

(OPEN ACCESS)

Radial Growth Assessment of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) and Identification of Pointer Years

Firoozeh Hatami^{*1}, Yaghoub Iranmanesh², Kambiz Pourtahmasi³,
Mehdi Pourhashemi⁴, Erfan Motamedi⁵

1. Corresponding Author, Researcher, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: firoozehhatami3@gmail.com
2. Associate Prof., Forests and Rangelands Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Isfahan, Iran. E-mail: -----
3. Professor, Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: -----
4. Professor, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: -----
5. Ph.D. Student of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: -----

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.16.2026
Revised: -----
Accepted: 05.01.2026

Keywords:
Annual growth,
Chaharmahal and Bakhtiari,
Cropper method,
Increment borer,
Pointer years

ABSTRACT

Background and Objectives: Radial growth of trees, recorded in the form of annual rings, is a key indicator for assessing forest dynamics and their responses to environmental and management conditions. Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.), the dominant species of the Zagros forests, has experienced considerable growth changes due to human pressures and climatic stresses. However, comprehensive information on mean radial growth across different sites and regional scales is limited. This study was conducted to estimate the mean radial growth and evaluate the growth patterns of this species in different forest stands of Chaharmahal and Bakhtiari Province, in order to improve understanding of growth dynamics and identification of pointer years.

Materials and Methods: Sampling was carried out on trees older than middle-aged (almost 50 years) in four selected habitats (Tang-e Zendan, Abzalo, Forest Park, and Ghale Madreseh) representing natural forest conditions in the region. From each tree, two perpendicular cores were extracted with increment borer. After preparation with progressively finer sandpaper to clearly distinguish annual rings, ring widths were measured using a LINTAB table. The accuracy of cross-dated time series (growth curves) was verified using TSAP software and the COFECHA program. Mean growth of any trees, sites and finally this area calculated. Given the greater concentration of growth fluctuations during the past two centuries, positive and negative pointer years were identified for each site and the entire region using the Cropper method.

Results: The results showed that growth patterns were similar across all sites, with growth periods of 167 to 313 years. Trees in Tange Zendan and Forest Park exhibited the lowest and highest mean radial growth, with

averages growth rate of 0.75 and 1.5 mm, respectively. In terms of age structure, Ghale Madreseh and Abzalo had the oldest and youngest trees, respectively. Analysis of the overall growth curve indicated that the minimum and maximum annual ring widths were 0.31 mm and 2.2 mm, respectively. Considering the greater number of samples after 1880, analysis of growth trends over the past two centuries revealed that maximum and minimum mean growth occurred in 1992 and 2018, reaching 1.85 mm and 0.48 mm, respectively. Pointer year analysis using the Cropper method showed a predominance of negative pointer years across all sites. Regionally synchronous years observed in more than three sites included nine positive years (1924, 1943, 1946, 1957, 1992, 2013, 2016, 2019, 2020) and seven negative years (1901, 1937, 1960, 1964, 1984, 2009, 2018).

Conclusion: This study aimed to estimate the mean radial growth of *Q. brantii*, a key species of the Zagros forests, which was found to be approximately 1 mm for 170-year-old trees. Growth curves indicated that site dynamics generally follow a regional growth pattern, however, local differences in age structure and environmental conditions influenced ring width variability. Younger sites exhibited faster growth, whereas older stands reflected greater long-term ecosystem stability. The 313-year growth chronology of Brant' oak in Chaharmahal and Bakhtiari showed a typical pattern of rapid growth in youth, a peak during maturity, and a gradual decline in older ages. Pointer year analysis over the past two centuries demonstrated synchronous regional growth fluctuations, and the predominance of negative years suggests high sensitivity of this species to drought and extreme warming events, potentially threatening the long-term sustainability of Zagros forests.

Cite this article: Hatami, Firoozeh, Iranmanesh, Yaghoub, Pourtahmasi, Kambiz, Pourhashemi, Mehdi, Motamedi, Erfan. 2026. Radial Growth Assessment of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) and Identification of Pointer Years. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 33 (1), 51-69.



© The Author(s).

