



دانشگاه گوارا، دانشکده منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۶

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

تأثیر فاصله کاشت بر دانسیته و بیومتری الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس (مطالعه موردی در جنگل ساری)

*مجید کیائی

دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: کارخانه چوب و کاغذ مازندران به منظور تأمین مواد اولیه جهت تولید کاغذ اقدام به کشت گونه تندرشد صنوبر در فواصل کاشت مختلف نموده است. این عامل می‌تواند مقدار رویش قطری، ارتفاعی و در نهایت کیفیت چوب درختان به دلیل رقابت ریشه‌ای و تاجی در کسب نور، آب و مواد غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر فاصله کاشت و محور طولی درخت بر دانسیته خشک و خواص بیومتری الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: تعداد ۹ اصله درخت سالم صنوبر (*Populus deltoids*) در سه فاصله کاشت (۲×۲، ۳×۲ و ۳×۳ مترمربع) در طرح جنگل کاری صنایع چوب و کاغذ مازندران انتخاب و سه دیسک در محور طولی درخت از ارتفاع برابر سینه، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد از ارتفاع درختان برای محاسبه خواص چوب صنوبر (دانسیته خشک، طول الیاف، قطر الیاف، ضخامت دیواره سلولی، ضریب انعطاف‌پذیری، نسبت رانکل و نسبت درهم‌رفتگی) بریده شد.

یافته‌ها: آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل فاصله کاشت بر دانسیته خشک، ابعاد الیاف و نسبت درهم‌رفتگی معنی‌دار و بر ضریب انعطاف‌پذیری و نسبت رانکل غیرمعنی‌دار است. تأثیر مستقل محور طولی درخت بر دانسیته خشک و خواص بیومتری غیرمعنی‌دار و تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت بر همه خواص چوب صنوبر دلتوئیدس به غیر از قطر الیاف غیرمعنی‌دار بود. بیشترین میانگین دانسیته خشک، طول الیاف، قطر الیاف، ضخامت دیواره سلولی و ضریب انعطاف‌پذیری در فاصله کاشت ۲×۲ و کمترین میانگین آن در فاصله کاشت ۳×۲ مترمربع مشاهده شد. نسبت‌های درهم‌رفتگی و رانکل در فاصله کاشت ۳×۲ مترمربع نسبت به سایر فواصل کاشت بیشتر بود. ارتباط مثبت و معنی‌دار بین رویش طولی و قطری با دانسیته و ابعاد الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس وجود داشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان کاشت صنوبر دلتوئیدس در فواصل کمتر برای رفع کمبود ماده اولیه برای صنعت کاغذسازی مازندران جهت تولید کاغذ را پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: صنوبر دلتوئیدس، فاصله کاشت، دانسیته، بیومتری الیاف

*مسئول مکاتبه: Mjd-kia59@iauc.ac.ir

مقدمه

باتوجه به روند فزاینده نیاز چوبی کشور و محدودیت برداشت چوب از جنگل‌های طبیعی، لزوم جنگل‌کاری و زراعت چوب با استفاده از گونه‌های سریع‌الرشد و ترجیحاً بومی امری اجتناب‌ناپذیر است. صنوبر یکی از گونه‌های با ارزش جهان محسوب می‌شود که در جنگل‌کاری و زراعت چوب اهمیت زیادی دارد. از سرعت رویش بالایی برخوردار بوده و در صنایع مختلف چوب و کاغذ کاربرد دارد. این گونه در مدت زمان کوتاه می‌تواند نیازهای صنعت را مرتفع سازد. صنوبر دلتوئیدس که به خانواده بید (Salicaceae) تعلق دارد (۲۴)، بومی آمریکای شمالی بوده و در اروپا، استرالیا و کشورهای جنوب شرق آسیا معرفی و کاشته شده است (۲۵ و ۲۷).

تشکیل، رشد و تکامل سلول‌های چوبی تحت تأثیر عواملی از جمله نور، حرارت، میزان بارندگی و نوع توده جنگلی بوده و یکی از عوامل مهمی که در رویش سالانه و نحوه رشد عناصر سلولی درخت بسیار مؤثر است وضع توده جنگلی می‌باشد. بدین شکل که بین توده‌های جنگلی تنک وانبوه و به شدت باز و به‌شدت انبوه و همچنین کاشت درختان با فاصله کاشت‌های متفاوت از جنگل‌های مصنوعی و دست‌کاشت، وضعیت آناتومی سلول‌های رشدیافته در یک گونه و در یک شرایط رویشگاهی مشخص تفاوت چشمگیری وجود دارد (۲، ۱۰). مهمترین اهداف از تنظیم فاصله کاشت توسط جنگلبانان افزایش رشد قطری درختان و تغییر سایر خواص چوب، افزایش میزان تولید جنگل از نظر کیفیت، دریافت نور بیشتر و افزایش سهمیه مواد غذایی و آب جذب شده توسط هر درخت، حذف درختان مزاحم و ایجاد فضای کافی برای درختان مرغوب و کاشت گونه‌های مرغوب و سالم می‌باشد (۵).

گزارشات متنوع درباره تأثیر سرعت رشد بر خواص چوب پهن‌برگان پراکنده آوند وجود دارد. دبل و همکاران (۱۹۹۸) اظهار داشتند که سرعت رشد تحت تأثیر فاصله کاشت تأثیری بر طول الیاف در حلقه‌های رویش بین ۲-۶ سال از چوب صنوبر نداشته در حالی‌که در حلقه رویشی هفتم، این ارتباط مثبت بود (۳). فیجی وارا و یانگ (۲۰۰۰) گزارش نمودند که ارتباط مستقیم بین طول الیاف و حلقه رویشی در چوب بالغ صنوبر وجود دارد (۱۲). دبل و همکاران (۲۰۰۲) و اسنوک و همکاران (۱۹۸۶) بیان کردند که ارتباط بین طول الیاف و سرعت رویش در سن اولیه درختان معنی‌دار نیست در حالی‌که در سن بالاتر رابطه منفی و معنی‌داری بین این دو صفات در چوب صنوبر وجود دارد. مطالعاتی دیگر نشان از عدم ارتباط واضح و شفاف بین سرعت رویش و طول الیاف چوب صنوبر حکایت دارد (۴ و ۲۸). در بسیاری از گونه‌های چوبی سن کامبیوم بر ویژگی آناتومی و دانسیته چوب تأثیر دارد به‌طوری‌که با افزایش سن کامبیوم، طول الیاف، قطر الیاف و ضخامت دیواره سلولی افزایش یافت (۳۱ و ۳۲). تغییرات خواص چوب در پهن‌برگان پراکنده آوند مستقل از سرعت رویش بوده و بیشتر به عناصر تشکیل دهنده بافت چوبی بستگی دارد (۳۱).

