



University of Tehran

Determining the most suitable planting spacing for superior poplar clones in Markazi province based on wood production performance

Gholam Reza Goodarzi^{1*} | Fatemeh Ahmadloo² | Mohsen Calagari³

1. Corresponding Author, Research Division of Natural Resources, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran. Email: goodarzi44@yahoo.com

2. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: ahmadloo@rifr-ac.ir

3. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran. Email: calagari@rifr-ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received 15 February 2023

Revised 08 May 2023

Accepted 14 May 2023

Published online 15 June 2023

Keywords:

Average production,
Current increment,
Planting density,
Poplar plantation,
Wood farming.

ABSTRACT

The proper spacing for planting stands is of special importance in producing well-shaped, high-quality trees with straight trunks and few knots, as well as in meeting wood production needs. In this study, the wood production performance of five successful clones of *Populus nigra* L. was tested at different planting spacings. Initially, a sufficient number of cuttings were obtained from the clones, and seedlings were produced in the nursery. Then, 81 one-year-old seedlings from each clone were planted at three different spacings (2×3, 2×2, and 2×1 m) and in three replicates with a randomized complete block design as split plots. Vegetative characteristics such as diameter at breast height (DBH) and total height were measured annually, and the current and average annual increments of DBH, height, and volume were calculated. The damage caused by *Phloeomyzus passerinii* Sign., *Paranthrene tabaniformis* Rott., and *Monoteria unicostata* (Muls & Rey) attacks was also recorded. The results showed a statistically significant difference in vegetative variables of volume per ha and average production among the different planting spacings and clones. The *P.n.62/154* clone had the greatest increment in volume per ha, and the highest average yield of wood production per ha after three years was at a spacing of 2×1 m and in the *P.n.62/154* clone. The *P. n.62/154* clone at 2×1 m spacing is recommended for short-term exploitation and at 2×2 m spacing for medium-term exploitation. Pest investigation showed that the *P. n. betulifolia* 17/13 clone had the greatest damage to pests at a spacing of 2×3 m, with an 18.52% frequency. The *P. n.62/154* clone at a planting spacing of 2×1 m with an average wood production of 90.88 m³ ha⁻¹yr⁻¹ for short-term exploitation and at a planting spacing of 2×2 m with an average wood production of 44.36 m³ ha⁻¹yr⁻¹ for medium-term exploitation are recommended in Markazi Province.

Cite this article: Goodarzi, G. R., Ahmadloo, F., Calagari, M. (2023). Determining the most suitable planting spacing for superior poplar clones in Markazi Province based on wood production performance. *Journal of Forest and Wood Products*, 76 (1), 75-89. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2023.355489.1241>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2023.355489.1241>



دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۲

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

تعیین مناسبترین فاصله کاشت کلن‌های موفق صنوبر در استان مرکزی براساس عملکرد تولید چوب

غلامرضا گودرزی^{۱*} | فاطمه احمدلو^۲ | محسن کلاگری^۳

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران. رایانامه: goodarzi44@yahoo.com

۲. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ahmadloo@rifr-ac.ir

۳. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: calagari@rifr-ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵

کلیدواژه:

تراکم کاشت،

رویش جاری،

صنوبرکاری،

متوسط تولید.

فاصله کاشت مناسب توده، در تولید درختان خوش‌فرم، باکیفیت، دارای تنه راست و کم‌گره و نیز تأمین نیازهای چوبی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق تعداد پنج کلن موفق صنوبر گونه *Populus nigra L.* که در آزمایش‌های سازگاری از عملکرد تولید چوب زیادی برخوردار بودند مورد آزمایش عملکرد تولید چوب در فواصل کاشت مختلف قرار گرفت. ابتدا از کلن‌های مذکور به تعداد کافی قلمه تهیه شده و در خزانه از آن‌ها نهال تولید شد. سپس از هر کلن به تعداد ۸۱ اصله نهال یک‌ساله در سه فاصله کاشت ۳×۲ و ۲×۲ و ۱×۲ متر و در سه تکرار در قالب طرح آماری بلوک‌های کاملاً تصادفی به‌صورت کرت‌های خرد شده کشت شد. پس از کاشت نهال‌ها، همه ساله در پایان فصل رویش، ویژگی‌های رویشی مانند قطر برابرسینه و ارتفاع کل اندازه‌گیری و سپس رویش جاری و رویش متوسط قطر، ارتفاع و حجم محاسبه شد. همچنین آماربرداری از خسارات ناشی از حمله آفات بر روی کلن‌های مورد بررسی به‌صورت مشاهده فراوانی ثبت گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل فاصله کاشت و کلن صنوبر برای متغیرهای رویشی حجم در هکتار و متوسط تولید از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. بیشترین مقدار رویش حجم در هکتار مربوط به کلن P.n.62/154 و کمترین آن در P.n.56/72 به‌دست آمده است. بیشترین میانگین عملکرد تولید چوب در هکتار در پایان سال سوم بعد از کاشت در فاصله کاشت ۱×۲ متر و در کلن P.n.62/154 با مقدار ۹۰/۸۸ مترمکعب در هکتار وجود داشت. نتایج بررسی آفات نشان داد که کلن *P.n. betulifolia 17/13* در فاصله کاشت ۳×۲ متر با ۱۸/۵۲ درصد فراوانی بیشترین خسارت به آفات را داشت. کلن P.n.62/154 در فاصله کاشت ۱×۲ متر با متوسط تولید ۹۰/۸۸ مترمکعب در هکتار و در سال برای بهره‌برداری کوتاه‌مدت و در فاصله کاشت ۲×۲ متر با متوسط تولید ۴۴/۳۶ مترمکعب در هکتار و در سال برای بهره‌برداری میان‌مدت، برای استان مرکزی پیشنهاد می‌شود.

استناد: گودرزی، غلامرضا؛ احمدلو، فاطمه؛ کلاگری، محسن (۱۴۰۲). تعیین مناسبترین فاصله کاشت کلن‌های موفق صنوبر در استان مرکزی براساس عملکرد تولید چوب. *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۶ (۱)، ۷۵-۸۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2023.355489.1241>

© نویسندگان. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2023.355489.1241>



۱. مقدمه

جنگل کاری با گونه‌های تند رشد از طریق ایجاد اشتغال به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در توسعه اقتصادی روستاها نقش مهمی دارد. هرگونه مطالعه و تحقیق روی ارقام متنوع صنوبر از جمله بررسی سازگاری، تراکم کاشت و میزان تولید چوب کلن‌های مختلف آن، گامی مؤثر در جهت افزایش تولید در واحد سطح، توسعه سطح صنوبرکاری‌ها، تولید هرچه بیشتر چوب و رفع نیازهای جامعه در این زمینه است. Modir Rahmati و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کرده‌اند که تا پایان برنامه ششم توسعه، حوزه صنعت ۱۳ میلیون مترمکعب مصرف چوب نیاز خواهد داشت، درحالی‌که توان تأمین چوب حداکثر ۵ تا ۶ میلیون مترمکعب است [۱]. بنابراین باوجود توسعه روزافزون صنعت چوب، این حوزه با مشکل محدودیت تولید چوب مواجه است. زراعت چوب باید با هدف حفظ جنگل و تأمین نیازهای صنعت پرزاده و پراشتغال به‌عنوان یکی از مسائل راهبردی کشور در نظر گرفته شود، چرا که در کشور صنایع وابسته زیادی وجود دارند که اشتغال زیادی هم ایجاد کرده‌اند.