DOI:

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی رویش شعاعی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) و تعیین سال‌های نمادین آن

فیروزه حاتمی^{۱*}، یعقوب ایران‌منش^۲، کامبیز پورطهماسی^۳، مهدی پورهاشمی^۴، عرفان معتمدی^۵

۱. نویسنده مسئول، پژوهشگر، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: firoozehatami3@gmail.com
۲. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: -----
۳. استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: -----
۴. استاد پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: -----
۵. دانشجوی دکتری علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: -----

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: رویش شعاعی درختان که در قالب حلقه‌های سالانه ثبت می‌شود، شاخص کلیدی برای ارزیابی پویایی جنگل‌ها و واکنش آن‌ها به شرایط محیطی و مدیریتی است. بلوط ایرانی (<i>Quercus brantii</i> Lindl.)، به‌عنوان گونه شاخص جنگل‌های زاگرس، تحت تأثیر فشارهای انسانی و تنش‌های اقلیمی با تغییرات قابل توجه رشد مواجه است و متأسفانه اطلاعات جامعی از میانگین رویش شعاعی آن در سطوح مختلف رویشگاهی و منطقه‌ای وجود ندارد. این پژوهش به منظور برآورد میانگین رویش شعاعی و بررسی الگوی رشد این گونه در رویشگاه‌های مختلف استان چهارمحال و بختیاری انجام شد تا به شناسایی بهتر الگوی رشد، سال‌های نمادین این گونه در زاگرس و تکمیل داده‌های پیشین کمک کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷ تاریخ ویرایش: ----- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۱	
واژه‌های کلیدی: چهارمحال و بختیاری، روش کروپر، رویش سالانه، سال‌های نمادین، مته سال‌سنج	مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری از درختان با سن بیش از میانسال (حدود ۵۰ سال) در چهار رویشگاه منتخب تنگ زندان و آب‌زالو به‌عنوان رویشگاه الگو و پارک جنگلی و قلعه‌مدرسه به‌عنوان رویشگاه دخالت‌شده انجام شد تا نماینده شرایط طبیعی جنگل‌های این منطقه باشند. از هر درخت، دو نمونه مغزی با مته سال‌سنج استخراج شد و نمونه‌ها پس از آماده‌سازی با درجات مختلف سمباده برای تفکیک حلقه‌های رویشی، توسط میز Lintab6 اندازه‌گیری شدند و سری زمانی رویش آن‌ها به‌دست آمد. صحت تطابق سری‌های زمانی که بیانگر منحنی‌های رویش درختان بود، توسط نرم‌افزار TSAP و برنامه COFECHA ارزیابی شد تا میانگین

رویش درختان، رویشگاه و درنهایت کل منطقه مورد مطالعه به دست آید. با توجه به تمرکز بیش تر نوسانات رشد در دو سده اخیر، در این پژوهش سال‌های نمادین مثبت و منفی توسط روش کروپر (Cropper) برای هر رویشگاه و درنهایت کل منطقه محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد الگوی رشد درختان در تمام رویشگاه‌ها مشابه بوده و طول دوره رویشی آن‌ها بین ۱۶۷ تا ۳۱۳ سال متغیر است. درختان رویشگاه‌های تنگ زندان و پارک جنگلی با متوسط میانگین رویش ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی‌متر به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار رویش را نشان دادند. از نظر سن، رویشگاه‌های قلعه‌مدرسه و آب‌زالو دارای مسن‌ترین و جوان‌ترین درختان بودند. بررسی منحنی رویش کلیه درختان نشان داد که پهنای حداقل و حداکثر منحنی میانگین رویش سالانه ۰/۳۱ و ۲/۲ میلی‌متر است. با توجه به تعداد بیش‌تر نمونه‌ها پس از سال ۱۸۸۰ میلادی، تحلیل منحنی رویش رویشگاه‌های مورد مطالعه در دو سده اخیر نشان داد که بیشینه و کمینه میانگین رشد درختان به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۱۸ میلادی به مقادیر ۱/۸۵ و ۰/۴۸ میلی‌متر رسیده است. علاوه بر این، تحلیل سال‌های نمادین در همه رویشگاه‌ها با روش کروپر نشان داد که سال‌های نمادین منفی غالب بوده و سال‌های مشترک منطقه‌ای که در بیش از سه رویشگاه هم‌زمان مشاهده می‌شد، شامل ۹ سال مثبت (۱۹۲۴، ۱۹۴۳، ۱۹۴۶، ۱۹۵۷، ۱۹۹۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰) و ۷ سال منفی (۱۹۰۱، ۱۹۳۷، ۱۹۶۰، ۱۹۶۴، ۱۹۸۴، ۲۰۰۹، ۲۰۱۸) بودند.