ریاحی‌فر و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی تحت عنوان مقایسه رویش گونه صنوبر و پالونیا در فواصل کاشت ۳×۳، ۴×۴ و ۵×۵ در حوزه شرکت صنایع چوب و کاغذ اظهار داشتند که اختلاف معنی‌دار بین فواصل کاشت در مقدار رویش طولی و قطری وجود دارد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار رویش برای دو گونه یاد شده در فاصله کاشت ۳×۳ متر مشاهده شد (۲۵). حسین‌زاده و همکاران (۱۹۹۸) در بررسی اثر فاصله کاشت بر میزان رویش و تغییرات خواص چوب صنوبر دلتوئیدس به این نتیجه رسیدند

کاشت بر دانسیته بحرانی، طول تراکتید و زاویه میکروفیبریل غیرمعنی دار بود (۱۶).

تاکنون تحقیقات گسترده در زمینه خواص فیزیکی، بیومتری و ویژگی‌های کاغذسازی چوب صنوبر و کلن‌های متنوع آن انجام شده است. با توجه به این‌که فاصله کاشت یکی از مؤثرترین عوامل در تغییر خواص چوب محسوب می‌شود، از این‌رو، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر فواصل کاشت و محور طولی درخت بر دانسیته و بیومتری الیاف صنوبر دلتوئیدس صورت پذیرفت. چون طرح صنوبرکاری توسط کارخانه صنایع چوب و کاغذ به‌منظور رفع کمبود مواد اولیه انجام پذیرفت، به همین دلیل نتایج این تحقیق با هدف استفاده از چوب آن در صنعت کاغذسازی مورد بحث قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در ابتدا، ۲۴ اصله درختان سرپا و سالم صنوبر دلتوئیدس به‌طور تصادفی از سه فاصله کاشت 2×2 و 3×3 و 3×2 مترمربع از طرح جنگل‌کاری کارخانه صنایع چوب و کاغذ واقع در شهرستان ساری انتخاب شدند. نتایج رشد طولی و قطری درختان صنوبر نشان داد که رشد طولی و قطر برابر سینه در فاصله کاشت 2×2 مترمربع (ارتفاع $22/45$ متر و قطر در ارتفاع برابر سینه $18/43$ سانتی‌متر) نسبت به فاصله کاشت 3×2 مترمربع (ارتفاع $19/78$ متر و قطر در ارتفاع برابر سینه $15/51$ سانتی‌متر) و فاصله کاشت 3×3 مترمربع (ارتفاع $20/83$ متر و قطر در ارتفاع برابر سینه $16/77$ سانتی‌متر) بیشتر بود. آبیاری درختان در هر سه فاصله کاشت صورت گرفته است.

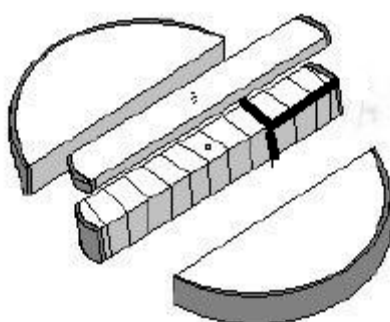
از بین این درختان، ۹ اصله درخت سالم صنوبر دلتوئیدس به‌صورت تصادفی از سه فاصله کاشت یاد شده تهیه و از هر درخت سه دیسک در محور طولی درخت (قطر برابر سینه، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد از

که فاصله کاشت به‌طور معنی‌داری بر دانسیته، طول الیاف، رویش سالانه، قطر برابر سینه، ارتفاع درخت، وزن شاخه، و وزن پوست تأثیر دارد. کمترین دانسیته مربوط به گرده بینه اول (نزدیک کنده) و بیشترین آن مربوط به گرده بینه آخر (نزدیک تاج) در دو کلن مورد بررسی می‌باشد. روند تغییرات طول الیاف در محور طولی از پایین به بالای درخت تا گرده بینه سوم صعودی و تا گرده بینه انتهایی (زیرتاج) نزولی است (۱۴). ناجی و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی تحت عنوان تأثیر فاصله کاشت بر ویژگی‌های فیزیکی و بیومتری الیاف افرایلت در جنگل شصت کلاته گرگان اظهار داشت که تأثیر فاصله کاشت بر میزان دانسیته، طول الیاف، قطرالیاف و ضخامت دیواره سلولی معنی‌دار نیست (۲۳). افهامی سیسی و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی تأثیر تیمارهای جنگل-زراعی بر ویژگی‌های فیزیکی چوب صنوبر در محور طولی و شعاعی درخت گزارش نمودند که مقدار چگالی و همکشیدگی چوب با افزایش فاصله کاشت افزایش و در محور طولی از پایین به بالای درخت کاهش یافت. همچنین روند صعودی بین ارتفاع درخت و همکشیدگی طولی مشاهده گردید (۶). خان و چادوری (۲۰۰۷) در تحقیقی تحت عنوان تأثیر فاصله کاشت بر میزان رشد درچوب صنوبر دلتوئیدس در پاکستان بیان کردند که با افزایش فاصله کاشت از $6/1 \times 3/7$ به $3/7 \times 12/1$ متر، میزان رشد قطری و رشد طولی درختان افزایش معنی‌داری نشان داد (۱۸). ایشکوری و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی تحت عنوان فاصله کاشت بر خواص چوب *Cryptomeria japonica* در چهار فاصله کاشت بیان کردند که با افزایش فاصله کاشت درختان، مقدار پهنای دواير سالیانه افزایش و خواص مکانیکی شامل مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی و مدول یانگ کاهش یافت. در حالی‌که تأثیر فاصله

خزر و در فصل مرطوب سرد موجب ریزش برف در مناطق کوهستانی می‌شود. نوع جابجایی آن در بهار و تابستان با ریزش هوای سرد و راندن هوای مرطوب به سمت دامنه‌ها، موجب ریزش باران می‌شود. مجموع بارندگی سالانه در این منطقه رویشگاهی ۷۸۹/۲ میلی‌متر و میانگین دمای هوا ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد است.

ارتفاع درختان) برای محاسبه دانسیته خشک و بیومتری الیاف چوب صنوبر قطع شد. بعد از حذف مغز و پوست از هر دیسک، نمونه‌های چوبی از نزدیک پوست آماده شدند.

