مقایسه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب کاج تدا با گونه‌های تند رشد رایج

چکیده

کاج تدا (*Pinus taeda*) یکی از گونه‌های تند رشد و با ظرفیت تولید چوب بالا می‌باشد. با توجه به جنگل‌کاری‌های انجام‌شده ازاین‌گونه در شمال کشور، می‌تواند جایگزین مناسبی برای برخی دیگر از گونه‌های تند رشد وارداتی باشد. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی گونه کاج تدا در مقایسه با چهار گونه رایج صنوبر، کاج الدار، نزاد و ساسنا است. برای این منظور ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پنج گونه نامبرده شده اندازه‌گیری و آنالیز آماری انجام شد. نتایج نشان داد که کاج تدا دانسیته، جذب آب و واکشیدگی حجمی کمتری نسبت به چهار گونه دیگر دارد. در مورد ویژگی‌های مکانیکی، نتایج نشان داد که کاج تدا با داشتن دانسیته کمتر نسبت به گونه‌های دیگر، مقاومت‌های مکانیکی حد متوسطی دارد. توان نگهداری پیچ و میخ برای کاج تدا در جهت‌های موازی و عمود بر الیاف اختلاف چندانی با گونه‌های دیگر نداشت. همچنین مقاومت اتصالات کام و زبانه و دوبل برای کاج تدا بیشتر از سایر گونه‌ها بود و اختلاف معنی‌داری با آن‌ها داشت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، گونه کاج تدا با داشتن دانسیته پایین و مقاومت‌های مکانیکی مناسب می‌تواند جایگزین مناسبی برای برخی گونه‌های تند رشد وارداتی باشد. همچنین به‌منظور جنگل‌کاری و کشت چوب در مناطق مختلف کشور توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: کاج تدا، ویژگی فیزیکی، ویژگی مکانیکی، جنگلکاری.

حمید خدابنده‌لو[1*]
مهدی کلاگر[2]
حسین حقیقی‌منش[3]
بهروز کرمدوست مریان[4]

[1] کارشناس ارشد مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، پژوهشگر سازمان اتکا، تهران، ایران

[2] دکتری مهندسی صنایع چوب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، کارمند سازمان اتکا، تهران، ایران

[3] کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه امیرکبیر، کارمند سازمان اتکا، تهران، ایران

[4] دکتری اقتصاد و مدیریت منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی ارومیه، کارمند سازمان اتکا، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
h_khodabandeh@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

مقدمه

جنگل‌ها کامل‌ترین، باارزش‌ترین و متنوع‌ترین پوشش گیاهی زمین را تشکیل می‌دهند که طی میلیون‌ها سال با تکامل جوامع گیاهی شکل‌گرفته‌اند. جنگل‌های شمال ایران دارای منابع چوبی ارزشمندی همچون راش، بلوط، زبان‌گنجشک، ملج و ... است. چوب یکی از قدیمی‌ترین مواد اولیه و سرمایه‌ای گران‌بها برای انسان بوده است که به دلیل خواص مهمی از قبیل سبکی، مقاومت مکانیکی، عایق بودن به صدا و حرارت، شکل‌پذیری، زیبایی و ... نقش بسزایی در زندگی بشر داشته است [۱]. ازآنجایی‌که میزان بهره‌برداری از جنگل‌ها و مراتع بیش از توان اکولوژیک است، نیاز روزافزون به چوب و کاهش منابع چوبی، سبب ایجاد و تشدید جنگل‌کاری با گونه‌های تند رشد شده است [۲]. امروزه در کشورهای درحال‌توسعه تأکید زیادی بر جنگل‌کاری به‌منظور بهبود قابلیت تولید چوب و حفظ تعادل اکولوژیکی می‌شود. جنگل‌های طبیعی به‌ویژه، در کشورهای حاره‌ای درگذشته به‌منظور تأمین نیازهای چوبی، سوختی و کاغذ، بی‌رویه بهره‌برداری شده‌اند. در سال‌های اخیر به‌منظور جلوگیری از قطع این منابع باارزش، ایجاد جنگل‌های مصنوعی با کاشت گونه‌های سریع‌الرشد در دستور کار قرارگرفته است [۳]. یکی از این گونه‌ها کاج تدا (*Pinus taeda*) است که

می‌تواند موارد استفاده متعددی داشته باشد. کاج تدا از سازگارترین انواع کاج در دنیا بوده و رویشگاه اصلی آن جنوب و جنوب شرقی ایالات‌متحده است، از جلگه‌های ساحلی تا کوهپایه و حدود ۴۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا انتشار دارد و جنگل‌های خالص و آمیخته‌ی وسیعی را تشکیل می‌دهد. این درخت به‌طور موفقیت‌آمیزی در بسیاری از کشورهای جهان به‌عنوان گونه وارداتی کاشته شده است [۴]. کاج تدا یکی از گونه‌های تند رشد است که سازگاری مناسبی در جنگل‌کاری‌های استان گیلان داشته است. این‌گونه حدود ۲۳۵۰ هکتار از جنگل‌کاری‌های استان را به خود اختصاص داده است. میزان تولید سالیانه چوب این‌گونه در سن ۱۷ سالگی ۱۶/۴ مترمکعب در هکتار بوده که قابل‌ملاحظه است [۵]. کاج تدا در طرح‌های جنگل‌کاری در ایجاد بادشکن و دیگر صنایع مانند صنایع ساختمانی مصرف زیادی دارد. چوب این‌گونه در صنایع مبل‌سازی به‌خصوص در کشورهای توسعه‌یافته کاربرد زیادی دارد. اهمیت تجاری این‌گونه بسیار زیاد است، چون این‌گونه از طول الیاف بالایی حدود ۳/۶ میلی‌متر برخوردار است، لذا این‌گونه در کاغذسازی مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌طورکلی می‌توان گفت این‌گونه یک درخت با زنده‌مانی متوسط، سازگاری متوسط با رویش سریع در سنین جوانی است. کیفیت چوب گونه‌های تندرشد بیشترین اثرپذیری را از الگوی رشد گیاه دارد. کاربرد نهایی، ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی میزان کیفیت چوب برای استفاده صنعتی را مشخص می‌کنند [۶]. بررسی‌ها نشان داده است که ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی گونه‌های مختلف خانواده کاج تدا متفاوت است. بنابراین، بررسی و مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خانواده کاج تدا با ابزارهای به‌روز و بر پایه کاربردهای نهایی، و مشخص کردن ویژگی‌های برتر گونه‌های مختلف می‌تواند در گزینش گونه ممتاز برای کاربردهای صنعتی رویکردی مناسب باشد. امروزه، از روش‌های نوینی مانند مهندسی ژنتیک و روش‌های پرورشی برای بهبود خواص مکانیکی کاج تدا نیز استفاده می‌شود و گونه‌های ترا ریخته مهندسی‌شده با ویژگی‌های برتر فیزیکی و مکانیکی تولیدشده است [۷]. کاج تدا مقاومت کششی بهتری نسبت به دیگرگونه‌های رایج در مدل‌سازی و ساخت چندسازه‌های چوبی نشان داده است [۸]. Golbabaei و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب کاج تدا در دو رویشگاه گیلان و مازندران و مقایسه آن با رویشگاه اصلی کاج تدا (کالیفرنیا) پرداختند [۹]. نتایج این تحقیق نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این‌گونه در رویشگاه اصلی آن (کالیفرنیا) به‌مراتب بهتر از دو رویشگاه گیلان و مازندران است و همچنین رویشگاه گیلان نتایج مطلوب‌تری را نسبت به رویشگاه مازندران داشت. نتایج بررسی ویژگی‌های مکانیکی کاج تدا اصلاح‌شده ژنتیکی دو تا سه‌ساله نشان داد نمونه‌های اصلاح‌شده ویژگی‌های مکانیکی بهتری نسبت به نمونه‌های شاهد دارند [۱۰]. Schimleck و همکاران (۲۰۱۸) دانسیته، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی کاج تدا را با چندگونه دیگر کاج مقایسه کردند، نتایج نشان داد میانگین دانسیته، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در نمونه‌های کاج تدا به ترتیب ۰/۵۱ g/cm^3، ۸۰۱۵ MPa و ۶۱ MPa است [۱۱]. تحقیقی که برای اندازه‌گیری و مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ۱۴ دسته برگزیده کاج تدا در دو رویشگاه جورجیا و فلوریدا آمریکا انجام شد، نشان داد رویشگاه اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی گونه‌های چوبی دارد، همچنین دانسیته و مدول گسیختگی اثرپذیری بیشتری از نوع رویشگاه داشت [۱۲]. علیرغم اینکه تندرشد بودن یک مزیت برای کاج تدا محسوب می‌شود اما می‌تواند اثر منفی بر ویژگی‌های مکانیکی و مقاومتی آن داشته باشد. به همین دلیل، بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب کاج تدا و مقایسه آن با گونه‌های پرکاربرد صنعتی ضروری به نظر می‌رسد. با این هدف، تحقیق حاضر برای مقایسه این ویژگی‌ها در کاج تدا با گونه‌های صنوبر، نزاد، ساسنا و کاج الدار انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های چوبی