نتیجه‌گیری: هدف پژوهش، برآورد میانگین رویش شعاعی بلوط ایرانی، گونه کلیدی جنگل‌های زاگرس بود که برای درختان با میانگین سنی ۱۷۰ سال یک میلی‌متر به دست آمد. منحنی‌های رویش نشان داد که پویایی رشد در تمام رویشگاه‌ها از الگوی منطقه‌ای تبعیت می‌کند، اما تفاوت‌های محلی در سن و شرایط محیطی موجب تغییر پهنای حلقه‌ها شده و توده‌های جوان‌تر رشد سریع‌تر و توده‌های مسن‌تر پایداری بلندمدت اکوسیستم را نشان می‌دهند. منحنی رویش ۳۱۳ ساله بلوط ایرانی در چهارمحال و بختیاری نشان داد که الگوی رشد شامل افزایش سریع در جوانی، اوج در بلوغ و کاهش تدریجی در سنین بالاتر است که در زاگرس با وجود درختان شاخه‌زاد کم‌تر این روند دیده می‌شود. بررسی سال‌های نمادین طی دو سده اخیر که دارای بیش‌ترین تعداد نمونه‌های رویشی بودند، نشان داد که نوسانات رشد هم‌زمان و منطقه‌ای بوده و غلبه سال‌های منفی بر مثبت بیانگر حساسیت گونه به خشکسالی و گرمایش‌های شدید است که می‌تواند پایداری بلندمدت جنگل‌های زاگرس را تهدید کند.

استناد: حاتمی، فیروزه، ایران‌منش، یعقوب، پورطهماسی، کامبیز، پورهاشمی، مهدی، معتمدی، عرفان (۱۴۰۵). ارزیابی رویش شعاعی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) و تعیین سال‌های نمادین آن. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۳ (۱)، ۶۹-۵۱.

DOI:



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

رویش درختان جنگلی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی در ارزیابی وضعیت اکولوژیکی، پویایی توده‌های جنگلی و واکنش آن‌ها به شرایط محیطی محسوب می‌شود. در این میان، رویش شعاعی که به صورت حلقه‌های سالانه در مقطع عرضی تنه درختان ثبت می‌شود، ابزاری دقیق برای مطالعه روندهای زمانی رشد و بررسی تأثیر عوامل اقلیمی، محیطی و مدیریتی بر رشد آنها است (۱، ۲). تغییرات پهنای حلقه‌های رویشی بازتابی از شرایط فیزیولوژیک درخت، دسترسی به منابع و شدت تنش‌های محیطی در طول حیات درخت است که در مراحل اولیه رشد به دلیل توان متابولیکی زیاد و رقابت کم‌تر، رشد شعاعی بیش‌تری را داشته و با افزایش سن، پیری فیزیولوژیک، رقابت درون‌توده‌ای و محدودیت‌های محیطی پهنای حلقه‌ها کاهش می‌یابد (۳). این در حالی است که رویش در گونه‌ها و رویشگاه‌های مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد، ولی اطلاع از تغییرات و مقدار آن برای تصمیمات مدیریتی در جنگل‌ها بسیار ارزشمند است.

ناحیه رویشی زاگرس، یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های طبیعی در غرب ایران است که با مساحتی بالغ بر پنج میلیون هکتار در یازده استان غربی و جنوبی کشور پراکنش داشته و در امتداد سلسله جبال زاگرس به صورت نواری پیوسته گسترده شده است. این جنگل‌ها از منطقه پردانان (قبرحسین) شهرستان پیرانشهر (استان آذربایجان غربی) آغاز شده و با امتداد به سمت جنوب، در استان‌های کردستان، همدان، کرمانشاه، لرستان، اصفهان، ایلام، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و خوزستان ادامه دارند و حدود ۴۲ درصد جنگل‌های ایران را شامل می‌شوند (۴، ۵). بیش از ۹۳ درصد این جنگل‌ها دارای فرم پرورشی شاخه‌زاد با ساختار توده‌های جوان

و ارتفاع کم‌تر از ۵ متر هستند که توده‌های جنگلی دانه‌زاد آن بیش‌تر کهنسال و فرتوت بوده و در معرض خطر پوسیدگی و بادافتادگی قرار دارند. از شمال به جنوب زاگرس از میزان رطوبت و سردی هوا در این رویشگاه‌ها کاسته شده و بر میزان خشکی و گرمای هوا افزوده می‌شود. این جنگل‌ها که گونه غالب درختی آن‌ها بلوط است، نقش کلیدی در تعادل اکولوژیکی، حفاظت از خاک و آب و تأمین معیشت جوامع محلی داشته و پیشینه‌ای حدود ۵۵۰۰ سال دارند.

