

Research Article

The effect of thinning on radial growth of *Pinus pinea* L. (Case study: Plantation forest in Zaghmarz-Behshahr, Iran)

Asghar Fallah ¹, Nastaran Nazariani ^{2*} and Mojtaba Imani Rastabi ³

1- Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2*- Corresponding author, Ph.D. of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: nazariani69@yahoo.com

3- Research Specialist, Forests and Rangelands Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran

Received: 24.11.2025

Revised: 24.12.2025

Accepted: 19.01.2026

Abstract

Background and objectives: Understanding the spatio-temporal variability of tree radial growth and its ecological response provides a basis for assessing forest vulnerability and growth under environmental changes. The growth response of plant communities, including different stand types, may depend on climatic parameters, silvicultural practices, and competition-induced stress. Dendrochronology is a reliable and highly reproducible technique for detecting tree growth patterns over time. Given the increasing national demand for wood resources and the role of stone pine (*Pinus pinea* L.) in afforestation programs in northern Iran, the present study aimed to evaluate the growth response of this species to thinning operations by analyzing changes in radial growth in the Zaghmarz –Behshahr plantation, northern Iran.

Methodology: A plantation stand of stone pine located in the Zaghmarz nursery, 3 km south of the Caspian Sea, was selected. After a field survey, 20 trees from the thinned sections of the stand were randomly sampled, and two increment cores were extracted from each tree (west-facing core: Sample 1; east-facing core: Sample 2) at breast height using an increment borer. In the laboratory, ring widths were measured under a binocular microscope using the LINTAB measurement table and TSAPWin software with an accuracy of 0.01 mm.

Results: The results indicated that the developed chronology, with a mean sensitivity of 11.0 and GLK values ranging from 60% to 100%, showed good quality and a strong common growth signal among the sampled trees. Considering the relatively high mean ring widths in most trees (approximately 0.3–0.5 mm), the thinning conducted in 2005 appears to have effectively reduced competition and improved tree access to light and growth resources. Complete alignment between the east- and west-facing cores of each tree reflected a relatively uniform reduction in competition and balanced light availability following thinning. Moreover, the results showed that thinning had a positive and substantial effect on radial growth in stone pine, as the mean ring width during the ten-year period after thinning was about 20% higher than that during the ten-year period prior to thinning. Examination of growth orientation indicated that mean radial growth on the west side of the trunk was approximately 8% higher than that on the east side, likely due to greater light availability following the removal of canopy competition.

Conclusion: The findings confirm that thinning in stone pine stands has a long-term positive effect on radial growth and can be recommended as an effective management strategy in northern Iran's afforestation programs.

Keywords: Dendrochronology, radial growth, silvicultural practice, tree rings.



بررسی تأثیر تنک کردن بر رویش شعاعی کاج بادامی (*Pinus pinea* L.) (جنگل کاری منطقه زاغمرز - بهشهر)

اصغر فلاح^۱، نسترن نظریانی^{۲*} و مجتبی ایمانی راستابی^۳

۱- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- نویسنده مسئول، دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

پست الکترونیک: nazariani69@yahoo.com

۳- کارشناس محقق، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴

چکیده

سابقه و هدف: درک تغییرپذیری زمانی - مکانی رشد شعاعی درخت و پاسخ بوم‌شناختی آن، مبنایی برای ارزیابی آسیب‌پذیری و رشد جنگل در مقابل تغییرات محیطی است. پاسخ رشد جوامع گیاهی مشتمل بر انواع تیپ توده‌های درختان ممکن است به پارامترهای اقلیمی، عملیات پرورشی و تنش‌های رقابت، بستگی داشته باشد. گاه‌شناسی درختی، فنی قابل‌اعتماد و به‌خوبی تکرارپذیر برای آشکارسازی مقدار رشد درختان در مقیاس زمانی است. باتوجه به افزایش تقاضای کشور برای منابع چوبی و نقش کاج بادامی (*Pinus pinea* L.) در جنگل‌کاری‌های شمال ایران، پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی پاسخ رویشی این گونه به عملیات تنک کردن از طریق تحلیل تغییرات رویش شعاعی در جنگل‌کاری منطقه زاغمرز - بهشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، توده دست کاشت کاج بادامی واقع در نهالستان زاغمرز - بهشهر در سه کیلومتری جنوب دریای خزر انتخاب شد. پس از جنگل‌گردشی و بازدید از منطقه مورد مطالعه، ۲۰ اصله کاج بادامی از قسمت‌های تنک‌شده به‌صورت تصادفی انتخاب شد. از هر درخت، دو نمونه رویشی (در جهت غربی (نمونه ۱) و شرقی (نمونه ۲)) در ارتفاع برابر سینه با استفاده از مته سال‌سنج استخراج شد. پس از انتقال به آزمایشگاه، پهنای دایره‌های رویش نمونه‌ها توسط بینوکولار، میز اندازه‌گیری LINTAB و نرم افزار TSAPWin با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد.

نتایج: براساس یافته‌های به‌دست‌آمده، گاه‌شناسی ایجادشده با میانگین حساسیت ۱۱/۰ و مقادیر GLK در دامنه ۶۰ تا ۱۰۰ درصد، از کیفیت مناسب و الگوی رویشی مشترک و هم‌زمانی قابل‌قبولی بین درختان برخوردار بود. باتوجه به میانگین به‌نسبت زیاد پهنای حلقه‌های رویشی در بخش عمده‌ای از درختان (حدود ۰/۳ تا ۰/۵ میلی متر)، به‌نظر می‌رسد عملیات تنک کردن انجام‌شده در سال ۱۳۸۴ سبب کاهش مؤثر رقابت و بهبود دسترسی درختان به نور و منابع رشد شده است. همچنین، انطباق کامل دو نمونه شرقی و غربی هر درخت نشان‌دهنده یکنواختی کاهش رقابت و تعادل نورگیری پس از تنک کردن است. عملیات تنک کردن، تأثیر مثبت و قابل‌توجهی بر افزایش رویش شعاعی کاج بادامی داشت. به‌طوری‌که میانگین پهنای حلقه‌ها در دوره ده‌ساله پس از تنک کردن حدود ۲۰ درصد بیشتر از ده‌سال پیش از آن بود. بررسی جهت‌گیری رشد نشان داد که میانگین رویش شعاعی در سمت غرب تنه حدود هشت درصد بیشتر از سمت شرق بود که این تفاوت ناشی از دریافت نور بیشتر پس از حذف رقابت تاجی تفسیر می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی: درمجموع، یافته‌ها تأیید می‌کنند که تنک کردن در توده‌های کاج بادامی، اثر مثبت بلندمدت بر رشد شعاعی دارد و می‌تواند به‌عنوان راهکار مدیریتی مؤثر در جنگل‌کاری‌های شمال کشور توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: حلقه‌های رویشی، رویش قطری، عملیات پرورشی، گاه‌شناسی.

مقدمه

کاج بادامی (*Pinus pinea* L.) درختی چندمنظوره است که علاوه بر صنعت چوب و زیباسازی محلی، دانه‌های مغذی و مصرف خوراکی دارد. همچنین، به دلیل مقاومت زیاد به خشکی، استقرار و رشد سریع در زمین‌های فقیر و کم‌بازده، گونه‌ای مناسب برای جنگل‌کاری و احیای اراضی خشک جنگلی و غیرجنگلی محسوب می‌شود (Liu et al., 2023).

