



دانشگاه گلستان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد شانزدهم، شماره سوم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

بررسی مقاومت خمشی و فشاری چوب پالونیا (*Paulownia fortunei*) کشت شده در منطقه گرگان

*ابوالقاسم خزاعیان^۱، فرهاد یغمائی^۲ و تقی طبرسا^۳

استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه آمار، دانشگاه گلستان،^۳ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۸

چکیده

در این پژوهش مقاومت خمشی و فشاری چوب پالونیای (*Paulownia fortunei*) ۵ ساله کشت شده در جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته گرگان مورد مطالعه قرار گرفت. درختان مورد نظر براساس ضوابط استاندارد انتخاب، نشانه‌گذاری و بین‌زنی گردید. بین‌ها براساس جهات جغرافیایی برش داده و به تخته‌هایی با ضخامت ۶ سانتی‌متر تبدیل شدند. تخته‌های به‌دست آمده در هر جهت برای تهیه نمونه‌های خشک و تر به دو گروه تفکیک و کدگذاری شدند. برای تهیه نمونه‌های خشک، تخته‌های تفکیک شده در این گروه دارابندی و در هوای آزاد (مسقف) قرار گرفتند که رطوبت تعادل آنها به ۸/۶ درصد رسید. سپس جرم حجمی نمونه‌های تر و خشک اندازه‌گیری شد. آزمایش فشار موازی الیاف و خمش استاتیک توسط دستگاه تست مقاومت مکانیکی اینسترون مدل ۱۱۸۶ انجام شد. تنش نهایی (σ_{II})، تنش حد تناسب (σ_{PI})، مدول الاستیسیته در جهت الیاف (E_L)، مدول گسیختگی (MOR)، مدول الاستیسیته ظاهری (MOE) و مدول الاستیسیته واقعی (E_1) محاسبه شد. اثر فاصله رویش، جهات جغرافیایی و ارتفاع درخت به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که چوب پالونیا با جرم حجمی خشک (D_0) برابر ۰/۲۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب و جرم حجمی ظاهری (D_h) برابر ۰/۲۸ گرم بر

* مسئول مکاتبه: khazaeian@gmail.com

سانتی مترمکعب از جمله چوب‌های بسیار سبک می‌باشد. همچنین نسبت بالای مقاومت چوب پالونیا به وزن آن جایگاه ویژه این گونه را جهت ساخت سازه‌های سبک و مقاوم تثبیت می‌کند. همچنین با افزایش ارتفاع درخت مقاومت‌های مکانیکی افزایش می‌یابد. به‌خصوص این پدیده با کاهش فاصله رویش (کاشت) مشهودتر است. از طرف دیگر فاصله کاشت کوچک‌تر ضمن تولید چوب با مقاومت‌های مکانیکی مناسب، موجب افزایش پتانسیل میزان تولید چوب می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پالونیا فورتونی، فشار موازی الیاف، خمش استاتیک، فاصله رویش، ارتفاع درخت

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت و سهم سرانه مصرف چوب و لزوم کاهش برداشت چوب از جنگل‌های طبیعی، نیاز به تأمین چوب از طریق زراعت گونه‌های سریع‌الرشد را اجتناب‌ناپذیر نموده است. در این خصوص تأثیر مستقیم شرایط رویشگاه و فاصله رویش بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب از یک سو و تعیین کاربرد مناسب آن از سوی دیگر، اهمیت ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب رویش یافته در خارج از زادگاه اصلی آشکار می‌شود. گونه *Paulownia fortunei* یکی از ۹ گونه جنس پالونیا است (جی، ۱۹۹۸) که در ظاهر و خصوصیات چوب مشابه هستند. گونه *P. fortunei* یک درخت تندرشد است که به‌طور طبیعی در چین، تایوان، کامبوج، لائوس و ویتنام رشد می‌نماید (ون دو هوف، ۲۰۰۳). این گونه در شرایط طبیعی به ارتفاع ۴۰ تا ۵۰ متر و قطر ۲ متر می‌رسد (حسن‌زاد ناورودی و رستمی، ۲۰۰۷). شرایط مناسب رشد این گونه در دمای ۱۰- تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، بارندگی سالانه ۱۲۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌متر، ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا، خاک رسی شنی سبک با محدوده pH ۴/۷ تا ۵/۵ می‌باشد (اوتادی، ۲۰۰۲). گونه *P. fortunei* در ارتفاع پایین و بالا از سطح دریا در چین سازگاری دارد و رویش سالانه قطری و ارتفاعی آن در درختان ۵ ساله به ترتیب ۲/۹ سانتی‌متر و ۱/۹ سانتی‌متر گزارش شده است (حسن‌زاد ناورودی و رستمی، ۲۰۰۷).

البته، این گونه رشد مطلوبی در استان‌های شمالی ایران از خود نشان داده است. متوسط رویش قطری و ارتفاع توده دست کاشت سه ساله این گونه در استان گیلان به ترتیب ۴/۱۲ سانتی‌متر و ۲/۶۱ سانتی‌متر گزارش شده است (حسن‌زاد ناورودی و رستمی، ۲۰۰۷). گونه *P. fortunei* از طریق قلمه در جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان کشت گردیده که رشد

قطری و طولی مطلوبی داشته است. در منطقه مورد مطالعه، به طور متوسط پایه‌های ۵ ساله پالونیا قطر برابر سینه (dbh) ۲۳/۵ سانتی‌متر و ارتفاع تا انتهای تاج برابر ۱۰/۲۴ متر داشته‌اند (حسن عباسی، ۲۰۰۰). این گونه قرن‌ها است که در ژاپن برای ساخت مبلمان مورد استفاده قرار می‌گیرد و ۷۵ درصد چوب وارداتی این کشور را شامل می‌شود. چوب پالونیا از هر چوب پهن برگ تجاری آمریکا ۳۰ درصد سبک‌تر بوده و جرم مخصوص آن (۰/۲۳-۰/۳۰ گرم بر سانتی‌مترمکعب) ما بین چوب بالزا و صنوبر قرار دارد. چوب پالونیا در ۲ یا ۳ سالگی قابل عرضه در بازار است. تخته‌های آن بین ۳۰ تا ۶۰ روز در هوای آزاد خشک شده و در کوره بعد از ۲۴ تا ۴۸ ساعت به رطوبت ۱۰ درصد تا ۱۲ درصد خواهد رسید (انجمن آمریکایی پالونیا، ۲۰۰۸).