تعداد سه اصله گرده‌بینه چوب گونه کاج تدا (*Pinus teada*) از منطقه جنگل‌کاری چوبر-خرفگل- شفت گیلان با قطر ۲۵ سانتی‌متر و طول

یک متر و با داشتن حدوداً ۱۸ حلقه سالیانه در مقطع عرضی از ارتفاع برابرسینه قطع شد. گرده‌بینه‌ها پس از برش دادن، چند ماه در هوای آزاد خشک شدند. پس از خشک شدن تخته‌ها، به‌منظور یکسان‌سازی رطوبت، نمونه‌های آزمونی پس از برش از قسمت برون چوب طبق استاندارد به مدت ۲۱ روز در اتاق مشروط سازی (کلیما) تحت دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٪۶۵ نگهداری شدند. گونه‌های دیگر از بازار آزاد بانام‌های تجاری صنوبر، نزاد، ساسنا و کاج الدار تهیه شد. از هرکدام از گونه‌ها سه تخته به ابعاد ۵×۱۵×۲۰۰ سانتی‌متر (طول، عرض و ضخامت) خریداری شد. با توجه به اینکه هدف مقایسه ویژگی‌های این گونه‌ها با گونه کاج تدا بود سعی شد که تخته‌های خریداری‌شده از قسمت برون چوب و دارای تعداد حلقه سالیانه ۱۶ الی ۲۰ عدد باشد.

شناسایی میکروسکوپی

به‌منظور شناسایی دقیق این گونه‌ها از تکنیک شناسایی میکروسکوپی استفاده شد. برای این منظور از تمامی تخته‌های خریداری‌شده نمونه‌های مکعبی کوچکی تهیه شد و به مدت ۲۴ ساعت برای نرم شدن بافت چوبی درون آب قرار داده شد. پس از نرم شدن بافت چوبی نمونه‌ها، به‌وسیله میکروتوم لغزشی از مکعب‌های کوچک، مقاطع شعاعی، مماسی و عرضی به ضخامت تقریبی ۱۰ میکرومتر تهیه شد و پس از انجام مراحل شستشو در آب‌ژاول، رنگ‌آمیزی دوگانه با سافرانین/آسترابلو نیم درصد محلول در آب، سایر مراحل نیز طبق روش Gärtner و Schweingruber (۲۰۱۳) انجام شدند [۱۳]. لام‌های تهیه‌شده برای تثبیت کامل چسب به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شد و سپس مطالعات میکروسکوپی بر روی آن‌ها انجام شد. ویژگی‌های میکروسکوپی نمونه‌ها بر اساس فهرست ویژگی‌های میکروسکوپی برای شناسایی سوزنی‌برگان و پهن برگان انجمن بین‌المللی آناتومیست‌های چوب جهان (IAWA) بررسی شد [۱۴،۱۵].

آزمون‌های فیزیکی

به‌منظور تعیین خواص فیزیکی، نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM-D4446 به ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر (طول، عرض و ضخامت) درون ظرف حاوی آب در دمای محیط غوطه‌ور شدند. قبل از غوطه‌وری دانسیته نمونه‌ها در حالت خشک اجاقی اندازه‌گیری شد. سپس وزن و ابعاد نمونه‌ها طی آزمون غوطه‌وری (۲، ۸ و ۲۴ ساعت) تعیین شد. جذب آب و واکشیدگی حجمی بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$WA = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_0}\right) \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

WA: جذب آب (درصد)، W_1: وزن پس از غوطه‌وری در آب (گرم) و W_0: وزن اولیه قبل از غوطه‌وری در آب (گرم)

$$S = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_1}\right) \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

S= واکشیدگی‌حجمی (درصد)، V_2= حجم چوب پس از غوطه‌وری در آب (ساتی‌مترمکعب) و V_1= حجم چوب قبل از غوطه‌وری در آب (سانتی‌مترمکعب)

دانسیته نمونه‌ها در حالت خشک اجاقی (D_{od}) بر اساس رابطه ۳ محاسبه‌شده و به‌صورت $g\ cm^{-3}$ گزارش شد.

$$D_{od} = \frac{m_2}{V_2} \quad (۳)$$

که در این رابطه D دانسیته، m جرم چوب به گرم و v حجم چوب به سانتیمترمکعب می‌باشد.

آزمون‌های مکانیکی

مقاومت به خمش استاتیکی

برای این آزمون از دستگاه INSTRON - 4486 استفاده شد. جهت تعیین مقاومت به خمش، ابعاد ۲×۲×۳۰ سانتی‌متر (طول، عرض و ضخامت) طبق استاندارد (ASTM-D143) از نمونه‌ها برش داده شد. نمونه‌ها بر روی دو تکیه‌گاه بافاصله ۲۸ سانتی‌متر در دستگاه آزمایش قرار داده شد و نیرویی با سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه در جهت مماس بر دوایر سالیانه وارد شد و آزمایش زمانی که نمودار نیرو افت کرد (در این

وضعیت الیاف چوب در حال گسیختگی است و معمولاً صدای شکستگی چوب به‌وضوح شنیده می‌شود) متوقف و به‌وسیله این آزمایش مقادیر MOE و MOR اندازه‌گیری شد.

مقاومت به ضربه

مقاومت به ضربه انرژی لازم برای شکست کامل و آنی نمونه‌ای زیر بار متمرکز در وسط دهانه است. برای انجام این آزمایش از دستگاه SMF-300 استفاده شد. نمونه‌ها به ابعاد ۲×۲×۲۸ سانتی‌متر مطابق آیین‌نامه D143-94 استاندارد ASTM استفاده شد تهیه شد. سپس نمونه‌ها وسط دو تکیه‌گاه بافاصله ۲۴ سانتی‌متر قرار گرفتند و توسط آونگی ۱۰ کیلوگرمی مورد ضربه قرارگرفته و نمونه‌ها شکستند. سختی نمونه در سطوح شعاعی و مماسی اندازه‌گیری شد.

آزمون سختی

آزمون سختی طبق استاندارد ISO (1975) 3350بررسی شد. بدین منظور از دستگاه INSTRON-4486 با سرعت بارگذاری ۶ میلی‌متر در دقیقه استفاده گردید. در این حالت ابعاد نمونه‌ها طبق این استاندارد ۵*۵*۵ سانتی‌متر بود. با توجه به مقدار بار لازم برای فروکردن کامل کره‌ای به قطر ۱۱/۲۸ میلی‌متر در چوب، سختی نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند.

توان نگه‌داری پیچ و میخ

برای بررسی توان نگهداری پیچ و میخ، نمونه‌های آزمونی با پیروی از استاندارد ASTM D 1761 و با ابعاد ۵×۵×۱۵ سانتی‌متر (LTR) ساخته شدند. در این آزمون از پیچ خودکار با قطر ۵ میلی‌متر و از میخ با قطر ۳/۷۵ میلی‌متر استفاده شد. برای مقایسه توان نگهداری از عمق نفوذ یکسان در جهت عمود و موازی بر الیاف استفاده شد. شتاب بارگذاری در این آزمون ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. بیشینه توان نگهداری پیچ و میخ نیز از طبق رابطه ۴ محاسبه شد.