بارندگی در منطقه رویشگاهی ساری از دو نوع جبهه‌ای و جابجائی تشکیل شده است. نوع جبهه‌ای آن از مدیترانه و از سمت غرب و جنوب غربی وارد کشور شده و باعث پیدایش بارندگی در نواحی دریای



شکل ۱- طرز تهیه نمونه چوب از نزدیک پوست برای بررسی دانسیته و بیومتری الیاف (مشخص شده با خطوط تیره).

آزمایشگاهی حاوی مخلوط آب اکسیژن و اسید استیک به نسبت ۱ به ۱ در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خیسانده شدند. سپس خرده‌چوب‌های سفید شده در یک بشرکوچک قرار گرفته و توسط یک آهنربا بر روی همزن مغناطیسی الکتریکی کوچک الیاف از یکدیگر جدا شدند و بعد یک تا سه قطره الیاف غلیظ در یک بشر حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب رقیق شده و بعد توسط قطره‌چکان بر روی لام‌های تمیز منتقل شدند. لام‌های میکروسکوپی مرطوب و حاوی الیاف به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد بر روی یک میز ثابت و تمیز گذاشته شد تا رطوبت آن به تدریج و در دمای محیط آزمایشگاه تبخیر گردد. بر روی الیاف خشک شده چندقطره محلول رنگی سفرائین یک درصد چکانده و بر روی آن لامل قرار داده شد. در نهایت ابعاد ۲۷۰۰ الیاف

دانسیته خشک: بعد از تهیه نمونه‌های چوبی بر اساس استاندارد ISO-۳۱۳۱، نمونه‌ها در داخل اتوو به مدت ۴۸ ساعت و در دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا نمونه‌ها کاملاً خشک شوند، سپس میزان حجم و وزن نمونه‌ها در حالت خشک محاسبه شد. مقدار دانسیته خشک از تقسیم وزن خشک به حجم خشک محاسبه شد (۱۹). مجموع نمونه‌ها برای محاسبه دانسیته خشک ۲۷۰ نمونه (۲۷ دیسک و از هر دیسک ۱۰ نمونه) بود.

بیومتری الیاف: پس از تهیه نمونه چوبی، از روش فرانکلین (۱۱) برای جداسازی الیاف استفاده گردید. به‌منظور مشاهده الیاف و همچنین اندازه‌گیری ابعاد آن‌ها (طول، قطر و ضخامت فیبر)، خرده‌های چوب گونه صنوبر به اندازه خلال کبریت در لوله

الیاف و ضخامت دیواره سلولی ۴۰۰ برابر). در نهایت با استفاده از ابعاد الیاف، نسبت‌های بیومتری الیاف چوب صنوبر از روابط ذیل محاسبه می‌شوند (۳۱) و (۳۰):

$$2 \quad \text{نسبت انعطاف پذیری} = \frac{\text{قطر حفره سلولی}}{\text{قطر الیاف}} \times 100$$

$$3 \quad \text{نسبت درهم‌فکنی} = \frac{\text{طول الیاف}}{\text{قطر الیاف}}$$

(مجموع ۲۷ دیسک، از هر دیسک ۵ نمونه و از هر نمونه ۲۰ الیاف) با استفاده از میکروسکوپ نوری (Nikon microscopic, Eclipse 50i, Japan) مجهز به چشمی مدرج مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (برای طول الیاف از بزرگنمایی ۱۰۰ برابر برای قطر

$$1 \quad \text{نسبت رانکل} = \frac{\text{ضخامت دو دیواره سلولی}}{\text{قطر الیاف}}$$

روش تجزیه تحلیل آماری

در این تحقیق، تأثیر فاصله کاشت (۲×۲، ۳×۲ و ۳×۳ مترمربع) و محور طولی (ارتفاع برابر سینه، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد از ارتفاع درختان) بر دانسیته خشک و خواص بیومتری الیاف صنوبر دلتوئیدس مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه در قالب طرح بلوک‌ها کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. ارتباط بین خواص چوب با استفاده از همبستگی خطی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

دانسیته خشک: نتایج آزمون تجزیه واریانس دو طرفه نشان داد که تأثیر مستقل فاصله کاشت بر دانسیته خشک چوب صنوبر دلتوئیدس معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین میانگین دانسیته خشک چوب در فاصله کاشت ۲×۲ مترمربع مشاهده شد (۰/۴۰۱ گرم بر

سانتی‌متر مکعب) که نسبت به فواصل کاشت ۳×۲ مترمربع و ۳×۳ مترمربع به ترتیب ۳/۰۸ و ۱ درصد بیشتر بود. آزمون دانکن میانگین حاصل از دانسیته خشک چوب صنوبر در فواصل کاشت ۳×۳ مترمربع و ۳×۲ مترمربع را در یک گروه و در فاصله کاشت ۲×۲ را در گروه دیگر طبقه‌بندی نمود (جدول ۲). تأثیر مستقل ارتفاع درختان بر دانسیته خشک چوب صنوبر دلتوئیدس غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش ارتفاع از پایین به بالای درخت، میانگین دانسیته خشک به مقدار غیرمعنی‌داری (حدود ۰/۰۲ درصد) افزایش یافت (جدول ۲). تأثیر متقابل فاصله کاشت و ارتفاع درختان بر دانسیته خشک چوب غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میانگین دانسیته خشک در فاصله کاشت ۲×۲ مترمربع و در ارتفاع ۵۰ درصد از درخت (۰/۴۱۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و کمترین میانگین دانسیته خشک در فاصله کاشت ۲×۲ مترمربع و در ارتفاع برابر سینه (۰/۳۸۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۱- آنالیز تجزیه واریانس دو طرفه دانسیته چوب صنوبر دلتوئیدس.

Table 1. Results of Two-way ANOVA of poplar wood density.

فاصله کاشت × محور طولی axial position × planting spacing		محور طولی axial position		فاصله کاشت Planting spacings		درجه آزادی df	خواص چوب Wood properties
Sig	F	Sig	F	Sig	F		
0.086	2.11	0.162	1.852	0.024	3.897	2	دانسیته خشک Oven-dried density

پراکنده‌آوند به ساختار آناتومی مانند ضخامت دیواره سلول الیاف، نسبت چوب بهاره به تابستانه، درصد آوندها و غیره وابسته است (۳۱، ۳۲). علت افزایش دانسیته خشک در فاصله کاشت ۲×۲ را می‌توان به افزایش ضخامت دیواره سلولی در این فاصله کاشت نسبت داد (جدول ۳). زیرا ارتباط مستقیم بین ضخامت دیواره سلول و دانسیته چوب توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (۳۱).