فاصله کاشت یا میزان تراکم در واحد سطح یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بهبود کیفیت تنه، مقدار رویش قطری، ارتفاعی، رویه زمینی و حجمی سالانه و در نهایت تولید چوب درختان به‌علت رقابت‌های ریشه‌ای و تاجی درختان در کسب نور، آب و مواد غذایی است. فاصله کاشت مناسب می‌تواند سن مناسب برداشت را با اهداف آن تنظیم و تولید چوب در واحد سطح را افزایش داده و در نتیجه درآمد واحد تولیدی افزایش می‌یابد. همچنین ضمن ایجاد اشتغال مولد، بخشی از مواد اولیه مورد نیاز صنایع مصرف کننده چوب تأمین می‌شود. انتخاب تراکم مناسب درختان مبتنی بر سرشت گونه‌ها یا کلن‌ها و ویژگی‌های رویشگاه و اجرای عملیات پرورشی است. با افزایش فواصل کاشت در سنین بالاتر، درختان صنوبر از تولید چوب بیشتری برخوردار می‌شوند [۲]. بررسی‌های متعددی در زمینه فاصله کاشت و تأثیر آن بر مقادیر رویش و تولید درختان صنوبر در داخل و خارج از کشور انجام شده است. Alijanpour و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی مشخصه‌های کمی و کیفی توده‌های صنوبر تبریزی در شهرستان دیواندره استان کردستان با دو فاصله کاشت ۱×۱ متر و ۲×۲ متر به این نتیجه رسیدند که در این منطقه، فاصله کاشت، تأثیر چندانی بر افزایش قطر برابرینه ندارد ولی بر ارتفاع کل درختان صنوبر مؤثر است [۳]. نتایج بررسی تعداد ۱۰ کلن دلتوئیدس و دورگ اورامریکن در فواصل کاشت ۳×۳، ۴×۴، ۵×۵ و ۶×۶ متر در استان گیلان پس از یک دوره ۱۲ ساله نشان داد که کلن دلتوئیدس *P. deltooides 72/51* در فاصله ۳×۳ متر با ۳۲ مترمکعب در هکتار در سال بیشترین عملکرد تولید چوب را داشت. همچنین دو کلن دلتوئیدس *P.d. 62/55* و *P.d. 72/51* (رحمتی) به ترتیب با ۳۱ و ۳۰ مترمکعب در هکتار و در سال پس از یک دوره بهره‌برداری ۱۲ ساله، بیشترین عملکرد تولید چوب را در فاصله ۴×۴ متر نشان دادند [۴]. Hemati و Modir Rahmati (۲۰۰۵) به منظور تعیین مناسب‌ترین فاصله کاشت، چهار کلن از گونه *P. nigra* شامل کلن‌های *P.n.62/145*، *P.n.63/135*، *P.n.62/172* و *P.n.42/78* در چهار تیمار فاصله کاشت ۱×۲، ۲×۲، ۳×۲ و ۴×۲ متر در استان کرمانشاه را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج پس از یک دوره ۸ ساله نشان داد که در فاصله ۱×۲ متر کلن *P.n.63/135* با ۵۴/۳ مترمکعب در هکتار و در سال و در فاصله ۲×۲ متر با ۳۴/۳ مترمکعب در هکتار و در سال بیشترین عملکرد تولید چوب را داشت. در فاصله ۲×۳ متر کلن *P.n.62/154* با میانگین قطر برابر سینه ۱۳/۹ سانتی‌متر و با تولید چوب ۲۹ مترمکعب در هکتار و در سال بهترین رقم پرمحصول در این فاصله بوده است [۵].

در کشور ترکیه از اوایل دهه ۱۹۷۰ تحقیقات زیادی در ارتباط با افزایش عملکرد کمی و کیفی تولید چوب در فواصل کاشت مختلف به‌ویژه بر روی کلن *P. euramericana I-214* انجام شد. در این تحقیقات با توجه به نیاز بازار به چوب‌های قطور، فواصل کاشت ۴×۴ متر تا ۶×۶ متر مورد بررسی قرار گرفت و رشد صنوبر در رویشگاه‌های مختلف بررسی شده و جدول حجم و جدول محصول برای این گونه تهیه شده است [۶]. نتایج محققین نشان داد که حجم توده با افزایش حاصلخیزی رویشگاه و همچنین کاهش فاصله افزایش یافت اما فاصله کاشت کم به دلیل داشتن ابعاد قطری کوچک، ممکن است حداکثر سود را برای صنوبرکار تضمین نکند که به این دلیل است که چوب صنوبر با ابعاد قطری کوچک با قیمت‌های پایین‌تری در مقایسه با چوب‌های با ابعاد بزرگ‌تر به فروش می‌رسد [۶]. انتخاب فاصله کاشت در صنوبر تابع عواملی مانند نوع کلن صنوبر، شرایط رویشگاه، نوع سیستم کاشت (خالص یا تلفیقی) و اهداف مدیریت تولید چوب است. نتایج یک صنوبرکاری ۱۱ ساله با هفت فاصله کاشت از ۲×۲ متر تا

۶×۴ متر با گونه *Populus tomentosa* در چین، نشان داد که در تراکم کاشت بیشتر رقابت بین درختان شدید بوده و رقابت برای عوامل اکولوژیک مانند نور، آب و مواد غذایی زیاد است. میانگین صفات رشد به‌طور قابل توجهی با کاهش تراکم کاشت یا فاصله کاشت بیشتر افزایش یافته و در مقابل فاصله کاشت تأثیر کمتری بر متوسط رشد ارتفاع درخت داشت. در سنین اولیه رشد در ۵-۳ سالگی، توسعه رشد ارتفاعی در تراکم کاشت زیاد بیشتر از تراکم کاشت کم بود ولی با افزایش سن درختان تا حد زیادی قطر برابر سینه و ارتفاع در تراکم کاشت کم یا فاصله کاشت بیشتر افزایش یافت [۲]. در کانادا تأثیر سه فاصله کاشت ۱×۱، ۳×۳ و ۵×۵ متر روی رشد و تولید زی‌توده کلن‌های هیبرید صنوبر در مدت پنج سال مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش فاصله کاشت رشد قطری و رویه‌زمینی افزایش یافته و همزمان رشد ارتفاعی در سال‌های اولیه با تغییرات کمتر و با افزایش سن درختان روند افزایشی داشته است [۷]. در کشور یوگسلاوی سابق تحقیقاتی بر تراکم کاشت صنوبر با توجه به ملاحظات طول دوره برداشت و نیز کمیت و کیفیت حجم چوب قابل تولید انجام شده است. در یک عرصه آزمایشی در حاشیه رودخانه دانوب و روی خاک رسوبی سبک حجم چوب کلن دورگ صنوبر اورامریکن *P.e. I-214* در فاصله کاشت ۴/۲۵×۴/۲۵ متر (۵۵۵ درخت در هکتار) پس از یک دوره ۱۸ ساله رشد، ۲۸۷ متر مکعب در هکتار و در سال بوده است که در مقایسه با فاصله کاشت ۳×۳ متر (۲۶ متر مکعب در سال و در هکتار) حجم چوب بیشتری داشته است [۸]. از آنجا که شرایط اقلیمی و خاکی هر منطقه روی رشد، عملکرد و کیفیت چوب درختان کاشته شده در آن منطقه مؤثر است، بنابراین تعیین بهترین و مناسب‌ترین تراکم برای هر منطقه با ویژگی‌های اقلیمی متفاوت، نیاز به آزمایش‌های دقیق و تحقیقات گسترده منطقه‌ای دارد. از طرفی، عدم انتخاب فاصله کاشت مناسب و عدم استفاده از کلن‌های پرتولید توسط زارعان از عوامل مؤثر و محدودکننده زراعت چوب در استان مرکزی است [۹] که بررسی تراکم کاشت مناسب در استان و معرفی کلن‌های پرمحصول را ضروری می‌سازد.

آفات جزء عواملی هستند که خسارت‌های کمی و کیفی قابل توجهی را به صنوبرکاری‌ها وارد می‌کنند که بایستی در مرحله اول کلن‌های حساس و نوع آفات شناسایی و میزان خسارت‌های وارده بررسی شوند تا روش‌های مبارزه با آن‌ها برای کاهش مؤثری جمعیت آفات به پایین‌تر از سطح زیان اقتصادی، در قالب برنامه‌های مدیریتی تدوین و عرضه شود. درختان صنوبر برای تولید چوب و زنده‌مانی و داشتن تنه عاری از هر گونه آفات و بیماری‌ها نیاز به مقادیر مشخصی از آب در دوره‌های زمانی منظمی با منبع دائمی دارند که به دلیل افزایش بازدهی آب، سیستم‌های آبیاری تحت فشار و قطره‌ای برای تولید نهال در خزانه‌ها و توسعه زراعت چوب در مناطق خشک و نیمه خشک استفاده می‌شود.

هدف اصلی از اجرای این تحقیق، تعیین مناسب‌ترین فاصله کاشت در شرایط اقلیمی استان مرکزی به منظور افزایش تولید چوب در واحد سطح و متعاقب آن حداکثر بهره‌وری از سرمایه‌گذاری انجام گرفته می‌باشد. علاوه بر این، کلن‌های مناسب صنوبر که به لحاظ عملکرد تولید چوب وضعیت مناسب در فواصل کاشت مختلف دارند، معرفی خواهند شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه پژوهش

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک واقع در حاشیه شرقی شهر اراک به مدت چهار سال (۱۳۹۷-۱۴۰۰) انجام گرفت (جدول ۱). مختصات جغرافیایی عرصه ۱۳' ۰۷" ۳۴° عرض شمالی و ۴۹° ۴۴' ۶۵" طول شرقی است. ویژگی‌های مهم اقلیمی شهرستان اراک در جدول ۱ ارائه شده است [۱۰].