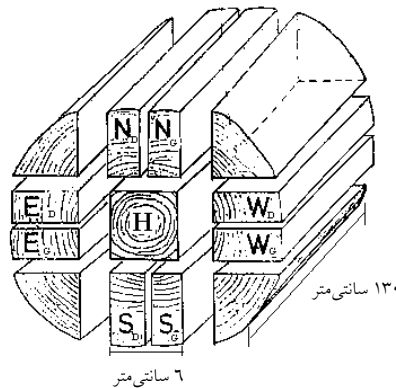
به طور کلی، نسبت مقاومت چوب بالزا به جرم مخصوص آن از هر چوبی در دنیا بیشتر در نظر گرفته شده است. اما با آزمایش‌های انجام شده نسبت مقاومت چوب پالونیا به وزن آن از چوب بالزا بیشتر است. به عنوان مثال نسبت مدول گسیختگی به وزن ویژه نسبی چوب بالزا ۱۲۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع ولی برای پالونیا ۱۳۹۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (تانگ، ۲۰۰۸)، ۱۱۷۶ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع، ۱۸۲۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (بارتون و همکاران، ۲۰۰۷) به دست آمده است. همچنین، نسبت مدول گسیختگی به وزن چوب کلن‌های پالونیا با نسبت‌های متغیر از ۱۴۸۲-۱۰۳۵/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (زیونگ، ۱۹۹۰)، و برای گونه صنوبر آمریکا (*Balsam poplar*) ۱۳۸۲/۴ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (گرین و همکاران، ۱۹۹۹) گزارش شده است. چوب پالونیا به طور وسیع در ساخت مبلمان سبک، آلات موسیقی، کفش چوبی، برخی ظروف، منبت‌کاری و غیره بیش از هزار سال کاربرد دارد. پالونیا قابلیت تبدیل به لایه را از طریق لوله‌بری و اسلایسر تراشه‌بری داشته، چسبندگی و اتصالات مناسبی ایجاد می‌کند. هم‌کشیدگی کم چوب پالونیا (۲/۲ درصد در جهت شعاعی و ۴ درصد در جهت مماسی) باعث ثبات ابعادی بهتر آن در مقابل تغییرات رطوبت در مقایسه با اکثر گونه‌های چوبی است. همچنین پالونیا عایق حرارتی بسیار خوبی است به طوری که، فاکتور مقاومت حرارتی (R) بینه‌های پالونیا تا دو برابر بینه‌های کاج و بلوط می‌باشد (تانگ، ۲۰۰۸). به طور کلی افزایش سرعت رشد (پهنای رویش) مقدار چوب بهاره را افزایش می‌دهد که این امر سبب کاهش دانسیته در سوزنی‌برگان و در پهن‌برگان پراکنده آوند گردیده و در نتیجه باعث کاهش مقاومت‌های مکانیکی می‌گردد. در ضمن

افزایش ارتفاع درخت (دوگلاس فر) باعث کاهش دانسیته و به دنبال آن کاهش مقاومت مکانیکی چوب از جمله مدول گسیختگی می‌گردد (ابراهیمی، ۱۹۸۹).

با توجه به کاربردهای فراوان این گونه در شرق آسیا از جمله ساختمان، قایق، هواپیماهای گلایدر، مبلمان، آلات موسیقی، جعبه‌های حمل و نقل هوایی و دریایی، درودگری، روکش، مدادسازی و غیره (اوتادی، ۲۰۰۲؛ شیو ینگ، ۱۹۶۱) شناخت ویژگی‌های چوب گونه پالونیا کشت شده در منطقه مورد مطالعه برای تعیین کاربرد آن ضروری است. با توجه به اینکه تاکنون اثر فاصله کشت، ارتفاع درخت و جهت‌های جغرافیایی بر خواص مکانیکی چوب این گونه گزارش نشده، اهمیت انجام این طرح را جهت بهره‌برداری و شناخت کاربردهای صنعتی و توسعه کشت آن دو چندان نموده است.

مواد و روش‌ها

جهت انتخاب درختان به‌منظور نمونه‌گیری طبق استاندارد ISO-۴۴۷۱ عمل گردید. گونه مورد مطالعه *Paulownia fortunei* در جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته گرگان در شمال ایران کشت و توسعه یافته است. منطقه کشت از نوع جنگلی و جلگه‌ای با ارتفاع ۲۴۰ متر از سطح دریا با خاک قهوه‌ای دارای pH ۷ تا ۷/۵ از سطح تا عمق یک متر، حداقل و حداکثر درجه حرارت ۴- درجه و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی ۹۲۰ میلی‌متر می‌باشد (حسن عباسی، ۲۰۰۰). فاکتورهای مورد مطالعه در این پژوهش عبارتند از: (A) جهت جغرافیایی در چهار سطح (W, E, S, N)، (B) فاصله رویش در سه سطح و (C) بینه در سه سطح (ارتفاع درخت). ۶ درخت (۵ ساله) با متوسط ارتفاع (تا اولین انشعاب شاخه) ۴/۹۰ متر و قطر برابر سینه ۳۷/۳ سانتی‌متر از توده مورد مطالعه انتخاب گردید. ۳ فاصله رویش (۶×۳ متر، ۶×۴ متر و ۸×۵ متر) به ترتیب با عنوان فاصله رویش ۱، ۲، ۳ نام‌گذاری شدند. بینه‌ها در فاصله بین یقه و یک متر پایین‌تر از تاج به اندازه ۱/۳ متر جدا و بدین ترتیب سه بینه از هر درخت جدا شد. از آنجایی‌که حداکثر ارتفاع درختان نمونه تا زیر تاج ۵/۵ متر بوده است، بینه ۲ و ۳ بلافاصله در کنار هم جدا شده‌اند. بینه ۱ تا ارتفاع ۱/۳ متری بعد از یقه، بینه ۲ در ارتفاع ۱/۵ تا ۳ متری و بینه ۳ در ارتفاع ۳ تا ۴/۵ متری واقع شده‌اند. بینه‌ها طبق استاندارد ISO-۳۱۲۹ و براساس چهار جهت جغرافیایی برش داده شده و قطعات مربوط به آزمون بخش تر و خشک هر جهت تفکیک و کدگذاری گردید (شکل ۱).



شکل ۱- شمایی از بینه مورد آزمون و تهیه نمونه براساس جهات جغرافیایی (شمال N، جنوب S، شرق E و غرب W).

آزمونه‌ای مربوط به بخش خشک به منظور کاهش رطوبت تا رسیدن به رطوبت تعادل محیط (۸/۶ درصد) در یک فضای مسقف داراب‌بندی شدند. نمونه‌های تر برای حفظ رطوبت در کیسه‌های پلاستیکی و در یخچال نگهداری شدند. نمونه‌های تر و خشک جهت اندازه‌گیری، جرم حجمی براساس استاندارد (ISO-۳۱۳۱) تعیین و تحت آزمایش‌های خمش استاتیک (ISO-۳۱۳۳) و فشار موازی الیاف (ISO-۳۷۸۷) قرار گرفتند. اندازه‌گیری خواص مکانیکی به وسیله دستگاه آزمون مکانیکی اینسترون^۱ مدل ۱۱۸۶ در آزمایشگاه دفتر فنی صنایع چوب سازمان جنگل‌ها واقع در کلارآباد چالوس انجام شد. برای تعیین جرم حجمی نمونه‌ها در حالت کاملاً خشک (D_0) و خشک شده در هوای آزاد (D_h) طبق استاندارد (ISO-۳۱۳۱) اندازه‌گیری و تغییرات آنها در فاصله رویش‌های سه‌گانه، جهات جغرافیایی و بینه مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها مکعبی به ابعاد مقطع 20×20 میلی‌متر و طول ۳۰ میلی‌متر آماده و ۴۳۲ نمونه از ۶ درخت تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. از رابطه‌های زیر برای محاسبه جرم مخصوص استفاده شد.

$$D_0 = \frac{m_0}{v_0} \quad (1)$$

$$D_h = \frac{m_h}{v_h} \quad (2)$$

m_0 جرم خشک نمونه، m_h جرم نمونه در رطوبت تعادل، v_h حجم نمونه در رطوبت تعادل، v_0 حجم خشک نمونه.

1. Instron

ابعاد نمونه‌های خمشی $300 \times 20 \times 20$ میلی‌متر و طول دهانه ۲۵۰ میلی‌متر انتخاب شد. نمونه‌ها تحت بار متمرکز در وسط دهانه قرار گرفتند. سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد. ۳۲۰ نمونه خشک (۸/۶ درصد رطوبت متوسط) و ۶۵۰ نمونه تر (۱۵۵/۵ درصد رطوبت متوسط) مورد ارزیابی قرار گرفت و در این خصوص مقاومت خمشی (MOR)، مدول الاستیسیته ظاهری (MOE) و مدول الاستیسیته واقعی (E_1) اندازه‌گیری و طبق روابط زیر محاسبه شد.

$$E_1 = \frac{P_{pl} \left(\frac{l}{h} \right)}{4 \delta_{pl} \cdot b} \left[\left(\frac{l}{h} \right)^2 + c \right] \quad (3)$$

$$MOE = \frac{P_{pl} \cdot l^3}{4 \delta_{pl} \cdot b h^3} \quad (4)$$

$$MOR = \frac{3 P_u \cdot l}{2 b h^2} \quad (5)$$

P_u نیروی ماکزیمم، P_{pl} نیروی حد تناسب، δ_{pl} خیز تیر در حد تناسب، l طول دهانه تیر، b پهنای تیر، h ارتفاع تیر، c ضریب ثابت.