کاشت توده‌های کاج از دیرباز اغلب با هدف تولید چوب انجام شده است. زیرا این گونه به دلیل رشد سریع و ارزش اقتصادی زیاد شناخته می‌شود. با این حال، امروزه نقش این جنگل‌ها در کاهش تغییر اقلیم نیز به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. تاج‌پوشش متراکم و نرخ رشد زیاد این توده‌ها موجب می‌شود که مقادیر قابل توجهی از دی‌اکسیدکربن اتمسفر جذب و در زی‌توده ذخیره شود. با به‌کارگیری روش‌های مدیریت پایدار، این جنگل‌های دست‌کاشت می‌توانند به طور هم‌زمان، تولید چوب و ترسیب کربن را بیشینه کنند و بدین ترتیب به تلاش‌های جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند. ایجاد توازن میان تولید چوب و خدمات بوم‌سازگانی مهمی مانند ذخیره‌سازی کربن، مستلزم به‌کارگیری راهبردهای مدیریتی دقیق و متناسب است (Tavankar et al., 2025). جنگل‌کاری‌ها حدود هفت درصد کل پوشش جنگل‌های جهان را شامل می‌شوند که بیشتر از ۳۳/۴ درصد از حجم چوب جهان را تولید می‌کنند، بنابراین جنگل‌کاری‌ها، اثر بسیار مهمی بر تولید چوب و کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی ایفا می‌کنند (Scheuber & Köhl, 2003).

تنک کردن در جنگل‌داری، یک عملیات سلوکال یا پرورشی است که با حذف درختان انتخاب‌شده از یک توده جنگلی انجام می‌شود تا تراکم درختان کاهش یابد. به این ترتیب، دسترسی باقی‌مانده درختان به منابع محدود مانند نور، آب و مواد غذایی افزایش یابد. هدف اصلی تنک کردن، بهبود شرایط رشد، کیفیت و پایداری درختان باقی‌مانده، کاهش رقابت درون‌توده‌ای و افزایش بهره‌وری و ارزش اقتصادی توده است. این عملیات می‌تواند موجب

بهبود رشد شعاعی و ارتفاعی، افزایش تولید چوب، بهبود ساختار بوم‌شناختی، کاهش خسارت‌های رقابتی و افزایش مقاومت در برابر عوامل نامساعد شود (Larocque, 2024). اثرات مثبت عملیات تنک کردن بر تولید چوب و رشد گونه‌های سوزنی‌برگ در پژوهش‌های مختلف برای گونه‌های دیگر مخروطیان نیز گزارش شده است (Horner et al., 2010). براساس نتایج گزارش‌شده توسط Hou و همکاران (۲۰۱۴)، تولید و عملکرد چوب در توده‌های سوزنی‌برگ با تراکم کمتر بهبود می‌یابد. کاهش تراکم توده می‌تواند با بهبود کارایی گرده‌افشانی توسط باد و نیز کاهش رقابت بین درختان برای دسترسی به منابع محدود، شرایط مساعدتری را برای افزایش تولید در سوزنی‌برگان فراهم کند. اگرچه کاهش بیش‌ازحد تراکم پایه‌ها می‌تواند تولید مخروط (اندام‌های زایشی شامل تعداد و زی‌توده مخروط‌ها) را در سطح تک‌درخت کاهش دهد، با این حال درک دقیق‌تر اثرات عملیات تنک کردن بر رشد درخت و شاخص‌های کمی تولید مخروط می‌تواند به تدوین راهنمایی‌های مدیریتی کارآمدتر برای مدیران جنگل منجر شود.

با گذشت زمان، قطر، ارتفاع و در نتیجه، سطح مقطع و حجم یک درخت زنده افزایش می‌یابد. ازدیاد هریک از این عوامل یا مشخصه‌ها در مدت معین، رویش در آن مدت تعریف می‌شود (Ampoorter et al., 2020). رویش شعاعی درختان از جمله فعالیت‌های پویایی است که در طول فصل رویش اتفاق می‌افتد. با این حال، حاصل آن، حلقه رشد درخت و میزان رویش قطری است که می‌توان آن را در پایان فصل رویش با ابزار و روش‌های خاص اندازه‌گیری کرد. رویش درختان جنگلی، تحت تأثیر عوامل درونی درخت، مؤلفه‌های محیطی و زمان قرار می‌گیرد. میزان رویش، معیار مهمی برای بهره‌برداری سالانه و انتخاب مناسب‌ترین گونه‌های درختی برای جنگل‌کاری است (Amini & Sadeghi, 2013). پژوهش‌های انجام‌شده بر روی سوزنی‌برگان نشان داد که تنک کردن، رویش ارتفاعی را در دوره‌های بلندمدت افزایش می‌دهد. همچنین، روش‌های متفاوت تنک کردن می‌تواند متوسط قطری توده

نوشهر نشان داد که با سه بار تنک کردن، اندازه قطر ۷۶ درصد و ارتفاع ۴۰ درصد افزایش می‌یابد (Gorji Bahri et al., 2009). در همان بازه زمانی، حجم چوب سرپا از ۱۶۳/۷ به ۲۹۷/۲ متر مکعب در هکتار افزایش یافت. رویش حجمی سالانه جنگل نیز از ۱۸/۲ به ۲۱/۴ متر مکعب در هکتار بهبود یافت. به عبارتی با تنک کردن، میزان رویش حجمی بیشتر از ۱۷ درصد زیاد شد. بررسی تأثیر تنک کردن بر رویش شعاعی و مشخصه‌های کمی در درختان ۳۰ ساله کاج بادامی در نهالستان زاغمرز در استان مازندران نشان داد که مشخصه‌های قطر، سطح مقطع و حجم در هکتار در قسمت‌های تنک‌شده در سطح ۹۹ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از قسمت‌های تنک‌نشده است، اما بین مشخصه ارتفاع در قسمت‌های تنک‌شده و تنک‌نشده، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Taghipour, 2014). بین متوسط رویش شعاعی هفت سال پیش و هفت سال پس از تنک کردن در هر دو جهت شرقی و غربی از قسمت‌های تنک‌شده، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما متوسط رویش شعاعی هفت سال پس از تنک کردن در هر دو جهت شرقی و غربی در سطح ۹۱ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از متوسط رویش شعاعی در قسمت‌های تنک‌نشده بود. ارزیابی اثرات تنک کردن و عوامل اقلیمی بر تغییرات شعاعی ساقه در دو گونه مهم کاج در ایالات متحده آمریکا نشان داد که یکی از روش‌های تنک کردن مورد استفاده (با شعاع اختصاص‌یافته مشخص) می‌تواند رشد شعاعی بیشتری ایجاد کند (Hirsch et al., 2023). همچنین، پاسخ‌های شعاعی درختان به تابش خورشید و دما بسته به تیمار متفاوت بود. این نتایج، اهمیت ارزیابی هم‌زمان اثرات مدیریت جنگل (تنک کردن) و عوامل محیطی را در فهم بهتر فرایندهای رشد شعاعی و سلامت درختان نشان داد. بررسی پاسخ رشد درختان با وضعیت رشد متفاوت به تنک کردن در *Pinus massoniana* Lamb. نشان داد که تنک کردن سبب افزایش ۱۵/۰۸ تا ۶۰/۶۲ درصدی رشد قطری و ۱۰/۲۸ تا ۲۹/۸۷ درصدی رشد حجمی می‌شود (Zhao et al., 2023). همچنین، پس از تنک کردن، گسترش سریع‌تر

را زیاد کند (Kumar et al., 2019). پرورش جنگل در حقیقت مهم‌ترین قسمت فعالیت‌های جنگل‌شناسی کاربردی محسوب می‌شود و همه مسائل مربوط به تربیت و اصلاح ساختار توده‌های جنگلی را شامل می‌شود. با اجرای عملیات پرورشی، مقاومت و پایداری درختان در برابر آسیب‌های طبیعی بهبود می‌یابد و با ایجاد شرایط مناسب برای درختان باقی‌مانده، رشد قطری و ارتفاعی و در نتیجه، تولید چوب آن‌ها زیاد می‌شود (Khorrami et al., 2021). عملیات پرورشی، تحولی در رویش درختان جنگلی ایجاد می‌کند و تعیین رویش گونه، یکی از مباحث اساسی در مدیریت جنگل است (Wessel et al., 2018).