رابطه ۴

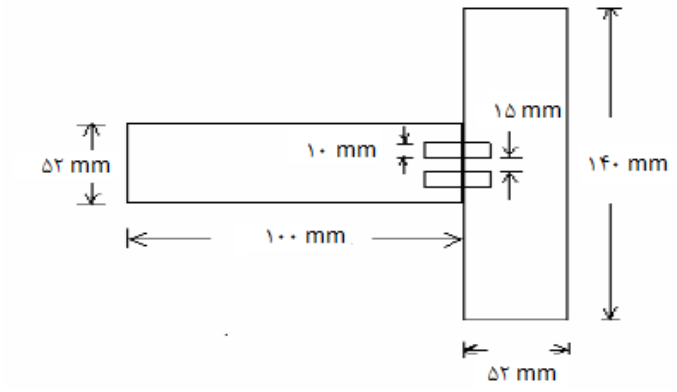
$$W = \frac{Pmax}{L}$$

که در آن W توان نگه‌داری پیچ و میخ (نیوتن بر میلی‌متر مربع)، Pmax نیروی بیشینه (نیوتن) و L درازای نفوذ پیچ و میخ (میلی‌متر) می‌باشد.

اتصالات

اتصال دوبل

در این تحقیق برای بررسی اتصال دوبل چوبی در همه نمونه‌ها از ۲ دوبل صاف کاج تدا با قطر ۱ سانتی‌متر و طول ۵ سانتی‌متر استفاده شد. همچنین فاصله بین دوبل‌ها در اتصال ۱/۵ سانتی‌متر بود. نمونه‌های آماده‌شده برای این آزمون فاقد هرگونه معایب ساختاری و کاملاً راست تار بودند. شکل ۱ نمایی از ابعاد تخته‌ها و اتصال دوبل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شمایی از ابعاد تخته‌ها و اتصال دوبل چوب

اتصال کام و زبانه

ساختمان اصلی اتصال به شکل T شامل یک عضو افقی به ابعاد ۲۵.۱*۷,۵*۴۰ سانتیمتر و عضو قائم به ابعاد ۲,۵*۷,۵*۳۰ سانتیمتر بود. برای ساخت اتصال، در عضو افقی زبانه ساخته‌شده و روی عضو قائم در لبه ۵.۲ سانتیمتری آن کام تعبیه گردید. آزمودن اتصال کام و زبانه با استفاده از دستگاه INSTRON-4486 دانشگاه تهران و با سرعت بارگذاری ۱۲,۷ میلی‌متر در دقیقه انجام شد. لازم به ذکر است برای هرکدام از آزمودن‌ها پنج نمونه باکیفیت آماده‌شده و موردبررسی قرار گرفت و از چسب پلی‌وینیل‌استات برای آغشته‌سازی و عمل مونتاژ اتصالات استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل آماری شد و در صورت معنی‌دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۹۵ درصد انجام گردید. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

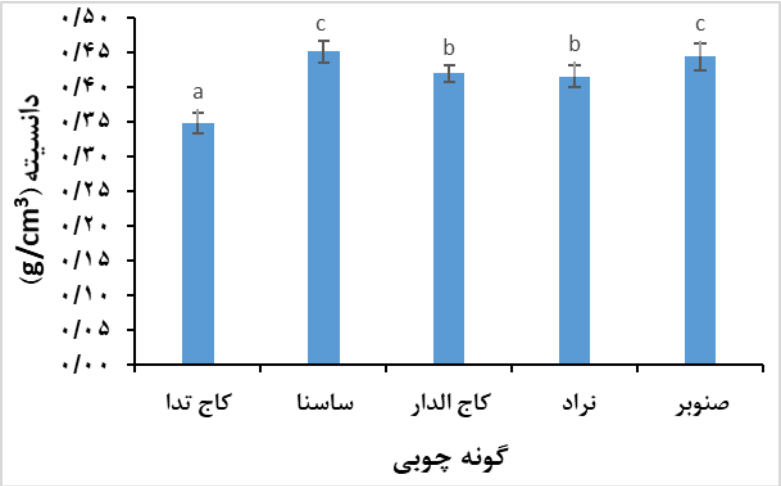
شناسایی میکروسکوپی

نتایج مربوط به شناسایی میکروسکوپی گونه‌های خریداری‌شده به شرح ذیل می‌باشد. صنوبرها چون شباهت آناتومیکی زیادی باهم دارند، در اینجا نوع گونه آن (*Populus sp.*) شناسایی نشد. چوب ساسنای خریداری‌شده نیز کاج جنگلی (*Pinus Sylvesteris*) شناسایی شد. چوب کاج الدار خریداری‌شده با توجه به ویژگی‌های آناتومیکی آن (*Pinus eldarica*) شناسایی شد. همچنین چوب نزاد خریداری‌شده نیز (*Abies sp.*) شناسایی شد ولی گونه آن قابل‌شناسایی دقیق نبود.

دانسیته

نتایج مربوط به اندازه‌گیری دانسیته نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده‌شده است. با توجه به شکل مشخص شد گونه کاج تدا کمترین و گونه ساسنا و صنوبر بیشترین دانسیته را دارند. همچنین آزمون دانکن نشان داد که دانسیته گونه‌های مختلف به سه دسته تقسیم شد. به‌نحوی‌که دانسیته بین گونه‌های کاج الدار و نزاد و همچنین دانسیته بین گونه‌های صنوبر و ساسنا اختلاف معنی‌داری نداشته ولی دانسیته کاج تدا پایین‌تر از همه گونه‌ها می‌باشد و از نظر آماری با آن‌ها اختلاف معنی‌داری دارد.

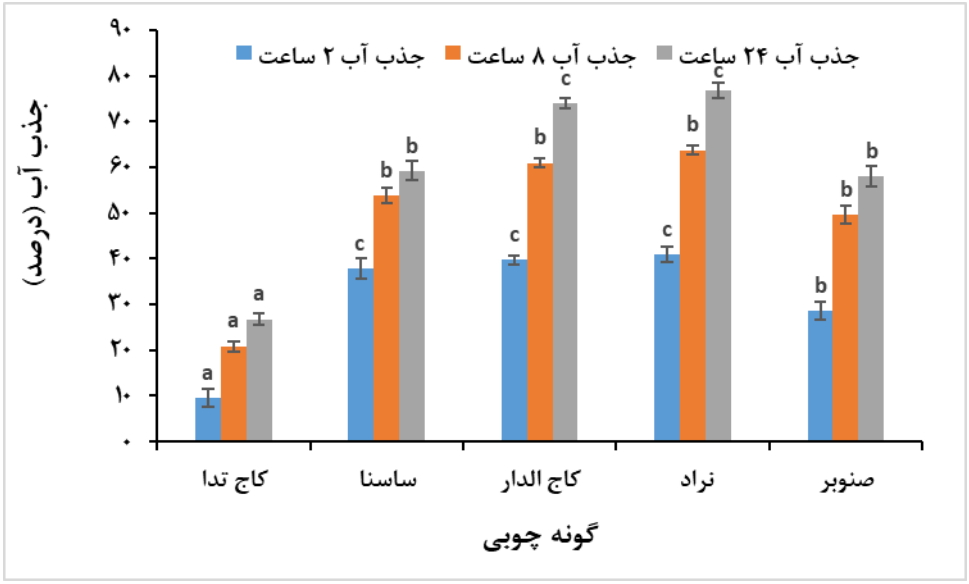
در سوزنی‌برگان با افزایش سرعت رشد، میزان چوب بهاره افزایش می‌یابد و به دلیل اینکه چوب بهاره از داتسیته و مقاومت کمتری نسبت به چوب تابستانه برخوردار است، بنابراین افزایش سرعت رشد میزان دانسیته را کاهش می‌دهد [۱۶]. اگر در درخت سوزنی‌برگ رویش قطری سالیانه کم باشد درصد چوب پایان افزایش می‌یابد. با افزایش درصد چوب پایان به دلیل ضخامت بیشتر دیواره‌های تراکئید، جرم مخصوص چوب افزایش یافته و مقاومت‌های مکانیکی آن افزایش می‌یابد. زمانی که پهنای دایره رویشی سالیانه درخت زیادتر شود، از درصد چوب پایان و درنتیجه از مقاومت‌های مکانیکی آن کاسته می‌شود [۹]. دانسیته تأثیر مستقیمی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب دارد. البته شرایط رویشی، فاکتورهای محیطی، ارتفاع از سطح دریا، آب‌وهوا و سن می‌تواند این ویژگی‌ها را تحت تأثیر قرار دهد [۱۷]. میزان تولید چوب این‌گونه در سن ۱۷ سالگی ۱۶/۴ مترمکعب در هکتار و در سال ذکرشده که قابل‌ملاحظه می‌باشد [۱۸]. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و نظر به تند رشد بودن و رشد قطری بالای کاج تدا، دانسیته پایین این‌گونه نسبت به گونه‌های دیگر قابل توجیه است. همچنین دانسیته کاج تدا در این تحقیق (۰,۳۴ گرم بر سانتیمترمکعب) نسبت به دانسیته این‌گونه در رویشگاه مازندران (۰,۳۶ گرم بر سانتیمترمکعب) کمتر بود [۹].



