۴۹۰۰	۵۵۰۰	۹۳۰۰	۴۷۰۰	۲۲۷۰۰	۷۴	۵۰۰۰۰	۰/۵۸
	Chestnut	۰/۰۳۰۵	۴۰۰۰	۴۸۰۰	۸۳۰۰	۳۷۰۰	۲۴۳۰۰	۶۵	۵۵۰۰۰	۰/۵۷
	Live	۰/۰۲۱۳	—	—	۱۵۲۰۰	۱۴۱۰۰	۳۷۴۰۰	۸۵	۸۲۰۰۰	۰/۸
	Overcup	۰/۰۳۰۶	۴۳۰۰	۵۰۰۰	۹۱۰۰	۳۷۰۰	۲۳۲۰۰	۸۷	۵۵۰۰۰	۰/۵۷
	Post	۰/۰۲۲۰	۵۰۰۰	۵۴۰۰	۸۸۰۰	۵۹۰۰	۲۴۰۰۰	۷۶	۵۶۰۰۰	۰/۶۰
	Swamp Chestnut	۰/۰۲۹۵	۴۹۰۰	۴۶۰۰	۸۷۰۰	۳۹۰۰	۲۴۴۰۰	۸۸	۵۹۰۰۰	۰/۶
	Swamp White	۰/۰۲۵۲	۵۲۰۰	۵۹۰۰	۹۰۰۰	۵۲۰۰	۳۰۱۰۰	۱۰۰	۶۸۰۰۰	۰/۶۴
	White	۰/۰۲۶۶	۴۷۰۰	۵۳۰۰	۸۶۰۰	۴۶۰۰	۲۴۵۰۰	۸۰	۵۷۰۰۰	۰/۶۰

## منابع

- ۱- ابراهیمی، قنبر. ۱۳۶۷. مقاومت‌های مکانیکی چوب و عناصر آن و تحلیل تاب اوراق مرکب چوب، دانشگاه تهران.
- ۲- ابراهیمی، قنبر. ۱۳۶۸. مکانیک چوب و فراورده‌های مرکب آن، دانشگاه تهران
- ۳- ابراهیمی، قنبر. ۱۳۷۸. تنش‌ها و کرنشهای رشد در درختان، دانشگاه تهران
- ۴- پارساپژوه، داود. ۱۳۶۷. تکنولوژی چوب. دانشگاه تهران
- ۵- شفیعی‌فر، سعید و همکاران، ۱۳۷۴. طرح تعیین خواص مهندسی کاربردی چوبهای جنگلی ایران، گونه راش منطقه گلبند نوشهر. دفتر فنی صنایع چوب، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. وزارت جهاد کشاورزی
- ۶- شفیعی‌فر، سعید و همکاران، ۱۳۷۵. طرح تعیین خواص مهندسی کاربردی چوبهای جنگلی ایران، گونه توسکا بیلاقی منطقه نوشهر. دفتر فنی صنایع چوب، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. وزارت جهاد کشاورزی
- ۷- شفیعی‌فر، سعید و همکاران، ۱۳۷۶. طرح تعیین خواص مهندسی کاربردی چوبهای جنگلی ایران، گونه افرا شیردار منطقه گلبند نوشهر. دفتر فنی صنایع چوب، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. وزارت جهاد کشاورزی
- ۸- مختومی، عبدالناصر و همکاران، ۱۳۸۰. طرح تعیین خواص مهندسی کاربردی چوبهای جنگلی ایران، گونه توسکا بیلاقی منطقه سنگده ساری. دفتر فنی صنایع چوب، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. وزارت جهاد کشاورزی
- ۹- نخعی، مجید ناصر و همکاران، ۱۳۷۶. طرح تعیین خواص مهندسی کاربردی چوبهای جنگلی ایران، گونه ممرز منطقه سنگده ساری. دفتر فنی صنایع چوب، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. وزارت جهاد کشاورزی
- 10- ASTM. [Current edition]. Standard methods for testing small clear specimens of timber. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
11. Bodig, J.; Jayne, B.A. 1982. Mechanics of wood and wood composites. New York, Van Nostrand Reinhold Company.
12. Dahlblom, O.; Ormarsson, S.; Petersson, H. 1996. Simulation of wood deformation processes in drying and other types of environmental loading. Ann Sci for. 53, 857-866.
13. Forest product laboratory. 1999. Wood handbook - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S.Department of Agriculture, Forest Service.
14. Gerhards, C.C. 1968. Effects of type of testing equipment and specimen size on toughness of wood. Res. Pap. FPL-RP-97. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest products laboratory.

15. Gerhards, C.C. 1982. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: and analysis of immediate effects. *Wood and fiber*. 14 (1): 4-36.
16. Kretschmann, D. E.; Green, D. W. 1996. Modeling Moisture content - Mechanical property relationships for clear Southern Pine. *Wood and fiber Science*. 28(3): 320-337.
17. Kollmann, F.F.P; Cote, W.A. 1984. Principles of wood Science and Technology. Springer-Verlag.