ابعاد نمونه‌های فشاری موازی الیاف $60 \times 20 \times 20$ میلی‌متر انتخاب شد. در این آزمایش ۳۸۵ نمونه خشک و ۲۸۶ نمونه تر انتخاب و مقاومت نهایی (σ_{II})، تنش حد تناسب (σ_{pl})، مدول الاستیسیته در جهت طولی (E_L)، اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. تأثیر فاصله رویش، بینه و جهت جغرافیایی بر خواص یاد شده در بالا در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی و آزمون فاکتوریل ($3 \times 3 \times 4$) انجام و نتایج در سطح ۱ درصد و ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای شناخت و تفکیک اثر هر یک از سطوح فاکتورهای مطالعاتی از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج و بحث

آنالیز واریانس داده‌ها برای بررسی اثر فاکتورهای مطالعاتی (جهت جغرافیایی، فاصله رویش و بینه) بر روی خواص مورد نظر چوب پالونیا برای نمونه‌های تر و خشک به تفکیک انجام گردید. بر این اساس نتایج زیر به دست آمد.

1. Modulus of Rapture
2. Modulus of Elasticity

جرم حجمی: میانگین جرم حجمی خشک D_0 و ظاهری D_h چوب پالونیا به ترتیب $0/264$ گرم بر سانتی متر مکعب و $0/279$ گرم بر سانتی متر مکعب محاسبه شد. با توجه به آنالیز واریانس داده‌ها، کلیه فاکتورهای مطالعاتی اثر معنی‌داری بر تغییرات جرم حجمی نداشتند (جدول ۱). اما براساس آزمون توکی افزایش جرم حجمی (D_h) در بین ۳ نسبت به بین ۲ در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار است.

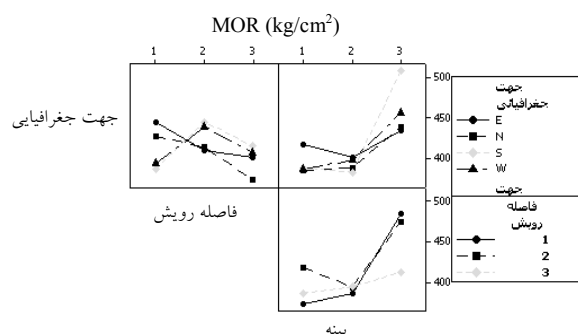
جدول ۱- آنالیز واریانس مربوط به جرم حجمی D_h ظاهری و جرم حجمی خشک D_0 .

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربع انحرافات (D_h)	F (D_h)	P (D_h)	مجموع مربع انحرافات (D_0)	F (D_0)	P (D_0)
جهت جغرافیایی (A)	۳	۰/۰۵۵۳۸	۰/۷۸	۰/۵۰۷	۰/۰۱۷۳۹	۰/۳۸	۰/۷۶۹
فاصله رویش (B)	۲	۰/۰۷۰۹۳	۱/۴۹	۰/۲۲۶	۰/۰۰۷۲۰	۰/۲۴	۰/۷۹۱
بین ۳ (C)	۲	۰/۱۰۶۰۵	۲/۲۳	۰/۱۰۹	۰/۰۳۱۴۹	۱/۰۳	۰/۳۵۹
AB	۶	۰/۱۵۲۵۸	۱/۰۷	۰/۳۸۰	۰/۱۴۲۸۹	۱/۵۵	۰/۱۵۹
AC	۶	۰/۱۲۰۷۵	۰/۸۵	۰/۵۳۴	۰/۱۰۴۳۸	۱/۱۴	۰/۳۴۱
BC	۴	۰/۱۲۱۹۲	۱/۲۸	۰/۲۷۶	۰/۰۳۷۲۲	۰/۶۱	۰/۶۵۷
ABC	۱۲	۰/۲۸۴۴۹	۱	۰/۴۵۰	۰/۱۸۳۴۰	۱	۰/۴۵۰
خطا	۳۹۶	۹/۴۱۰۸۱			۶/۰۶۵۳۶		
مجموع	۴۳۱	۱۰/۳۲۲۸۹			۶/۵۸۹۳۳		

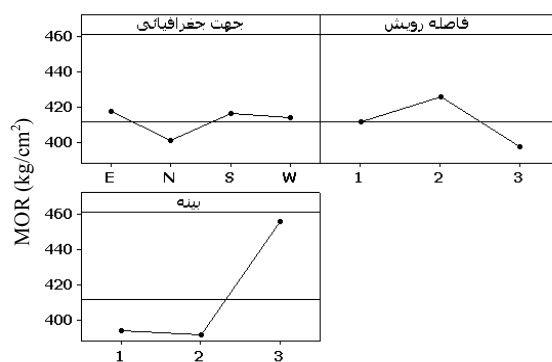
خمش استاتیک (نمونه‌های خشک): میانگین MOR برای نمونه‌های خشک $411/869$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع به دست آمد. برای نمونه‌های خشک، به جز جهت جغرافیایی (A) کلیه فاکتورها و اثرات متقابل آنها معنی‌دار هستند ($P < 0/05$) (جدول ۲). با توجه به نتایج آزمون توکی و مقایسه میانگین‌ها اثر فاصله رویش ۳ با ۲ متفاوت بوده ولی فاصله رویش ۱ (کمترین فاصله رویش) با آنها تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). این پدیده به دلیل وجود اثر متقابل فاصله رویش و بین قابل توصیف است. همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، اثر متقابل فاصله رویش ۳ با بین ۳ باعث کاهش MOR در این فاصله رویش شده و بدین ترتیب میانگین MOR در بزرگ‌ترین فاصله رویش، کمترین مقدار را به دست داده است. همچنین با توجه به آزمون توکی ملاحظه می‌شود که اثر بین ۱ و ۲ با ۳ متفاوت بوده ولی بین ۱ با ۲ اثر مشابه دارند ($P < 0/01$). در واقع افزایش ارتفاع درخت باعث افزایش MOR می‌گردد. حداکثر MOR در رویشگاه ۱ و بین ۳ ($487/09$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) و رویشگاه ۲ و بین ۳ ($478/44$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) حاصل شده است (شکل ۳).

جدول ۲- جدول آنالیز واریانس مقاومت خمشی نمونه‌های خشک (MOR).

P	F	مجموع مربع انحرافات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۶۸۹	۰/۴۹	۱۴۴۸۷	۳	جهت جغرافیایی (A)
۰/۰۳۳	۳/۴۴	۴۶۰۴۱	۲	فاصله رویش (B)
۰/۰۰۰	۲۸	۲۷۴۹۹۶	۲	بینه (C)
۰/۰۰۶	۳/۰۹	۹۴۱۶۹	۶	AB
۰/۰۲۷	۲/۴۱	۸۶۲۰۸	۶	AC
۰/۰۱۸	۳/۰۴	۷۶۰۶۱	۴	BC
۰/۰۶۱	۱/۷۳	۱۰۸۸۸۴	۱۲	ABC
		۱۵۴۰۵۴۸	۲۹۳	خطا
		۲۲۴۱۳۹۴	۳۲۸	مجموع



شکل ۲- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر MOR (نمونه‌های خشک).