روند تغییرات خواص چوب با فاصله کاشت هنوز مورد بحث است. در تحقیقات گذشته، رابطه مستقیم دانسیته با فاصله کاشت در چوب اکالیپتوس (۳۲)، و عدم ارتباط بین دانسیته چوب و فاصله کاشت در چوب توسکا قرمز (۲۰) و افرا پلت (۲۲) گزارش شده است. در این مطالعه رابطه غیرمستقیم و معنی‌داری بین فاصله کاشت و دانسیته چوب در چوب صنوبر دلتوئیدس حاصل شد. به‌طور کلی تغییرات دانسیته چوب در چوب پهن‌برگان

جدول ۲- نتایج آمارهای توصیفی دانسیته خشک چوب صنوبر دلتوئیدس.

Table 2. Descriptive statistical of poplar wood density.

دانسیته خشک Oven-dried density	محور طولی axial position	فاصله کاشت Planting spacings
0.386 (0.014)	ارتفاع برابر سینه Breast height	2 × 2
0.414 (0.019)	۵۰ درصد 50%	
0.409 (0.011)	۷۵ درصد 75%	
0.401 (0.019) B	میانگین* Average*	
0.387 (0.019)	ارتفاع برابر سینه Breast height	2 × 3
0.39 (0.024)	۵۰ درصد 50%	
0.392 (0.026)	۷۵ درصد 75%	
0.389 (0.022) A	میانگین* Average*	
0.401 (0.010)	ارتفاع برابر سینه Breast height	3 × 3
0.393 (0.015)	۵۰ درصد 50%	
0.396 (0.011)	۷۵ درصد 75%	
0.397 (0.012) AB	میانگین* Average*	
0.390 (0.017)	ارتفاع برابر سینه Breast height	میانگین دانسیته
0.397 (0.023)	۵۰ درصد 50%	در محور طولی درخت
0.398 (0.021)	۷۵ درصد 75%	Average of density in axial position

حروف بزرگ معنی‌داری در سه فاصله کاشت را نشان می‌دهد. * میانگین صفت چوب در هر فاصله کاشت را نشان می‌دهد، مقادیر داخل پرانتز انحراف معیار هستند.

درختان بر طول الیاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). روند تغییرات طول الیاف در محور طولی از پایین به بالای درخت نامنظم بود (جدول ۴). تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت بر طول الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین میانگین طول الیاف در فاصله کاشت 2×2 مترمربع و در ارتفاع برابر سینه ($1/264$ میلی‌متر) و کمترین میانگین طول الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس در فاصله کاشت 3×2 مترمربع و در 50 درصد از ارتفاع درختان کاشت ($1/097$ میلی‌متر) بود (جدول ۴).

طول الیاف: نتایج آزمون تجزیه واریانس دو طرفه نشان داد که اثر مستقل فاصله کاشت بر طول الیاف معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین مقدار طول الیاف در فاصله کاشت 2×2 مترمربع (با میانگین $1/236$ میلی‌متر) بود که نسبت به فاصله کاشت 3×2 و 3×3 مترمربع به ترتیب $10/06$ و $6/55$ درصد افزایش یافت (جدول ۴). آزمون دانکن میانگین طول الیاف در فواصل کاشت 3×3 مترمربع و 3×2 مترمربع را در یک گروه و در فاصله کاشت 2×2 مترمربع را در یک گروه دیگر طبقه‌بندی نمود. همچنین اثر مستقل محور طولی

جدول ۳- آنالیز تجزیه واریانس خواص بیومتری الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس در رویشگاه ساری.

Table 3. Results of ANOVA of poplar wood biometry properties in Sari site.

فاصله کاشت × محور طولی Axial position × planting spacing		محور طولی Axial position		فاصله کاشت Planting spacings		درجه آزادی df	خواص چوب Wood propertis
Sig	F	Sig	F	Sig	F		
0.988	0.082	0.227	1.511	0.008*	5.113	2	طول الیاف Fiber length
0.01*	3.57	0.942	0.059	0.001*	1.989	2	قطر الیاف Fiber diameter
0.711	0.532	0.300	1.222	0.001*	7.415	2	ضخامت دیواره سلولی Cell wall thickness
0.055	3.017	0.059	2.934	0.008*	5.115	2	نسبت درهم‌رفتنی Slenderness ratio
0.351	1.062	0.662	0.415	0.485	0.731	2	ضریب انعطاف‌پذیری Flexibility ratio
0.588	0.709	0.816	0.389	0.150	1.742	2	نسبت رانکل Runkel ratio

*معنی‌داری را نشان می‌دهد.

معنی‌دار نبود (جدول ۳). روند منظمی از تغییرات قطر الیاف در محور طولی از پایین به بالای درخت مشاهده نشد (جدول ۴). همچنین تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت بر قطر الیاف معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میانگین قطر الیاف در فاصله کاشت 2×2 مترمربع و در 50 درصد از ارتفاع کاشت ($32/79$ میکرومتر) و کمترین آن در فاصله کاشت 3×2 مترمربع و در 75 درصد از ارتفاع درختان کاشت ($24/52$ میکرومتر) مشاهده شد (جدول ۴).

قطر الیاف: نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که اثر مستقل فاصله کاشت بر قطر الیاف معنی‌دار بود (جدول ۳). میانگین قطر الیاف در فاصله کاشت 2×2 بیشتر بود که نسبت به فواصل کاشت 3×2 مترمربع و 3×3 مترمربع به ترتیب $20/6$ و $8/63$ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). آزمون دانکن میانگین حاصل از قطر الیاف چوب صنوبر در فواصل کاشت 2×2 ، 2×3 و 3×3 مترمربع را در گروه جداگانه قرار داد (جدول ۴). اثر مستقل محور طولی درختان بر قطر الیاف

جدول ۴- نتایج آمارهای توصیفی ابعاد الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس.

Table 4. Descriptive statistical of poplar fiber dimensions.

