

Research Article

Growth and productivity of *Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall and its hybrids clones (*P. x canadensis* Moench) in climatic conditions of Karaj county, Iran

Mohsen Calagari^{1*}, Rafatoallah Ghasemi², Aazadeh Salehi³ and Fatemeh Ahmadloo³

1* - Corresponding author, Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: calagari@rifr-ac.ir

2- Senior Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 06.10.2024

Revised: 20.01.2025

Accepted: 21.01.2025

Abstract

Background and objectives: Poplar trees are considered as important resources in wood production, which plays an important role in supplying wood raw materials for wood and paper industries, as well reducing the pressure on the natural forests. This study aims are to evaluate the wood production performance of exotic clones of eastern cottonwood (*Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall) and its hybrids (*P. x canadensis* Moench) clones, which were imported into Iran in the early 2000 and were experimented in the climatic conditions of Alborz province for five years.

Methodology: The research was conducted at the Alborz Research Station, Karaj County, on 11 exotic poplar clones of *P. deltoides* and its hybrids, along with three successful poplar clones introduced in Alborz province as controls. For each clone, 27 one-year-old saplings were planted, totaling 378 main saplings with an additional 194 non-experimental boundary trees to assess border effects. The experiment followed a completely randomized block design with three replications. Saplings were spaced at 3×4 m². Furrow irrigation was applied weekly, and weed control was maintained regularly. Annually, at dormancy, growth parameters including survival rate, diameter at breast height (DBH), and height were measured for all trees. Stand volume and current annual increment were calculated, along with average volume per hectare and the slenderness coefficient for each clone. Two-way ANOVA analyzed the data, with Duncan's multiple range test used for mean comparisons.

Results: Variance analysis after five years showed significant differences among clones in DBH, height, volume, and stand volume per hectare, except for survival percentage. The mean annual volume increment and total volume at year five highlighted two clones, *P. x canadensis* Pacher and *P. deltoides* Marquette, with the highest wood production at 8.21 and 7.27 m³·ha⁻¹·year⁻¹ and total volumes of 41.05 and 36.33 m³·ha⁻¹, respectively. Two clones, *P. deltoides* 92/258 and *P. x canadensis* 92/40, ranked second in performance. The slenderness coefficient among clones ranged from 63 to 74, with the highest values in *P. x interamericana* and *P. deltoides* 92/258 (73.6 and 71.2), and the lowest in *P. x canadensis* BL Costanzo (62.8).

Conclusion: Genetic diversity and local climatic conditions significantly influence the selection



of successful poplar clones regarding growth and wood productivity. In this study, *P. x canadensis* Pacher demonstrated the highest average current annual increment in DBH (2.22 cm) and stand volume ($8.21 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) compared to the control clones (*P. x canadensis* I-488 and *P. x canadensis* 92/40). Therefore, in semi-arid regions, this clone is recommended as a successful option for wood production.

Keywords: Clone, cottonwood poplar, growth characteristics, wood production.

مقایسه رشد و عملکرد تولید چوب در کلن های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall) و دورگ های آن (*P. x canadensis* Moench) در شرایط اقلیمی شهرستان کرج

محسن کلاگری^{۱*}، رفعت اله قاسمی^۲، آزاده صالحی^۳ و فاطمه احمدلو^۳

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: calagari@rifr-ac.ir

۲- مربی، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استادیار، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: درختان تندرشد صنوبر به عنوان منابع مهم در تولید چوب به شمار می روند. آن ها، نقش مهمی در تأمین مواد خام برای صنایع چوب و کاغذ و نیز کاهش فشار بهره برداری از جنگل های طبیعی کشور ایفا می کنند. هدف این پژوهش، ارزیابی پنج ساله عملکرد تولید چوب در کلن های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall) و دورگ های آن (*P. x canadensis* Moench) است که از اواخر دهه ۱۳۸۰ وارد کشور شده اند.

مواد و روش ها: پژوهش پیش رو در ایستگاه تحقیقات البرز در شهرستان کرج بر روی ۱۱ کلن صنوبر دلتوئیدس و دورگ های آن به همراه سه کلن موفق صنوبر معرفی شده در استان البرز (به عنوان شاهد) انجام شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در فاصله کاشت ۳×۴ متر مربع برای یک دوره پنج ساله بررسی شد. از هر کلن، ۲۷ اصله نهال یک ساله و در مجموع، ۳۷۸ اصله نهال اصلی و نیز ۱۹۴ اصله نهال به عنوان اثرات حاشیه ای در پیرامون بلوک ها کاشته شدند. روش آبیاری به صورت شیاری هر هفته یک بار و کنترل علف های هرز نیز به طور منظم انجام شد. در پایان هر فصل رویش، ویژگی های رویشی شامل درصد زنده ماندی، قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان اندازه گیری شد. همچنین، حجم کل، رویش قطری، ارتفاعی و حجمی، متوسط حجم در هکتار و نیز ضریب قد کشیدگی کلن های صنوبر محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده ها در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی برای متغیرهای رویشی و بررسی تفاوت بین میانگین ها با آزمون چنددامنه ای دانکن انجام گرفت.

نتایج: تجزیه واریانس ویژگی های رویشی کلن های مورد بررسی در پایان سال پنجم نشان داد که به غیر از درصد زنده ماندی، در متغیرهای رویشی دیگر مانند قطر برابر سینه، ارتفاع کل، حجم تک درخت و حجم توده در هکتار، تفاوت معنی داری بین کلن ها وجود داشت. نتایج مقایسه میانگین در پایان سال پنجم نشان داد که دو کلن *P. x canadensis pacher* و *P. deltoides Marquette* به ترتیب با متوسط رویش حجمی سالانه ۸/۲۱ و ۷/۲۷ متر مکعب در هکتار و تولید حجم چوب ۴۱/۰۵ و ۳۶/۳۳ متر مکعب در هکتار در رتبه اول جای گرفتند. *P. x canadensis* 92/40 و *P. deltoides* 92/258 نیز در مقایسه با کلن های دیگر مورد آزمایش در جایگاه دوم قرار گرفتند. ضریب قد کشیدگی در میان کلن های مختلف صنوبر در دامنه ای بین ۶۳ تا ۷۴ قرار داشت. بیشترین ضریب قد کشیدگی در *P. x canadensis interamericana* و *P. deltoides* 92/258 به ترتیب با ۷۳/۶ و ۷۱/۲ مشاهده شد. کمترین ضریب (۶۲/۸) نیز مربوط به کلن *P. x canadensis BL costanzo* بود.

نتیجه گیری کلی: تنوع ژنتیکی و شرایط اقلیمی محیط کشت در گزینش کلن های موفق صنوبر از نظر عملکرد تولید چوب مؤثر هستند. به طوری که در پژوهش پیش رو، کلن *P. x canadensis pacher* با متوسط رویش قطری سالانه ۲/۲۲ سانتی متر و متوسط رویش حجمی سالانه ۸/۲۱ متر مکعب، بیشترین مقدار را در مقایسه با کلن های شاهد (*P. x canadensis* I-488 و *P. x canadensis* 92/40) به خود اختصاص داد، بنابراین در مناطق با شرایط اقلیمی نیمه خشک خارج از شمال ایران، این کلن صنوبر را می توان به عنوان کلن موفق از نظر

عملکرد تولید چوب معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: تولید چوب، صنوبر دلتوئیدس، کلن، ویژگی‌های رشد.

مقدمه

زراعت چوب با گونه‌های تندرشد به‌عنوان منابع مهم در تولید چوب به‌شمار می‌رود که نقش مهمی در حمایت از معیشت مردم روستایی و اشتغال، کمک به توسعه پایدار و تأمین مواد خام برای صنایع چوب و کاغذ ایفا می‌کند (Ahmadloo et al., 2023; Abbasi et al., 2024). مهم‌ترین ضرورت توسعه کاشت گونه‌های تندرشد، پاسخ‌گویی به افزایش تقاضای کشور برای چوب و کاهش بهره‌برداری غیرمجاز از جنگل‌های طبیعی هیرکانی است.