جدول ۱. اطلاعات اقلیمی ۴۰ ساله ایستگاه همدیدبانی (ایستگاه اراک با کد ۴۰۷۶۹) عرصه کاشت در شهرستان اراک

میانگین تبخیر سالانه (میلی‌متر)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	اقلیم		میانگین رطوبت سالانه (درصد)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)	
		آمبرژه	دومارتن			میانگین دمای مطلق سالانه	حداکثر دمای مطلق
۲۰۳۵/۷	۱۷۰۳	خشک و سرد	نیمه‌خشک	۴۶	۳۰۷/۶	۱۴	۴۴

پیش از شروع پژوهش، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در آزمایشگاه خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی در سه تکرار تعیین شد (جدول ۲). ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش (جدول ۲) نشان می‌دهد که خاک عرصه، خاک سبکی است. بافت این خاک با داشتن نسبت متعادل رس، لای و شن از مطلوبیت نسبی برای توسعه ریشه و آبیاری برخوردار است. هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که وضعیت شوری خاک مطلوب، اسیدیته خاک کمی قلیایی، کربنات کلسیم متعادل و درصد اشباع خاک متوسط می‌باشد که می‌توان وضعیت فیزیکی خاک را مطلوب در نظر گرفت. از نظر حاصلخیزی، وضعیت پتاسیم مطلوب و بالاتر از حد بحرانی می‌باشند [۱۱].

جدول ۲. برخی ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری خاک

بافت	مواد خنثی شونده	ازت کل	ماده آلی	مگننز قابل جذب	آهن قابل جذب	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	اسیدیته گل اشباع	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)
	درصد			میلی گرم بر کیلوگرم					
لومی-رسی	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۶۲	۳۱/۸	۶	۹/۲	۲۴۰	۷/۷	۱/۳

۲-۲. روش اجرای پژوهش

در این تحقیق تعداد پنج کلن موفق صنوبر از گونه *Populus nigra* با مبدأ ترکیه (*Populus nigra 62/154 P.n. betulifolia*) در مناطق نیمه خشک کشور مورد کشت قرار می‌گیرند، انتخاب شد. ابتدا از کلن‌های مذکور قلمه تهیه شده و در خزانه از آن‌ها نهال (ساقه و ریشه یک‌ساله) تولید شد. پس از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، کوددهی (کود حیوانی پوسیده) به میزان ۴۰ تن در هکتار، تسطیح و حفر چاله‌هایی با ابعاد ۷۰×۷۰ سانتی‌متر، نهال‌های یک‌ساله صنوبر با اندازه مناسب و یکنواخت از هر کلن به تعداد ۸۱ اصله در اسفندماه ۱۳۹۸ در سه فاصله کاشت ۱×۲ و ۲×۲ و ۲×۳ متر و در سه تکرار در قالب طرح آماری بلوک‌های کاملاً تصادفی به صورت کرت‌های خرد شده (کرت اصلی فاصله کاشت (شامل ۱۳۵ نهال) و کرت فرعی کلن‌های صنوبر (۴۵ نهال)) کاشته شدند (در مجموع تعداد ۴۰۵ اصله برای تیمارهای اصلی و فرعی و تعداد ۱۱۶ اصله نهال نیز به‌عنوان اثرات حاشیه‌ای یا بافر شامل یک ردیف نهال از هر چهار طرف بود). عملیات داشت در طول دوره آزمایش مانند آبیاری به روش قطره‌ای (هفته‌ای یکبار به مدت ۸ ساعت)، حذف پاجوش و ریشه جوش‌ها، خاک دادن پای نهال‌ها، مبارزه با علف‌های هرز از طریق مکانیکی، شخم‌زدن و وجین دستی به دفعات مورد نیاز و هرس به‌طور منظم انجام گردید. هر ساله در پایان فصل رویش، قطر درختان در محل ارتفاع برابر سینه (۱/۳۰ متر از سطح زمین که قبلاً اندازه‌گیری و رنگ‌آمیزی شده بود) با کولیس و نوار قطرسنج تا دقت میلی‌متر و ارتفاع درختان با دستگاه بلوملیس تا دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه ۱ حجم آن‌ها محاسبه شد.

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \times h \times f \quad \text{رابطه ۱}$$

V = حجم درخت سرپا به متر مکعب، d = قطر برابر سینه به متر، h = ارتفاع به متر و f = ضریب شکل درخت که در محاسبات ۰/۵ منظور شده است [۱۲].

پس از محاسبه حجم تمامی درختان، حجم در سطح تیمار با در نظر گرفتن فاصله کاشت محاسبه و سپس به سطح هکتار تعمیم داده شد. سپس رویش قطری، ارتفاعی و حجمی کلن‌ها به تفکیک برای سال‌های مختلف محاسبه و میانگین ۳ ساله آن‌ها تجزیه و تحلیل گردید. مقاومت و حساسیت کلن‌های مختلف به آفات شته مومی، پروانه گالزای صنوبر و آفات چوب‌خوار روی تنه اغلب کلن‌ها و سنک صنوبر روی برگ درختان نیز براساس درصد فراوانی پایه‌ها در هر تیمار فاصله کاشت و بلوک بررسی شد.

در سال پایانی، آزمایش حضور و خسارت آفات مورد اشاره روی تمامی درختان صنوبر در فواصل کاشت مختلف ثبت و درصد فراوانی تعداد پایه‌های آلوده بر اساس نوع کلن و فاصله کاشت محاسبه شد.

۲-۳. روش تحلیل

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. ابتدا شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون انجام شد. برای تعیین تفاوت آماری داده‌های کمی از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها در صورت همگنی واریانس‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اجزای واریانس تخمین زده شدند. برای تجزیه و تحلیل مشخصه مقاومت به آفات، میزان نمره‌دهی را به درصد تبدیل کرده و از روش آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) برای مقایسه کلی و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan's Multiple Range Test) برای مقایسه چندگانه استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

مطابق نتایج تجزیه واریانس، مشخصه‌های رویشی کلن‌های مورد بررسی (جدول ۳)، تفاوت معنی‌داری در تمامی صفات کمی رویشی کلن‌های صنوبر (قطر برابر سینه، ارتفاع کل، متوسط حجم تک درخت، حجم در هکتار و متوسط تولید) وجود دارد. اثر متقابل کلن‌ها تحت تیمار فاصله کاشت فقط در مشخصه‌های حجم در هکتار و متوسط تولید اختلاف معنی‌دار آماری را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که زنده‌مانی تمامی درختان ۱۰۰ درصد برای تمامی تیمارها به‌دست آمد.

جدول ۳. تجزیه واریانس مشخصه‌های رویشی کلن‌های صنوبر مورد بررسی تحت تیمار فاصله کاشت در سال پایانی آزمایش (۱۴۰۰)

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	قطر برابر سینه	ارتفاع کل	میانگین مربعات	
				متوسط حجم تک درخت	حجم در هکتار
بلوک (B)	۲	۰/۸ ^{ns}	۱/۸۵ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۵۸۴/۸۴ ^{ns}
فاصله کاشت (D)	۲	۰/۰۰۷ ^{ns}	۳/۰۹۲ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۵۸۸۰/۶۲ ^{**}
خطای اصلی (Ea)	۴	۰/۱۷۵	۰/۸۱۳	۰/۰۰۰	۲۸۲/۹۲۵
کلن (C)	۴	۱۳/۶۲ ^{**}	۵/۳۳۵ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{**}	۱۲۰۳۱/۵۱ ^{**}
اثر متقابل (D) × (C)	۸	۰/۹ ^{ns}	۱/۲۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۱۹۰۶/۶۳ ^{**}
خطای فرعی (Eb)	۳۰	۰/۵۷۷	۱/۱۲۴	۰/۰۰۰	۵۷۳/۵
ضریب تغییرات	-	۱۲/۱۶	۱۳/۷۱	۴/۵۱	۱۹/۴۱

** اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین اثر متقابل کلن‌ها تحت تیمار فاصله کاشت برای متغیرهای رویشی در سال پایانی آزمایش نشان داد که از لحاظ موجودی در هکتار در پایان سال ۱۴۰۰ نیز کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت ۱×۲ متر با ۲۷۲/۶۵ مترمکعب بیشترین مقدار حجم در هکتار را داشت. پس از آن نیز دو کلن *P.n.62/127* و *P.n.56/72* به ترتیب با ۱۵۴/۱۹ و ۱۴۲/۷۶ مترمکعب (در فاصله کاشت ۱×۲ متر) در هکتار در گروه دوم قرار گرفتند (جدول ۴). از لحاظ مشخصه میانگین تولید در هکتار و در سال نیز کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت ۱×۲ متر با ۹۰/۸۸ مترمکعب در هکتار در سال در گروه اول و پس از آن نیز دو کلن *P.n.62/127* و *P.n.56/72* به ترتیب با ۵۱/۴ و ۴۷/۵۸ مترمکعب در هکتار در سال در گروه دوم قرار گرفتند. تفاوت آماری معنی‌دار بین کلن‌ها از لحاظ مشخصه‌های مورد بررسی، نشان‌دهنده واکنش‌های متفاوت کلن‌ها نسبت به عوامل محیطی بوده و مبنایی مناسب برای گزینش کلن‌های برتر و سپس معرفی آن‌ها می‌باشد. در پژوهش حاضر، متوسط قطر برابر سینه کلن‌ها از حداقل ۷/۶۲ سانتی‌متر در کلن *P.n. betulifolia 17/13* در فاصله کاشت ۲×۲ متر تا حداکثر ۱۱/۳۴ سانتی‌متر در کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت ۲×۲ متر متغیر بود. ارتفاع کل کلن‌ها از حداقل ۷/۹۸ سانتی‌متر در کلن *P.n.62/127* در فاصله کاشت ۲×۲ متر تا حداکثر ۱۱/۲۴ سانتی‌متر در کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت ۱×۲ متر متغیر است. متوسط حجم تک درخت

از حداقل ۰/۰۲ مترمکعب در کلن *P.n. betulifolia 17/13* در فاصله کاشت ۲×۲ متر و کلن *P.n.56/72* در فاصله کاشت ۳×۲ متر تا حداکثر ۰/۰۵۵ مترمکعب در کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت ۱×۲ متر متغیر است (جدول ۴). نتایج حاضر نشان می‌دهد که کلن‌های مختلف صنوبر توان رویشی متفاوتی دارند. براساس نتایج Goodarzi و Ahmadloo (۲۰۲۲) متوسط رویش حجمی سالانه صنوبرکاری‌های سنتی استان مرکزی ۲۹/۱۳ متر مکعب در هکتار و در سال و محدوده رویش حجمی سالانه استان بین ۴/۶ تا ۷۴/۶۷ متر مکعب در هکتار است [۹]، اما در کلن‌های اصلاح‌شده و سازگار با شرایط استان مرکزی یعنی *P.n.62/154*، *P.n.56/75* و *P.n.62/172* به ترتیب مقادیر ۸۰/۶۳، ۶۸/۶۸ و ۶۲/۲۹ متر مکعب در هکتار در سال به دست آمده است [۱۲]. در تحقیق حاضر متوسط تولید از حداقل ۱۱/۳۴ مترمکعب در هکتار و در سال در کلن *P.n.56/72* در فاصله کاشت ۳×۲ متر تا حداکثر ۹۰/۸۸ مترمکعب در هکتار و در سال در کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت ۱×۲ متر متغیر است که نشان می‌دهد تولید کلن *P.n.62/154* در تحقیق حاضر نسبت به تولید آن در تحقیق Goodarzi و همکاران (۲۰۲۱) در استان مرکزی [۱۲] به دلیل تراکم کاشت بالا، تعداد بیشتر درختان در هکتار، سریع بسته شدن تاج و حفظ رطوبت در آبیاری قطره‌ای بیشتر است.

جدول ۴. مقایسه میانگین مشخصه‌های رویشی کلن‌های صنوبر مورد بررسی تحت تیمار فاصله کاشت در سال پایانی آزمایش (۱۴۰۰)

کلن‌های صنوبر	فاصله کاشت (متر)	تعداد درخت در هکتار	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع کل (متر)	متوسط حجم تک‌درخت (متر مکعب)	حجم در هکتار (متر مکعب)	متوسط تولید (متر مکعب در هکتار در سال)
	۱×۲	۵۰۰۰	۱۱/۰۷	۱۱/۲۴	۰/۰۵۵	۲۷۲/۶۵ ^a	۹۰/۸۸ ^a
<i>P.n.62/154</i>	۲×۲	۲۵۰۰	۱۱/۳۴	۱۰/۳۹	۰/۰۵۳	۱۳۳/۰۸ ^{bc}	۴۴/۳۶ ^{bc}
	۳×۲	۱۶۶۶	۱۰/۸۷	۱۰/۱۹	۰/۰۵	۸۳/۱۷ ^{de}	۲۷/۷۲ ^{de}
	۱×۲	۵۰۰۰	۸/۲۲	۹/۲	۰/۰۲۵	۱۲۵/۸ ^{bcd}	۴۱/۹۳ ^{bcd}
<i>P.n. betulifolia 17/13</i>	۲×۲	۲۵۰۰	۷/۶۲	۸/۳۴	۰/۰۲	۴۹/۵۸ ^{ef}	۱۶/۵۳ ^{ef}
	۳×۲	۱۶۶۶	۸/۵۴	۹/۱۳	۰/۰۲۸	۴۷/۰۳ ^{ef}	۱۵/۶۷ ^{ef}
	۱×۲	۵۰۰۰	۸/۴۴	۹/۹۱	۰/۰۲۹	۱۴۲/۷۶ ^b	۴۷/۵۹ ^b
<i>P.n.56/72</i>	۲×۲	۲۵۰۰	۸/۲۵	۸/۷۹	۰/۰۲۵	۶۱/۶۷ ^{ef}	۲۰/۵۶ ^{ef}
	۳×۲	۱۶۶۶	۷/۶۴	۸/۲۳	۰/۰۲	۳۴/۰۲ ^f	۱۱/۳۴ ^f
	۱×۲	۵۰۰۰	۸/۷۷	۹/۶۷	۰/۰۳۱	۱۵۴/۱۹ ^b	۵۱/۴ ^b
<i>P.n.62/127</i>	۲×۲	۲۵۰۰	۸/۱۴	۷/۹۸	۰/۰۲۱	۵۲/۷۹ ^{ef}	۱۷/۶ ^{ef}
	۳×۲	۱۶۶۶	۹/۱۷	۹/۸۹	۰/۰۳۳	۵۵/۳ ^{ef}	۱۸/۴۳ ^{ef}
	۱×۲	۵۰۰۰	۸/۵۸	۸/۸۸	۰/۰۲۶	۱۳۱/۸ ^{bc}	۴۳/۹۳ ^{bc}
<i>P.n.62/167</i>	۲×۲	۲۵۰۰	۹/۸۸	۹/۰۹	۰/۰۳۶	۸۹/۲۶ ^{cd}	۲۹/۷۵ ^{cde}
	۳×۲	۱۶۶۶	۸/۸	۸/۰۸	۰/۰۲۵	۴۲/۴۸ ^{ef}	۱۴/۱۶ ^{ef}

حروف مختلف در ستون مربوط به هر مشخصه مبین معنی‌دار بودن تفاوت میانگین‌ها در سطح خطای ۰/۰۵ است.

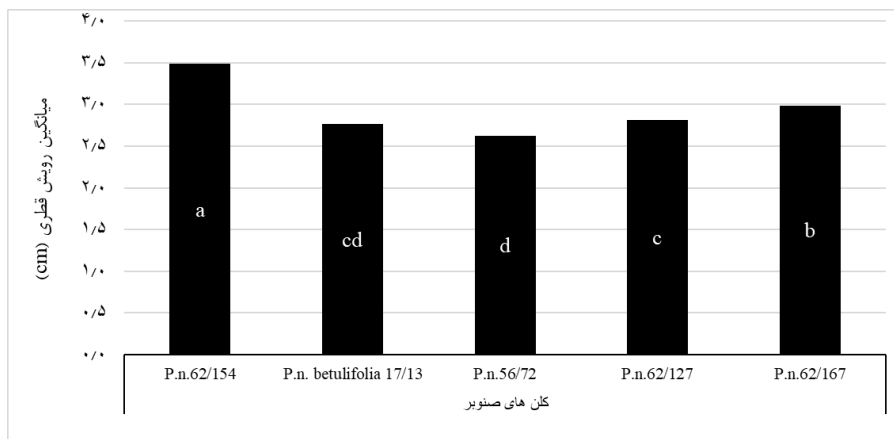
مطابق نتایج تجزیه واریانس میانگین سه ساله مقادیر رویش کلن‌های صنوبر مورد بررسی (جدول ۵)، تفاوت معنی‌داری در میانگین مقادیر رویش قطری و رویش حجمی کلن‌های صنوبر وجود دارد. اختلاف معنی‌دار آماری در بررسی اثر اصلی بلوک، تیمار فاصله کاشت و اثر متقابل کلن‌ها تحت تیمار فاصله کاشت روی رویش قطری، ارتفاعی و حجمی کلن‌های صنوبر وجود ندارد. دلیل عدم اختلاف معنی‌دار رشد قطری، ارتفاعی و حجمی در فواصل کاشت می‌تواند سن کم درختان باشد؛ زیرا در سنین اولیه رشد، درختان رقابت کمتری با یکدیگر دارند. به نظر می‌رسد با افزایش سن و رشد درختان، فاصله کاشت تأثیر به‌سزایی در رشد قطری خواهد داشت که در انتخاب کلن‌های سازگار و با تولید بالای چوب برای شرایط منطقه تأثیرگذار است.