ضخامت (میکرومتر) Cell wall thickness (μm)	قطر الیاف (میکرومتر) Fiber diameter (μm)	طول الیاف (میلی متر) Fiber length (mm)	محور طولی axial position	فاصله کاشت Planting spacings
4.66 (0.88)	29.20 (3.31)	1.264 (0.116)	Breast height	ارتفاع برابر سینه
4.21 (0.76)	32.79 (4.14)	1.212 (0.175)	۵۰ درصد	۵۰%
4.84 (0.62)	30.13 (4.39)	1.223 (0.090)	۷۵ درصد	۷۵%
4.57 (0.78) B	30.56 (4.07) C	1.236 (0.128) B	Average*	میانگین*
3.85 (0.49)	25.07 (3.25)	1.169 (0.083)	Breast height	ارتفاع برابر سینه
3.87 (0.91)	26.43 (1.16)	1.097 (0.057)	۵۰ درصد	۵۰%
3.90 (0.49)	24.52 (2.58)	1.098 (0.105)	۷۵ درصد	۷۵%
3.87 (0.63) A	25.33 (2.58) A	1.123 (0.088) A	Average*	میانگین*
4.21 (0.47)	29.83 (2.27)	1.183 (0.180)	Breast height	ارتفاع برابر سینه
4.14 (0.43)	25.39 (2.90)	1.135 (0.174)	۵۰ درصد	۵۰%
4.34 (0.69)	28.95 (5.70)	1.161 (0.126)	۷۵ درصد	۷۵%
4.23 (0.52) B	28.13 (4.18) B	1.160 (0.158) A	Average*	میانگین*
4.23 (0.68)	28.05 (3.60)	1.210 (0.136)	Breast height	ارتفاع برابر سینه
4.07 (0.71)	28.31 (4.41)	1.150 (0.151)	۵۰ درصد	۵۰%
4.34 (0.70)	27.83 (4.87)	1.163 (0.116)	۷۵ درصد	۷۵%

حروف بزرگ معنی داری در سه فاصله کاشت را نشان می دهد. * میانگین صفت چوب در هر فاصله کاشت را نشان می دهد، اعداد داخل پرانتز انحراف معیار را نشان می دهد.

بالای درخت نامنظم بود (جدول ۴). همچنین تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت بر ضخامت دیواره سلول چوب صنوبر دلتوئیدس معنی دار نبود (جدول ۳). بیشترین میانگین ضخامت دیواره سلول در فاصله کاشت ۲ × ۲ مترمربع و در ارتفاع برابر سینه (۴/۶۶ میکرومتر) و کمترین میانگین ضخامت دیواره سلول چوب صنوبر دلتوئیدس در فاصله کاشت ۳ × ۲ مترمربع و در ۵۰ درصد از ارتفاع درختان (۳/۸۷ میکرومتر) مشاهده شد (جدول ۴).

خواص خمیر کاغذ ارتباط تنگاتنگی با ابعاد الیاف مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده در ساخت خمیر کاغذ دارد. به نحوی که با تعیین ابعاد الیاف از جمله طول، قطر و ضخامت دیواره فیبر اولیه می توان

ضخامت دیواره سلولی: اثر مستقل فاصله کاشت بر ضخامت دیواره سلول معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار ضخامت دیواره سلول در فاصله کاشت ۲ × ۲ مترمربع مشاهده شد که نسبت به فاصله کاشت ۳ × ۲ مترمربع مقدار ۱۸/۰۸ درصد و نسبت به فاصله کاشت ۳ × ۳ مترمربع مقدار ۸/۰۳ درصد افزایش داشت. آزمون دانکن میانگین حاصل از ضخامت دیواره سلول چوب صنوبر در فواصل کاشت ۳ × ۳ و ۲ × ۲ مترمربع را در یک گروه و در فاصله کاشت ۳ × ۲ مترمربع را در یک گروه دیگر طبقه بندی نمود (جدول ۴). اثر مستقل محور طولی درختان بر ضخامت دیواره سلول معنی دار نبود (جدول ۳). روند تغییرات ضخامت دیواره سلول در محور طولی از پایین به

درصد بوده (۳۰) که از این نظر میانگین این نسبت در هر سه فاصله کاشت مطلوب صنعت کاغذ است. همچنین هانسچی (۱۹۸۹) مقدار این نسبت در سوزنی‌برگان را ۱۰۰-۶۰ و در پهن‌برگان ۶۰-۲ گزارش نموده (۱۵) که این نسبت در چوب مورد مطالعه در هر سه فاصله کاشت در دامنه چوب پهن‌برگان قرار دارند.

ضریب انعطاف‌پذیری: اثر مستقل فاصله کاشت بر ضریب انعطاف‌پذیری معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین ضریب انعطاف‌پذیری در فاصله کاشت ۲×۲ مترمربع و کمترین آن در فاصله کاشت ۲×۳ مترمربع وجود داشت (جدول ۵). تأثیر مستقل محور طولی درختان بر ضریب انعطاف‌پذیری معنی‌دار نبود (جدول ۳). روند تغییرات ضریب انعطاف‌پذیری در محور طولی از پایین به بالای درخت نامنظم بود (جدول ۵). تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت بر ضریب انعطاف‌پذیری چوب صنوبر دلتوئیدس معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین میانگین ضریب انعطاف‌پذیری در فاصله کاشت ۲×۲ مترمربع و در ۵۰ درصد از ارتفاع درختان (۷۴/۳۲ درصد) و کمترین میانگین ضریب انعطاف‌پذیری چوب صنوبر دلتوئیدس در فاصله کاشت ۳×۳ مترمربع و در ۵۰ درصد از ارتفاع درختان (۶۷/۳۸ درصد) بود (جدول ۵).

چهار گروه برای طبقه‌بندی فیبر از نظر ضریب انعطاف‌پذیری وجود دارد ۱- فیبرهای خیلی‌الاستیک که مقدار ضریب انعطاف‌پذیری آن بیش از ۷۵ باشد، ۲- فیبرهای الاستیک با ضریب بین ۵۰-۷۵، ۳- فیبرهای سخت و سفت با نسبت بین ۳۰-۵۰، ۴- فیبرهای با سفتی بالا که میزان ضریب آن کمتر از ۳۰ باشد (۱، ۹). مطابق با این طبقه‌بندی، میزان ضریب انعطاف‌پذیری در سه فاصله کاشت در گروه دوم قرار داشته و مناسب برای کاغذسازی هستند. همچنین

ویژگی‌های خمیر و کاغذ به دست آمده را تا اندازه‌ای پیش‌بینی کرد (۸ و ۲۹). عدم ارتباط بین فاصله کاشت با طول الیاف در چوب توسکا قرمز (۲۰)، اکالیپتوس (۱۳)، چوب افرا پلت (۲۲) و چوب لاستیک (۲۳) مشاهده می‌شود که مغایر با نتایج حاصل از این تحقیق بود.