ازجمله مهم‌ترین درختان تندرشد می‌توان به گونه‌های جنس صنوبر اشاره کرد که از نظر اقتصادی و محیط‌زیستی، اهمیت زیادی دارند (Ahmadloo et al., 2023; Salehi et al., 2024). کلن‌های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall) و دورگ‌های آن از تندرشدترین درختان در مناطق معتدله هستند که برای صنوبرکاری‌های تجاری در صنعت چوب و کاغذ استفاده می‌شوند (Traux et al., 2012). این کلن‌ها در سراسر منطقه معتدل نیمکره شمالی انتشار یافته‌اند و تولید سالانه چوب آن‌ها در شمال غرب آمریکا به ۲۵ تا ۴۲ متر مکعب در هکتار می‌رسد (Stanton et al., 2002). طی چند دهه گذشته، پژوهش‌های زیادی درمورد کلن‌های غیربومی وارداتی صنوبر دلتوئیدس و دوگ‌های اروپا-آمریکایی آن در شرایط اقلیمی نوار ساحلی شمال و خارج از شمال انجام شده‌اند. بررسی ۲۰ کلن صنوبر دلتوئیدس و دورگ‌های آن در فاصله کشت ۵×۵ متر مربع طی یک دوره ۱۱ ساله در ایستگاه تحقیقات صفرابسته در استان گیلان نشان داد که *P.d.* 63/51 با تولید سالانه چوب ۲۱/۳ متر مکعب در هکتار، موفق‌ترین کلن بود (Mousavi Kopar et al., 2011). سازگاری و تولید چوب ۱۲ کلن صنوبر دلتوئیدس و دورگ‌های آن در ایستگاه لشت نشا در استان گیلان طی یک دوره پنج‌ساله نشان داد که *P.*

d. Marquette و *P. x interamericana* بیشترین تولید چوب را داشتند (Lashkarbolouki et al., 2017). بررسی ۱۴ کلن صنوبر دلتوئیدس و دورگ‌های آن در فاصله کشت ۴×۴ متر مربع در ایستگاه تحقیقات چمستان در استان مازندران نشان داد که کلن‌های *P.d.* 69/55 و *P.d.* Marquette بیشترین عملکرد تولید چوب را پس از یک دوره پنج‌ساله به‌خود اختصاص دادند (Asadi & Calagari, 2021).

در استان‌های خارج از شمال، پژوهش‌هایی درمورد کلن‌های غیربومی صنوبر دلتوئیدس و دورگ‌های آن با هدف بررسی سازگاری و تعیین عملکرد تولید چوب انجام شده است. بررسی ۱۱ کلن صنوبر (تاج‌باز) در فاصله کاشت ۴×۴ متر مربع نشان داد که کلن *P. x canadensis vernirubensis* با میانگین تولید سالانه چوب حدود ۲۷/۴ متر مکعب در هکتار، بیشترین تولید حجم چوب را به‌خود اختصاص داد (Ghasemi & Modirrahmati, 2004). ارزیابی ۱۸ کلن از *P. nigra* L. و دورگ‌های اروپا-آمریکایی طی هفت سال در حاشیه رودخانه گاماسیاب در استان کرمانشاه نشان داد که در فاصله کاشت ۴×۴ متر مربع، *P. x canadensis I-214* و *P. x canadensis 455* به‌ترتیب با تولید سالانه ۲۷ و ۲۵/۹۸ متر مکعب در هکتار، موفق‌ترین کلن‌ها بودند (Hemmati & Modir-Rahmati, 2002). بررسی ۱۲ کلن تاج‌باز صنوبر (شامل سه کلن از صنوبر دلتوئیدس و نه کلن دورگ آن) در فاصله کاشت ۴×۴ متر مربع در استان کرمانشاه نشان داد که کلن‌های دورگ *P. x canadensis I-488* و *P. x canadensis 92/40* به‌ترتیب با ۳۹ و ۳۵/۸ متر مکعب در هکتار، بیشترین و کلن دلتوئیدس *P.d.* 77.51 با ۲۷ متر مکعب در هکتار، کمترین مقدار تولید چوب را داشتند (Noori et al., 2006). ارزیابی نه کلن تاج‌باز صنوبر (شامل هشت کلن از گونه دلتوئیدس و یک کلن دورگ آن) در استان کردستان

تولید چوب رقم‌های جدید صنوبر که از اواخر دهه ۱۳۸۰ وارد کشور شده‌اند، در شرایط اقلیمی استان البرز و در نهایت، معرفی کلن‌های موفق تا این مرحله پژوهش است.

مواد و روش‌ها

محل اجرای پژوهش

این پژوهش در مجتمع تحقیقاتی البرز واقع در هفت کیلومتری جنوب شهر کرج با موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا اجرا شد. میانگین بارندگی سالانه این ایستگاه ۲۴۰ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد و آب‌وهوای آن، نیمه‌خشک است. خاک این ایستگاه، سبک و از رسوبات آبرفتی شنی رسی با عمق متوسط ۶۰ سانتی‌متر تشکیل شده است. هدایت الکتریکی خاک، کمتر از یک دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته آن نیز ۷/۳ است (Ghasemi et al., 2012).

روش پژوهش

در این پژوهش، ۱۱ کلن جدید صنوبر دلتوئیدس و دورگ‌های اروپا-آمریکایی آن (*P. x canadensis* Moench) که اواخر دهه ۱۳۸۰ به ایران وارد شدند و سه کلن موفق معرفی شده در استان البرز (شامل *P. x canadensis* 561/41، *P. x canadensis* 92/40 و *P. x canadensis* I-488) به‌عنوان شاهد به مدت پنج سال بررسی شدند (جدول ۱). ابتدا از کلن‌های مذکور، قلمه تهیه شد. سپس، با کاشت این قلمه‌ها در خزانه، نهال‌های مورد نیاز (ساقه و ریشه یک‌ساله) تهیه شد. نهال‌های صنوبر در اسفندماه ۱۳۹۵ با اندازه یکنواخت در فاصله ۳×۴ متر مربع (فاصله بین ردیف چهار متر و داخل ردیف سه متر) در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کاشته شدند. از هر کلن، ۲۷ اصله نهال و در مجموع، ۳۷۸ اصله نهال اصلی برای ۱۴ کلن و نیز ۱۹۴ اصله نهال به‌عنوان اثرات حاشیه‌ای یا بافر در پیرامون بلوک‌ها کاشته شدند. آبیاری به‌روش شیاری با دور هر هفته یک‌بار در طول دوره رویش، پاک‌تراشی بین درختان با تراکتور و داخل شیارهای آبیاری با علف‌تراش موتوری به‌طور منظم و

نشان داد که بیشترین تولید سالانه حجم چوب (۲۵/۲ متر مکعب در هکتار) به کلن P.d. 63/2 تعلق داشت (Yousefi & Modir-Rahmati, 2007). اندازه‌گیری تولید چوب ۱۰ کلن دورگ صنوبر دلتوئیدس در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۶ در فاصله کاشت ۴×۴ متر مربع در ایستگاه تحقیقات البرز کرج بیانگر موفقیت کلن P.d. 63/10 در تولید چوب (۲۴ متر مکعب در هکتار در سال) بود (Hemati et al., 2010).

بررسی ویژگی‌های عناصر رویشی با اندازه‌گیری دوره‌ای قطر برابر سینه چهار کلن صنوبر در یک توده ۱۷ ساله در جمهوری صربستان نشان داد که رشد حجمی سالانه چوب کلن دلتوئیدس P.d. PE 19.66 با ۳۷/۰۹ متر مکعب در هکتار نسبت به کلن‌های دیگر در اواخر دوره، بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داد (Andrasev & Roncevi, 2008). سازگاری و تولید رقم‌های غیربومی ۲۶ کلن صنوبر دلتوئیدس در یک دوره ۱۲ ساله در ترکیه نشان داد که بعضی از کلن‌های دلتوئیدس با مبدأ جنوب آمریکا و کلن دورگ P.eur.I-214 به‌ترتیب با ۴۵/۲ و ۲۸/۸ متر مکعب در هکتار، بیشترین چوب را تولید کردند (Tunctaner & Ozel, 2008). ارزیابی ویژگی‌های رویشی ۳۱ کلن صنوبر دلتوئیدس و دورگ‌های حاصل از این گونه در فاصله کاشت ۲/۵×۲/۵ متر مربع به مدت ۱۰ سال در ایالت کالیفرنیا آمریکا نشان داد که دو کلن 184-411 و WV416 از نظر رشد قطری، ارتفاعی و حجمی در رتبه اول قرار گرفتند (Kaczmarek et al., 2013). بررسی ۱۲ کلن دلتوئیدس در منطقه اوتارپرادش شرقی در هندوستان طی دو سال در فاصله کاشت ۳×۳ متر مربع نشان داد که دو کلن Udai و L-200-84 به‌ترتیب با قطر برابر سینه ۹/۷۴ و ۹/۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ و ۹/۶ متر، بیشترین رویش قطری و ارتفاعی را داشتند (Tomar & Srivastav, 2020). هم‌اکنون اغلب صنوبرکاری‌های اصلاح‌شده در ایران مربوط به اراضی تحت مالکیت بخش خصوصی است. مالکان این اراضی به اطلاعاتی در مورد کلن‌های موفق و پتانسیل رشد آن‌ها برای کاشت در اراضی شخصی خود نیاز دارند، بنابراین هدف از پژوهش پیش‌رو، ارزیابی عملکرد پنج‌ساله