جدول ۵. تجزیه واریانس میانگین سه ساله مقادیر رویش کلن‌های صنوبر مورد بررسی تحت تیمار فاصله کاشت

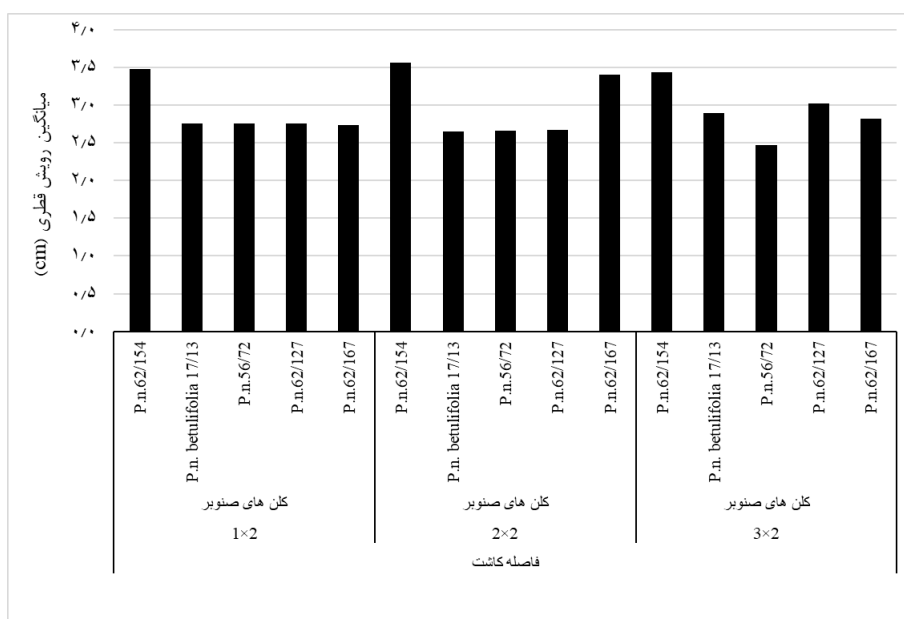
منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات		
		میانگین رویش قطری	میانگین رویش ارتفاعی	میانگین رویش حجمی
بلوک (B)	۲	۰/۰۹۵ ^{ns}	۰/۲ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}
فاصله کاشت (D)	۲	۰/۰۳۴ ^{ns}	۰/۲۹۹ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}
خطای اصلی (Ea)	۴	۰/۱۳۴	۰/۲۵۹	۰/۰۰۰
کلن (C)	۴	۱/۰۱۳ ^{**}	۰/۳۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{**}
اثر متقابل (D) × (C)	۸	۰/۱۴۸ ^{ns}	۰/۲۳۸ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}
خطای فرعی (Eb)	۳۰	۰/۱۶۷	۰/۲۴۹	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات	-	۱۶/۴۶	۱۹/۳۷	۱۵/۷۳

** اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار

براساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار میانگین رویش قطری در کلن *P.n.62/154* و کمترین آن در *P.n.56/72* به‌دست آمده است (شکل ۱). سه سال اولیه رشد جزو مراحل اولیه رشد است که در آن تفاوت خاصی در پهنای دواير سالیانه درختان به‌وجود نمی‌آید [۱۳]. این مرحله مربوط به دوره زمانی پیش از بسته‌شدن تاج‌پوشش است که هنوز رقابت اساسی بین پایه‌ها آغاز نشده است. این مورد در هر تراکمی و براساس نوع کلن (تاج باز یا بسته بودن) و مدیریت توده می‌تواند متغیر باشد. به‌عبارت‌دیگر، تا سال سوم، فاصله کاشت و یا تراکم توده نقش چندانی بر رویش قطری درختان مورد بررسی نداشته است. رویش قطری در کلن‌های مختلف تحت تأثیر فاصله کاشت نیز قرار نگرفت و اثر متقابل این دو تیمار نیز در هر یک از مشخصه‌ها معنی‌دار نشد اگرچه کلن *P.n.62/154* در هر فاصله کاشتی دارای بیشترین مقدار است (شکل ۲). در بررسی تأثیر دو فاصله کاشت ۱×۱ و ۱×۲ متر بر مشخصه‌های کمی و کیفی توده‌های دست کاشت صنوبر تبریزی ۸ ساله در شهرستان دیواندره در استان کردستان گزارش شده است که ارتفاع کل درختان افزایش یافته اما قطر برابر سینه درختان افزایش نداشته است که دلیل آن فاصله کاشت کم درختان بوده که فضای کافی برای رشد قطری را نداشته‌اند [۳]. Fang و همکاران (۱۹۹۹) در ایالت Jiangsu در چین تحقیقی روی رویش قطری گونه *P. deltoides* در چهار فاصله کاشت (۳×۳، ۳×۴، ۴×۴ و ۴×۵ مترمربع) و سه کلن *Populus deltoides* Bartr. cv. 'Lux' (I-69)، *(Populus deltoides* Bartr. cv. 'San Martino') I-72 و *(P. euramericana* (Dode) Guinier cv. 'NL-80351 (I-72) (NL-80351) *(P. deltoides* Bartr. cv. 'Havard') (NL-80351) انجام دادند و گزارش دادند که مرحله بسته شدن تاج پوشش بین ۳-۵ سال طول می‌کشد [۱۴]. تفاوت بین کلن‌های NL-80351 و I-69 در سن ۶ سالگی قابل توجه نبود و عملکرد تولید چوب با طول تناوب از سن ۴ تا ۶ سال از ۱۰ تا ۱۳ تن در هکتار در هر دو فاصله کاشت ۳×۳ و ۳×۴ متر متغیر بود و بیشترین عملکرد به‌ترتیب برای فواصل کاشت ۳×۴، ۳×۳، ۴×۴ و ۴×۵ در کلن NL-80351 پس از مدت ۶ سال به‌دست آمد. در حالی که در تحقیق حاضر کلن‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌دار آماری را در عملکرد تولید چوب در طی سه سال آزمایش نشان دادند [۱۴]. فاصله کاشت مترکم به‌دلیل رقابت بر سر منابع مانند نور، آب و مواد مغذی می‌تواند بر اندازه سطح تاج، سطح برگ و سنتز کربوهیدرات‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد هورمونی کلن‌های مختلف تأثیر گذاشته که سبب تغییر در اندازه قطر برابر سینه می‌شود و با افزایش سن درخت و با شروع رقابت، اثرگذاری تراکم کاشت بیشتر می‌شود که با نتایج Tun و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد [۱۵]. نمایی از متغیر قطر برابر سینه کلن *P.n.62/154* در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک نشان داده شده است (شکل ۳).