رشد درختان به‌وسیله عوامل مختلف از جمله تغییرات اقلیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تواتر سالانه اقلیم مناسب و نامناسب (سال‌های تر و خشک یا گرم و سرد) در نهایت به‌صورت ترتیبی از حلقه‌های پهن و باریک در درختان یک منطقه ثبت می‌شود (Fallah et al., 2023). آنالیز حلقه درخت، تفکیک زمانی کاملی را در مقیاس زمانی فصلی یا سالانه ارائه می‌دهد و در بخش بزرگی از جهان در نواحی اقلیمی که گیاهان چوبی، دوره مشخصی از خواب را به‌علت سرما یا خشکی تحمل می‌کنند، کاربرد دارد (Larson, 1994). مطالعه گاه‌شناسی درختی به‌عنوان روشی ارزشمند برای شناسایی آشتفتگی‌ها در گذشته به‌ویژه از طریق تشخیص تغییرات ناگهانی در روند رویش شعاعی درختان توسعه یافته‌اند و برای درک فرایندهای بوم‌سازگان از جمله پویایی جمعیت‌ها، توصیف تاریخچه جنگل، ساختار و ترکیب جوامع و توسعه رویشگاه در طول زمان اهمیت دارند (Rampheri et al., 2022).

پژوهش درباره سازگاری و تولید چوب درختان سوزنی‌برگ تجاری به‌ویژه انواع کاج‌ها در کشور، پیشینه‌ای بیشتر از حدود چهل سال دارد (Sagheb-Talebi, 1999). شمار زیادی از این درختان به‌ویژه کاج‌ها، مراحل سازگاری را گذرانده‌اند و در سطوح وسیعی کاشت می‌شوند (et al., 2007). Zheng بررسی اثر تنک کردن بر رشد و تولید چوب در جنگل دست‌کاشت توسکای بیلاقی در منطقه

زمان پرداخته است و به دنبال ارائه شواهد کاربردی برای بهبود راهبردهای مدیریتی در توده‌های دست‌کاشت کاج بادامی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

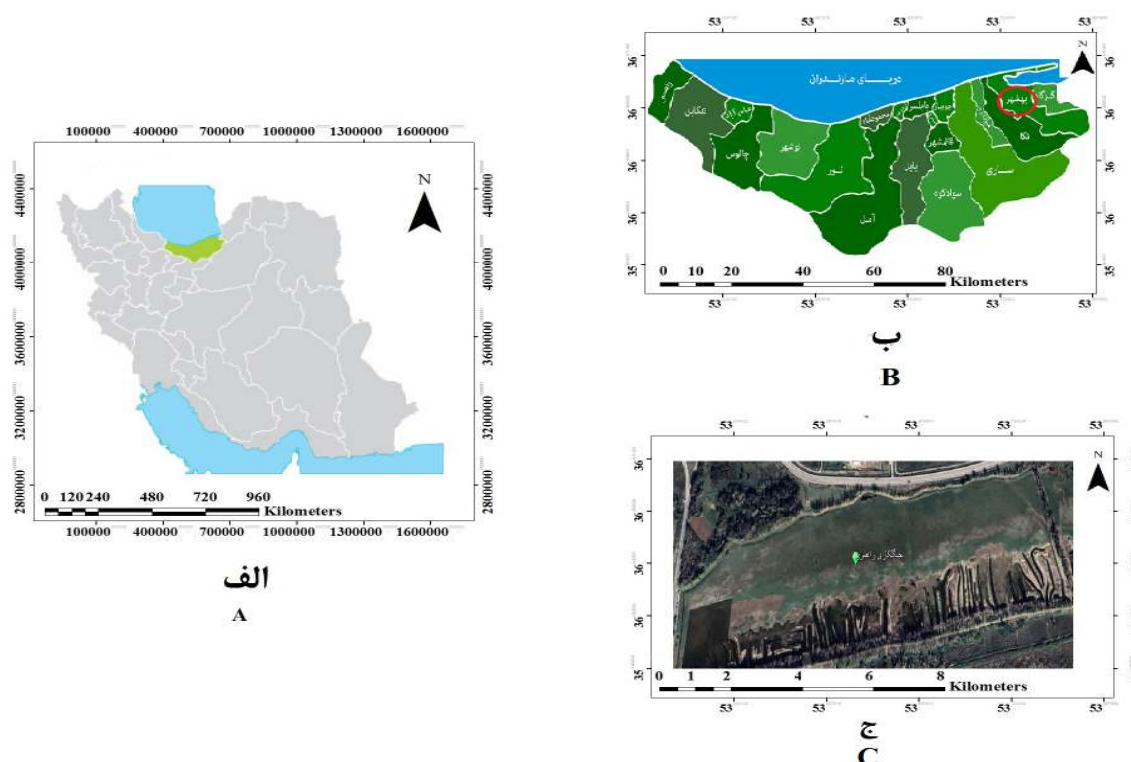
منطقه مورد پژوهش، توده دست‌کاشت کاج بادامی واقع در نهالستان زاغمرز- بهشهر در سه کیلومتری جنوب دریای خزر است (شکل ۱). مختصات جغرافیایی این منطقه $35^{\circ} 50' 35''$ عرض شمالی و $53^{\circ} 18' 15''$ طول شرقی است. در سال ۱۳۶۲ (۱۹۸۳ میلادی) نهال‌های یک‌ساله کاج بادامی با فاصله کاشت 2×2 متر مربع در مساحتی بالغ بر چهار هکتار در نهالستان زاغمرز کاشته شد. در سال ۱۳۸۴ عملیات پرورشی تنک کردن در یک مرحله انجام گرفت. درختان کاج بادامی در منطقه مورد مطالعه به مرحله زادآوری رسیده‌اند و اکنون دارای قدرت بذردهی هستند.

روش پژوهش

در سال ۱۴۰۲، ۲۰ اصله درخت از کاج بادامی به صورت تصادفی در قسمت‌های تنک‌شده از توده مورد مطالعه انتخاب شد. از هر درخت، دو نمونه رویشی یکی در جهت غربی (نمونه ۱) و دیگری در جهت شرقی (نمونه ۲) در ارتفاع برابر سینه با استفاده از مته سال‌سنج استخراج شد. انتخاب درختان از وسط قطعه‌ها انجام گرفت و عواملی مانند تقارن تاج، تنه استوانه‌ای، کمینه شاخه‌دوانی و پیچیدگی تنه در نظر گرفته شد. در مجموع، ۴۰ نمونه رویشی تهیه شد. پس از خارج کردن نمونه‌ها از مته سال‌سنج، آن‌ها داخل قاب‌های پلاستیکی قرار داده شدند. کد مربوط به هر نمونه بر روی آن یادداشت شد. سپس، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند.