صنوبر به تفکیک سال‌های مورد بررسی محاسبه شد. همچنین، با احتساب حجم و تعداد در هکتار درختان، متوسط حجم در هکتار کلن‌های صنوبر محاسبه شد. ضریب قدکشیدگی (Slc) کلن‌های مختلف از نسبت ارتفاع کل (H) به قطر برابر سینه درخت (DBH) با واحد اندازه‌گیری یکسان از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\text{Slc} = H/\text{DBH} \quad \text{رابطه (۲)}$$

نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-سمیرنوف و همگنی واریانس‌ها نیز با آزمون لون تأیید شد. به دلیل دامنه کم درصد زنده‌مانی، داده‌ها برای نرمال‌سازی به آرک‌سینوس تبدیل و وارد محاسبه‌ها شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای متغیرهای رویشی و بررسی تفاوت بین میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SAS 2003 انجام گرفت.

سالانه انجام شد. همچنین، درختان در زمستان سال سوم پس از کاشت تا یک سوم ارتفاع درخت هرس شدند. قطر برابر سینه و ارتفاع درختان بلافاصله پس از کاشت اندازه‌گیری شدند. همچنین، آماربرداری ویژگی‌های رویشی درختان شامل زنده‌مانی از طریق شمارش درختان، قطر برابر سینه با کولیس دیجیتالی (دو سال اول پس از کاشت) و سپس با نوار قطرسنج تا دقت میلی‌متر، ارتفاع کل با خط‌کش مندرج پنج متری (دو سال اول پس از کاشت) و سپس با دستگاه بلوم لایس تا دقت سانتی‌متر انجام شد. حجم درختان از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot \text{DBH}^2 \cdot H \times f \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله، V حجم درخت به متر مکعب، DBH و H به ترتیب قطر برابر سینه و ارتفاع کل به متر هستند. f نیز بیانگر ضریب شکل است که ۰/۵ در نظر گرفته شد (Namiranian, 2006). متوسط رویش قطری، ارتفاعی و حجمی کلن‌های

جدول ۱- فهرست کلن‌های صنوبر مورد آزمایش در ایستگاه تحقیقات البرز، شهرستان کرج

Table 1. The list of poplar clones tested in Alborz research station, Karaj County

No.	Poplar clone	Sending country	Sex
1	<i>Populus deltoides</i> W.Bartram ex Marshall 92/258	Turkey	Male
2	<i>Populus deltoides</i> W.Bartram ex Marshall 92/160	Turkey	Male
3	<i>Populus deltoides</i> W.Bartram ex Marshall CV. Marquette	Germany	Female
4	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. 92/40 -	Italy	Female
5	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. Blanc du poitou	Germany	Male
6	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. I-sieres	Germany	Male
7	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. I-488	Italy	Female
8	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. BL Costanzo	Turkey	Female
9	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. Robusta	Germany	Male
10	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. ITA.199	Germany	Female
11	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. 87m.119	Turkey	Female
12	<i>Populus x interamericana</i> Brockh.	Germany	Female
13	<i>Populus x canadensis</i> Moench CV. pacher	Germany	Female

نتایج

تجزیه واریانس متغیرهای درصد زنده‌مانی، قطر برابر سینه، ارتفاع کل، ضریب قدکشیدگی، حجم، حجم در هکتار، متوسط رویش سالانه قطر، ارتفاع و حجم در هکتار برای کلن‌های صنوبر انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رویشی کلن‌های مختلف صنوبر در پایان سال پنجم پس از کاشت نشان داد که بین کلن‌های مورد مطالعه از نظر قطر برابر سینه، ارتفاع کل، حجم پایه‌ها و حجم در هکتار، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت، اما تفاوت درصد زنده‌مانی بین کلن‌ها، غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین تجزیه واریانس و مقایسه میانگین متغیرهای قطر برابر سینه، ارتفاع کل و حجم در هکتار طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰، تفاوت معنی‌داری را میان کلن‌های مختلف صنوبر نشان داد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، کلن‌های صنوبر در پایان سال آزمایش (۱۴۰۰) بیشتر از ۹۰ درصد زنده‌مانی داشتند. بیشترین درصد زنده‌مانی مربوط به دو کلن *P. x canadensis pacher* و *P. deltoides* 92/258 با صددرصد زنده‌مانی بود (شکل ۱). در پایان دوره آزمایش، بیشینه و کمینه قطر برابر سینه به‌ترتیب در *P. x canadensis pacher* (۱۲/۲۶ سانتی‌متر) و *P. x interamericana* (۸/۶۵ سانتی‌متر) مشاهده شد. به‌طورکلی، از میان ۱۴ کلن مورد بررسی در پایان آزمایش، قطر هشت کلن، بیشتر از ۱۱ سانتی‌متر و قطر چهار کلن بین ۱۰ تا ۱۱ سانتی‌متر بود (جدول ۳). یافته‌های تجزیه واریانس متوسط رویش سالانه قطر برابر سینه بیانگر تفاوت معنی‌داری کلن‌های صنوبر بود ($p \leq 0/01$). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیشینه رویش سالانه قطر برابر سینه در دو کلن *P. deltoides* و *P. x canadensis pacher* (به‌ترتیب ۲/۲۲ و ۲/۱۷ سانتی‌متر). همچنین، کلن *P. x interamericana* کمترین رویش سالانه قطر برابر سینه را به‌خود اختصاص داد (۱/۵۷ سانتی‌متر). نتایج میانگین ارتفاع کل درختان در پایان دوره آزمایش

نشان داد که سه کلن *P. x P. deltoides* 92/258 به‌ترتیب *P. deltoides* Marquette و *canadensis pacher* با ۸/۸۳، ۷/۹، ۷/۶۷ متر در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند (جدول ۴). کمترین میانگین ارتفاع (۶/۳۳ متر) نیز در کلن *P. x interamericana* مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس متوسط رویش سالانه ارتفاع بیانگر تفاوت معنی‌دار کلن‌های صنوبر بود ($p \leq 0/01$). براساس مقایسه میانگین این داده‌ها، دامنه رشد ارتفاعی سالانه در اغلب کلن‌های صنوبر بین یک تا ۱/۲ متر بود. *P. x interamericana* با ۰/۹ متر، کمترین متوسط رویش سالانه ارتفاع را به‌خود اختصاص داد (جدول ۴).