شکل ۱. متغیر میانگین رویش قطری کلن‌های مختلف صنوبر

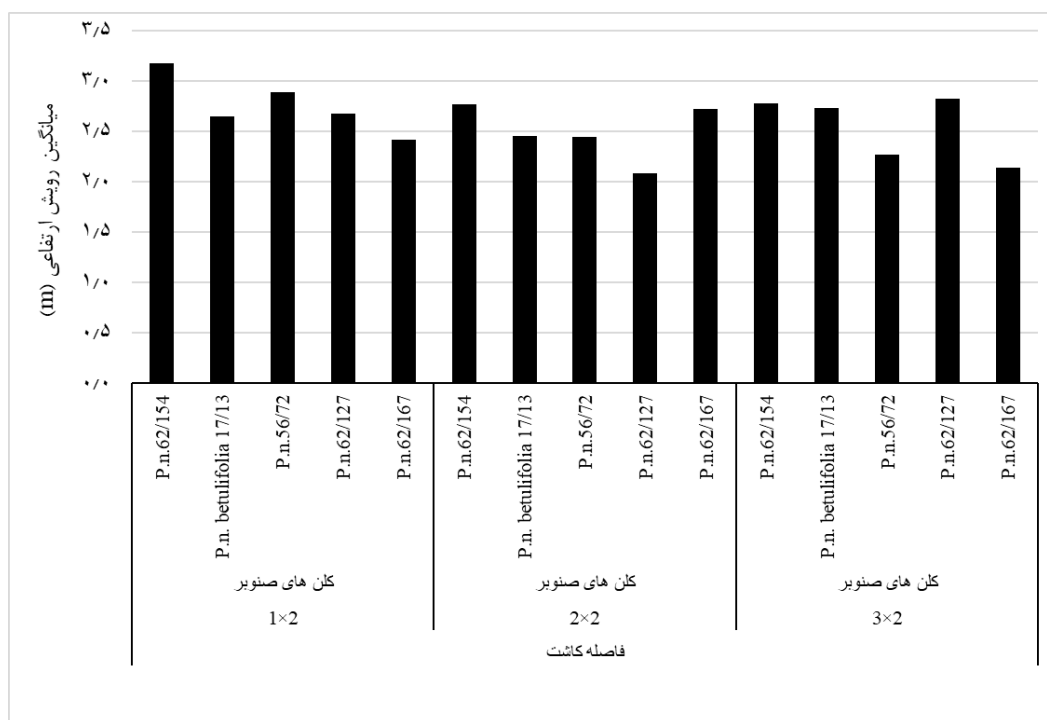


شکل ۲. متغیر میانگین رویش قطری کلن‌های صنوبر مورد بررسی تحت تیمار فاصله کاشت



شکل ۳. نمایی از رشد قطر برابر سینه کلن P.n.62/154 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک (مهرماه ۱۴۰۰)

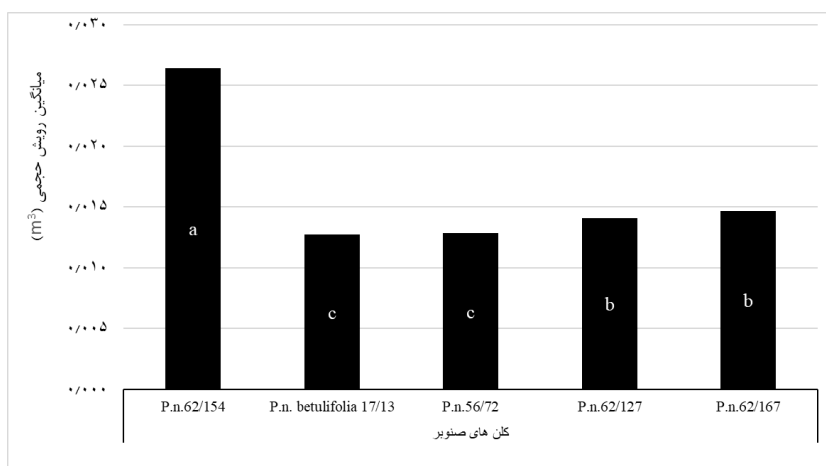
بیشترین مقدار میانگین رویش ارتفاعی در کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت ۱×۲ متر و کمترین آن در کلن *P.n.62/127* در فاصله کاشت ۲×۲ متر به دست آمده است اگرچه این اختلاف معنی دار نشده است (شکل ۴). به عبارت دیگر، تا این مرحله در این پژوهش رابطه مستقیمی بین فاصله کاشت (تراکم توده) و رشد ارتفاعی درختان از کلن‌های مختلف به دست نیامده است که دلیل آن نیز می‌تواند رقابت نوری کم بین درختان به‌ویژه در کاشت‌های متراکم در سال‌های اولیه رشد باشد. بدین معنی که درختان برای رسیدن به نور کافی با یکدیگر در سال‌های بعد رقابت نموده که این امر منجر به رشد ارتفاعی می‌شود. در فواصل کاشت کمتر رقابت نوری تا چند سال اول ادامه خواهد داشت ولی در فاصله کاشت بیشتر این رقابت در چند سال اول کمتر بوده و درختان امکان دستیابی به رشد قطری بیشتر را خواهند داشت. همچنین گزارش Sang و همکاران (۲۰۲۱) روی گونه صنوبر *P. tomentosa* با هفت فاصله کاشت (۲×۲، ۲×۳، ۳×۳، ۳×۴، ۴×۴، ۴×۵ و ۴×۶ متر) با چهار کلن هیبرید (B331، B301، S86) و 1316 نشان می‌دهد در سنین اولیه رشد در ۳-۵ سالگی، توسعه رشد ارتفاعی در تراکم کاشت زیاد بیشتر از تراکم کاشت کم بود ولی با افزایش سن درختان تا حد زیادی قطر برابر سینه و ارتفاع درختان در تراکم کاشت کم یا فاصله کاشت بیشتر افزایش یافت [۲]. Huijuan و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که ارتفاع درختان عمدتاً تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی است و تراکم کاشت بر حسب میزان نیاز نوری کلن‌های مختلف درختان صنوبر می‌تواند بر رشد ارتفاعی آن‌ها تأثیر بگذارد [۱۶]. نتایج تحقیق حاضر با نتایج برخی محققین با وجود فاصله کاشت و شرایط محیطی متفاوت و استفاده از گونه‌های صنوبر تاج باز مطابقت دارد به طوری که Tun و همکاران (۲۰۱۸) نتیجه گرفتند که فاصله کاشت اولیه قابل توجهی بر رشد ارتفاع توده‌های صنوبر دلتوئیدس و اورامریکن در چهار فاصله کاشت ۵×۵، ۶×۶، ۸×۳ و ۸×۴/۵ متر واقع در استان جیانگ سو، کشور چین نداشت [۱۵]. Asadi و Calagari (۲۰۲۱) نیز در بررسی مقادیر رویش ارقام بومی و غیربومی جدید صنوبر در ایستگاه تحقیقات جنگل و مرتع چمستان نتیجه گرفتند که مقادیر رویش ارتفاعی در بین کلن‌های مختلف در فاصله کاشت ۴×۴ متر تفاوت معنی‌دار آماری نداشت [۱۷].



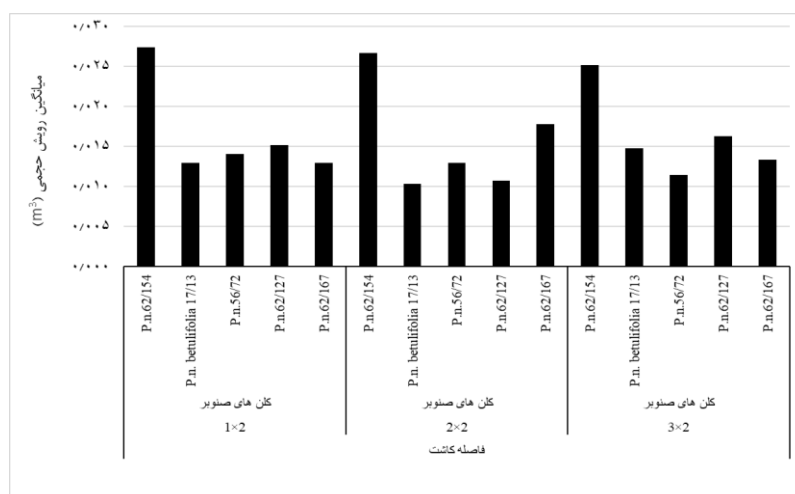
شکل ۴. متغیر میانگین رویش ارتفاعی کلن‌های صنوبر مورد بررسی تحت تیمار فاصله کاشت

بیشترین مقدار میانگین رویش حجمی در کلن *P.n.62/154* و کمترین آن در کلن‌های *P.n.56/72* و *P.n. betulifolia 17/13* به دست آمده است و کلن‌های *P.n.62/127* و *P.n.62/167* در حالت بینابینی قرار داشته‌اند (شکل ۵). رویش حجمی در کلن‌های