عرض تاج به دلیل فضای رشد بزرگ‌تر با حذف شاخه‌های سبز گزارش شد.

جنگل‌های طبیعی، پاسخ‌گوی نیازهای آینده کشور نیستند و به مرور در اثر بهره‌برداری بیش از حد از بین خواهند رفت، بنابراین توسعه جنگل‌ها، امری ضروری است و باید اقدامات لازم و سریع در این زمینه صورت گیرد. استفاده از گونه‌های سوزنی‌برگ در طرح‌های جنگل‌کاری و احیای پوشش جنگلی به دلیل مقاومت به نسبت زیاد این گونه‌ها در برابر تنش‌های محیطی و سازگاری آن‌ها با شرایط مختلف رویشگاهی، مورد توجه ویژه قرار گرفته است. با توجه به شرایطی مانند اراضی ماسه‌ای در سواحل جنوبی دریای مازندران، هزینه و زمان‌بر بودن دوره کاشت گونه‌های بومی پهن‌برگ، ضروری است از گونه‌های سوزنی‌برگ غیربومی برای حفظ اراضی، زیبایی منظر و جلوگیری از فرسایش بادی استفاده شود. براساس دستاورد حاصل از بررسی منابع مختلف، کاج بادامی از نظر زنده‌مانی، بیشتر از ۹۵ درصد در سطح مطلوب قرار دارد (Nazariani et al., 2019)، بنابراین کاج بادامی طی سه دهه پژوهش به عنوان گونه‌ای مناسب برای جنگل‌کاری در اراضی ماسه‌ای سواحل جنوبی دریای خزر مدنظر قرار گرفته است. با توجه به غیربومی بودن این گونه در شمال ایران و ضرورت ارزیابی کارآمدی عملیات پرورشی تنک کردن در مدیریت و پایداری توده‌های جنگل‌کاری‌شده، پژوهش پیش‌رو با هدف ارزیابی مجدد و پایش اثر تنک کردن بر رویش شعاعی این گونه در جنگل‌کاری منطقه زاغمرز- بهشهر و طی یک دوره ده‌ساله (۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲) انجام شد. این پژوهش در ادامه پژوهش Taghipour (۲۰۱۴) و با تمرکز بر تبیین نقش تنک کردن به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای جنگل‌شناسی پرورشی، به بررسی تداوم، شدت و پایداری پاسخ رویشی درختان در گذر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش در (الف) ایران، (ب) استان مازندران و (ج) شهرستان بهشهر

Figure 1. Location of the study area on: (a) the map of Iran, (b) Mazandaran Province, and (c) Behshahr County

تاریخ گذاری تطبیقی

پهنای حلقه رویشی دو نمونه حاصل از هر درخت ابتدا به صورت مجزا اندازه گیری شد. سپس، منحنی های حاصل با هدف تطابق زمانی (Cross dating) و کنترل کیفی داده ها بررسی شدند. در صورت مشاهده هرگونه اختلاف، نمونه ها دوباره بازبینی و حلقه های گمشده و دروغین شناسایی شدند. این فرایند به عنوان یکی از مراحل استاندارد در پژوهش های گاه شناسی درختی، به منظور اطمینان از صحت تطابق زمانی و یکنواختی الگوهای رشد و مطابق با روش های رایج در بررسی حلقه های رویشی انجام شد (Najafi-Harsini *et al.*, 2022). آنچه در تاریخ گذاری تطبیقی ضروری است، مقدار زیاد GLK و GSL است. GLK آماره ای است که دو سری زمانی را از نظر شیب آن ها بررسی می کند و تطابق کلی دو سری زمانی را نشان می دهد.

نحوه آماده سازی و اندازه گیری پهنای حلقه های رویش

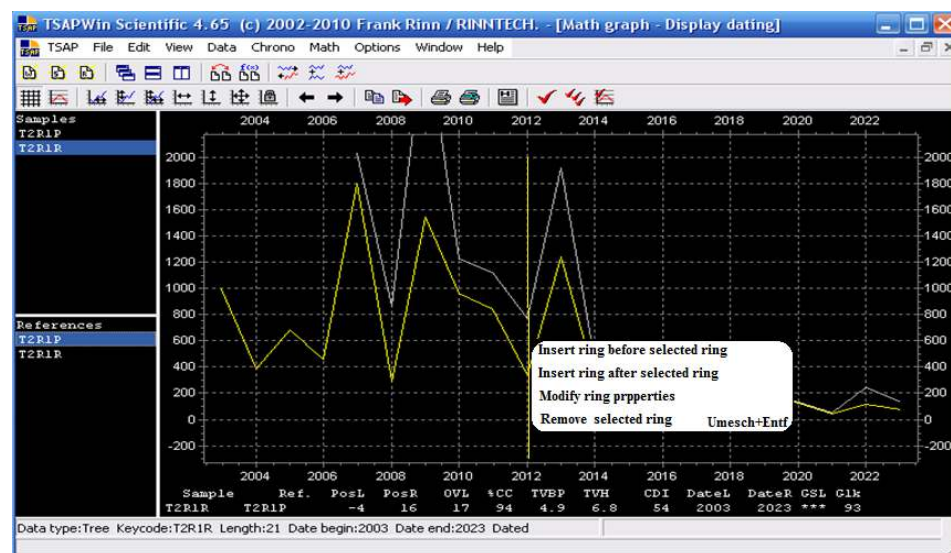
نمونه های به دست آمده از مته سال سنج پس از انتقال به آزمایشگاه بر روی یک نگهدارنده نمونه تثبیت شدند. پس از تثبیت نمونه ها، سطح آن ها اندکی مرطوب شد و با استفاده از یک تیغ با دقت کافی، لایه نازکی از سطح نمونه ها به اندازه ای که حلقه های سالانه با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد، برداشت شد. سپس، با استفاده از دستگاه LINTAB II ساخت کمپانی Frankrinn آلمان با دقت ۰/۰۱ میلی متر، حلقه های سالانه از سمت پوست به مغز نمونه رویشی اندازه گیری و شمارش شدند. تطابق زمانی با استفاده از نرم افزار تخصصی TSAPWin انجام گرفت. پس از تاریخ گذاری تطبیقی و رفع هر گونه خطای اندازه گیری، میانگین پهنای حلقه های رویشی همه نمونه ها محاسبه شد. در نهایت، میانگین رویش قطری درختان تحلیل شد.

پارامتر مهم دیگر، GSL است که معنی‌داری GLK را در سطوح مختلف آماری نشان می‌دهد. GLK در سطح ۹۵ درصد به صورت یک ستاره (*)، در سطح ۹۹ درصد با دو ستاره (***) و در سطح ۹۹/۹ درصد با سه ستاره (***) نشان داده می‌شود. هرچه مقدار عددی این آمارها بیشتر باشد، معرف هماهنگی بیشتر بین منحنی‌های رویش درختان در منطقه مورد مطالعه است (Abedini *et al.*, 2010). پس از ایجاد نهایت تطابق زمانی و افزایش میزان GLK با استفاده از نرم‌افزار TSAPWin میانگینی از دو سری زمانی مربوط به هر درخت به دست آمد. شکل ۲، قابلیت تطابق زمانی را در نرم‌افزار TSAPWin نشان می‌دهد.