در پایان دوره آزمایش، چهار کلن *P. x canadensis P. deltoides* 92/258، *P. deltoides* Marquette، *pacher* و *P. x canadensis* 92/40 به‌ترتیب با ۴۱/۰۵، ۳۶/۳۳، ۳۳/۰۱ و ۳۲/۶۲ متر مکعب در هکتار، بیشترین مقدار حجم چوب را تولید کردند (جدول ۵). کمترین تولید چوب (۱۶/۲۵ متر مکعب در هکتار) نیز در کلن *P. x interamericana* مشاهده شد. شکل ۲ روند رویش حجمی در هکتار چهار کلن صنوبر مذکور را طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ نشان می‌دهد. یافته‌های تجزیه واریانس متوسط رویش سالانه حجم در هکتار بیانگر تفاوت معنی‌داری کلن‌های صنوبر بود ($p \leq 0/01$). طبق نتایج مقایسه میانگین رویش حجمی سالانه در هکتار، *P. x canadensis pacher* و *P. deltoides* Marquette به‌ترتیب با ۸/۲۱ و ۷/۲۷ متر مکعب چوب، رتبه‌های اول و دوم را به‌خود اختصاص دادند. همچنین کمترین رویش سالانه حجمی (۳/۲۵ متر مکعب در هکتار) در کلن *P. x interamericana* مشاهده شد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس برای ضریب قدکشیدگی در پایان دوره آزمایش، تفاوت معنی‌داری را بین کلن‌های صنوبر نشان داد ($p \leq 0/01$). این ضریب در میان کلن‌های مختلف صنوبر در دامنه ۶۳ تا ۷۴ قرار داشت. بیشترین ضریب قدکشیدگی متعلق به دو کلن *P. x interamericana* و *P. deltoides*

92/258 به ترتیب با ۷۳/۶ و ۷۱/۲ و کمترین ضریب نیز (شکل ۳).
مربوط به کلن *P. x canadensis* BL Costanzo با ۶۲/۸ بود

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رویشی کلن‌های صنوبر در سال پایانی آزمایش (۱۴۰۰)

Table 2. Results of the analysis of variance for the growth characteristics of poplar clones in the final year of the experiment (2021)

Source of variation	df	Mean of Square				
		Survival	DBH	Height	Volume	Volume per hectare
Clone	13	25.9 ^{ns}	2.37 *	0.55 *	0.00016 *	114.5 *
Block	2	20.2 ^{ns}	4.72 ^{ns}	2.74 ^{ns}	0.00024 ^{ns}	165.7 ^{ns}
Error	26	1.98	1.49	0.46	0.00013	93.5
CV		6.7	11.2	9.3	22.8	22.8

* Significant at $p < 0.05$; ns: non-significant

جدول ۳- مقایسه میانگین قطر برابر سینه (سانتی‌متر) در کلن‌های صنوبر طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ (میانگین $\pm$ اشتباه معیار)
 Table 3. General means and standard error ($\pm$ SE) of DBH (cm) of poplar clones during 2016 to 2021

Clone	Year						Mean annual increment
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
<i>P. deltoides</i> 92/258	0 a $\pm$ 1.3	0.2 a $\pm$ 2.9	0 a-c $\pm$ 5.08	0.1 a-c $\pm$ 7.37	0.5 a-c $\pm$ 9.32	0.5 ab $\pm$ 11.11	0.1 a-c $\pm$ 1.96
<i>P. deltoides</i> 92/160	0 c-e $\pm$ 0.68	0.1 cd $\pm$ 1.58	0.2 de $\pm$ 3.96	0.7 b-d $\pm$ 6.2	0.7 a-c $\pm$ 8.65	0.7 a-c $\pm$ 10.42	0.1 a-c $\pm$ 1.95
<i>P. deltoides</i> Marquette	0.1 bc $\pm$ 0.83	0.2 ab $\pm$ 2.54	0.3 ab $\pm$ 5.42	0.5 ab $\pm$ 7.89	0.8 ab $\pm$ 9.84	0.8 ab $\pm$ 11.68	0.1 ab $\pm$ 2.17
<i>canadensis</i> 92/40 <i>P. x</i>	0.1 b-e $\pm$ 0.79	0.2 cd $\pm$ 2.04	0.5 a-d $\pm$ 4.88	0.8 a-c $\pm$ 7.15	0.9 ab $\pm$ 9.51	0.1 ab $\pm$ 11.3	0.1 a-c $\pm$ 2.1
<i>P. x canadensis</i> Blanc du poitou	0.1 c-e $\pm$ 0.68	0.2 cd $\pm$ 1.87	0.1 b-e $\pm$ 4.48	0.2 a-c $\pm$ 7.04	0.2 ab $\pm$ 9.47	0.3 ab $\pm$ 11.28	0.1 ab $\pm$ 2.14
<i>P. x canadensis</i> I-sieres	0.1 e $\pm$ 0.62	0.1 e $\pm$ 1.33	0.1 e $\pm$ 3.62	0.5 cd $\pm$ 5.98	0.5 a-c $\pm$ 8.55	0.6 a-c $\pm$ 10.04	0.1 bc $\pm$ 1.88
<i>P. x canadensis</i> 561/41	0.1 b $\pm$ 0.95	0.2 bc $\pm$ 2.26	0.5 a-d $\pm$ 4.98	0.6 a-d $\pm$ 6.67	0.5 a-c $\pm$ 9.15	0.6 a-c $\pm$ 10.86	0.2 a-c $\pm$ 1.98
<i>P. x canadensis</i> BL Costanzo	0 bc $\pm$ 0.84	0.1 cd $\pm$ 2.01	0.3 a-d $\pm$ 4.86	0.7 a-c $\pm$ 7.05	0.8 ab $\pm$ 9.5	0.4 ab $\pm$ 11.46	0.1 ab $\pm$ 2.12
<i>P. x canadensis</i> Robusta	0.1 de $\pm$ 0.65	0.1 e $\pm$ 1.34	0.3 b-e $\pm$ 4.52	0.6 a-d $\pm$ 6.7	0.3 a-c $\pm$ 9.07	0.4 a-c $\pm$ 10.7	0.1 a-c $\pm$ 2.01
<i>P. x canadensis</i> ITA.199	0.1 b-d $\pm$ 0.82	0.1 bc $\pm$ 2.32	0.4 a-d $\pm$ 4.69	0.5 b-d $\pm$ 6.22	0.4 bc $\pm$ 8.11	0.5 bc $\pm$ 9.8	0.1 cd $\pm$ 1.8
<i>P. x canadensis</i> 87m.119	0 c-e $\pm$ 0.71	0.2 cd $\pm$ 1.84	0.3 a-e $\pm$ 4.65	0.6 a-c $\pm$ 6.92	0.8 a-c $\pm$ 9.09	0.6 ab $\pm$ 11.11	0.1 a-c $\pm$ 2.08
<i>P. x interamericana</i>	0 bc $\pm$ 0.84	0.1 cd $\pm$ 1.86	0.2 c-e $\pm$ 4.04	0.5 d $\pm$ 5.1	0.6 c $\pm$ 7.31	0.6 c $\pm$ 8.65	0.1 d $\pm$ 1.57
<i>P. x canadensis</i> pacher	0 a $\pm$ 1.16	0.1 ab $\pm$ 2.7	0.4 a $\pm$ 5.59	0.7 a $\pm$ 8.37	0.7 a $\pm$ 10.25	0.9 a $\pm$ 12.26	0.2 a $\pm$ 2.22
<i>P. x canadensis</i> I-488	0 b-e $\pm$ 0.79	0.1 cd $\pm$ 1.96	0.3 cd $\pm$ 4.66	0.4 a-c $\pm$ 7.08	0.5 a-c $\pm$ 9.33	0.6 ab $\pm$ 11.14	0.2 a-c $\pm$ 2.07
F-value	14.03 **	10.25 **	2.93 **	2.25 *	2.5 *	1.59 *	3.13 **

**: Significant at $p < 0.01$; *: Significant at $p < 0.05$

The date of planting saplings was March 5, 2016.

جدول ۴- مقایسه میانگین ارتفاع کل (متر) در کلن‌های صنوبر طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ (میانگین $\pm$ اشتباه معیار)
 Table 4. General means and standard error ($\pm$ SE) of height (m) of poplar clones during 2016 to 2021