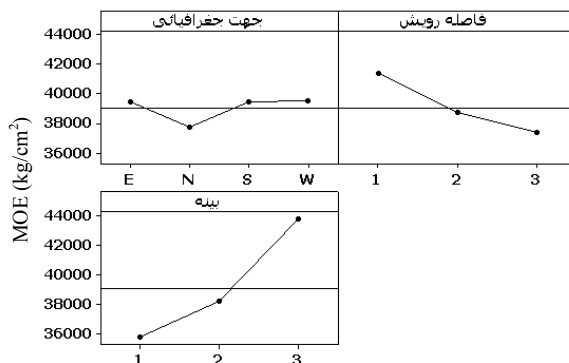


شکل ۳- اثرات متقابل فاکتورهای مطالعاتی بر MOR (نمونه‌های خشک).

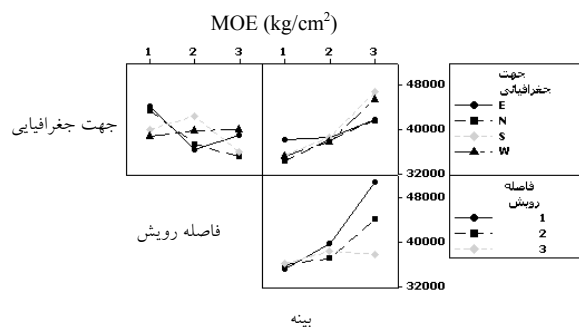
میانگین MOE، برای نمونه‌های خشک ۳۹۰۴۱/۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع محاسبه شد. اثر فاصله رویش و بینه بر MOE در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل AB، BC و ABC معنی دارند ($P < 0/05$) (جدول ۳). به‌طورکلی افزایش فاصله رویش باعث کاهش MOE می‌گردد (شکل ۴). با آزمون توکی مشاهده می‌شود که تغییرات میانگین MOE در فاصله رویش ۱ با ۲ و ۳ متفاوت بوده ($P < 0/01$) ولی در فاصله رویش ۲ و ۳ با هم تفاوتی ندارند. این تغییرات در بینه ۳ نیز با بینه ۱ و ۲ معنی‌دار است ($P < 0/01$). MOE در جهت طولی درخت از یقه به طرف تاج افزایش می‌یابد. بالاترین مقدار MOE در بینه ۳ و فاصله رویش ۱ برابر ۵۱۰۱۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به‌دست آمده است (شکل ۵). در ضمن براساس معادله (۳) میانگین مدول الاستیسیته واقعی نمونه‌های خشک E_1 ، ۴۱۹۸۵/۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. با توجه به محاسبه E_1 از طریق معادله یاد شده، بدیهی است که تغییرات E_1 مشابه MOE می‌باشد. بنابراین از ارائه جداول آنالیز واریانس و نمودارهای مشابه صرف‌نظر می‌گردد. وجود اثرات متقابل جهت جغرافیایی با دیگر فاکتورها الگوی مشخصی از اثر جهات جغرافیایی بر روند تغییرات MOE، MOR و E_1 به‌دست نمی‌دهد.

جدول ۳- جدول آنالیز واریانس مدول الاستیسیته ظاهری نمونه‌های خشک (EMO).

P	F	مجموع مربع انحرافات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۸۲۷	۰/۳۰	۱۷۹۶۰۱۴۵۱	۳	جهت جغرافیایی (A)
۰/۰۰۰	۸/۶۸	۷۶۴۰۴۱۰۱۸	۲	فاصله رویش (B)
۰/۰۰۰	۲۵/۷۱	۳۴۰۸۶۵۵۶۲۶	۲	بینه (C)
۰/۰۰۱	۴/۰۸	۱۲۱۰۱۵۴۷۴۱	۶	AB
۰/۳۴۰	۱/۱۴	۵۴۴۰۷۳۴۹۹	۶	AC
۰/۰۰۰	۷/۶۲	۱۹۱۹۶۶۷۶۱۶	۴	BC
۰/۰۰۶	۲/۴۰	۱۷۰۱۳۹۷۹۷۷	۱۲	ABC
		۱۷۱۰۸۹۹۹۵۹۷	۲۹۰	خطا
		۲۶۸۳۶۵۹۱۵۹۶	۳۲۵	مجموع



شکل ۴- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر MOE (نمونه‌های خشک).

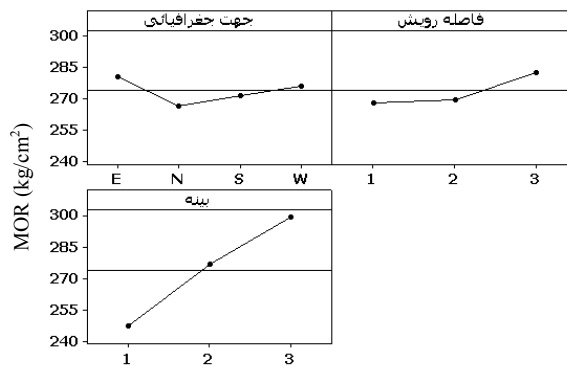


شکل ۵- اثرات متقابل فاکتورهای مطالعاتی بر MOE (نمونه‌های خشک).

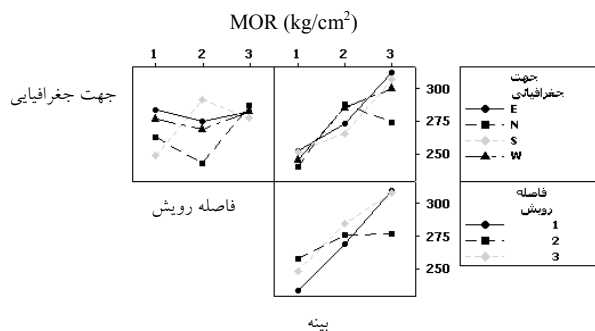
خمش استاتیک (نمونه‌های تر): میانگین MOR برای نمونه‌های تر ۲۷۴/۰۴۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع به‌دست آمده است. در بین فاکتورهای مطالعاتی تنها اثر بینه معنی‌دار است ($P < 0/01$). همچنین کلیه اثرات متقابل معنی‌دار هستند ($P < 0/01$). با توجه به نتایج آزمون توکی اثر بینه ۱ با ۲ و ۳ متفاوت بوده و اثر بینه ۲ با ۳ نیز متفاوت است ($P < 0/01$). MOR رابطه مستقیم با ارتفاع درخت داشته و حداکثر مقادیر آن در بالاترین ارتفاع درخت (بینه ۳) به‌دست آمده است (شکل ۶). مقدار حداکثر MOR در فاصله رویش ۱ و بینه ۳ برابر ۳۰۸/۹۹۸ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع به‌دست آمده است. با توجه به وجود اثر متقابل BC، افزایش ارتفاع درخت در فاصله رویش ۲ باعث کاهش MOR

شده است. وجود اثرات متقابل ABC باعث تغییرات شدید و ناموزون MOR در جهات جغرافیایی بسته به فاصله رویش و ارتفاع درخت شده است (شکل ۷).