شکل ۲- میزان دانسیته در گونه‌های مختلف

جذب آب

در مورد ارتباط بین چوب و آب می‌توان گفت که چوب به‌عنوان جسم خلل و فرج دار، از نظر شیمیایی غیریکنواخت، ولی به جهت وجود مقادیر زیاد سلولز، ماده‌ای با رطوبت پذیری زیاد است. چوب خلل وفرج دار سیستم یا مجموعه‌ای از لوله‌های مویین را شکل می‌دهد. شکل ۳ میزان جذب آب نمونه‌های مختلف در بازه‌های زمانی ۲، ۸ و ۲۴ ساعت نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ مشخص شد که با افزایش زمان غوطه‌وری، درصد جذب آب افزایش یافت. نتایج نشان داد که پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری کمترین میزان جذب آب برای گونه کاج تدا و بیشترین میزان جذب آب برای گونه نزاد است. همچنین آنالیز آماری گویای این واقعیت است که درصد جذب آب بین گونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری دارد.



شکل ۳- جذب آب در گونه‌های مختلف

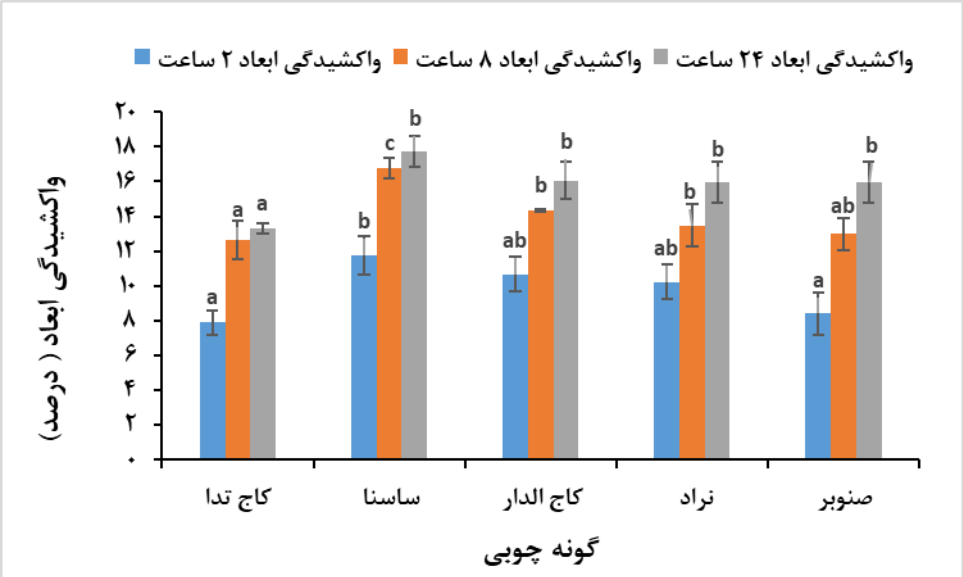
میزان جذب آب رابطه مستقیمی با دانسیته و ساختار آناتومی گونه‌های چوبی دارد [۱۹]. تمام خواص مقاومتی با جذب رطوبت توسط چوب کاهش می‌یابد. خواص مهمی مانند مدول گسیختگی و مقاومت فشاری موازی الیاف ممکن است به ازای هر درصد افزایش رطوبت به ترتیب تا ۴ و ۶ درصد کاهش یابد. مقدار آب جذب‌شده در چوب به

چگالی و نفوذ آب چوب بستگی دارد. ضریب انتشار آب، سرعت حرکت آب از سطح به داخل محصولات را توصیف می‌کند. این اثرات ناشی از ساختار متخلخل چوب و واکنش‌پذیری اجزای شیمیایی آن است [۲۰]. با توجه به ماهیت آب‌دوستی چوب و نظر به پایین بودن میزان جذب آب گونه کاج تدا در مقایسه با گونه‌های دیگر، این ویژگی می‌تواند نکته مثبتی در کاربردهای صنعتی این چوب باشد.

واکشیدگی حجمی

از دست دادن یا جذب رطوبت در رطوبت‌های کمتر از نقطه اشباع فیبر همیشه با تغییر ابعاد همراه است. شکل ۴ نتایج مربوط به مقادیر واکشیدگی حجمی نمونه‌ها، پس از غوطه‌وری در زمان‌های مشخص در آب را نمایش می‌دهد. با توجه به نمودار با افزایش زمان غوطه‌وری، واکشیدگی حجمی نمونه‌ها افزایش یافت.

نتایج نشان داد که کمترین میزان واکشیدگی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری مربوط به کاج تدا و بیشترین واکشیدگی مربوط به ساسنا بوده است. همچنین گروه‌بندی دانکن، میانگین واکشیدگی گونه‌های مختلف را به سه دسته تقسیم کرد، به‌طوری‌که گونه‌های کاج الدار، نزاد و صنوبر در یک گروه قرارگرفته و اختلاف معنی‌داری با دو گونه کاج تدا و ساسنا داشتند. همچنین بین دو گونه کاج تدا و ساسنا نیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه نتایج جذب آب و میزان جذب آب کم گونه کاج تدا، کم بودن میزان واکشیدگی حجمی آن نسبت به گونه‌های دیگر قابل‌انتظار بود. در چوب بالغ سوزنی‌برگان و پهن برگان، مقدار واکشیدگی با دانسیته، زاویه میکروفیبریل‌ها و راستای الیاف رابطه مستقیم دارد [۲۱].

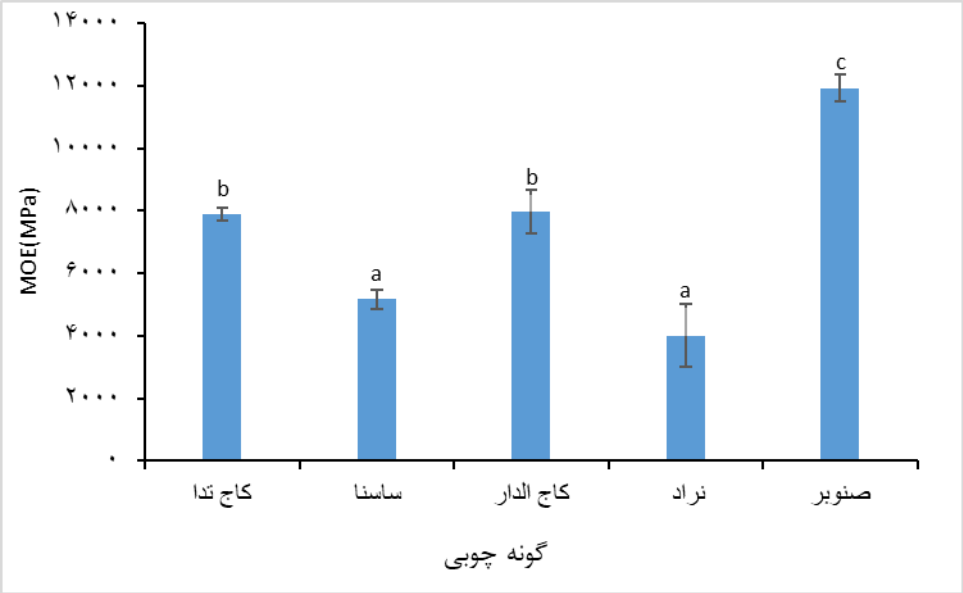


شکل ۴- واکشیدگی حجمی در گونه‌های مختلف

ویژگی‌های مکانیکی

آزمایش خمش استاتیک

شکل ۵ نشان می‌دهد بیشترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به گونه صنوبر و کمترین میزان آن مربوط به گونه نزاد است. همچنین آنالیز آماری نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین گونه‌های کاج تدا با کاج الدار و نزاد با ساسنا وجود ندارد.