Clone	Year						Mean annual increment
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
<i>P. deltoides</i> 92/258	0.2 a $\pm$ 2.73	0.2 a $\pm$ 4.01	0.1 ab $\pm$ 5.21	0.3 a $\pm$ 5.9	0.4 a $\pm$ 7.06	0.2 a $\pm$ 8.83	0 ab $\pm$ 1.02
<i>P. deltoides</i> 92/160	0.1 ef $\pm$ 1.64	0.1 e $\pm$ 2.54	0.1 g $\pm$ 4.03	0.4 cd $\pm$ 4.83	0.4 a-c $\pm$ 6.21	0.6 ab $\pm$ 7.01	0.1 ab $\pm$ 1.07
<i>P. deltoides</i> Marquette	0.1 cd $\pm$ 1.86	0.1 bc $\pm$ 3.2	0.2 a-e $\pm$ 4.74	0.5 ab $\pm$ 5.76	0.5 ab $\pm$ 6.75	0.8 a $\pm$ 7.67	0 a $\pm$ 1.16
<i>canadensis</i> 92/40 <i>P. x</i>	0 cd $\pm$ 1.87	0.2 cd $\pm$ 3.01	0.2 a-d $\pm$ 4.81	0.2 a-d $\pm$ 5.24	0.3 a-c $\pm$ 6.48	0.3 ab $\pm$ 7.34	0.1 ab $\pm$ 1.09
<i>P. x canadensis</i> Blanc du poitou	0.1 f $\pm$ 1.6	0.1 de $\pm$ 2.76	0 d-g $\pm$ 4.32	0.1 a-d $\pm$ 5.32	0.3 ab $\pm$ 6.58	0.5 ab $\pm$ 7.65	0.1 a $\pm$ 1.17
<i>P. x canadensis</i> I-sieres	0.2 d-f $\pm$ 1.68	0.1 e $\pm$ 2.56	0.1 fg $\pm$ 4.14	0.2 b-d $\pm$ 5.07	0.3 a-c $\pm$ 6.29	0.3 ab $\pm$ 7.01	0.1 ab $\pm$ 1.07
<i>P. x canadensis</i> 561/41	0.1 c $\pm$ 1.96	0.2 bc $\pm$ 3.2	0.3 a-c $\pm$ 5.1	0.4 a-c $\pm$ 5.49	0.3 a-c $\pm$ 6.44	0.6 ab $\pm$ 7.27	0.1 ab $\pm$ 1.06
<i>P. x canadensis</i> BL Costanzo	0.1 c $\pm$ 1.91	0.1 c-e $\pm$ 2.86	0.1 a-c $\pm$ 4.9	0.2 a-d $\pm$ 5.31	0.5 a-c $\pm$ 6.38	0.5 ab $\pm$ 7.14	0.1 ab $\pm$ 1.05
<i>P. x canadensis</i> Robusta	0.1 f $\pm$ 1.54	0.1 e $\pm$ 2.57	0.1 e-g $\pm$ 4.28	0.3 a-d $\pm$ 5.26	0.2 a-c $\pm$ 6.54	0.2 ab $\pm$ 7.28	0.1 a $\pm$ 1.15
<i>P. x canadensis</i> ITA.199	0.2 cd $\pm$ 1.87	0.1 cd $\pm$ 3.08	0.1 a-e $\pm$ 4.72	0.1 b-d $\pm$ 5.07	0.1 a-c $\pm$ 5.97	0.1 ab $\pm$ 6.76	0.1 ab $\pm$ 0.98
<i>P. x canadensis</i> 87m.119	0.1 d-f $\pm$ 1.67	0.1 c-e $\pm$ 2.86	0.1 c-f $\pm$ 4.6	0.1 a-d $\pm$ 5.29	0.4 a-c $\pm$ 6.35	0.3 ab $\pm$ 7.06	0.1 ab $\pm$ 1.08
<i>P. x interamericana</i>	0.1 c-e $\pm$ 1.82	0.1 c-e $\pm$ 2.88	0.1 d-g $\pm$ 4.31	0.1 d $\pm$ 4.62	0.3 c $\pm$ 5.6	0.2 b $\pm$ 6.33	0.1 b $\pm$ 0.9
<i>P. x canadensis</i> pacher	0.1 b $\pm$ 2.27	0.1 b $\pm$ 3.41	0.2 a $\pm$ 5.23	0.3 a $\pm$ 5.98	0.4 ab $\pm$ 6.93	0.6 a $\pm$ 7.9	0.1 a $\pm$ 1.13
<i>P. x canadensis</i> I-488	0.1 c $\pm$ 1.89	0.1 c-e $\pm$ 2.87	0.1 b-e $\pm$ 4.7	0.1 a-d $\pm$ 5.28	0.1 a-c $\pm$ 6.38	0.2 ab $\pm$ 7.21	0.1 ab $\pm$ 1.06
F-value	24.17 **	14.18 **	6.23 **	2.53 *	1.47 *	1.19 *	1.54 *

**: Significant at $p < 0.01$; *: Significant at $p < 0.05$

The date of planting saplings was March 5, 2016.

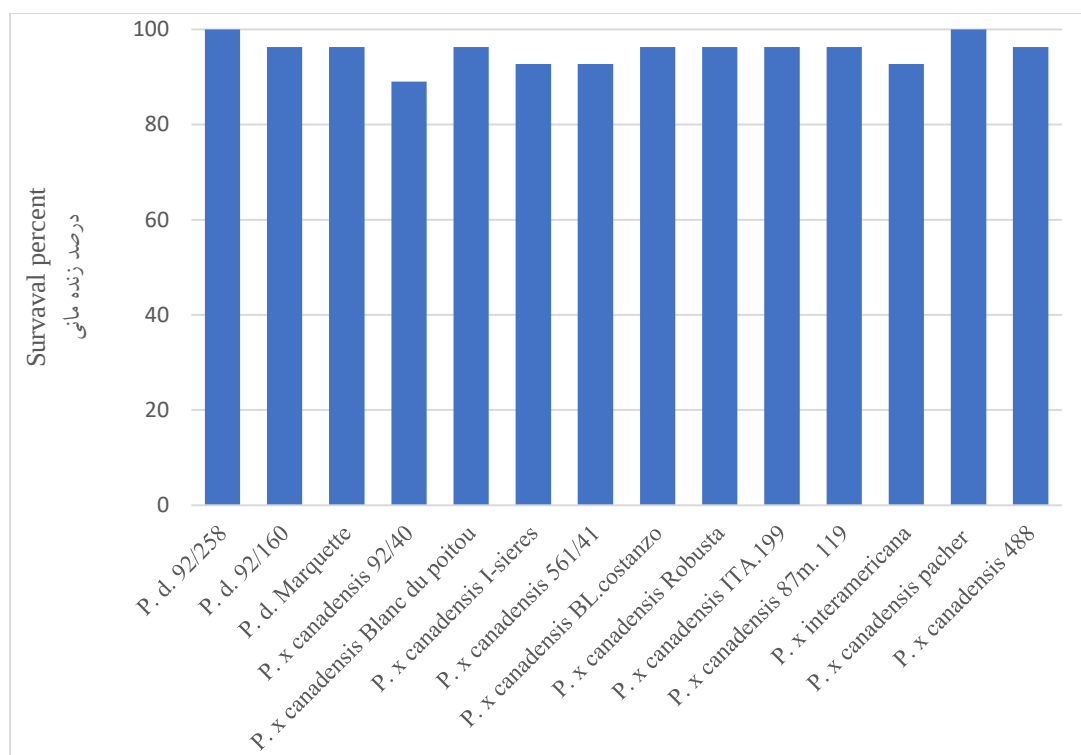
جدول ۵- مقایسه میانگین متوسط حجم در هکتار (متر مکعب) در کلن‌های صنوبر طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ (میانگین $\pm$ اشتباه معیار)

Table 5. General means and standard error ($\pm$ SE) of volume (m^3) per hectare of poplar clones during 2016 to 2021