نسبت درهم‌رفتگی: اثر مستقل فاصله کاشت بر نسبت درهم‌رفتگی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین نسبت درهم‌رفتگی در فاصله کاشت ۳×۲ مترمربع و کمترین آن در فاصله کاشت ۲×۳ مترمربع وجود داشت. آزمون دانکن میانگین حاصل از نسبت درهم‌رفتگی چوب صنوبر در فواصل کاشت ۳×۳ و ۲×۲ را در یک گروه و در فاصله کاشت ۲×۳ را در یک گروه دیگر طبقه‌بندی نمود (جدول ۵). اثر مستقل محور طولی درختان بر نسبت درهم‌رفتگی معنی‌دار نبود (جدول ۳). روند تغییرات نسبت درهم‌رفتگی در محور طولی از پایین به بالای درخت نامنظم بود (جدول ۵). تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت بر نسبت درهم‌رفتگی چوب صنوبر دلتوئیدس معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین میانگین نسبت درهم‌رفتگی در فاصله کاشت ۳×۲ مترمربع و در ۷۵ درصد از ارتفاع درختان (۴۹/۷۷) و کمترین میانگین نسبت درهم‌رفتگی چوب صنوبر دلتوئیدس در فاصله کاشت ۲×۲ مترمربع و در ۵۰ درصد از ارتفاع درختان (۳۶/۹۶) بود (جدول ۵).

دامنه مطلوب و مناسب برای تولید کاغذ از نظر نسبت درهم‌رفتگی در مطالعات گذشته وجود دارد. برخی از محققان اظهار داشتند مقدار مطلوب برای تولید کاغذ از نظر نسبت درهم‌رفتگی ۱۰۰ (طول ۱۰۰ به قطر ۱) بوده (۲۱) که این ویژگی در چوب مورد مطالعه در هر سه فاصله کاشت وجود ندارد. برخی دیگر از تحقیقات بیان کردند که مقدار قابل قبول نسبت درهم‌رفتگی برای صنایع کاغذسازی بیش از ۳۳

ارتباط بین دانسیته و ابعاد الیاف با رشد طولی و قطری درختان صنوبر دلتوئیدس رویش یافته در سه فاصله کاشت مختلف با استفاده از همبستگی خطی در جدول ۶ نشان داده شده است. ارتباط مثبت و معنی‌داری بین قطر درختان با دانسیته خشک (۰/۸۹۷)، طول الیاف (۰/۷۱۱)، قطر الیاف (۰/۷۸۹) و ضخامت دیواره سلولی (۰/۸۱۳) وجود داشت. همچنین این ارتباط بین ارتفاع درختان با دانسیته خشک (۰/۷۴۸)، طول الیاف (۰/۷۹۳)، قطر الیاف (۰/۶۹۰) و ضخامت دیواره سلولی (۰/۶۷۱) مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی بین قطر ساقه درختان با دانسیته چوب بیشتر از همبستگی بین قطر ساقه درختان با ابعاد الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس بود (جدول ۶).

افهامی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر قطر درختان بر ابعاد الیاف چوب صنوبر را مورد بررسی و اظهار داشتند که ارتباط مستقیم معنی‌داری بین قطر درختان با طول الیاف (۰/۷۷۹)، قطر الیاف (۰/۴۹۳) و ضخامت دیواره سلولی (۰/۵۷۵) وجود دارد (۷، جدول ۶) که در مقایسه با ضریب همبستگی بین قطر ساقه درختان و طول الیاف در این تحقیق بیشتر بود. در حالی که از ضریب همبستگی کمتری بین قطر درختان با قطر الیاف و بین قطر ساقه با ضخامت دیواره سلول در این تحقیق برخوردار بود (جدول ۶). بنابراین با توجه به توضیحات بالا می‌توان علت افزایش دانسیته و ابعاد الیاف در فاصله کاشت 2×2 مترمربع را به قطر درختان بیشتر نسبت به سایر فواصل کاشت نسبت داد که نسبت به فاصله کاشت 2×3 مترمربع $18/43$ درصد و فاصله کاشت 3×3 مترمربع $9/89$ درصد افزایش یافت.

میانگین ضریب انعطاف‌پذیری محاسبه شده برای چوب صنوبر در هر سه فاصله کاشت (محدوده ۷۰-۶۹ درصد) در محدوده مطلوب چوب پهن‌برگان (۷۰-۵۵ درصد) قرار دارد (۹ و ۲۶).

نسبت رانکل: تأثیر مستقل فاصله کاشت بر نسبت رانکل معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین نسبت رانکل در فاصله کاشت 3×2 مترمربع و کمترین آن در فاصله کاشت 2×2 مترمربع وجود داشت (جدول ۵). تأثیر مستقل محور طولی درختان بر نسبت رانکل معنی‌دار نبود (جدول ۳). روند تغییرات نسبت رانکل در محور طولی از پایین به بالای درخت نامنظم بود. تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت بر نسبت رانکل چوب صنوبر دلتوئیدس معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین میانگین نسبت رانکل در فاصله کاشت 3×3 مترمربع و در ۵۰ درصد از ارتفاع درختان (۰/۴۸۳) و کمترین میانگین نسبت رانکل چوب صنوبر دلتوئیدس در فاصله کاشت 2×2 مترمربع و در ۵۰ درصد از ارتفاع درختان (۰/۳۴۵) بود (جدول ۵).

زمانی که مقدار نسبت رانکل بیش از یک باشد فیبرهای آن دارای دیواره سلولی ضخیم هستند و سلولز به دست آمده از این نوع فیبر کمتر در صنعت کاغذ استفاده می‌شود و زمانی که این مقدار برابر یک باشد فیبرهای آن دارای دیواره سلولی متوسطی هستند و سلولز به دست آمده از این نوع فیبر مناسب برای تولید کاغذ است، و زمانی که مقدار این نسبت کمتر از یک باشد فیبرهای آن دارای دیواره سلولی نازک هستند و سلولز به دست آمده از این نوع فیبر بیشتر در صنعت کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۷، ۲۶ و ۳۰). مطابق با این طبقه‌بندی، مقدار نسبت رانکل در سه فاصله کاشت کمتر از یک بوده و الیاف حاصل بیشتر در صنعت کاغذ کاربرد دارد.

جدول ۵- نتایج ضرایب بیومتری الیاف چوب صنوبر دلتوئیدس.

Table 5. Results of biometry ratios in poplar wood.