در گاه‌شناسی درختی از واژه Gleichlaeufigkeit (درصد شبیه‌های هم‌جهت)، به عنوان ابزاری ویژه برای تطابق کلی دو سری زمانی استفاده می‌شود. مقادیر تطابق بین نمونه‌ها با محاسبه ضریب‌های درصد تطابق واریانس‌ها (GLK) و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Eckstein & Bauch, 1969).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{GLK} = \sum G - G$$

در رابطه (۱)، GLK مقدار تطابق بین نمونه‌ها و $G - G$ نشان‌دهنده اختلاف بین مقادیر پهنای حلقه‌ی رویشی در هر سال نسبت به سال پیش از آن است.



شکل ۲- قابلیت اصلاح در پنجره Math Graph نرم‌افزار TSAP

Figure 2. Editability in the Math Graph window of the TSAP software

تنک کردن (۱۳۸۴) محاسبه شد (رابطه ۲). سپس، سال‌هایی که مقدار GC در آنها برابر یا بیشتر از ۱۰ درصد بود، در رده افزایش رشد متوسط (Moderate release) و سال‌هایی که این مقدار برابر یا بیشتر از ۲۵ درصد بود، در رده افزایش رشد شدید (Major release) طبقه‌بندی شدند. این آستانه‌ها برای طبقه‌بندی شدت افزایش رشد درختان پس از تنک‌کردن مورد استفاده قرار گرفتند. شایان توجه است که این مقادیر نشان‌دهنده تغییر

برای شناسایی افزایش‌های ناگهانی در روند رویش شعاعی درختان از روش درصد تغییر رشد (Growth GC=Change) مبتنی بر تحلیل میانگین‌های متحرک، مطابق با رویکرد ارائه‌شده توسط Nowacki و Abrams (۱۹۹۷) به عنوان مبنا استفاده شد. با توجه به اینکه در پژوهش پیش‌رو، سری زمانی سالانه برای هر درخت موجود نبود، درصد تغییرات رشد (GC%)، با استفاده از میانگین پهنای حلقه‌های رویشی در ده سال پیش و ده سال پس از سال

در این معادله، GC% بیانگر درصد تغییرات رشد برای هر سال در داخل یک سری، M_1 میانگین رویش شعاعی در طول مدت انتخاب شده پیش از سال مدنظر (سال مدنظر را نیز در بر می گیرد) و M_2 نشان دهنده میانگین رویش شعاعی در طول زمان انتخاب شده پس از سال مدنظر است.

میانگین رشد ده ساله هستند و با اصلاح لازم، براساس معیارهای Nowacki و Abrams (۱۹۹۷) اعمال شدند (جدول ۱).

$$\text{رابطه (۲)} \quad GC\% = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100$$

جدول ۱- مقادیر آستانه برای طبقه بندی شدت افزایش (رهایی) رشد براساس درصد تغییرات رشد

Table 1. Threshold values for classifying growth release intensity based on Growth Change

Threshold value	Growth Change Percentage (GC%)
Moderate release	$GC \geq 10\%$
Major release	$GC \geq 25\%$

خلاصه شده است. میانگین حساسیت (Mean Sensitivity) ۰/۱۱ نشان دهنده تغییرپذیری متوسط پهنای حلقه های رویشی در طول سال ها در گاه شناسی منطقه ای است. باتوجه به اینکه حلقه های داخلی مغزی در برخی درختان، ناقص یا آسیب دیده بود و فقط سال های قابل اعتماد و تطابق پذیر برای ایجاد گاه شناسی در نظر گرفته شد، گاه شناسی منطقه ای از سال ۱۹۹۴ میلادی آغاز شده است.

نتایج

در جدول ۲، مشخصات رویشی نمونه های تهیه شده از درختان کاج بادامی ارائه شده است. پس از اندازه گیری حلقه های سالانه، منحنی های رشد دو نمونه از هر درخت، تطبیق داده شدند و میانگین پهنای حلقه ها برای کل ۲۰ درخت به صورت گاه شناسی منطقه ای محاسبه شد. ویژگی های گاه شناسی منطقه ای ارائه شده نیز در جدول ۲

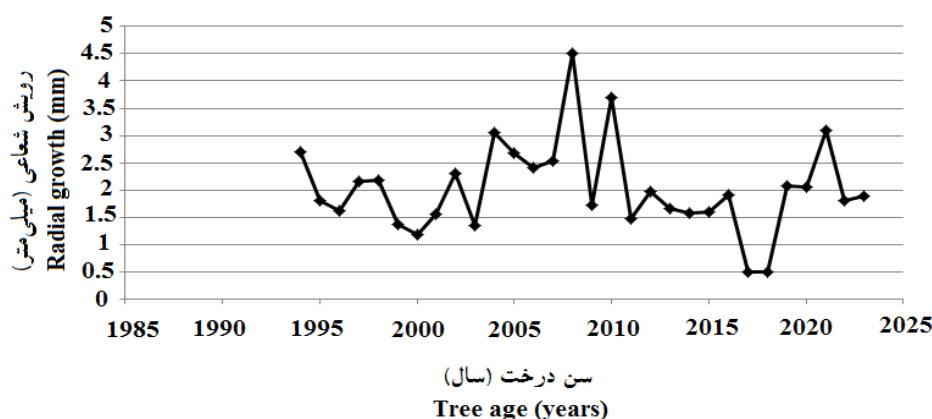
جدول ۲- ویژگی های گاه شناسی محاسبه شده

Table 2. Calculated chronology characteristics

Species	Chronology start year	Chronology end year	Mean sensitivity	Standard deviation	Number of trees
<i>Pinus pinea</i> L.	1994	2023	0.11	1.49	20

بیانگر افزایش نسبی رشد شعاعی پس از اجرای عملیات تنک کردن در سال ۱۳۸۴ است. هرچند نوسان های بین سالی در طول دوره مشاهده می شود. این روند، اثر مثبت تنک کردن بر رشد شعاعی درختان را تأیید می کند.

پس از فرایند تطابق زمانی و به دست آوردن منحنی رویش درختان در رویشگاه، این منحنی ها از نظر معیارهای آماری ارزیابی شدند. شکل ۳ تغییرات سری زمانی در میانگین پهنای حلقه های رویشی از نمونه های کاج بادامی را در دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ نشان می دهد. الگوی کلی نمودار



شکل ۳- سری زمانی میانگین پهنای حلقه‌های رویشی برای درختان کاج بادامی در دوره ۱۹۹۴–۲۰۲۳

Figure 3. Time series of mean tree-ring width in *Pinus pinea* L. (1994–2023)

تطابق کلی نمونه‌های به‌دست‌آمده از درختان در جدول ۳ ارائه شده است. به‌جز نمونه شماره ۴ که از نظر آماری معنی‌دار نبود، سایر نمونه‌ها در سطوح معنی‌داری ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد با گاه‌شناسی اصلی تطابق معنی‌دار داشتند. مقادیر GLK نمونه‌ها در دامنه ۶۰ تا ۱۰۰ درصد قرار داشت.