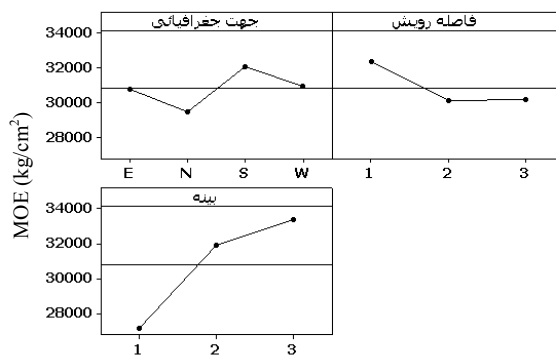
میانگین MOE نمونه‌های تر $30818/3$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به دست آمده است کلیه فاکتورهای مطالعاتی اثر معنی‌داری بر MOE دارند ($P < 0/01$)، اما به جز اثر متقابل BC و ABC سایر اثرات متقابل معنی‌دار نیستند ($P < 0/01$). مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی نشان می‌دهد که جهت N با S متفاوت است ($P < 0/05$)، اما دیگر جهت‌ها تفاوتی را نشان نمی‌دهند. فاصله رویش ۱ با ۲ و ۳ متفاوت بوده ($P < 0/01$) اما فاصله رویش ۲ با ۳ تفاوتی ندارد. بین‌های ۱ با ۲ و ۳ ($P < 0/01$) و بین ۲ با ۳ ($P < 0/05$) متفاوتند. روند تغییرات MOE نسبت به ارتفاع درخت مشابه MOR است. همچنین MOE با افزایش فاصله رویش کاهش نشان می‌دهد (شکل ۸). با توجه به اثر متقابل BC (شکل ۹)، مشاهده می‌شود که مقدار حداکثر MOE در همه موارد به جز فاصله رویش ۲ در بالاترین بین حاصل شده است. مقدار ماکزیمم به $36965/2$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در فاصله رویش ۱ و بین ۳ می‌رسد. در ضمن با توجه به معادله (۳) میانگین مدول الاستیسیته واقعی E_1 برای نمونه‌های تر $35680/1$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به دست آمده است.



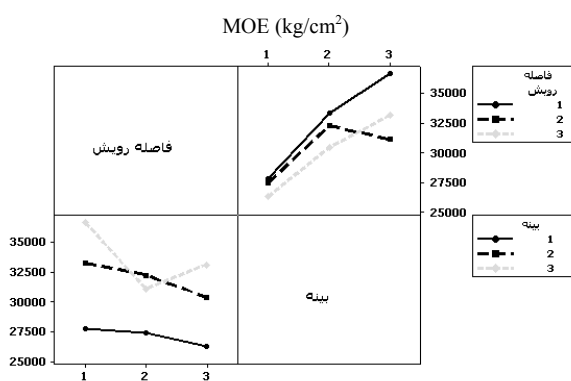
شکل ۶- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر MOR (نمونه‌های تر).



شکل ۷- اثرات متقابل فاکتورهای مطالعاتی بر MOR (نمونه‌های تر).



شکل ۸- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر MOE (نمونه‌های تر).



شکل ۹- اثر متقابل BC بر MOE (نمونه‌های تر).

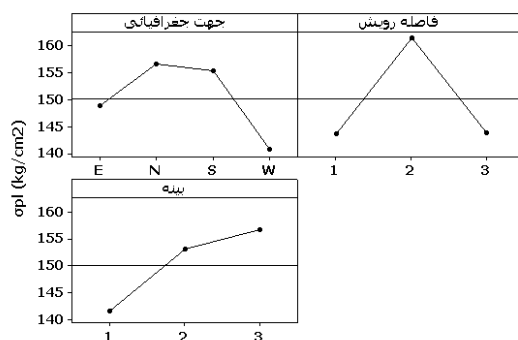
فشار موازی الیاف (نمونه‌های خشک): میانگین تنش ماکزیم σ_u ، تنش حد تناسب σ_{pl} و مدول الاستیسیته در جهت الیاف E_L برای نمونه‌های خشک به ترتیب ۲۱۹/۸۰، ۱۵۰/۱۴ و ۱۹۱۵۵/۳ کیلوگرم بر سانتی مترمربع محاسبه شد. با توجه به نتایج آنالیز واریانس ملاحظه می‌گردد که تغییرات σ_{pl} و σ_u نسبت به فاکتورهای مطالعاتی روند مشابهی دارند. کلیه فاکتورهای مطالعاتی اثر معنی‌داری بر σ_u و فاکتورهای B و C اثر معنی‌داری بر σ_{pl} دارند ($P < 0/01$). ولی اثرات متقابل فاکتورها به جز اثر متقابل فاصله رویش و بینه معنی‌دار نیستند (جدول ۴). کمترین میزان مقاومت در جهت غربی W حاصل شده که این جهت با دیگر جهت‌ها به جز جهت شرقی E متفاوت است ($P < 0/05$).

مقاومت به فشار موازی الیاف در بزرگ‌ترین فاصله رویش کاهش یافته است. در واقع فاصله رویش ۲ با دو فاصله رویش دیگر متفاوت بوده ($P < 0/01$) ولی فاصله رویش ۱ و ۳ اثر مشابهی بر σ_{pl} و σ_u داشته‌اند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). بدین ترتیب احتمال وجود عوامل دیگر رویشگاهی مؤثر به جز فاصله رویش بر خواص مطالعاتی وجود دارد. اثر بینه ۳ با ۱ متفاوت بوده ($P < 0/01$) ولی بینه ۱ با ۲ و بینه ۳ با ۲ اثر مشابهی بر مقاومت فشاری دارند. با توجه به اثر متقابل فاصله رویش و بینه، اثر بینه بر مقاومت فشاری σ_u فقط در فاصله رویش ۱ معنی‌دار است ولی در رویشگاه‌های ۲ و ۳ اثر معنی‌دار نداشته است (شکل ۱۲ و ۱۳). به همین دلیل مقدار حداکثر σ_u در فاصله رویش ۱ و بینه ۳ حاصل شده است (۲۴۵/۶۴ کیلوگرم بر سانتی مترمربع). در نتیجه اثر بینه یا ارتفاع درخت در صورت کاهش فاصله رویش معنی‌دار است. این پدیده برای تنش حد تناسب σ_{pl} نیز صادق است با این تفاوت که σ_{pl} با افزایش فاصله رویش (۲ و ۳) در بینه ۳ کاهش یافته است.

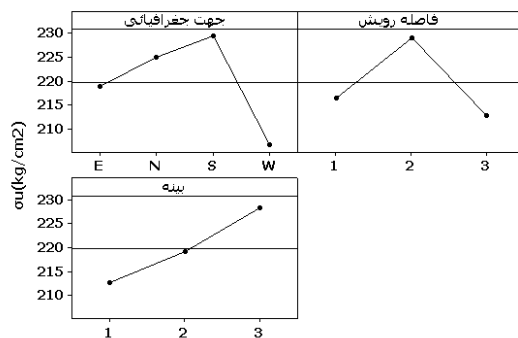
اثر فاکتورهای مطالعاتی بر E_L معنی‌دار است ($P < 0/01$). ولی هیچ‌کدام از اثرات متقابل فاکتورها معنی‌دار نیستند (جدول ۵). با توجه به مقایسه میانگین سطوح، اثر جهت جغرافیایی W با جهت N و S متفاوت است ولی دیگر جهت‌ها با هم تفاوتی ندارند (شکل ۱۹). در خصوص فاصله رویش، فقط فاصله رویش ۲ با ۳ متفاوت است ($P < 0/01$). بینه ۳ با بینه‌های ۱ ($P < 0/01$) و ۲ ($P < 0/05$) تفاوت معنی‌دار دارد. به‌طورکلی E_L با فاصله رویش رابطه معکوس و با ارتفاع درخت رابطه مستقیم دارد (شکل ۱۴).

جدول ۴- جدول آنالیز واریانس مقاومت به فشار موازی الیاف (σ_{II}) تنش حد تناسب (σ_{PI}) نمونه‌های خشک.