رانکل Runkel ratio	انعطاف‌پذیری (درصد) Flexibility ratio (%)	درهم‌رفتنی Slenderness ratio	محور طولی axial position	فاصله کاشت Planting spacigns
0.468 (0.12)	68.08 (5.82)	43.28 (8.02)	Breast height	2 × 2
0.345 (0.09)	74.32 (8.22)	36.96 (5.88)	۵۰ درصد	
0.473 (0.13)	67.87 (5.91)	40.59 (7.11)	۷۵ درصد	
0.426 (0.11)	70.09 (6.65)	40.44 (7.01) A	میانگین*	
0.443 (0.15)	69.28 (7.32)	46.62 (5.23)	Breast height	
0.414 (0.10)	70.71 (4.85)	41.50 (6.87)	۵۰ درصد	2 × 3
0.466 (0.08)	68.18(4.10)	49.77 (8.23)	۷۵ درصد	
0.440 (0.11)	69.44 (5.42)	44.33 (6.77) B	میانگین*	
0.393 (0.08)	71.77 (3.94)	39.65 (6.09)	Breast height	
0.483 (0.08)	67.38 (4.61)	44.70 (7.49)	۵۰ درصد	3 × 3
0.428 (0.11)	70.01 (4.83)	40.10 (6.28)	۷۵ درصد	
0.430 (0.09)	69.92 (4.46)	41.23 (6.62) A	میانگین*	
0.431 (0.11)	69.83 (5.69)	43.13 (6.44)	Breast height	
0.403 (0.09)	71.24 (5.89)	40.62 (6.74)	۵۰ درصد	Average of density in axial position
0.453 (0.10)	68.81 (5.94)	41.78 (7.20)	۷۵ درصد	

حروف بزرگ معنی‌داری در سه فاصله کاشت را نشان می‌دهد. * میانگین صفت چوب در هر فاصله کاشت را نشان می‌دهد. اعداد داخل پرانتز انحراف معیار را نشان می‌دهد.

جدول ۶- ارتباط بین ویژگی‌های چوب با رویش طولی و قطری درختان صنوبر دلتوئیدس با استفاده از همبستگی خطی.

Table 6. The relationship between wood properties and height and diameter of poplar trees.

ضخامت دیواره سلول Cell wall thickness	قطر الیاف Fiber diameter	طول الیاف Fiber length	دانسیته Density	خواص چوب Wood properties
0.450*	0.477*	0.629*	0.437*	ارتفاع درختان trees height
0.661**	0.623*	0.506*	0.708**	قطر درختان diameter trees
0.575	0.493	0.779		ارتباط بین قطر درختان با ابعاد الیاف در تحقیقات افهامی و همکاران (۲۰۱۲)

* معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ** معنی‌داری در سطح ۵ درصد، تعیین معنی‌داری بین صفات با استفاده از آزمون تجزیه واریانس همبستگی صورت گرفت.

نتیجه گیری

در این تحقیق دانسیته چوب و بیومتری الیاف صنوبر دلتوئیدس در سه فاصله کاشت و در محور طولی درختان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ذیل حاصل گردید:

۱- فاصله کاشت تأثیر معنی داری بر دانسیته خشک، ابعاد الیاف و نسبت درهمرفتگی داشته در حالی که بر نسبت رانکل و در همرفتگی تأثیری نداشته است. تأثیر محور طولی درختان بر تمام صفات یاد شده غیرمعنی دار بود. تأثیر متقابل فاصله کاشت و محور طولی درخت فقط بر قطر الیاف معنی دار بود.

۲- میانگین دانسیته خشک، طول الیاف، ضخامت دیواره سلولی و قطر الیاف در فاصله کاشت ۲×۲ متر مربع نسبت به سایر فواصل کاشت بیشتر بود. در

حالی که نسبت درهمرفتگی در فاصله کاشت ۳×۲ مترمربع بیشتر از فاصله کاشت ۲×۲ و ۳×۳ مترمربع بیشتر است.

۳- ارتباط مستقیم و معنی داری بین ارتفاع و قطر درختان صنوبر رویش یافته در هر سه فاصله کاشت با دانسیته چوب و ابعاد الیاف یافت شد.

۴- با توجه به نتایج به دست آمده از نسبت های بیومتری الیاف، استفاده از چوب صنوبر در سه فاصله کاشت مورد بررسی مناسب برای کاغذسازی بوده ولی کاشت درختان صنوبر در فاصله کاشت کمتر به دلیل دانسیته بالاتر، ابعاد الیاف بیشتر، نسبت های بیومتری مطلوبتر و همچنین تولید چوب بیشتر نسبت به سایر فواصل کاشت توصیه می شود.

منابع

1. Bektas, I., Tutus, A., and Eroglu, H. 1999. A study of the suitability of Calabrian pine (*Pinus Brutiaten.*) for pulp and paper manufacture. Turk Journal of Agriculture and Forestry. 23: 589-599. (In Persian)
2. Clark, A., Jordan, L., Schimleck, L., and Daniels, R. 2008. Effect of initial planting spacing on wood properties of unthinned loblolly pine at age 21. Forest Products Journal. 58(10): 78-83. (In Persian)
3. DeBell, J.D., Gartner, B.L., and DeBell, D.S. 1998. Fiber length in young hybrid *Populus* stems grown at extremely different rates. Canadian Journal of Forest Research. 28: 603-60.
4. DeBell, D.S., Singleton, R., Harrington, A., and Gartner, L.B. 2002b. Wood density and fiber length in young *Populus* stems: relation to clone, age, growth rate, and pruning. Wood Fiber Sci. 34(4): 529-539.
5. Dorostkar, H. 1985. Foresters. University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan University.
6. Efhami SiSi, D., Karimi, A.N., Pourtahmasi, K., Asadi, F., and Mohamadzadeh, M. 2012. The Effects of Agroforestry Practices on Physical Properties in of *Populus* Wood in Radial and Longitudinal Axes. Iranian Journal of Wood and Paper Industries. 2(2): 53-64 (In Persian)
7. Efhamisizi, D., Karimi, A.N., Pourtahmasi, K., and Taghiyari, H.R. 2012. The Effects of Agroforestry Practices on Fiber Attributes in *Populus nigra* var. *betulifolia*. Trees-Structure and Function. 26(2): 435-441.
8. Enayati, A.A., Hamzeh, Y., Mirshokraie, S.A., and Molaii, M. 2009. Papermaking potential of canola stalks. *Bioresource*. 4(1): 245-256.
9. Eroglu, H. 1980. Investigating possibilities of obtaining wood pulp from wheat straw by O₂-NaOH method. Ph.D Thesis, Karadeniz Technical University.
10. Fallahnia, M., and Rafighi, A. 2012. The effect of initial spacing on bole form and annual growth of (*Acer velutinum*). J. of Wood and Forest Science and Technology, 19(2): 153-159. (In Persian)