Clone	Year						Mean annual increment
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
<i>P. deltoides</i> 92/258	0 a $\pm$ 0.16	0.2 a $\pm$ 1.16	0.4 a-c $\pm$ 4.54	0.4 ab $\pm$ 10.93	2.6 a-c $\pm$ 21.14	3.5 ab $\pm$ 33.01	0.7 a-c $\pm$ 6.6
<i>P. deltoides</i> 92/160	0 d $\pm$ 0.03	0 d $\pm$ 0.23	0.3 d $\pm$ 2.16	0.8 bc $\pm$ 6.7	1.4 a-c $\pm$ 16.17	2.1 ab $\pm$ 26.03	0.5 b-d $\pm$ 5.21
<i>P. deltoides</i> Marquette	0 cd $\pm$ 0.05	0.1 b $\pm$ 0.79	0.5 ab $\pm$ 4.89	1.6 ab $\pm$ 12.49	2.7 ab $\pm$ 22.67	3.6 a $\pm$ 36.33	0.6 ab $\pm$ 7.27
<i>canadensis</i> 92/40 <i>P. x</i>	0 cd $\pm$ 0.04	0.1 cd $\pm$ 0.44	0.3 a-d $\pm$ 3.96	1.3 a-c $\pm$ 9.33	2.8 a-c $\pm$ 20.59	3.4 ab $\pm$ 32.62	0.5 a-c $\pm$ 6.53
<i>P. x canadensis</i> Blanc du poitou	0 d $\pm$ 0.03	0.1 cd $\pm$ 0.34	0.1 b-d $\pm$ 2.92	0.4 a-c $\pm$ 8.7	0.8 a-c $\pm$ 19.46	1.5 ab $\pm$ 31.9	0.5 a-d $\pm$ 6.29
<i>P. x canadensis</i> I-sieres	0 d $\pm$ 0.02	0 d $\pm$ 0.17	0.1 d $\pm$ 1.93	0.3 bc $\pm$ 6.25	1.1 a-c $\pm$ 15.58	2.6 bc $\pm$ 23.86	0.6 c-e $\pm$ 4.77
<i>P. x canadensis</i> 561/41	0.07 $\pm$ 0 c	0.1 bc $\pm$ 0.61	0.8 a-c $\pm$ 4.54	1.5 a-c $\pm$ 8.91	1.2 a-c $\pm$ 18.52	3.4 ab $\pm$ 29.6	0.1 b-d $\pm$ 5.92
<i>P. x canadensis</i> BL Costanzo	0 cd $\pm$ 0.05	0 cd $\pm$ 0.41	0.2 a-d $\pm$ 3.91	1.4 a-c $\pm$ 9.1	2.1 a-c $\pm$ 19.85	3.8 ab $\pm$ 32.18	0.5 a-d $\pm$ 6.43
<i>P. x canadensis</i> Robusta	0 d $\pm$ 0.02	0 d $\pm$ 0.17	0.2 b-d $\pm$ 3.08	0.9 bc $\pm$ 8.21	1.2 a-c $\pm$ 18	2.2 a-c $\pm$ 27.69	0.6 b-d $\pm$ 5.54
<i>P. x canadensis</i> ITA.199	0 cd $\pm$ 0.05	0.1 bc $\pm$ 0.59	0.2 a-d $\pm$ 3.64	0.4 bc $\pm$ 6.88	1.4 bc $\pm$ 13.35	1.3 bc $\pm$ 21.94	0.3 de $\pm$ 4.39
<i>P. x canadensis</i> 87m.119	0 d $\pm$ 0.03	0.1 cd $\pm$ 0.35	0.3 b-d $\pm$ 3.45	0.7 a-c $\pm$ 8.69	2.3 a-c $\pm$ 18.14	3.1 ab $\pm$ 30.2	0.8 b-d $\pm$ 6.04
<i>P. x interamericana</i>	0 cd $\pm$ 0.05	0 cd $\pm$ 0.34	0.1 cd $\pm$ 2.39	0.4 c $\pm$ 4.13	1.1 c $\pm$ 10.22	1.1 c $\pm$ 16.25	0.2 e $\pm$ 3.25
<i>P. x canadensis</i> pacher	0 b $\pm$ 0.11	0 ab $\pm$ 0.88	0.3 a $\pm$ 5.7	1.7 a $\pm$ 14.67	1.5 a $\pm$ 25.08	2.9 a $\pm$ 41.05	0.6 a $\pm$ 8.21
<i>P. x canadensis</i> I-488	0 cd $\pm$ 0.04	0 cd $\pm$ 0.39	0.2 b-d $\pm$ 3.51	0.2 a-c $\pm$ 8.92	0.8 a-c $\pm$ 18.8	1.6 ab $\pm$ 30.24	0.5 b-d $\pm$ 6.05
F-value	21.03 **	8.89 **	2.71 *	2.06 *	1.22 *	1.23 *	3.73 **

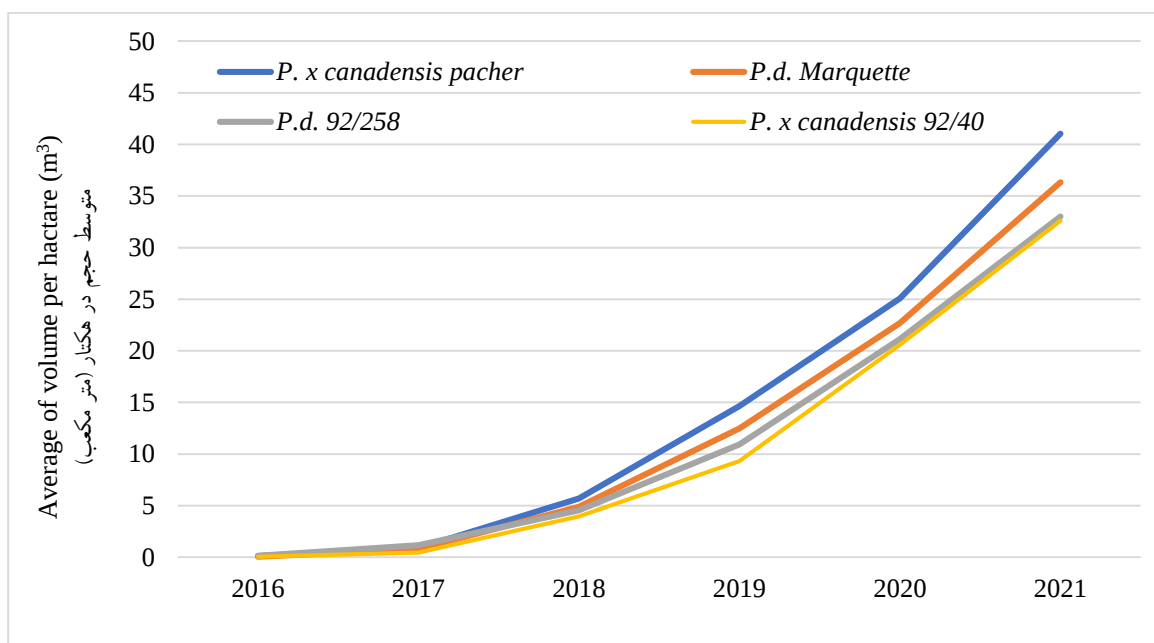
**: Significant at $p<0.01$; *: Significant at $p<0.05$

The date of planting saplings was March 5, 2016.



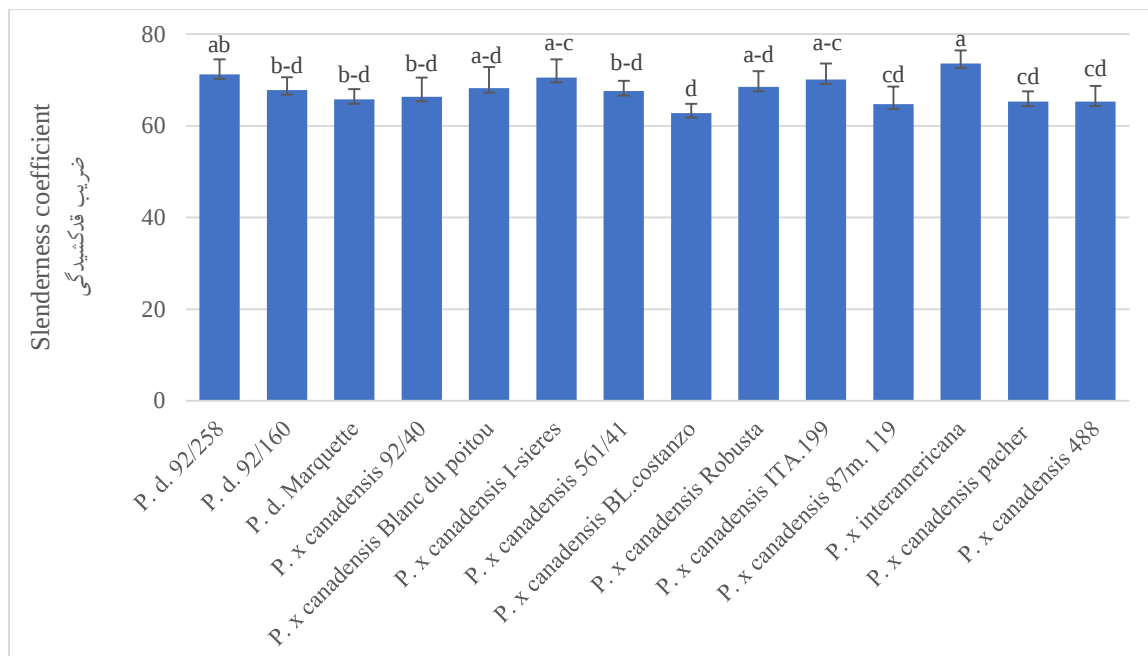
شکل ۱- میانگین درصد زنده‌مانی کلن‌های مختلف صنوبر در سال پایانی آزمایش (۱۴۰۰)

Figure 1. The average survival percentage of poplar clones in the final year of the experiment (2021)



شکل ۲- روند رویش حجم در هکتار چهار کلن صنوبر طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰

Figure 2. Comparison of volume growth of four poplar clones during 2016 to 2021



شکل ۳- میانگین $\pm$ اشتباه معیار ضریب قد کشیدگی کلن‌های مختلف صنوبر در سال پایانی آزمایش (۱۴۰۰)

حرف‌های متفاوت لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 3. The means and standard error ($\pm$ SE) of slenderness coefficient of poplar clones in the final year of the (2021) experiment
Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).