مختلف تحت تأثیر فاصله کاشت نیز قرار نگرفت و اثر متقابل این دو تیمار نیز در هر یک از مشخصه‌ها معنی‌دار نشد اگرچه کلن *P.n.62/154* در هر فاصله کاشتی دارای بیشترین مقدار است (شکل ۶). انتخاب بهترین فاصله کاشت برای به حداکثر رساندن تولید چوب (حجم یا زی توده) و تعیین طول چرخش بهره‌برداری بهینه، ارزشمند است [۱۵]. تراکم کاشت درختان اثرات قابل توجهی بر منابع رشد موجود هر درخت کاشته شده [۱۸] و ویژگی‌های تاج [۱۵] دارد، در نتیجه بر رشد حجمی چوب یا افزایش زیست‌توده و کیفیت چوب تأثیر می‌گذارد [۱۹]. هنگامی که تراکم کاشت کمتر باشد، شاخه‌ها می‌توانند به‌طور کامل گسترش پیدا کنند، تاج بزرگتر می‌شود و فتوسنتز نه تنها نیازهای برگ‌ها را برآورده می‌کند بلکه مواد مغذی اضافی را نیز به سایر اندام‌ها منتقل می‌کند و با توسعه ریشه‌ها نیز می‌توانند مواد مغذی و آب بیشتری را برای قسمت‌های بالای زمین جذب کنند، در نتیجه قطر برابر سینه و حجم چوب ساقه درختان را افزایش می‌دهند [۱۶]. کلن‌های صنوبر در سال‌های اولیه بیشترین توان خود را صرف رشد و گسترش سیستم ریشه‌دوانی و استقرار خود در عرصه می‌کنند و پس از استقرار نسبی و از سال سوم، روند رشد کلن‌ها بیشتر می‌شود. Huijuan و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که گونه‌های مختلف صنوبر ویژگی‌های زیست‌شناختی متفاوتی دارند و ژنوتیپ‌های درختی متفاوت با مواد ژنتیکی برتر سبب افزایش تولید چوب درختان صنوبر می‌شوند [۱۶] که تحقیق حاضر نشان می‌دهد کلن *P.n.62/154* نسبت به سایر کلن‌ها از نظر ویژگی‌های ژنتیکی دارای برتری نسبی است. نمایی از درختان صنوبر عرصه تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۵. متغیر میانگین رویش حجمی کلن‌های مختلف صنوبر



شکل ۶. متغیر میانگین رویش حجمی کلن‌های صنوبر مورد بررسی تحت تیمار فاصله کاشت



شکل ۷. نمایی از درختان صنوبر عرصه تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک (مردادماه ۱۴۰۰)

۳-۱. بررسی آفات درختان

ثبت آفات در سال پایانی آزمایش به صورت مشاهده‌ای انجام و فراوانی آن محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفت. طی سال‌های اجرای تحقیق آفات شته مومی (*Phloeomyzus passerinii* Sign.) و پروانه گالزای صنوبر (*Paranthrene tabaniformis* Rott.) روی تنه اغلب کلن‌ها و سنک صنوبر (*Monosteria uncostata* (Muls & Rey)) روی برگ اغلب کلن‌های صنوبر فعالیت داشت ولی در مجموع این آفات روی کلن‌های مورد بررسی با شدت آلودگی کم، حساسیت کمی (کمتر از ۲۵ درصد) را نشان دادند. در سال پایانی آزمایش حضور و خسارت آفات مورد اشاره روی تمامی درختان صنوبر در فواصل کاشت مختلف ثبت و درصد فراوانی تعداد پایه‌های آلوده براساس نوع کلن و فاصله کاشت محاسبه شد که در جدول ۶ نشان داده شده است. براساس بررسی‌های انجام شده در سال پایانی آزمایش فقط آفت شته مومی روی درختان صنوبر مشاهده شد و سایر آفات چوب‌خوار و مکنده وجود نداشت که این عمل به دلیل عملیات داشت مناسب از جمله آبیاری منظم و با مقدار کافی و رسیدگی کامل به درختان بود.

بین کلن‌های مختلف صنوبر از لحاظ درصد فراوانی ابتلا به آفات شته مومی در فواصل کاشت مختلف اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد به طوری که بیشترین میانگین درصد فراوانی در کلن *P.n. betulifolia 17/13* در فاصله کاشت ۳×۲ متر و کمترین آن در کلن *P.n. 62/154* در فواصل کاشت ۲×۲ متر و ۳×۲ متر وجود داشت (جدول ۶). Heidari و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که تراکم پایه‌های صنوبر تبریزی اثر متفاوتی روی الگوی توزیع مکانی و شاخص پراکندگی آفات دارند که این امر از ویژگی‌های زیستی و اکولوژیک آن‌ها ناشی می‌شود [۲۰]. کلن‌های مختلف صنوبر به دلیل استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری در تحقیق و آبیاری منظم کمتر تحت تأثیر تنش کم آبی قرار گرفته و آفات چوب‌خوار در توده مشاهده نشد و زنده‌مانی درختان ۱۰۰ درصد بود. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که درصد فراوانی پایه‌های آلوده به آفت شته مومی در هر تیمار کمتر از ۲۰ درصد است که بیانگر مقاومت به آلودگی به دلایل انجام عملیات منظم کاشت و داشت و استفاده از کلن‌های سازگار با شرایط استان است.

جدول ۶. تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین درصد فراوانی آفات شته مومی روی کلن‌های صنوبر مورد بررسی در فواصل کاشت مختلف با آزمون دانکن در سال پایانی آزمایش (۱۴۰۰)

کلن‌های صنوبر	فاصله کاشت (متر)	تعداد پایه‌های آلوده در بلوک اول	تعداد پایه‌های آلوده در بلوک دوم	تعداد پایه‌های آلوده در بلوک سوم	درصد فراوانی آلودگی
آماره F	-	-	-	-	۱۹/۷۱۴
Sig (معنی‌داری)	-	-	-	-	۰/۰۰۰
P.n.62/154	۱×۲	۰	۱	۱	۷/۴۱ ^d
	۲×۲	۰	۱	۰	۳/۷ ^e
	۳×۲	۰	۰	۱	۳/۷ ^e
P.n. betulifolia 17/13	۱×۲	۱	۱	۱	۱۱/۱۱ ^c
	۲×۲	۱	۱	۲	۱۴/۸۱ ^b
	۳×۲	۲	۱	۲	۱۸/۵۳ ^a
P.n.56/72	۱×۲	۱	۰	۱	۷/۴۱ ^d
	۲×۲	۱	۱	۰	۷/۴۱ ^d
	۳×۲	۱	۰	۱	۷/۴۱ ^d
P.n.62/127	۱×۲	۱	۲	۱	۱۴/۸۱ ^b
	۲×۲	۱	۲	۰	۱۱/۱۱ ^c
	۳×۲	۱	۱	۱	۱۱/۱۱ ^c
P.n.62/167	۱×۲	۱	۱	۱	۱۱/۱۱ ^c
	۲×۲	۱	۱	۱	۱۱/۱۱ ^c
	۳×۲	۱	۲	۱	۱۴/۸۱ ^b

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعه حاضر نشان داد که قطر برابر سینه، ارتفاع، حجم در هکتار و متوسط تولید در کلن P.n.62/154 در تراکم‌های کاشت مساوی، بیشتر از سایر کلن‌های مورد مطالعه بود. نتایج به‌دست آمده تا این مرحله از اجرای تحقیق می‌تواند در انتخاب و گزینش کلن‌هایی که در زمان کوتاه قابلیت و توانائی خود را از نظر تولید چوب نشان دهند، یاری نماید. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت تا پایان سال سوم از نظر تراکم کاشت، فاصله ۱×۲ متر به‌دلیل تعداد زیاد درختان در هکتار بیشترین عملکرد تولید چوب را داشته که برای تولید چوب‌های با ابعاد کم (با قطر کمتر از ۱۵ سانتی‌متر) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در فواصل کاشت ۲×۲ و ۲×۳ مترمربع با وجود افزایش رشد قطری و میانگین حجم چوب بیشتر برای هر درخت، عملکرد تولید چوب کمتری در مقایسه با فاصله کاشت ۱×۲ متر به‌دلیل کاهش تعداد درختان در هکتار داشته است و در آینده براساس روند رشد در مطالعه سه ساله، می‌تواند برای تولید چوب‌هایی با قطر ۲۵-۲۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گیرد. در این خصوص کشاورزان بایستی آشنایی و اطلاعات لازم را نسبت به مکان‌های مصرف چوب، حجم و ابعاد چوب مورد نیاز آن‌ها داشته باشند تا براساس نیاز صنایع چوب و قطر هدف، زمان بهره‌برداری درختان را تعیین کنند و صرفه اقتصادی نیز برای آن‌ها داشته باشد. قابل ذکر است در فواصل کاشت بیشتر با افزایش سن و متعاقب آن رشد قطری بیشتر، افت تولید چوب می‌تواند در سال‌های بعدی جبران شود. بنابراین علاوه بر تراکم کاشت مناسب و استفاده از کلن‌های پرتولید، از سیستم آبیاری تحت فشار نیز برای تولید نهال و تولید چوب صنوبر استفاده شود (میزان آب مصرفی در روش آبیاری قطره‌ای براساس محاسبات انجام شده و اندازه‌گیری مصرف کنتور به مقدار ۹۲۰۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد) که ضمن افزایش عملکرد، بهره‌وری در مصرف آب را به‌طور چشمگیری افزایش و مصرف آب و هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد. این در حالی است که مصرف آب در صنوبرکاری‌ها در روش آبیاری جوی پشته و کرتی بیش از ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار است. در فاصله کاشت کم که تراکم درختان در هکتار زیاد است، رقابت بر سر نور، آب و عناصر غذایی خاک موجب کاهش رشد درختان در سنین بالاتر می‌شود. اگرچه در بسیاری از صنوبرکاری‌های سنتی با تراکم بالا و فاصله کاشت کم و استفاده از کلن‌های بومی، چوب‌های تولیدی اغلب دارای ابعاد کوچک و با قطر کم هستند که در