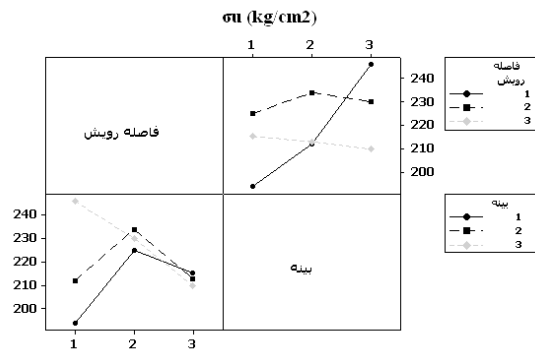
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربع انحرافات (σ_{II})	$(\sigma_{II})F$	$(\sigma_{II})P$	مجموع مربع انحرافات (σ_{PI})	$(\sigma_{PI})F$	$(\sigma_{PI})P$
جهت جغرافیایی (A)	۳	۲۸۵۵۳	۵/۳۲	۰/۰۰۱	۱۵۰۵۸	۲/۴۵	۰/۰۶۴
فاصله رویش (B)	۲	۲۱۰۹۷	۶/۳۳	۰/۰۰۲	۲۸۶۱۴	۹/۲۳	۰/۰۰۰
بینه (C)	۲	۱۷۷۴۱	۵/۸۳	۰/۰۰۳	۱۸۱۶۱	۶/۰۳	۰/۰۰۳
AB	۶	۳۱۰۴	۰/۳۸	۰/۸۹۱	۶۴۲۸	۰/۸۰	۰/۵۶۸
AC	۶	۸۷۹۲	۰/۹۶	۰/۴۵۵	۷۹۶۸	۰/۷۰	۰/۶۴۶
BC	۴	۳۷۲۷۶	۵/۱۱	۰/۰۰۱	۸۸۴۸۱	۱۲/۵۷	۰/۰۰۰
ABC	۱۲	۲۱۲۱۵	۱/۰۶	۰/۳۹۲	۱۴۸۵۴	۰/۷۴	۰/۷۱۳
خطا	۳۴۹	۵۸۱۲۰۷			۵۸۴۸۸۹		
مجموع	۳۸۴	۷۱۸۹۸۵			۷۶۴۴۵۳		



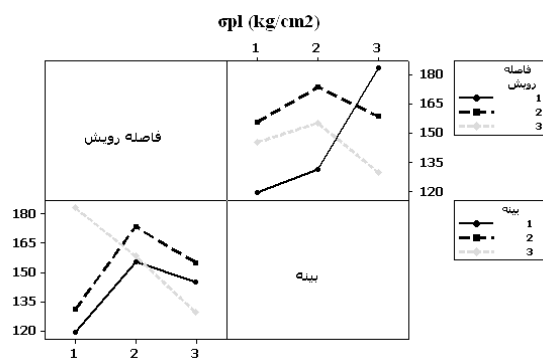
شکل ۱۰- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر σ_{II} (نمونه‌های خشک).



شکل ۱۱- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر σ_{PI} (نمونه‌های خشک).



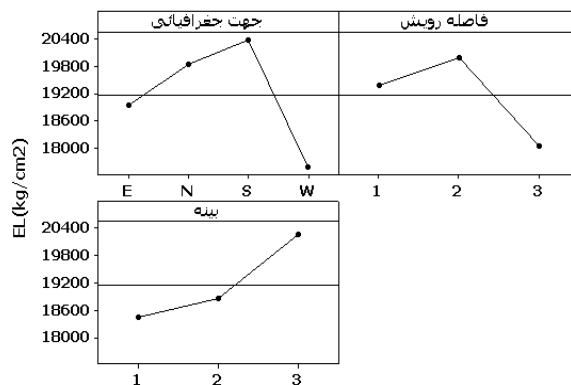
شکل ۱۲- اثر متقابل BC بر σ_{II} (نمونه‌های خشک).



شکل ۱۳- اثر متقابل BC بر σ_{PI} (نمونه‌های خشک).

جدول ۵- جدول آنالیز واریانس مدول الاستیسیته فشاری نمونه‌های خشک (E_L).

P	F	مجموع مربع انحرافات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۰۳	۴/۸۳	۴۲۵۳۶۲۹۳۴	۳	جهت جغرافیایی (A)
۰/۰۱۱	۴/۵۵	۲۸۵۴۴۸۰۵۳	۲	فاصله رویش (B)
۰/۰۰۵	۵/۴۰	۲۵۶۶۳۸۸۷۵	۲	بینه (C)
۰/۱۶۶	۱/۵۴	۳۴۰۲۱۳۸۱۵	۶	AB
۰/۱۰۴	۱/۷۷	۲۸۳۴۲۴۲۳۷	۶	AC
۰/۰۶۶	۲/۲۳	۳۲۸۰۱۹۴۱۸	۴	BC
۰/۱۲۳	۱/۵۰	۵۸۴۷۳۵۰۶۷	۱۲	ABC
		۱۱۱۳۶۷۷۲۱۷۷	۳۴۲	خطا
		۱۳۶۴۰۶۱۴۵۷۶	۳۷۷	مجموع

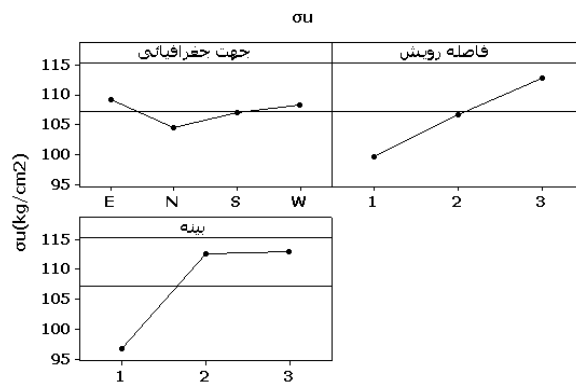


شکل ۱۴- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر مدول الاستیسیته نمونه‌های خشک در جهت الیاف (E_L).

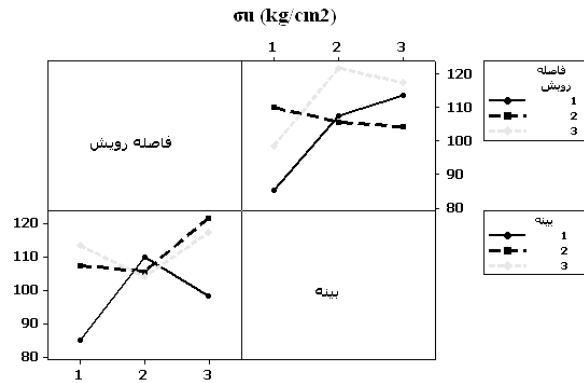
فشار موازی الیاف (نمونه‌های تر): برای نمونه‌های تر، میانگین σ_{pi} و E_L به ترتیب ۱۰۷/۲۶۹، ۸۶/۲۹۷ و ۸۸۸۸/۷ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع به دست آمده است. تغییرات σ_{pi} و σ_u نسبت به فاکتورهای مطالعاتی در نمونه‌های تر و خشک متفاوتند. اثرات بینه و فاصله رویش بر مقاومت فشاری معنی‌دار است ($P < 0/01$). ولی جهت جغرافیایی اثر معنی‌داری نداشته است (شکل ۱۵). همچنین اثر متقابل فاکتورهای مطالعاتی برای σ_{pi} و σ_u مشابه‌اند. به‌طورکلی اثرات متقابل BC (فاصله رویش و بینه) و ABC بر مقاومت فشاری معنی‌دار است ($P < 0/01$). اثر فاصله رویش ۱ با فاصله رویش ۳ متفاوت ($P < 0/01$) ولی با فاصله رویش ۲ مشابه است. از طرف دیگر فاصله رویش ۲ و ۳ با هم مشابهند. در واقع وجود اثر متقابل فاصله رویش و بینه باعث تغییر اثر فاصله رویش بر مقاومت فشاری نمونه‌های تر شده است. به‌عنوان مثال در فاصله رویش ۲ بینه اثر معنی‌داری بر مقاومت فشاری ندارد (شکل ۱۶). به‌طورکلی افزایش فاصله رویش باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های تر شده است. در خصوص بینه‌ها افزایش ارتفاع باعث افزایش مقاومت شده که این پدیده مشابه نمونه‌های خشک است. مقایسه میانگین‌ها با روش توکی تفاوت معنی‌داری را ما بین بینه‌های ۲ و ۳ با بینه ۱ ($P < 0/01$) نشان می‌دهد ولی بینه ۲ و ۳ با هم مشابهند.