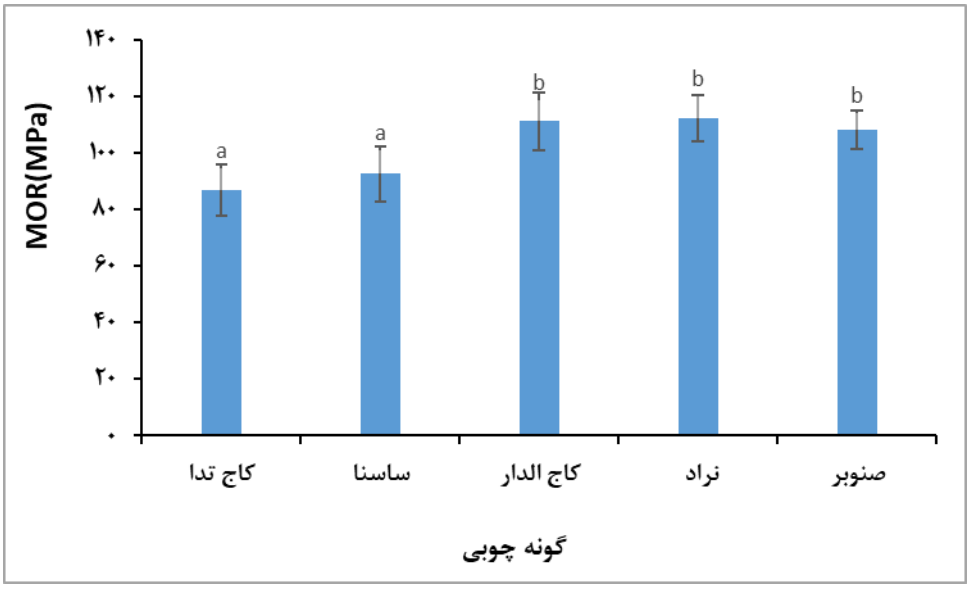


شکل ۵- مدول الاستیسیته گونه‌های مختلف

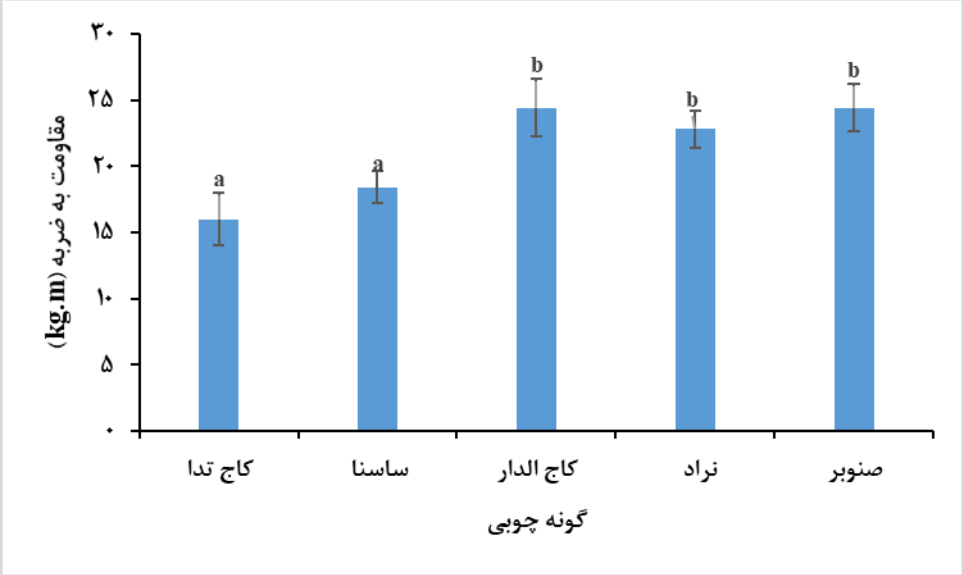
شکل ۶ نتایج مدول گسیختگی اندازه‌گیری‌شده نمونه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز آماری نشان می‌دهد که بین مدول گسیختگی کاج تدا و ساسنا اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین بین گونه‌های صنوبر، نزاد و کاج الدار نیز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ اما مدول گسیختگی گونه‌های کاج تدا و ساسنا با گونه‌های دیگر اختلاف معنی‌داری دارد.

مقاومت به ضربه

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۷، مقاومت به ضربه برای دو گونه کاج تدا و ساسنا اختلاف معنی‌داری ندارد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین سه گونه کاج الدار، صنوبر و نزاد مشاهده نشد.