جدول ۳- مقادیر GLK بین گاه‌شناسی‌های فردی و گاه‌شناسی اصلی

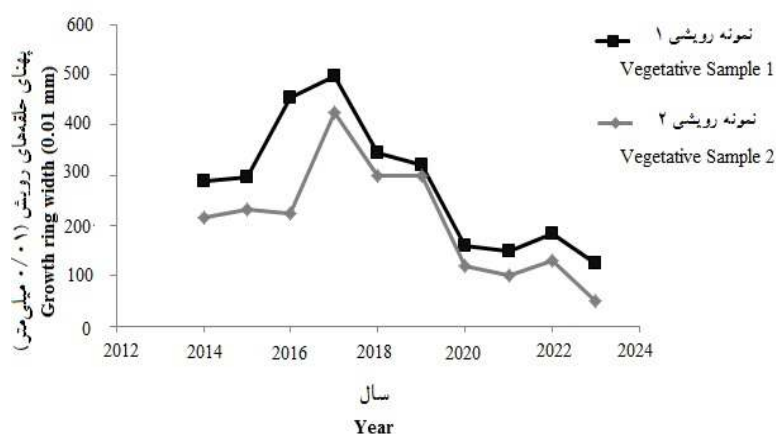
Table 3. GLK values between individual chronologies and the master chronology

Sample (vegetative)	Start year	End year	Chronology length	Mean radial growth ring width (mm)	GLK	GSL
1	2004		20	0.446	75	***
2	2003		21	0.169	93	***
3	2011		13	0.141	100	***
4	2007		17	0.335	60	—
5	2012		13	0.521	100	***
6	2009		15	0.258	100	***
7	2014		10	0.342	86	*
8	2013		11	0.493	100	***
9	1994		30	0.854	67	*
10	1995	2023	29	0.190	87	***
11	2004		20	0.204	89	***
12	2002		22	0.180	90	***
13	2006		18	0.126	94	***
14	2004		20	0.187	94	***
15	1998		26	0.352	100	***
16	2010		14	0.315	92	***
17	2011		13	0.308	91	**
18	2012		12	0.133	100	***
19	1998		26	0.178	81	***
20	1996		28	0.611	94	***

*, **, and *** indicate statistical significance at the 95%, 99%, and 99.9% confidence levels, respectively; “—” indicates a non-significant result.

آورده شده است. براین اساس، دو نمونه بر روی هم منطبق هستند و از الگوی رفتاری رویش به نسبت یکسانی پیروی می‌کنند.

در شکل ۴، توالی حلقه‌های رویشی درختان و منحنی‌های حاصل از اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های رویش، منحنی‌های رویش در دو جهت درخت با زاویه ۱۸۰ درجه



شکل ۴- منحنی رویش دو نمونه تطابق زمانی شده از یک درخت

Figure 4. Growth curves of two time-synchronized samples from the same tree

بررسی روند میانگین پهنای حلقه‌ها نشان داد که تنک کردن سبب افزایش معنی‌دار رشد شعاعی شده است. به‌طوری‌که میانگین رویش قطری کاج بادامی در دهه پس از تنک کردن حدود ۲۰/۱ درصد بیشتر از دهه پیش از آن به‌دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین رویش شعاعی کاج بادامی پیش و پس از تنک کردن در قسمت‌های تنک‌شده

Table 4. Comparison of mean radial growth of almond pine before and after thinning in thinned sections

Time period	Mean ring width (mm)	Standard deviation	Percentage change compared to pre-thinning
Ten years before thinning	2.34	0.18	-
Ten years after thinning	2.81	0.24	20.1% increase in growth

پس از تنک، مقدار افزایش بیشتر از ۱۱ درصد بود که در طبقه تغییر ناگهانی اصلی دسته‌بندی شد. این نتایج نشان می‌دهند که تنک کردن به واکنش رشدی سریع و پایدار در توده منجر شده است (جدول ۵).

براساس روش Nowacki و Abrams (۱۹۹۷) عملیات تنک کردن موجب افزایش‌های ناگهانی رشد در گاه‌شناسی رویشی کاج بادامی در رویشگاه زاغمرز شد. تغییر رشد در سال تنک کردن حدود ۳۰ درصد و در طبقه تغییر ناگهانی حدواسط قرار گرفت. همچنین، برای چهار تا هشت سال

جدول ۵- طبقه‌بندی افزایش‌های ناگهانی در رویش شعاعی کاج بادامی در توده تنک‌شده براساس روش Nowacki و Abrams (۱۹۹۷)

Table 5. Classification of sudden radial growth increases in almond pine in thinned stands according to the method of Nowacki & Abrams (1997)

Time period	Percentage change compared to the previous ten years	Change classification
Year of thinning	30%+__	Moderate sudden increase
1 to 4 years after thinning	Between +15% and +25%	Major sudden increase
5 to 8 years after thinning	Between +11% and +20%	Major sudden increase
After 8 years	Gradual decrease to ~10%	Outside sudden increase threshold

در جدول ۵، نتایج بررسی تفاوت رشد در دو جهت تنه نشان داد که الگوی سالانه پهنای حلقه‌ها در دو جهت، رفتاری مشابه داشتند. به‌طوری‌که تطابق زیادی بین منحنی‌های رویش مشاهده شد. با این حال، در ده سال پس از

تنک کردن، میانگین رویش شعاعی در سمت غرب حدود هشت درصد بیشتر از سمت شرق برآورد شد. این تفاوت فقط به‌صورت مقایسه‌ای گزارش شده است و می‌تواند تحت تأثیر عوامل محیطی و ساختاری مختلف باشد.

جدول ۶- مقایسه میانگین رویش شعاعی کاج بادامی در ده سال پیش و ده سال پس از تنک کردن

Table 6. Comparison of mean radial growth of almond pine ten years before and ten years after thinning

Sampling direction	Mean ring width (mm)	Difference compared to other direction (%)
West	2.78	8.3
East	2.65	-

بحث

عملیات تنک کردن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مداخلات مدیریتی در جنگل‌های کاج بادامی، نقش قابل‌توجهی در افزایش رشد شعاعی درختان ایفا می‌کند. این فرایند با کاهش تراکم و افزایش نور، آب و مواد غذایی برای درختان باقی‌مانده، امکان رشد شعاعی سریع‌تر و پایدارتر را فراهم می‌کند. اهمیت بررسی اثرات تنک کردن نه تنها در بهبود عملکرد درختان و افزایش تولید چوب، بلکه در ارتقای سلامت و پایداری بلندمدت رویشگاه‌های جنگلی مشهود است. بررسی دقیق تأثیر این عملیات می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای برنامه‌ریزی علمی و پایدار مدیریت جنگل‌های کاج بادامی ارائه دهد.