بحث

(*al.*, 1990). اغلب کلن‌های مورد نظر پژوهش پیش‌رو (۱۰ کلن) در سال پایانی آزمایش، زنده‌مانی بیشتر از ۹۶ درصد داشتند و بین آن‌ها، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاهش ناچیز درصد زنده‌مانی در برخی از کلن‌های صنوبر می‌تواند ناشی از عملیات داشت در طول اجرای آزمایش باشد. درصد زنده‌مانی نهال در سال‌های اولیه کاشت ممکن است متأثر از مبدأ جغرافیایی نهال، طول و قطر نهال و ابعاد ریشه در هنگام کاشت (DesRochers & Thomas, 2003) و در طول دوره رشد نیز تحت تأثیر نحوه صحیح داشت و آفات و بیماری‌ها قرار گیرد (Coyle *et al.*, 2006).

در پژوهش پیش‌رو، دو کلن *P. x canadensis pachet* و *P. deltooides Marquette* به ترتیب با متوسط رویش قطری سالانه ۲/۲۲ و ۲/۱۷ سانتی‌متر و متوسط رویش حجمی سالانه ۸/۲۱ و ۷/۲۷ متر مکعب در هکتار، بیشترین مقدار را در

اواخر دهه ۱۳۸۰، ۱۱ کلن صنوبر دلتوئیدس و دورگه‌های اروپا-آمریکایی آن وارد کشور شدند و سازگاری و تولید چوب آن‌ها در استان‌های گیلان (ایستگاه فخرآباد) و مازندران (ایستگاه چمستان) و مجتمع تحقیقاتی البرز در شهرستان کرج برای مقایسه با کلن‌های معرفی‌شده هر منطقه بررسی شد. در این پژوهش که در مجتمع تحقیقاتی البرز انجام شد، تفاوت متغیرهای رویشی میان کلن‌های صنوبر معنی‌دار بود. تنوع ژنتیکی کلن‌های صنوبر و نیز شرایط اقلیمی محیط کشت می‌تواند از عوامل تأثیرگذار بر گزینش کلن‌های موفق از نظر عملکرد تولید چوب باشد.

صفت زنده‌مانی در مدیریت تولید چوب گونه‌های تندرشد مانند صنوبر، بسیار مهم است و یکی از عوامل اصلی ارزیابی طی فرایند گزینش کلن‌ها محسوب می‌شود (Abrahamson *et al.*

صورت بهم خوردن نظم و مقدار آبیاری، عملکرد رشد آن‌ها کاهش می‌یابد. پیش‌تر، افزایش عملکرد تولید چوب در برخی از کلن‌های دورگ اروپا-آمریکایی (*P. x canadensis*) نسبت به کلن‌های دلتوئیدس در شرایط اقلیمی کرج تأیید شده بود (Ghasemi & Modirrahmati, 2004). عرض‌های جغرافیایی پایین و نیز گرمای بسیار زیاد تابستان از عوامل مهم کاهش رشد صنوبر دلتوئیدس هستند (Dhiman, 2016).

روند رویش حجمی در کلن‌های مورد بررسی تا پنج سالگی، شتاب صعودی داشت، بنابراین می‌توان گفت که این کلن‌ها، قابلیت افزایش رشد حجمی تا سن بیشتر را نیز دارند. Ghasemi و Modirrahmati (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که روند صعودی رشد حجمی کلن‌های صنوبر در فاصله کاشت ۴×۴ متر مربع تا سن ۱۰ سالگی ادامه می‌یابد. سپس، در سال‌های بعد با افزایش سن، مقدار تولید حجمی ثابت می‌شود یا افزایش بسیار کمی خواهد داشت.

ضریب قدکشیدگی به‌عنوان شاخص رقابت نوری گونه‌های درختی و مقاومت در برابر باد افتادگی استفاده می‌شود. این ضریب با افزایش تراکم و رقابت بین درختان توده افزایش می‌یابد، اما با افزایش سن و قطر درخت به‌تدریج کم می‌شود (Wang et al., 1998). در پژوهش Burschel و Huss (۱۹۸۷) درختان با ضریب قدکشیدگی ۴۵ تا ۸۰ به‌عنوان درختان پایدار طبقه‌بندی شدند. در پژوهش پیش‌رو، ضریب قدکشیدگی کلن‌های صنوبر در محدوده ۶۳ تا ۷۴ قرار داشت که می‌تواند نشان‌دهنده پایداری درختان باشد. این ضریب به‌تدریج با افزایش سن و قطر درخت، کمی کاهش می‌یابد، اما این درختان همواره در محدوده پایدار قرار خواهند داشت. کاشت مترکم درختان و در نتیجه، ایجاد رقابت نوری شدید و افزایش ارتفاع درختان در مقابل قطر، ضریب قدکشیدگی را افزایش می‌دهد. در نتیجه، درختان در حالت ناپایدار قرار خواهند گرفت. برخلاف توسکا بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.) که پایداری آن از طبقه قطری ۲۰ سانتی‌متری اتفاق می‌افتد

مقایسه با کلن‌های شاهد (*P. x canadensis* I-488 و *P. x canadensis* 92/40) به‌خود اختصاص دادند. همچنین نتایج در پایان دوره پنج‌ساله رشد نشان داد که این دو کلن به‌ترتیب با تولید چوب ۴۱/۰۵ و ۳۶/۳۳ متر مکعب در هکتار در رتبه نخست قرار گرفتند. بیشینه قطر و ارتفاع کلن *P. deltoides* Marquette در پژوهش پیش‌رو با نتایج گزارش‌شده توسط Lashkarbolouki و همکاران (۲۰۱۷) (قطر ۱۲/۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲/۶ متر در یک دوره پنج‌ساله) و Salehi و همکاران (۲۰۲۰) در دوره سه‌ساله رویش در غرب استان گیلان همسو دارد. در استان گیلان هرچند کلن *P. x canadensis pacher* قطر ۷/۵ سانتی‌متر) و ارتفاع ۸/۵ متر) کمتری در مقایسه با *P. deltoides* Marquette و *P. x interamericana* داشت، اما همین کلن در استان مازندران، بیشترین قطر (۱۱/۰۱ سانتی‌متر) و ارتفاع (۹/۲۱ متر) را در دوره چهارساله رویش، پس از کلن‌های *P. deltoides* 69/55 و *P. deltoides* Marquette به‌خود اختصاص داد (Asadi & Calagari, 2021).

هرچند کلن *P. x interamericana* در استان گیلان، بیشترین عملکرد قطر، ارتفاع و حجم چوب در هکتار را نشان داد (Lashkarbolouki et al., 2017; Salehi et al., 2020)، اما طبق پژوهش پیش‌رو، کمترین عملکرد رویشی را داشت. در ایستگاه تحقیقات چمستان در استان مازندران نیز عملکرد کم رویشی در این کلن دورگ پس از یک دوره چهارساله تأیید شد (Asadi & Calagari, 2021). افزایش رشد قطر و ارتفاع در کلن دورگ *P. x canadensis pacher* در استان‌های البرز و مازندران می‌تواند به‌دلیل توان ژنتیکی و سازگاری آن به شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک باشد. این کلن در مقایسه با برخی کلن‌های دلتوئیدس می‌تواند آبیاری کم را تحمل کند و رشد بیشتری در شرایط شرق استان مازندران و حتی استان‌های خارج از شمال داشته باشد. برعکس، برخی کلن‌های دلتوئیدس و دورگ‌های بین گونه‌ای آن‌ها، تحمل شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب و نیز تنش‌های گرمایی و آبیاری کم را ندارند و در

تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد توانست چوب با کیفیت مناسب را تولید کند. در نهایت، براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش‌رو، در مناطق خارج از شمال با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک، کلن دورگ *P. x canadensis pacher* در کنار کلن‌های اصلاح‌شده *P. nigra* و *P. alba* L. می‌تواند افزایش عملکرد تولید چوب در هکتار را به‌همراه داشته باشد. *P. deltoidea Marquette* پس از کلن دورگ *P. x canadensis pacher* در رتبه دوم قرار گرفت، اما با توجه به خاستگاه بوم‌شناختی صنوبر دلتوئیدس و تمایل آن به رویش بهتر در شرایط اقلیمی مرطوب، انتظار می‌رود کاشت آن در غرب استان‌های مازندران و گیلان، عملکرد حجمی آن را نسبت به شرایط نیمه‌خشک کرج به‌طور محسوسی افزایش دهد. از طرفی، تغییرات اقلیمی و افزایش دما به‌ویژه در ماه‌های تیر و مرداد می‌تواند اختلال در رشد کلن‌های این گونه را تشدید کند.