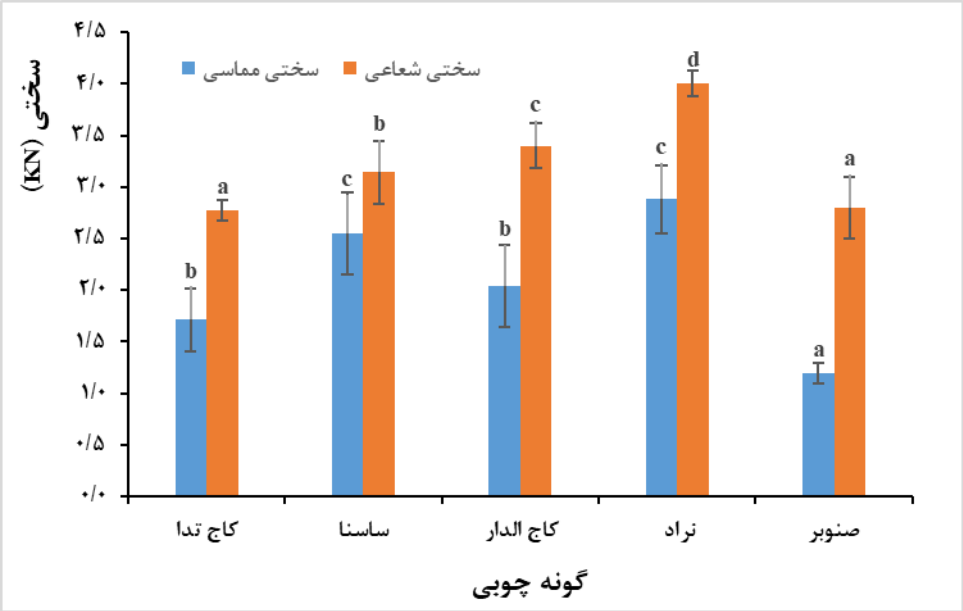
شکل ۶- مدول گسیختگی گونه‌های مختلف



شکل ۷- مقاومت به ضربه گونه‌های مختلف

مقاومت به سختی

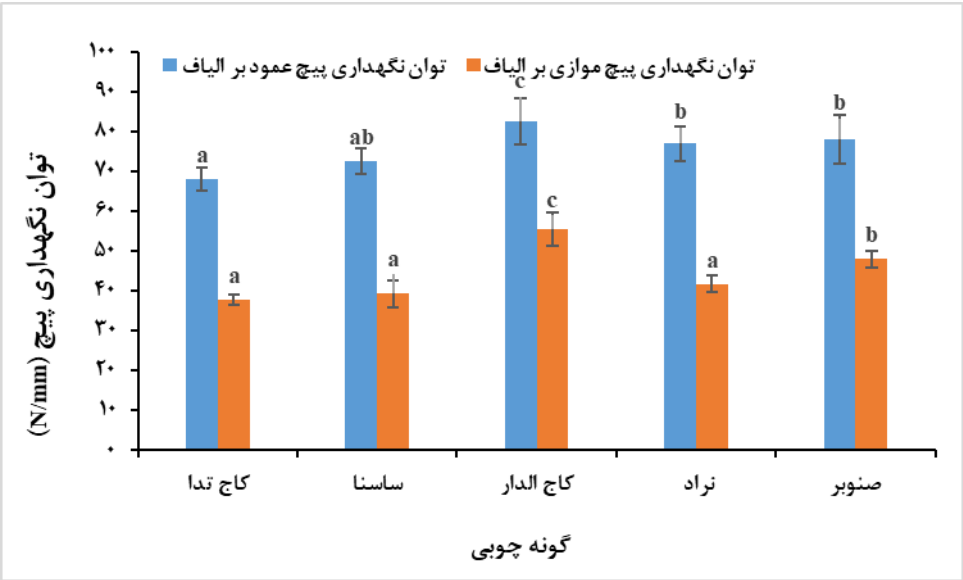
شکل ۸ مقاومت به سختی ۵ گونه را در دو جهت شعاعی و مماسی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مشخص شد سختی مماسی دو گونه کاج تدا و کاج الدار اختلاف معنی‌داری باهم ندارند. همچنین اختلاف معنی‌داری بین سه گونه نزاد، ساسنا و صنوبر مشاهده شد. با توجه به نتایج آزمون اختلاف معنی‌داری بین گونه کاج تدا و صنوبر برای مقاومت به سختی در جهت شعاعی وجود ندارد و همچنین اختلاف معنی‌داری بین سه گونه کاج الدار، ساسنا و نزاد مشاهده شد. شناسایی دقیق عملکرد چوب، به‌ویژه برای مصالح ساختمانی الزامی است؛ بنابراین، استحکام خمشی و مدول الاستیسیته دو ویژگی مکانیکی حیاتی هستند که باید به‌دقت در نظر گرفته شوند و با چگالی چوب مرتبط شوند [۲۲]. در کل نتایج مقاومت‌های مکانیکی نشان داد که گونه کاج تدا در مقایسه با گونه‌های موردبررسی دیگر ویژگی‌های مکانیکی حد متوسطی دارد و در برخی ویژگی‌ها مثل مدول الاستیسیته و سختی با توجه به اینکه دانسیته پایینی دارد، مقاومت‌های بهتری از خود نشان داد. بیان‌شده که الوارهای درختان سریع‌الرشد حاوی درصد بالایی از چوب جوان می‌باشند و درنتیجه مقاومت‌های مکانیکی کمتری دارند، ولی به این معنی نیست که برای کاربردهای ساختاری نامناسب است [۲۳]. نتایج تحقیقات گسترده نشان داده است که دانسیته و مقاومت‌های مکانیکی رابطه مستقیمی باهم دارند. به‌طوری‌که با افزایش دانسیته مقاومت‌های مکانیکی افزایش می‌یابد [۲۴،۲۵،۲۶]. همچنین Hlavata و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند ساختار سلولی و زاویه میکروفیبریل در لایه S2 نقش خیلی مهمی بر روی مقاومت‌های مکانیکی دارد، به‌طوری‌که مقاومت‌های مکانیکی با زاویه میکروفیبریلی رابطه غیرمستقیم داشته و هر چه زاویه میکروفیبریلی کمتر باشد مقاومت‌ها بیشتر می‌شود. همچنین این زاویه در چوب آغاز (بهاره) بیشتر از چوب پایان (تابستانه) بوده و به همین دلیل مقاومت‌های ناحیه چوب آغاز کمتر است [۲۷]. نتایج این تحقیق و تحقیق دیگری روی کاج تدا در ایران نشان داد که مدول الاستیسیته و مدول خمشی این‌گونه در مقایسه با کاج تدا در رویشگاه اصلی خود (آمریکا) کمتر می‌باشد [۹].



شکل ۸- مقاومت به سختی در دو جهت شعاعی و مماسی بین گونه‌های مختلف

توان نگهداری پیچ و میخ

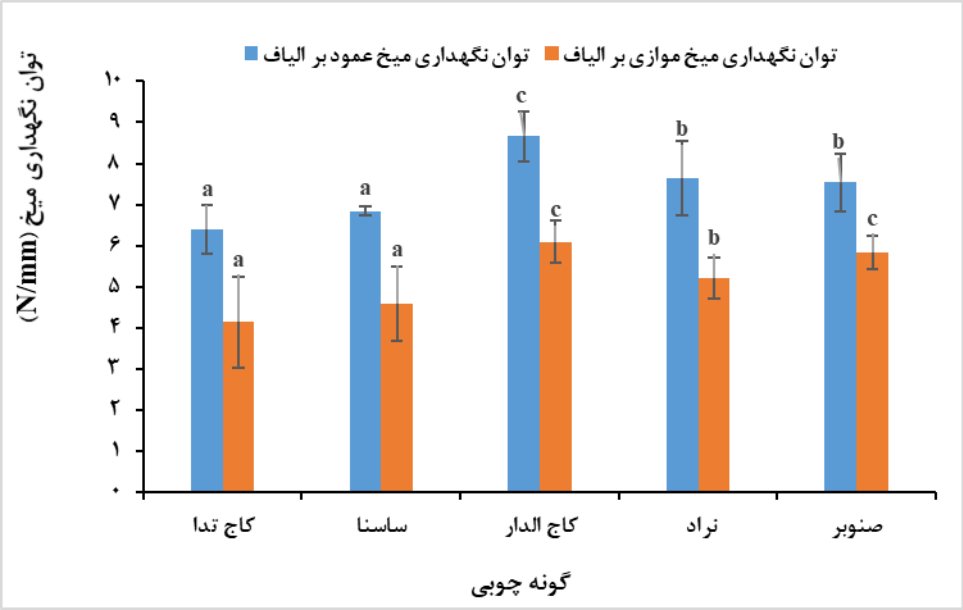
از رایج‌ترین اتصال‌دهنده‌های مکانیکی که در ساخت سازه‌های چوبی مورداستفاده قرار می‌گیرد، اتصال‌های پیچ و میخ می‌باشند. توان نگه‌داری پیچ و میخ در گونه‌های مختلف چوبی متفاوت است [۲۸،۲۹]. با توجه به شکل ۹ مشخص شد که بیشترین توان نگهداری پیچ در هر دو جهت موازی و عمود بر الیاف مربوط به کاج الدار و کمترین میزان آن مربوط به کاج تدا و ساسنا است.



شکل ۹- توان نگهداری پیچ در گونه‌های مختلف در دو جهت موازی و عمود بر الیاف

با توجه به شکل ۱۰ مشابه توان نگهداری پیچ، بیشترین توان نگهداری میخ نیز در هر دو جهت موازی و عمود بر الیاف مربوط به کاج الدار و کمترین میزان آن مربوط به کاج تد و ساسنا بود. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که توان نگهداری میخ در جهت موازی و عمود بر الیاف برای دو گونه کاج تدا و ساسنا اختلاف معنی‌داری باهم ندارند. همچنین بین دو گونه ساسنا و نزاد نیز اختلاف

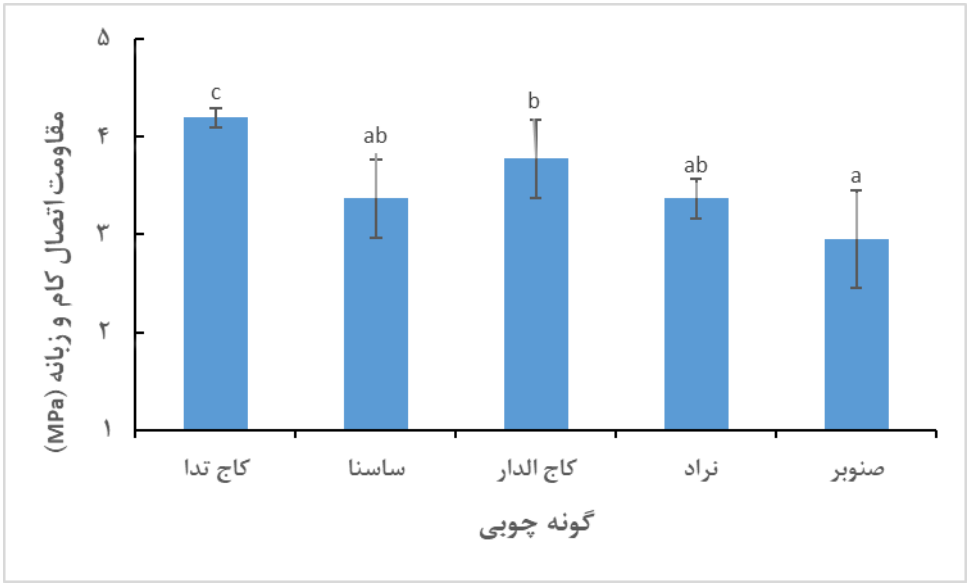
معنی‌داری وجود ندارد. نتایج همچنین نشان داد دو گونه کاج الدار و صنوبر از توان نگهداری میخ در جهت موازی با الیاف بیشتری نسبت به سایر گونه‌ها برخوردار هستند. دانسیته چوب، جهت‌گیری الیاف و ویژگی‌های آناتومی آن نقش بسزایی در توان نگه‌داری پیچ و میخ دارد [۲۹، ۳۰].