فاصله رویش و ارتفاع درخت به جز جهات جغرافیایی، اثر معنی‌داری بر E_L نشان می‌دهند ($P < 0/01$) (شکل ۱۷). همچنین اثرات متقابل AC، BC و ABC معنی‌دارند ($P < 0/01$). با مطالعه روند تغییرات E_L ملاحظه می‌شود که تا حدودی با افزایش ارتفاع درخت و فاصله رویش E_L روند

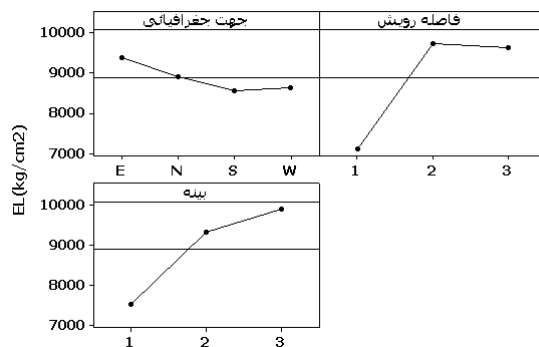
صعودی داشته و سپس ثابت می ماند (شکل ۱۸). فاصله رویش ۱ با ۲ و ۳ متفاوت است ($P < 0.01$). ولی فاصله رویش ۲ با ۳ تفاوتی ندارند. همچنین بین ۱ با ۲ و ۳ متفاوت است، ولی بین ۲ و ۳ تفاوتی نشان نمی دهند. بین ۱ یا ارتفاع درخت در فاصله رویش ۲ اثر معنی داری بر E_L ندارد، این پدیده مشابه اثر بین ۱ بر مقاومت فشاری است (شکل ۱۸).



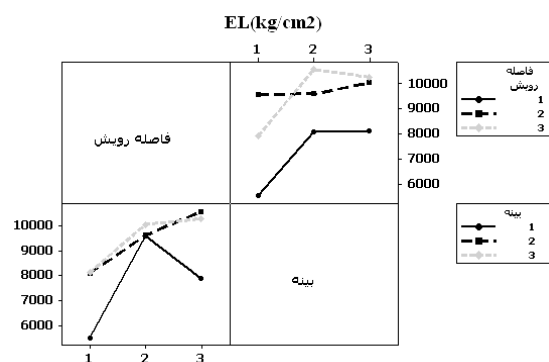
شکل ۱۵- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر σ_{II} (نمونه های تر).



شکل ۱۶- اثر متقابل فاکتورهای مطالعاتی بر σ_{II} (نمونه های تر).



شکل ۱۷- اثر فاکتورهای مطالعاتی بر E_L (نمونه‌های تر).



شکل ۱۸- اثر متقابل فاکتورهای مطالعاتی بر E_L (نمونه‌های تر).

نتیجه‌گیری

با توجه به جرم حجمی ظاهری (۰/۲۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب) و جرم حجمی خشک (۰/۲۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب) محاسبه شده، چوب پالونیا در رده چوب‌های بسیار سبک قرار می‌گیرد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که فاکتورهای مطالعاتی بر تغییرات جرم حجمی چوب پالونیا، اثر معنی‌داری نداشته‌اند. اما به‌طور کلی تغییرات جرم حجمی با افزایش ارتفاع درخت روند صعودی داشته است. در این خصوص بیشترین اختلاف مربوط به متوسط جرم حجمی بینه ۳ نسبت به بینه ۲ با ۱۵ درصد افزایش می‌باشد. تمام مقاومت‌ها و خواص مکانیکی مورد مطالعه برای نمونه‌های تر نسبت به حالت خشک کاهش یافته است. حداکثر کاهش برای مدول الاستیسیته E_L و مقاومت نهایی فشار موازی ایلف σ_{II} حاصل شده است که در حالت تر به بیش از نصف حالت خشک کاهش یافته است.

MOR برای نمونه‌های خشک در بزرگ‌ترین فاصله رویش کمترین مقدار را نشان می‌دهد. مقادیر MOR با ارتفاع درخت رابطه مستقیم دارد. حداکثر مقادیر MOR برای بینه ۳ در فاصله رویش ۱ (۴۸۷/۰۹ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) و فاصله رویش ۲ (۴۷۸/۴۴ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) حاصل شده است، به گونه‌ای که MOR در فاصله رویش ۱، ۱۸ درصد افزایش نسبت به مقدار متوسط و در فاصله رویش ۲، ۱۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. با توجه به رابطه معکوس پهنای دوایر رویش و مقاومت مکانیکی چوب سوزنی‌برگان و پهن‌برگان پراکنده آوند (ابراهیمی، ۱۹۸۹)، احتمالاً افزایش مدول گسیختگی مربوط به رشد پارابولوییدی درخت و کاهش پهنای دوایر رویش با افزایش ارتفاع درخت بوده که این پدیده باعث افزایش سهم چوب پایان در دوایر رویش و در نتیجه افزایش نسبی جرم حجمی چوب می‌گردد. اما اثر جهات جغرافیایی بر MOR معنی‌دار نبوده است.

نسبت مقاومت خمشی یا مدول گسیختگی پالونیا به وزن ویژه نسبی آن (بر مبنای وزن و حجم خشک در هوای آزاد) مقدار ۱۵۹۶/۴ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع حاصل شده که این نسبت از مقدار گزارش شده برای گونه بالزا با مقدار ۱۲۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (تانگ، ۲۰۰۸) و گونه صنوبر آمریکا (*Balsam poplar*) ۱۳۸۲/۴ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (گرین و همکاران، ۱۹۹۹) بیشتر است. البته مقایسه نسبت مدول گسیختگی به وزن چوب پالونیا در منطقه مورد مطالعه با دیگر کلن‌های پالونیا با نسبت‌های متغیر از ۱۴۸۲-۱۰۳۵/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (زیونگ، ۱۹۹۰)، ارجحیت نسبی چوب پالونیا فورتونی کاشته شده در گرگان را نشان می‌دهد.

روند تغییرات MOE برای نمونه‌های تر و خشک تقریباً مشابه هستند. MOE با فاصله رویش رابطه معکوس و با ارتفاع درخت رابطه مستقیم دارد. فاصله رویش ۱ بیشترین مقدار MOE را به‌دست داده اما دو فاصله رویش دیگر اثر مشابه‌ای دارند. به گونه‌ای که مقادیر متوسط MOE برای نمونه‌های خشک در فاصله رویش ۱، ۱۲/۱ درصد نسبت به فاصله رویش ۳ رشد نشان داده است. همچنین اثر بینه ۳ تفاوت معنی‌داری نسبت به بینه ۲ و ۱ نشان داده است. مقدار متوسط MOE در بینه ۳، ۲۰/۸ درصد نسبت به بینه ۱ افزایش داشته است. به این ترتیب ملاحظه می‌گردد که اثر بینه یا ارتفاع درخت در این حالت نیز از دیگر فاکتورها اهمیت بیشتری دارد. حداکثر مقدار MOE در بینه ۳ و فاصله رویش ۱ با مقدار ۵۱۰۱۶ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع به‌دست آمده است. در خصوص اثر جهات جغرافیایی تنها جهت S با N در نمونه‌های تر تفاوت نشان داده‌اند. مقدار MOE در جهت S، ۷/۹ درصد نسبت به جهت N افزایش داشته است.