(Akhavan & Namiranian, 2007)، در کلن‌های صنوبر مورد نظر پژوهش پیش‌رو با تراکم مناسب (۳×۳ و ۴×۳ متر مربع) این پایداری در طبقه قطری ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری نیز می‌تواند رخ دهد، بنابراین انتخاب فاصله کاشت مناسب در بهبود ضریب قدکشیدگی پایدار (کمتر از ۸۰) به‌ویژه در چند سال اول پس از کاشت می‌تواند مؤثر باشد.

کاشت کلن‌های تندرشد صنوبر، راهکار موثری برای تأمین مواد اولیه صنایع چوب و کاغذ و کاهش فشار به جنگل‌های طبیعی محسوب می‌شود، اما رشد آن‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات مداوم اقلیمی و تنش‌های ناشی از گرمای تابستان قرار بگیرد. نتایج پژوهش Ferus و همکاران (۲۰۲۰) در اسلوواکی نشان داد که برخی از کلن‌های صنوبر اروپا-آمریکایی، شرایط محیطی با گرمای زیاد تابستان را به‌خوبی تحمل می‌کنند. به‌طوری‌که کلن دورگ *P. x canadensis* با نام تجاری "Pannonia" با تحمل تنش دمایی

References

- Abbasi, H.R., Khaksarian, F., Bagheri, R., Salehi, A. and Asadi, F., 2024. Land suitability evaluation for poplar plantation. *Iranian Journal of Forest*, 16(1): 87-101 (In Persian with English summary).
- Abrahamson, L.P., White, E.H., Nowak, C.A., Biggs, R.D. and Robison, D.J., 1990. Evaluating hybrid poplar clonal growth potential in a three-year-old genetic selection field trial. *Biomass*, 21(2): 101-114.
- Ahmadloo, F., Dehghan, R., Salehi, A. and Eskandari, S., 2023. Surveying and study on the biometric variables of poplar plantations in Guilan province. *Iranian Journal of Forest*, 15(2): 195-210 (In Persian with English summary).
- Akhavan, R. and Namiranian, M., 2007. Slenderness coefficient of five major tree species in the Hyrcanian forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(2): 165-180 (In Persian with English summary).
- Andrasev, S. and Roncevic, S., 2008. Developmental characteristics of selected black poplar clones (Section Aigeiros Duby). *Forestry Journal*, 54(1): 3-10.
- Asadi, F. and 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 with English summary).
- Burschel, P. and Huss, J., 1987. *Grundriss des Waldbaus. Ein Leitfaden fuer Studium und Praxis*. Verlag Paul Parey, Humburg and Berlin, Germany, 352p (In German).
- Coyle, D.R., Coleman, M.D., Durant, J.A. and Newman, L.A., 2006. Multiple factors affect pest and pathogen damage on 31 *Populus* clones in South Carolina. *Biomass and Bioenergy*, 30(8-9): 759-768.
- DesRochers, A. and Thomas, B.R., 2003. A comparison of pre-planting treatments on hardwood cuttings of four hybrid poplar clones. *New Forest*, 26(1): 17-32.
- Dhiman, R.C., 2016. Growing poplars at low latitudes: Zimbabwean experience. *Newsletter of the International Poplar Commission*, 6: 4-7.
- Ferus, P., Hnilicka, F., Hnilickova, H., Kurjak, D., Kempt, J., Otepka, P., ... and Konopkova, J., 2020. Productivity and heat-stress tolerance in Canadian poplar (*Populus x canadensis* Moench) clones with different ecological

- optimum. Biomass and Bioenergy, 138: 105605.
- Ghasemi, R. and Modirrahmati, A.R., 2004. Investigation on wood production of different poplar clones (wide crown clones) in Karaj area. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 12(2): 221-249 (In Persian with English summary).
 - Ghasemi, R., Modir Rahmati, A.R. and Asadi, F., 2012. Growth characteristics of 5 black poplar (*Populus nigra*) clones with Turkish origin in Karadj area. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(4): 491-500 (In Persian with English summary).
 - Hemati, A., Modir Rahmati, A.R., Ghasemi, R. and Asadi, F., 2010. Investigation on growth and yield of ten half-sib hybrid poplar clones in Karadj. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18(1): 11-20 (In Persian with English summary).
 - Hemmati, A. and Modir-Rahmati, A.R., 2002. Results of adaptation trial for high yielding poplar clones in Kermanshah's Gharb paper industries. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 8(1): 59-86 (In Persian with English summary).
 - Kaczmarek, D.J., Coyle, D.R. and Coleman, M.D., 2013. Survival and growth of a range of *Populus* clones in central South Carolina USA through age ten: Do early assessments reflect longer-term survival and growth trends. Biomass and Bioenergy, 49: 260-279.
 - Lashkarbolouki, E., Kahneh, E., Mosavi Kopar, S.A. and Amanzadeh, B., 2017. Adaptability of new open crown poplar clones in Lasht-e Nasha area, Gilan province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(4): 646-655 (In Persian with English summary).
 - Mousavi Kopar, S.A., Modir-Rahmati, A.R., Lashkar-Bolouki, A. and Kahneh, E., 2011. Adaptation of poplar clones in Safrabasteh, Guilan province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(2): 326-339 (In Persian with English summary).
 - Namiranian, M., 2006. Measurement of tree and forest biometry. University of Tehran Press, Tehran. 574p (In Persian).
 - Noori, F., Modirrahmati, A.R. and Hemmati, A., 2006. Elimination trial of 18 poplar clones (*Populus deltoides* and *Populus euramericana*) in the research stations (Mehregan and Eslamabad) in Kermanshah. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 14(3): 179-192 (In Persian with English summary).
 - Salehi, A., Calagari, M. and Abbasi, H., 2024. Morphophysiological and biochemical responses of *Populus nigra* L. under salinity stress. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 32(3): 214-231 (In Persian with English summary).
 - Salehi, M., Ghods Khah, M., Amanzadeh, B. and Mousavi Copar, S.A., 2020. Yield comparison of different poplar species and clones in Guilan province. Forest and Wood Products, 73(2): 201-211 (In Persian with English summary).
 - Stanton, B., Eaton, J., Johnson, J., Rice, D., Schuette, B. and Moser, B., 2002. Hybrid poplar in the Pacific Northwest: the effects of market-driven management. Journal of Forestry, 100(4): 28-33.
 - Tomar, A. and Srivastav, A., 2020. Early growth performance of *Populus deltoides* clones in Prayagraj. Indian Journal of Plant Sciences, 9: 31-35.
 - Traux, B., Gagnon, D., Fortier, J. and Lambert, F., 2012. Yield in 8 year-old hybrid poplar plantations on abandoned farmland along climatic and soil fertility gradients. Forest Ecology and Management, 267: 228-239.
 - Tunctaner, K. and Ozel, H.B., 2008. Adaptation of some poplar clones to the lake district in Turkey. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 1: 61-67.
 - Wang, Y., Titus, S.J. and LeMay, V.M., 1998. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. Canadian Journal of Forest Research, 28: 1171-1183.
 - Yousefi, B. and Modir-Rahmati, A.R., 2007. Compatibility experiment of 10 poplar clones for introducing of most suitable clones to executive unit in Kurdistan province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(3): 253-267 (In Persian with English summary).