شکل ۱۰- توان نگهداری میخ در گونه‌های مختلف در دو جهت موازی و عمود بر الیاف

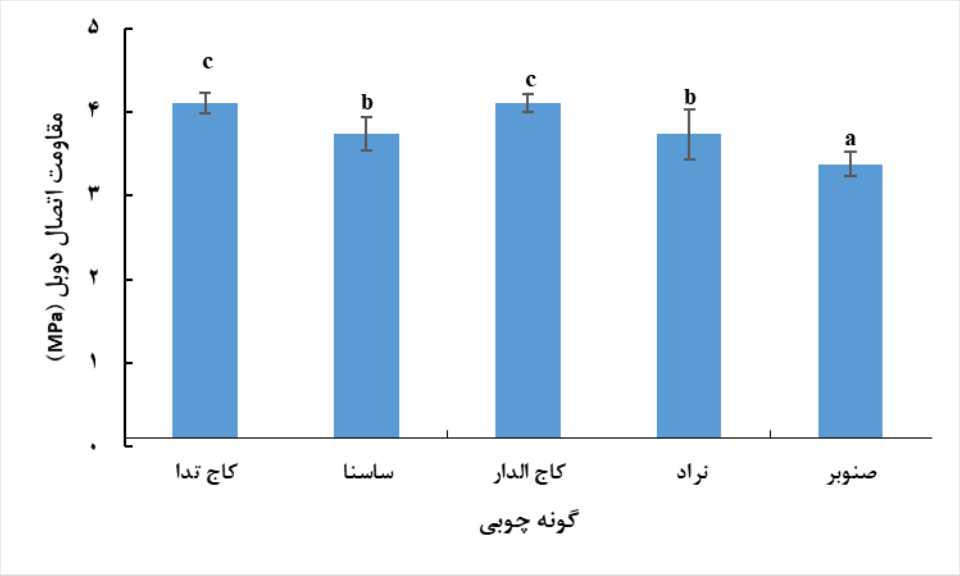
اتصالات دوبل، کام و زبانه

شکل ۱۱ مقاومت اتصال کام و زبانه را بین ۵ گونه مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل بیشترین مقاومت اتصال کام و زبانه مربوط به گونه کاج تدا و کمترین میزان اتصال کام و زبانه مربوط به گونه صنوبر بوده است.



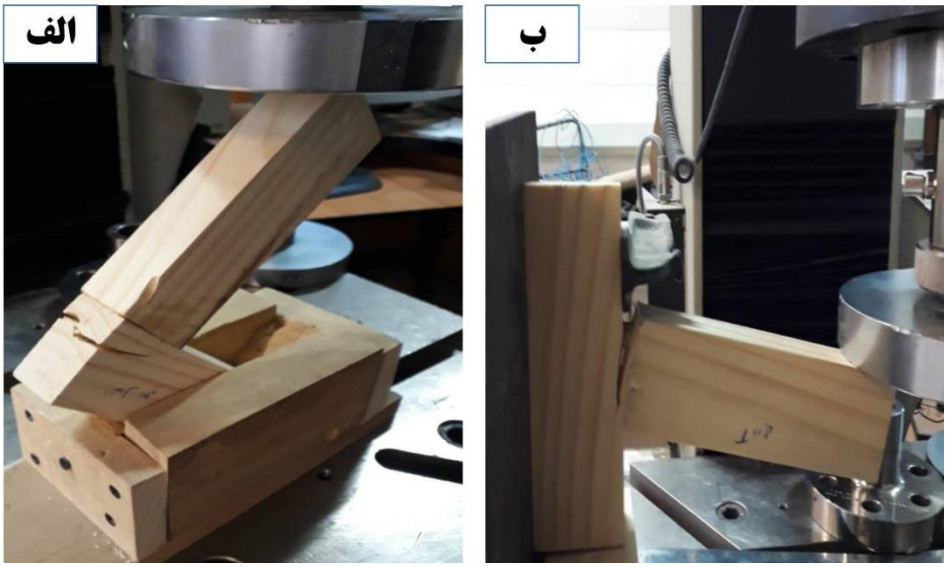
شکل ۱۱- اتصال کام و زبانه در گونه‌های مختلف

شکل ۱۲ نیز مقاومت اتصال دوبل را برای ۵ گونه نشان می‌دهد... بر اساس آنالیز آماری بیشترین مقاومت اتصال دوبل برای گونه‌های کاج تدا و کاج الدار بوده که با گونه‌های دیگر از اختلاف معنی‌داری دارند. نتایج نشان داد کمترین میزان مقاومت اتصال دوبل مربوط به گونه صنوبر است.



شکل ۱۱- اتصال دوبل در گونه‌های مختلف

تصویر آزمون اتصال کام و زبانه و دوبل در شکل ۱۳ نشان داده‌شده است. گونه کاج تدا با داشتن دانسیته کم و مقاومت‌های مکانیکی متوسط، مقاومت‌های بالاتری نسبت به گونه‌های دیگر در اتصالات دوبل و کام-زبانه داشت. نتایج این تحقیق با تحقیقAydemir در سال ۲۰۱۴ همخوانی دارد. Aydemir بیان کرد که در محل خط چسب، اتصال چسب با چوب کاج تدا خیلی بهتر از چوب صنوبر می‌باشد و به همین خاطر مقاومت‌های مکانیکی در این‌گونه بالاتر است [۳۰]. این محقق دلایل بالاتر بودن مقاومت‌های مکانیکی و چسب خوری بهتر را به ویژگی های آناتومی چوب کاج نسبت داد.



شکل ۱۳- الف: اتصال کام و زبانه ب: اتصال دوبل

نتیجه‌گیری

گونه کاج تدا به‌صورت طرح جنگل‌داری در استان گیلان در مساحت بالایی کاشته شده است و از نظر سریع‌الرشد بودن و سازگاری یا آب‌وهوای منطقه مورد تایید قرارگرفته است. هدف از این تحقیق مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی گونه کاج تدا با دیگرگونه‌های تندرشد وارداتی بود. در این تحقیق ابتدا گونه‌های وارداتی از نظر ویژگی‌های آناتومیکی بررسی‌شده‌اند و از نظر نوع جنس و در تعدادی از نظر نوع گونه بررسی و تایید شدند. نتایج این تحقیق نشان داد کاج تدا نسبت به گونه‌های دیگر دانسیته و همچنین میزان جذب آب و واکشیدگی حجمی کمتری دارد. در مورد ویژگی‌های مکانیکی نیز نتایج نشان داد این‌گونه نسبت به گونه‌های دیگر از نظر مقاومت‌های مکانیکی حد متوسطی دارد. افزون بر این در مورد ظرفیت نگهداری پیچ و میخ نتایج نشان داد این‌گونه بااینکه دانسیته کمتری دارد، اما در مقایسه با گونه‌های با دانسیته بیشتر ظرفیت نگه‌داری پیچ و میخ مناسبی دارد. در مورد اتصالات دوبل و کام و زبانه نتایج نشان داد گونه کاج تدا نسبت به گونه‌های دیگر اتصال دوبل و کام و زبانه محکم‌تری دارد. داشتن مقاومت بهتر در محل اتصالات می‌تواند نکته بسیار مثبتی در کاربردهای صنعتی این‌گونه باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از کاج تدا در مقایسه با گونه‌های تند رشد دیگر، علاوه بر مناسب بودن این‌گونه برای مبلمان و صنعت فراورده‌های مرکب چوب، بایستی پتانسیل بالای این‌گونه برای صنعت کاغذسازی را نیز در نظر داشت.

منابع

[1] Emampour, M., Khademieslam, H., Faezipour, M. and Talaeipoor, M., 2021. The investigation of surface properties of Populus nigra wood coated with silica nanoparticles. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 12 (1):133-143p (In Persian).