منحنی رویش دو نمونه تطابق زمانی شده از یک درخت نشان داد که دو نمودار بر روی هم منطبق هستند و از الگوی به‌نسبت یکسانی از نظر رفتار رویشی پیروی می‌کنند. همه تطابق زمانی‌ها برای نمونه‌های یک درخت، کیفیت مناسبی داشتند، اما در بعضی موارد به‌دلیل خرد شدن نمونه‌ها یا توخالی بودن درختان، طول نمونه برای این موضوع مناسب نبود. براساس نتایج به‌دست‌آمده، عملیات تنک کردن سبب افزایش حدود ۲۰ درصدی در میانگین رشد شعاعی کاج بادامی در ده سال پس از تنک کردن شده بود. این یافته‌ها، نشان‌دهنده اثر مثبت پرورش و کاهش رقابت برای نور و رطوبت است. در پژوهش‌های مختلف، واکنش مثبت رشد

شعاعی به کاهش تراکم در جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ گزارش شده است (Horner et al., 2010; Zhao et al., 2023). مشابه نتایج Taghipour (۲۰۱۴)، تنک کردن در توده‌های کاج بادامی به بهبود رشد شعاعی منجر شد و میزان تولید چوب را افزایش داد، بنابراین اجرای تنک‌های تکمیلی در فاصله‌های زمانی مناسب می‌تواند نقش مهمی در ارتقا عملکرد این جنگل‌کاری‌ها داشته باشد.

بررسی الگوی سالانه رشد با استفاده از روش Nowacki و Abrams (۱۹۹۷) نشان داد که در سال اجرای تنک کردن، افزایش ناگهانی حدواسطی در رشد شعاعی رخ داده است. این واکنش در فاصله چهار تا هشت سال پس از عملیات به‌صورت افزایش‌های ناگهانی اصلی تداوم یافته است. این الگو بیانگر آن است که تنک کردن با کاهش رقابت و ایجاد تغییر مثبت در ساختار تاج سبب آزادسازی سریع پتانسیل رشد درختان شده و اثر آن برای چندین سال پایدار مانده است. نتایج مذکور با یافته‌های پژوهش‌های انجام‌شده درباره سوزنی‌برگان دیگر مطابقت دارد که در آن‌ها، کاهش تراکم توده و بهبود دسترسی تاج‌ها به نور به‌عنوان عوامل مؤثر بر افزایش رشد شعاعی گزارش شده‌اند (Horner et al., 2010; Epishkov et al., 2022; Zhao et al., 2023). با توجه به حساسیت زیاد سوزنی‌برگان به رقابت نوری تاج، افزایش نفوذ نور پس از تنک کردن را می‌توان مهم‌ترین عامل توجیه‌کننده این واکنش دانست (Hou et al., 2014)، بنابراین تداوم اثر افزایشی رشد

طی چهار تا هشت سال پس از تنک کردن بیانگر پایداری قابل توجه اثر عملیات پرورشی در توده‌های کاج بادامی و ضرورت اجرای تنک‌های تکمیلی در توده‌های نیمه‌بالغ و بالغ برای حفظ روند مثبت رشد است.

نتایج بررسی جهت‌گیری نمونه‌برداری نشان داد که اگرچه روند تغییرات سالانه پهنای حلقه‌های رویشی در دو جهت شرقی و غربی تنه، الگوی مشابهی داشت، اما میانگین رشد شعاعی در سمت غرب حدود هشت درصد بیشتر از سمت شرق بود. این تفاوت را می‌توان به دریافت نور بیشتر در ساعات‌های بعدازظهر، کاهش سایه‌اندازی تاج‌ها پس از تنک کردن و تحریک فعالیت کامبیوم در بخش‌های نورگیر نسبت داد. این عوامل می‌توانند رشد قطری درختان را افزایش دهند (Hou *et al.*, 2014)، بنابراین به نظر می‌رسد که افزایش دسترسی به نور پس از کاهش رقابت تاجی، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد توده باشد. این نتایج با یافته‌های Taghipour (۲۰۱۴) در همین رویشگاه و نیز نتایج گزارش شده برای سوزنی‌برگان دیگر همخوانی دارد و نشان می‌دهد که تنک کردن می‌تواند با افزایش رشد قطری و تولید چوب به بهبود پایداری توده‌های کاج بادامی کمک کند (Epishkov *et al.*, 2022). باتوجه به تداوم چندساله افزایش رشد پس از تنک کردن، اجرای تنک‌های تکمیلی در فاصله‌های زمانی مناسب به منظور حفظ اثر مثبت کاهش تراکم می‌تواند در دستور کار مدیریت پرورشی این جنگل‌کاری‌ها قرار گیرد.

به صورت کلی، نتایج پیش‌رو، اهمیت اجرای عملیات پرورشی مناسب در جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ را تأیید می‌کند. به‌ویژه در رویشگاه‌های شمال کشور که رقابت تاجی و سایه‌اندازی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد محسوب می‌شوند. گاه‌شناسی کاج بادامی از همگنی مناسبی برخوردار است و می‌تواند برای پایش تغییرات محیطی و مدیریت رویشی استفاده شود. همچنین، عملیات تنک کردن به‌طور قابل توجهی رشد شعاعی را افزایش داد و واکنش رشدی سریع و پایدار ایجاد کرد. به‌علاوه تفاوت‌های جزئی رشد در جهت‌های مختلف تنه نشان‌دهنده تأثیر عوامل خرداقلیم و

اهمیت برنامه‌ریزی دقیق در مدیریت رویشی است. باتوجه به نیاز روزافزون کشور به چوب و تأکید پژوهش‌های پیشین بر ضرورت مدیریت تراکم در توده‌های دست‌کاشت به منظور افزایش بازده تولید چوب می‌توان پیشنهاد کرد که تنک‌های تکمیلی در فاصله‌های زمانی مناسب در جنگل‌کاری‌های کاج بادامی مدنظر قرار گیرد تا پایداری و تولید چوب این توده‌ها تضمین شود. براساس نتایج این پژوهش، عملیات تنک کردن سبب افزایش معنی‌دار و به نسبت پایدار رویش شعاعی در دوره زمانی مورد بررسی شد. از آنجا که بازه زمانی تنک کردن در این پژوهش حدود ۱۰ تا ۱۲ سال بود، می‌توان این فاصله را به عنوان یک بازه مدیریتی پیشنهادی برای شرایط بوم‌شناختی منطقه مورد مطالعه مشروط بر رعایت تراکم بهینه توده در نظر گرفت. با این حال، اثربخشی فاصله‌های زمانی کوتاه‌تر یا بلندتر برای تنک کردن در چارچوب این پژوهش ارزیابی نشده است و بررسی آن‌ها نیازمند پژوهش‌های تکمیلی با طراحی آزمایشی متفاوت است. باتوجه به تفاوت رشد بین جهت‌های مختلف تنه توصیه می‌شود که هنگام طراحی عملیات تنک کردن، الگوهای خرداقلیم مانند تابش و باد مدنظر قرار گیرد تا اثرات رشد بهینه شود. استفاده از گاه‌شناسی رشد به عنوان ابزاری کارآمد برای پایش پاسخ درختان به تیمارهای پرورشی و تغییرات محیطی می‌تواند در بهبود پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و مدیریت پایدار جنگل مؤثر باشد.

از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به تمرکز بر شاخص‌های گاه‌شناسی درختی و عدم بررسی هم‌زمان متغیرهای کلاسیک جنگل‌شناسی و جنگل‌سنجی مانند قطر برابر سینه، ارتفاع کل، ساختار سنی و حجم توده اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، داده‌های گاه‌شناسی درختی و جنگل‌سنجی به صورت تلفیقی به کار گرفته شوند تا اثر شدت و زمان‌بندی عملیات تنک کردن بر رشد، ساختار، بهره‌وری چوب و پایداری توده‌های دست‌کاشت در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌طور جامع‌تر و دقیق‌تری ارزیابی شود. همچنین، انجام پژوهش در دوره‌های زمانی

کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه به منظور تأمین مالی طرح پژوهشی با کد ۰۴-۱۴۰۲-۰۵ تشکر و قدردانی می‌شود.