11. Franklin, G.L. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature* 155: 51.
12. Fujiwara, S., and Yang, K.C. 2000. The relationship between cell length and ring width and circumference growth rate in five Canadian species. *IAWA J* 21(3): 335–345.
13. Harris, F.C. 2007. The effect of competition on stand, tree, and wood growth and structure in subtropical *Eucalyptus grandis* plantations. PhD thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW, Australia, 193p.
14. Hosseinzadeh, A., Toghraei, N., Sheikholeslami, A., Sadraei, N., Golbabaei, A. and Hemmati, A. 1998. Effect of spacing on wood properties and yield of two *Populus deltoides* clone in Safrabasteh (Gilan). *Iranian Journal of Pajouhesh and Sazandegi in Natural Resources*. 38(1): 45-49 (In Persian)
15. Hunsigi, G. 1989. Agriculture fibers for paper pulp. *Outlook on Agriculture*. 18(3): 96-103.
16. Ishiguri, F., Kasai, S., Yokota, S., Iizuka, K., and Yoshizawa, N. 2005. Wood quality of Sugi (*Cryptomeria Japonica*) grown at four initial spacing. *IAWA Journal*. 26(3): 375-386.
17. Istas, J.R., Heremans, R., and Roedelboom, E.L. 1954. Caracteres Generaux De Bois Feuillus Du Congo Belge En Relation Avec Leur Utilization Dans L'industrie Des Pates A Papier: Etude Detaillee De Quelques Essences. Gembloux: INEAC (Serie Technique, No. 43).
18. Khan, C.S., and Chaudhry, A.K. 2007. Effect of spacing and plant density on the growth of poplar (*Populus deltoides*) trees under Agro-Forestry System. *Pak. J. Agri. Science*. 44(2): 321-327.
19. Kollman, F.F.P., and Cote, W.A. 1968. Principles of wood science and technology. 1. Solid wood, Springer-Verlag, New York.
20. Lei, H., Gartner, L.B., and Milota, M.R. 1997. Effect of growth rate on the anatomy, specific gravity, and bending properties of wood from 7-year-old red alder (*Alnus rubra*). *Canadian Journal of Forest Research*. 27: 80-85.
21. McDougall, G.J., Morrison, I.M., Stewart, D., Weyers, J.D.B., and Hillman, J.R. 1993. Plant fibers: botany chemistry and processing. *Journal of the science of Food and Agriculture*, 62: 1-20.
22. Naji, H.R., Fallah Nia, M., Kiaei, M., Hazandy, A.H., Soltani, M., and Faghihi, A. 2015. Effect of intensive planting density on tree growth, wood density and fiber properties of maple (*Acer velutinum* Boiss.). *IForest Biogeosciences and Forestry*, 9: 323-329.
23. Naji, H.R., Sahri, M.H., Nobuchi, T., Bakar, E.S. 2013. Intra- and inter-clonal variation in anatomical properties of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *Wood and Fiber Science*, 45(3): 268-278.
24. Ramazani, S., Talaeipour, M., Aliabadi, M., Tabeii, A., and Bazayr, B. 2013. Investigation of the anatomical, biometry and chemical characteristics of juvenile and mature poplar (*Populus alba*) wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(1): 182-193.
25. Riahifar, N., Fallah, A., Mohammadi Samani, K., and Gorji Mahlebani, Y. 2009. Comparing the growth of *Paulownia fortunei* and *Populus deltoides* plantations under different spacing in northern Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(3): 444-454.
26. San, H.P., Long, L.K., Zhang, C.Z., Hui, T.C., Seng, W.V., Lin, F.S., Hun, A.T., and Fong, W.F. 2016. Anatomical features, fiber morphological, physical and mechanical properties of three years old new hybrid Paulownia: Green Paulownia. *Research Journal of forest*, 10: 30-35.
27. Sidhu, D.S., and Dhillon, P.S. 2007. Field Performance of ten Clones and two Sizes of Planting Stock of *Populus deltoides* on the Indo-Gangetic Plains of India. *New Forest*, 34(2): 115-122.
28. Snook, S.K., Labosky, P.L., Bowersox, T.W., and Blankenhorn, P.R. 1986. Pulp and paper making properties of a hybrid poplar clone grown under four management strategies and two soil sites. *Wood and Fiber Science*. 18(1): 157–167.

-
29. Wimmer, R., Downes, G.M., Evans, R., Rasmussen, G., and French, J. 2002. Direct Effects of Wood Characteristics on Pulp and Handsheet Properties of *Eucalyptus globulus*. *Holzforschung*, 56: 244-252.
 30. Xu, F., Zhong, X.C., Sun, R.C., and Lu, Q. 2006. Anatomy, ultra structure, and lignin distribution in cell wall of *Caragana Korshinskii*. *Industrial Crops and Production*, 24: 186-193.
 31. Zobel, B.J., and Van Buijtenen, J.P. 1989. Wood variation: its causes and control. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, 363p.
 32. Zobel, B. 1992. Silvicultural effects on wood properties. IPEF International, Piracicaba, Brazil, 2: 31-38.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 24 (4), 2017
<http://jwfst.gau.ac.ir>

The effect of initial spacing on wood density and fiber biometric properties of fibers in *Populus deltoids* (Case study in Sari region)

***M. Kiaei**

Associate Prof., Dept., of Wood and Paper Science and Technology,
Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran
Received: 07/29/2017; Accepted: 12/09/2017

Abstract

Background and objectives: The wood and paper factory of Mazandran has been planting poplar species at various initial spacing in order to supply raw material for pulp and paper production. Initial spacing can affect the value of stem diameter, height, and ultimately the wood quality due to root and crown's competition in reaching light, water and food. In the present study, the effects of initial spacing and axial position on the oven-dry density and biometrical properties of *Populus deltoids* were examined.

Materials and methods: Nine normal poplar trees (*Populus deltoids*) were randomly selected in three initial spacing (2×2, 2×3, 3×3 m) from Mazandran wood and paper industry's forest. Three samples were taken along axial position from the bottom to upward (breast height, 50 and 75% stem height) to determine and measure wood density and fiber biometrical properties (fiber length, fiber diameter and cell wall thickness, slenderness ratio, flexibility coefficient, and Runkel's ratio).

Results: Results of ANOVA indicated that the initial spacing had significant differences on the density, fiber dimensions, and slenderness ratios and hadn't any on the flexibility coefficient and Runkel ratio. The effect of longitudinal position on density and fiber biometry wasn't significant. Interaction effect between initial spacing and longitudinal position on the wood properties wasn't significant except for fiber diameter. The highest and lowest oven-dried density, fiber length, fiber diameter, cell wall thickness and flexibility coefficient were found at initial spacing 2×2 and 2×3, respectively. The average of slenderness ratio and Runkel ratio in 2×3 are higher than other initial spacings. There are significantly positive relationships between stem diameter and height grows with density and fiber dimensions in poplar wood.

Conclusion: Based on the results, it can be said that poplar planting in lower initial spacing is more suitable than other initial spacing for pulp and paper production.

Keywords: *Populus deltoids*, Initial spacing, Wood density, Fiber biometrical properties

*Corresponding authors: Mjd-kia59@iauc.ac.ir