به‌طور کلی مقادیر E_L ، σ_{pl} ، σ_u با فاصله رویش رابطه مستقیم و با ارتفاع درخت رابطه معکوس دارد. حداکثر مقادیر σ_{pl} و σ_u را در رویشگاه ۱ و بینه ۳ مشاهده می‌کنیم. σ_u در این حالت برای نمونه‌های خشک ۲۴۵/۶۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به‌دست آمده است. در واقع اثر ارتفاع درخت در کوچک‌ترین فاصله رویش تشدید شده است. غالباً اثر ارتفاع در کمترین فاصله رویش معنی‌دارتر است. E_L و σ_u در بینه ۳ به ترتیب ۸/۴ درصد و ۱۳ درصد نسبت به بینه ۱ افزایش نشان می‌دهد. در خصوص جهات جغرافیایی، مقادیر σ_{pl} و σ_u در جهات شرقی- غربی (E-W) از جهات شمالی- جنوبی (N-S) کمتر است. البته کمترین مقدار مربوط به جهت غربی است. روند تغییرات σ_{pl} ، σ_u و E_L در نمونه‌های تر نسبت به نمونه‌های خشک متفاوت است.

نسبت مقاومت نهایی فشار موازی الیاف چوب پالونیا به وزن آن (۸۵۱/۹ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) مقدار بیشتری را نسبت به چوب صنوبر آمریکا با مقدار ۸۱۴/۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به‌دست داده است.

شایان ذکر است، خواص مکانیکی چوب پالونیا مورد مطالعه قابل رقابت با دیگر گونه‌های پالونیا کاشته شده در نیوزلند و کره می‌باشد که به‌طور خلاصه در جدول ۶ آمده است (بارتون و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین نسبت بالای مقاومت چوب پالونیا به وزن آن جایگاه ویژه این گونه را جهت ساخت سازه‌های سبک و مقاوم تثبیت و به‌عنوان یک گونه استراتژیک در جهت جایگزینی چوب بالزا که به‌عنوان سبک‌ترین چوب وارداتی در کشور می‌باشد، مطرح و قابل بررسی است. از طرف دیگر فاصله کاشت کوچک‌تر ضمن ارتقاء خواص مکانیکی مورد مطالعه (به‌خصوص در ارتفاعات بالای درخت) موجب افزایش پتانسیل میزان تولید چوب می‌گردد.

جدول ۶- خواص مکانیکی چوب پالونیا *P.furtonie* در منطقه گرگان و گونه‌های *P.elongata*، *P.tomentosa* کاشته شده در نیوزلند و کره و گونه بالزا (بارتون، ۲۰۰۷).

Balsa	نیوزلند		گرگان		خواص چوب
	کره P.Tomentosa	P.elongata	P.Tomentosa	P.Furtonie	
۲۳۰	۴۳۷	۴۱۳	۴۰۰	۴۱۱/۸۷	MOR (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)
۳۲۰۰۰	-	۴۱۰۰۰	۴۰۰۰۰	۳۹۰۴۱	MOE (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)
۱۵۵	۱۵۲	۲۲۴	۲۳۷	۲۱۹/۸	σ_u (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)
-	۰/۲۴	۰/۳۳۵	۰/۳۴	۰/۲۵۷	جرم حجمی (گرم بر سانتی‌متر مربع)
	%۱۲	%۱۱	%۱۰/۸	%۸/۶	رطوبت

منابع

1. American Paulownia Association. 2008. Dedicated to the Advancement of Paulownia. www.paulowniatrees.org
2. Barton, I.L., Nicholas, I.D., and Ecroyd, C.E. 2007. Paulownia. Forest Research Bulletin No. 231. Ensis, Private Bag 3020, Rotorua, New Zealand, 69p.
3. Ebrahimi, GH. 1989. Mechanics of wood and wood composites. Tehran university press, 670p. (Translated In Persian).
4. Green, D.W., Winandy, J.E., and Kretschmann, D.E. 1999. Wood handbook- Wood as an engineering material: Chapter 4, Mechanical Properties of Wood. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 46p.
5. Hassan-Abbasi, N. 2000. Growth and adaptability of Paulownia Fortunei. Book of abstracts of the National Conference on Management of Northern Forest on Sustainable Development, Ramsar, Iran, Pp: 97-117. (In Persian)
6. Hassanzad Navroodi, I., and Rostami, T. 2007. Evaluation of the growth potential of Paulownia fortunei in Guilan province. Conference on Improving the Triple Bottom Line Returns from Small-scale Forestry. Ormoc, the Philippines, Pp: 197-204.
7. Jey, A. 1998. Paulownia plantation experiences and profitable timber production, Australian Forest Growers Conference Proceedings, Lismore, Pp: 199-214.
8. Owtady, F. 2002. Evaluation of the growth potential and wood properties of paulownia International Conference Proceeding on Forestry and Industry. Tehran, 2: 771-775. (In Persian)
9. Shiu-Ying, Hu. 1961. The economic botany of the paulownia. Economic Botany Journal. Springer New York, 15: 1. 11-27.
10. Tang R.C. 2008. American Largest Supply of Paulownia Wood. www.paulowniawood.com
11. Van de Hoef, L. 2003. Paulownia, Agricultural Notes (AG0778), ISSN 1329-8062, A site in north east Victoria state, Dpartment of Primary Industries, Box Hill, Melbourne, Australia, Pp: 1-3.
12. Xiong, Y.G. 1990. Final Technical Report of Paulownia Project (Phase II). International Development Research Centra (IDRC), Canada. 10p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 16(3), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Investigation on Bending and Compression Strength of *Paulownia fortunei* Wood Grown in Gorgan Region

***A. Khazaeian¹, F. Yaghmaei² and T. Tabarsa³**

¹Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Statistics, Golestan University, ³Associate Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Bending and compression strength of *Paulownia fortunei* wood grown in educational and research forest located at Shastkalate, Gorgan were studied. Paulownia trees were selected among five years old plantation. Sampling spot was conducted following standard procedure. Trees were cut into logs, which were then cut into 6 cm thickness wood blocks based on geographic directions. Wood blocks were divided into two groups. One group assigned as wet group and another group of wood blocks was air dried until their equilibrium moisture content reached to 8.6% and assigned as dry group. Density of all wood block was determined. Compression parallel to the grain and bending tests were carried out using Instron machine model 1186. Maximum stress (σ_u), proportional stress (σ_{pl}), Modulus of elasticity parallel to the grain (E_L), modulus of rupture (MOR), apparent modulus of elasticity (MOE) and real modulus of elasticity (E_1) were determined. Effect of tree spacing, geographic directions and tree height on the above mentioned properties were analyzed using random factorial design. Results showed that Paulownia wood having dry density of 0.26 g/cm³ and apparent density of 0.28 g/cm³ is a very light wood. Also, its high strength to weight ratio places it in special category material for making light and strong constructions. In addition, its strength properties increases with the height of the tree. Especially this effect is more distinct by decreasing tree spacing. On the other hand, less tree spacing produces high strength wood and more wood material, as well.

Keywords: *Paulownia fortunei*, Compression parallel to the grain, Static bending, Tree spacing, Tree height

* Corresponding Author; Email: khazaeian@gmail.com