طولانی‌تر و با تعداد نمونه‌های بیشتر می‌تواند به شناخت بهتر پویایی رشد و تدوین دستورالعمل‌های مدیریتی دقیق‌تر برای جنگل‌کاری‌های کاج بادامی در شمال ایران کمک کند.

سپاسگزاری

پژوهش پیش‌رو با حمایت مالی دانشگاه علوم

References

- Abedini, R., Pourtahmasi, K., Ghazanfari, H. and Karimi, A.N., 2010. Effect of severe lopping on radial growth of Lebanon oak (*Quercus libani* Oliv.) trees in Baneh adjacent forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18(4): 556-568 (In Persian with English summary).
- Amini, J. and Sadeghi, Y., 2013. Optical and radar satellite imagery in modeling forest biomass in northern Iran. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 4(4): 69-82 (In Persian).
- Ampoorter, E., Barbaro, L., Jactel, H., Baeten, L., Boberg, J., Carnol, M., Castagneyrol, B., Charbonnier, Y., Dawud, S.M., Deconchat, M., De Smedt, P., De Wandeler, H., Guyot, V., Hättenschwiler, S., Joly, F., Koricheva, J., Milligan, H., Muys, B., Nguyen, D., ... and Allan, E., 2020. Tree diversity is key for promoting the diversity and abundance of forest-associated taxa in Europe. Oikos, 129(2): 133-146. <https://doi.org/10.1111/oik.06290>
- Eckstein, D. and Bauch, J., 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 88: 230-250. <https://doi.org/10.1007/BF02741777>
- Epishkov, A.A., Lipatkin, V.A., Frolova, V.A., Sidorenkov, V.M., Stonozhenko, L.V., Vorobieva, N.S. and Rumyantsev, D.E., 2022. Radial growth dynamics in Scots pine forests of the Yalutorovsky forest district of Tyumen region. Ecology, Environment and Conservation, 28(3): 1252-1261. <https://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i03.023>
- Fallah, A., Nadi, M., Imani, M. and Hamidi, S.K., 2023. Reconstruction of precipitation using the chronology of juniper trees (*Juniperus polycarpus*) in North Khorasan Province, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 31(1): 1-13 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2023.361515.2089>
- Gorji Bahri, Y., Faraji, R., Kiadaliri, S., Abbasi, A. and Gharib, B., 2009. The effect of thinning on growth and wood production of Caucasian alder (*Alnus subcordata*) plantation in Nowshahr region. Iranian Journal of Forest, 1(1): 43-55 (In Persian with English summary).
- Hirsch, A., Chhin, S., Zhang, J. and Premier, M., 2023. Effects of thinning and climate on stem radial fluctuations of *Pinus ponderosa* and *Pinus lambertiana* in the Sierra Nevada. Journal of Forest and Environmental Science, 39(2): 81-95.
- Horner, G.J., Baker, P.J., Mac Nally, R., Cunningham, S.C., Thomson, J.R. and Hamilton, F., 2010. Forest structure, habitat and carbon benefits from thinning floodplain forests: Managing early stand density makes a difference. Forest Ecology and Management, 259(3): 286-293. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.015>
- Hou, C., Wei, Z.G. and Zhang, L.J., 2014. Effects of different thinning intensity on seed production stands of *Pinus koraiensis* in Mengjiagang Forest Farm. Chinese Forestry Science and Technology, 20(1): 41-46.
- Khorrami, R., Nazifi, M. and Alipour Nakhi, A., 2021. A guide to downloading Sentinel-2 satellite imagery and its applications in natural resources. Journal of Conservation and Utilization of Hyrcanian Forests, 3(1): 51-58 (In Persian).
- Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Singh Sidhu, G.P., Bali, A.S., Bhardwaj, R., Thukral, A.K. and Cerdà, A., 2019. Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. Chemosphere, 216: 449-462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.066>
- Larocque, G.R., 2024. Ecological Forest Management Handbook, 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton, 584p.
- Larson, P.R., 1994. The Vascular Cambium: Development and Structure. Springer, Berlin, Heidelberg, 725p.
- Liu, X., Frey, J., Munteanu, C., Still, N. and Koch, B., 2023. Mapping tree species diversity in temperate montane forests using Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery and topography data. Remote Sensing of Environment, 292: 113576.

- <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113576>
- Najafi-Harsini, F., Oladi, R., Pourtahmasi, K., Souto-Herrero, M. and García-González, I., 2022. Using tree-ring width and earlywood vessel features to study the decline of *Quercus brantii* Lindl in Zagros forests of Iran. *European Journal of Forest Research*, 141(3): 379-393. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01450-y>
 - Nazariani, N., Fallah, A., Ramezani Moziraji, H., Naghavi, H. and Jalilvand, H., 2019. Explanation of spatial pattern of Iranian oak species (*Quercus persica* J. & Sp.) in Zagros vegetative zone using O-ring statistic. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 26(3): 83-96 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22069/jwfst.2019.16694.1812>
 - Nowacki, G.J. and Abrams, M.D., 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstruction disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs*, 67(2): 225-249. <https://doi.org/10.2307/2963514>
 - Rampheri, M., Dube, T. and Dhau, I., 2022. Use of remotely sensed data to estimate tree species diversity as an indicator of biodiversity in Blouberg Nature Reserve, South Africa. *Geocarto International*, 37(2): 526-542. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1723717>
 - Sagheb-Talebi, Kh., 1999. Site demands and life habitat of maple "*Acer velutinum* Boiss." in northern forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2(1): 79-150 (In Persian with English summary). <https://doi.org/10.22092/ijfpr.1999.109766>
 - Scheuber, M. and Köhl, M., 2003. Assessment of non-wood-goods and services by cluster sampling: 157-171. In: Corona, P., Köhl M. and Marchetti, M. (Eds.). *Advances in Forest Inventory for Sustainable Forest Management and Biodiversity Monitoring*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0649-0_13
 - Taghipour, F., 2014. Study of the effects of thinning on radial growth of stone pine (*Pinus pinea* L.) and evaluation of selected soil properties: A case study in the Zaghmarz plantation, Mazandaran Province. M.Sc. thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, 92p (In Persian with English summary).
 - Tavankar, F., Picchio, R., Nikooy, M., Marian, B. K., Venanzi, R. and Lo Monaco, A., 2025. Impact of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation management on biomass, carbon sequestration rates and storage. *Sustainability*, 17(3): 888. <https://doi.org/10.3390/su17030888>
 - Wessel, M., Brandmeier, M. and Tiede, D., 2018. Evaluation of different machine learning algorithms for scalable classification of tree types and tree species based on Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 10(9): 1419. <https://doi.org/10.3390/rs10091419>
 - Zhao, X., Mang, S., Quan, W. and Ding, G., 2023. Growth response of trees with different growth statuses to pruning on a *Pinus massoniana* Lamb. plantation. *Forests*, 14(4): 668. <https://doi.org/10.3390/f14040668>
 - Zheng, G., Chen, J.M., Tian, Q.J., Ju, W.M. and Xia, X.Q., 2007. Combining remote sensing imagery and forest age inventory for biomass mapping. *Journal of Environmental Management*, 85(3): 616-623. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.07.015>