صنایع مصرف‌کننده چوب‌های نازک می‌توانند استفاده شوند که این مسأله بدون در نظر گرفتن مسائل فنی و بازار چوب است که نیاز به تمامی ابعاد چوب دارد. هر چه که به سن درختان افزوده می‌شود، فواصل کاشت بالاتر از موجودی حجمی بیشتری برخوردار می‌شوند، به طوری که در سال‌های بعد فاصله کاشت 1×2 متر دیگر اقتصادی نیست و برای تولید چوب‌های قطور بایستی فواصل کاشت را مناسب و بیشتر در نظر گرفت که ادامه تحقیق در سال‌های آتی این موضوع را روشن خواهد نمود. با توجه به نتایج، هر هکتار صنوبرکاری با کلن پرمحصول صنوبر سالاری در فاصله کاشت 1×2 متر (۵۰۰۰ پایه در هکتار) با تولید $4/135/040/000$ مترمکعب چوب در سال سالیانه به میزان چهار میلیارد و صد و سی و پنج میلیون و چهل هزار ریال (۴/۱۳۵/۰۴۰/۰۰۰ ریال) و در فاصله کاشت 2×2 متر (۲۵۰۰ پایه در هکتار) با تولید $44/36$ مترمکعب چوب در سال به میزان دو میلیارد و هیجده میلیون و سیصد و هشتاد هزار ریال (۲/۰۱۸/۳۸۰/۰۰۰ ریال) و در فاصله کاشت 3×2 متر (۱۶۶۶ پایه در هکتار) با تولید $27/72$ مترمکعب چوب در سال به میزان یک میلیارد و دویست و شصت و یک میلیون و دویست و شصت هزار ریال (۱/۲۶۱/۲۶۰/۰۰۰ ریال) درآمد ناخالص داشته بدون اینکه هزینه‌های نگهداری بالایی داشته باشد. در صورتی که کشاورزان محترم دسترسی به منابع آب نامتعارف دارند می‌توانند با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و با در نظر گرفتن اصول علمی کشت، از این آب‌ها در صنوبرکاری‌ها استفاده نمایند که در نهایت سبب افزایش بازدهی مصرف آب و افزایش تولید چوب در صنوبرکاری با آب‌های نامتعارف می‌شود که ارزش زیست‌محیطی بالایی را نیز در پی خواهد داشت.

کلن *P.n.62/154* در فاصله کاشت 1×2 متر با متوسط تولید $90/88$ مترمکعب در هکتار و در سال برای بهره‌برداری کوتاه‌مدت و در فاصله کاشت 2×2 متر با متوسط تولید $44/36$ مترمکعب در هکتار و در سال برای بهره‌برداری میان‌مدت، برای استان مرکزی پیشنهاد می‌شود.

۵. منابع

- [1]. Modir Rahmati, A., Panahi, P., Etemad, V., Aminpour, T., & Aghajani, A. (2018). Wood farming, a reliable and sustainable way to supply the wood of country. *Journal of Iran Nature*, 3(2): 62-76. (In Persian)
- [2]. Sang, Y., Gao, P., Kang, X., & Zhang, P. (2021). Effect of initial planting density on growth traits and wood properties of triploid Chinese white poplar (*Populus tomentosa*) plantation. *Forests*, 12: 1676.
- [3]. Alijanpour, A., Shafiei, A.B., & Latify, R. (2014). Effect of planting interval and soil type on qualitative and quantitative characteristics of poplar (*Populus nigra*) plantations in Diwandareh (Kurdistan province), western Iran. *Journal of Forest Science*, 60(3), 89-95.
- [4]. Hemati, A., & Modir Rahmati, A.R. (1999). The most suitable spacing of Poplar clones North - IRAN (Gilan province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2(1): 53-78. (In Persian)
- [5]. Hemati, A., and Modir Rahmati, A.R. (2005). Effects of spacing on yield of various clones of *Populus nigra* L. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 13(3), 343-352. (In Persian)
- [6]. Birler, A.S. (1985). A study on yields from "I - 214" poplar plantations. Ministry of Forests Poplar and Fast-Growing Forest Trees Research Institute, Izmit, Turkey, 115 p.
- [7]. Benomar, L., DesRochers, A., & Larocque, G.R. (2012). The effects of spacing on growth, morphology and biomass production and allocation in two hybrid poplar clones-growing in the boreal region of Canada. *Trees*, 26(3), 939-949.
- [8]. Markovic, J., & Herpka, I. (1986). Poplars and willows in Yugoslavia. Poplar Research Institute, Novi Sad, Yugoslavia, 294 p.
- [9]. Goodarzi, G.R., & Ahmadloo, F. (2022). Assessment of quantitative and qualitative characteristics of traditional poplar plantations production in Markazi province. *Journal of Forests and Wood Products*, 75(3), 201-216. (In Persian)
- [10]. Statistical Center of Iran. (2019). Statistical Yearbook of Markazi Province, The first chapter - land and climate, 52 p. (In Persian)
- [11]. Jafari Haghighi, M. (2003). Methods of soil analysis, sampling and important physical and chemical analysis with emphasis on theoretical and practical principles. Nedaye Zoha Publishing Co., Tehran, 240 p. (In Persian)
- [12]. Goodarzi, Gh.R., Ahmadloo, F., & Choghaei, M. (2021). Investigation on adaptability and production performance of productive black poplar (*Populus nigra* L.) clones in the Markazi province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(4), 363-376. (In Persian)

- [13]. Faal-Khah, I., Ramezani Kakroudi, E., Alijanpour, A., and Shafiei, A.B. (2017). The effect of spacing on quantitative and qualitative characteristics of black poplar (*Populus nigra* L.). *Journal of Forest Research and Development*, 2(4), 337-351. (In Persian)
- [14]. Fang, S., Xu, X., Lu, S., & Tang, L. (1999). Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings. *Biomass and Bioenergy*, 17(5), 415-425.
- [15]. Tun, T.N., Guo, J., Fang, S., & Tian, Y. (2018). Planting spacing affects canopy structure, biomass production and stem roundness in poplar plantations. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(5), 464-474.
- [16]. Huijuan, B., Jialei, Z., Runzhe, Z., Lishui, N., & Lianjun, S. (2020). Effects of planting density and clone type on growth and wood volume of *Populus tomentosa* stands. *Journal of Forest Research*, 25(6), 444-449.
- [17]. Asadi, F., & Calagari, M. (2021). Comparison of diameter and height growth of native and new non-native poplar clones in Chamestan Forest and Rangeland Research Station. *Forest and Wood Products*, 74(3), 321-330. (In Persian)
- [18]. Thomas, D., Henson, M., Joe, B., Boyton, S., & Dickson, R. (2009). Review of growth and wood quality of plantation-grown *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Australian Forestry*, 72(1), 3-11.
- [19]. Zhang, Y., Tian, Y., Ding, S., Lv, Y., Samjhana, W., & Fang, S. (2020). Growth, carbon storage, and optimal rotation in poplar plantations: A case study on clone and planting spacing effects. *Forests*, 11, 842.
- [20]. Heidari, S., Fathipour, Y., & Sadeghi, S.E. (2006). The effect of poplar stand density on the spatial distribution pattern of pests and their natural enemies in Karaj. *Journal of Entomological Society of Iran*, 26(1), 13-31. (In Persian)