[2] Shmulsky, R. and Jones, D., 2002. Forest products and wood science an introduction. Wiley Blackwell Press. 4 th., 564 p.

[3] Bergmann, BA., 2003. Five years of Paulownia field trials in North Carolina, New Forests Journal, 25(3):185–199p.

[4] Gorji Bahri1, Y., Hemati, A. and Mahdavi, R., 2007. Effects of thinning intensities on Loblolly pine (Pinus taeda L.) plantation in Guilan province (Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(3): 221-233p (In Persian).

[5] Adibnezhad, M., 2020. Determining the Economically Optimal Harvesting Age of Loblolly Pine (Pinus taeda) in Guilan Province. J. Env. Sci. Tech., 22(3): 229-239p (In Persian).

[6] Dias, A., Carvalho, A., Silva, M.E., Lima-Brito, J., Gaspar, M.J., Alves, A., Rodrigues, J.C., Pereira, F., Morais, J. and Lousada, J.L., 2020. Physical, chemical, and mechanical wood properties of Pinus nigra growing in Portugal. Annals of Forest Science, 77(3), pp.1-11.

[7] Acquah, G.E., Via, B.K. and Eckhardt, L.G., 2020, May. Screening Pinus taeda (loblolly pine) families for physical and mechanical properties using vibrational spectroscopy. Proceedings of the 18th biennial southern silvicultural research conference, 40-43p.

[8] Cai, Z., Wu, Q., Han, G. and Lee, J.N., 2007. Tensile and thickness swelling properties of strands from Southern hardwoods and Southern pine: Effect of hot-pressing and resin application. Forest products journal. Vol. 57, no. 5 (May 2007): Pages 36-40.

[9] Golbabaei, F., Hosseinkhani, H., Noorbahsh, A., Kargarfard, A., Hajihassani, R. and Fakhryan, A., 2012. The mechanical properties of Pinus taeda L. wood growing in different regions of Caspian forests. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(1): 178-187p (In Persian).

[10] Miller, D., Pelarta, P. and Kelly, R., 2019. Miller ZD, Peralta PN, Mitchell PH, Kelley SS, Chiang VL, Pearson L, Rottmann WH, Cunningham MW, Peszlen IM, Anatomical, physical, and mechanical properties of transgenic loblolly pine (Pinus taeda L.) modified for increased density. Wood and Fiber Sci 51: 1-10p.

[11] Schimleck, L., Matos, J., Trianoski, R. and Prata, G., 2018. Comparison of Methods for Estimating Mechanical Properties of Wood by NIR Spectroscopy. Journal of Spectroscopy, 52: 120-137p.

[12] Gifty E., Acquah, Charles E., Brian K., Nedret B. and Lori G E., 2018. Estimating the Basic Density and Mechanical Properties of Elite Loblolly Pine Families with Near Infrared Spectroscopy, Forest Science, 64: 149–158p.

[13] Gärtner, H. and Schweingruber, F.H., 2013. Microscopic preparation techniques for plant stem analysis. Verlag Dr. Kessel, Remagen-Oberwinter, 78 p.

[14] Richter, H.G., Grosser, D., Heinz, I. and Gasson, P.E., 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. IAWA J. 25: 1. 1-70p.

[15] Wheeler, E.A., Baas, P. and Gasson, P.E., 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Jornal, 10:219–332p.

[16] Kiaei, M., 2014. Investigation on wood properties of Eldar pine (Pinus eldarica Medw) and its relations to soil chemical and physical characteristics (in western of mazandarn province plantation). 29 (2): 199-207p (In Persian).

[17] Standovár, T., 2003. A Review on Natural Stand Dynamics in Beechwoods of East Central Europe. Appl. Ecol. Environ. Res. 1, 19–46p.

[18] Gorji Bahri, Y. M., 1993. Study the growth of Pinus taeda in Gilan, Pajouhesh-va-Sazandegi. 20: 34-37p.

[19] Khazaei, J., 2007. Water absorption characteristics of three wood varieties. Cercetări Agronomice în Moldova, 5(7): 5-16p (In Persian).

[20] Khazaei, J., 2008. Water absorption characteristics of three wood varieties. Cercetări Agronomice în Moldova, 41(2), 134p.

[21] Farsi, M., Kiaei, M. and Montazeri, M., 2017. Investigation on physical and biometric properties of wood of the most important coniferous species at Neka low-land (Kuhsarkandeh), Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 8(3): 409-418p (In Persian).

[22] Yu, L., Liang, Y., Zhang, Y. and Cao, J., 2019. Mechanical properties of wood materials using near-infrared spectroscopy based on correlation local embedding and partial least-squares. J. For. Res, 31, 1053–1060p.

[23] Larson, PR., Kretschmann, DE., Clark, III, A. and Isebrands, JG., 2001. Formation and properties of juvenile wood in southern pines. US For Serv. Forest Products Laboratory. FPL-TR-129 p.

[24] Fuwape, J. A., & Fabiyl, J. S., 2003. Variations in strength properties of plantation grown Nauclea diderrichii wood. Journal of Tropical Forest Products, 9(1/2), 45-53 p.

[25] Izekor, D. N., Fuwape, J. A., & Oluyege, A. O., 2010. Effects of density on variations in the mechanical properties of plantation grown Tectona grandis wood. Archives of Applied Science Research, 2(6), 113-120 p.

[26] Ocloo, J. K., & Laing, E., 2003. Correlation of relative density and strength properties with anatomical properties of the wood of Ghanaian Celtis species. Discovery and Innovation, 15(3/4), 186-196 p.

[27] Hlavata, V., Kuklik, P., Celler, J., & Vanerek, J., 2017. Microfiber Angle and its Effect on Wood Cell Behavior. In Advanced Materials Research 1144, pp. 88-93 p. Trans Tech Publications Ltd.

[28] Vassiliou, V. and Barboutis, I., 2005. Screw withdrawal capacity used in the eccentric joints of cabinet furniture connectors in particleboard and MDF. J Wood Sci. 51:572–576 p.

[29] Aytekin, A., 2008. Determination of Screw and Nail Withdrawal Resistance of Some Important Wood Species, International Journal of Molecular Sciences, 9, 626-637 p.

[30] Aydemir, D., 2014. The lap joint shear strength of wood materials bonded by cellulose fiber-reinforced polyvinyl acetate. BioResources, 9(1), 1179-1188 p.

Comparison of physical and mechanical properties of Pinus taeda wood with common fast-growing species

Abstract

Pinus taeda is one of the fastest growing species with high wood production capacity. Due to the afforestation of this species in Gilan province, it can be a good alternative to some other imported fast growing species. The aim of this study is to investigate the possibility of using *Pinus taeda* wood instead of four common species of poplar (*Pulpous* sp.), Tehran pine (*Pinus eldarica*), fir (*Abies* sp.) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). For this purpose, physical and mechanical properties of five species were measured and statistical analyzes were performed. The results showed that *Pinus taeda* has lower density, water absorption and volumetric swelling than the other four species. Regarding mechanical properties, the results showed that *Pinus taeda*, with its lower density than other species, has moderate mechanical strength. The ability of screw and nail withdrawal strengths for *Pinus taeda* in parallel and perpendicular directions to the grains was not much different from other species. Also, the resistance of mortise-tenon and dowel joints for *Pinus taeda* was higher than other species and there was a significant difference between them. According to the obtained results, *Pinus taeda* wood with low density and suitable mechanical properties can be a good alternative for some imported fast-growing species and is also recommended for afforestation and plantations in different parts of the country.

Keywords: *Pinus taeda*, physical properties, mechanical properties, afforestation.

H. Khodabandehloo[1*]
M. Kalagar[2]
H. Haghighimanesh[3]
B. karamdost marian[4]

[1] M.Sc., Wood and Paper Science and Technology Department, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran, ETKA Organization, Tehran, Iran

[2] Ph.D., Wood and Paper Science and Technology Department, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, I.R. Iran, ETKA Organization, Tehran, Iran

[3] M.Sc., Civil engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, I.R. Iran, ETKA Organization, Tehran, Iran

[4] PhD., Economics and Natural Resources Management, Urmia Faculty of Natural Resources, Tehran, I.R. Iran, ETKA Organization, Tehran, Iran

Corresponding author:
h_khodabandeh@ut.ac.ir

Received: 2022/03/07
Accepted: 2022/10/25