از نظر خاستگاه اکولوژیکی نیز، ناحیه جنگلی زاگرس به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود، زاگرس شمالی که عمدتاً رویشگاه بلوط مازودار (*Quercus infectoria Oliv.*) است، در بخش‌هایی از آن با وی‌ول (*Q. libani Oliv.*) و بلوط ایرانی (*Q. brantii Lindl.*) نیز آمیخته شده و زاگرس جنوبی رویشگاه اختصاصی بلوط ایرانی است. بلوط ایرانی به عنوان گونه غالب جنگل‌های زاگرس، با پوشش سطحی ۳/۵ میلیون هکتار، نقش اساسی در پایداری اکولوژیک، حفاظت از خاک، تنظیم چرخه آب و تأمین معیشت جوامع محلی ایفا می‌کند. جنگل‌های زاگرس از نظر ساختار، با جنگل‌های طبیعی دست‌نخورده تفاوت چشمگیری دارند، به گونه‌ای که بیش از ۶۰ درصد آن‌ها دارای انبوهی تاج‌پوشش کم‌تر از ۲۵ درصد هستند (۶). این ساختار باز و پراکنش نامنظم توده‌ها، در کنار شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه، بر الگوهای رشد درختان بلوط تأثیر داشته و شناخت ویژگی‌های رویشی این گونه را برای درک پویایی اکوسیستم و پایداری بلندمدت جنگل‌های زاگرس ضروری می‌سازد.

بلوط ایرانی گونه‌ای خزان‌کننده و مقاوم به خشکی است که سازگاری زیادی با شرایط اقلیمی زاگرس دارد، با این حال رشد آن به شدت تحت تأثیر نوسانات

همکاران در دو پژوهش جداگانه نشان دادند که رویش قطری سالانه با پوست بلوط ایرانی در درختان دانه‌زاد منطقه قلعه‌مدرسه استان چهارمحال و بختیاری به ترتیب ۳/۱۱ (۱۴) و ۵/۶ میلی‌متر (۱۵) است. فلاح و حیدری (۲۰۱۸) رویش قطری درختان بلوط ایرانی استان ایلام را در یک دوره ۲۹ ساله، ۲/۴۴ میلی‌متر (۱۶) و مطهرفرد و همکاران (۲۰۲۵) متوسط رویش شعاعی این درختان با میانگین سنی ۷۴ سال در این استان را، ۱/۷ میلی‌متر (۱۷) گزارش کردند. در مطالعه دیگری، متوسط رویش شعاعی درختان بلوط ایرانی ۳۸ ساله استان خوزستان در فرم‌های رویشی تک‌پایه و جست‌گروه رویشگاه‌های خالص و آمیخته، به ترتیب ۱/۸۴ و ۲ میلی‌متر برآورد شد (۱۸). این مطالعات نشان می‌دهند که رویش شعاعی بلوط ایرانی به سن، وضعیت سلامت و شرایط اکولوژیک وابسته است و حلقه‌های سالانه ابزاری معتبر برای ارزیابی پویایی رشد این گونه محسوب می‌شوند.

با وجود اهمیت اکولوژیک بلوط ایرانی و کاربرد گسترده تحلیل حلقه‌های سالانه در مطالعات جنگلی، پژوهش‌های مربوط به میانگین رویش شعاعی این گونه در جنگل‌های زاگرس محدود است و برآورد منطقه‌ای از رشد سالانه آن ارائه نشده است. در مطالعات متعدد انجام‌شده، نتایج مختلفی در مورد رویش این گونه ارائه شده، ولی داده‌ای که بیانگر متوسط رویش سالانه این گونه در زاگرس باشد، ارائه نشده است. از این رو، پژوهش پیش‌رو با هدف برآورد رویش شعاعی این گونه در استان چهارمحال و بختیاری و تعیین سال‌های نمادین مثبت و منفی آن، به‌عنوان یکی از استان‌های شاخص زاگرسی با تنوع قابل‌توجه رویشگاه‌های بلوط ایرانی و در راستای تکمیل مطالعات پیشین، انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند ضمن ارتقای دانش اکولوژیکی درباره پویایی رشد بلوط ایرانی، مبنای علمی برای برنامه‌ریزی

اقلیمی، تنش‌های رطوبتی، ساختار توده و مداخلات انسانی نیز قرار دارد. این گونه با رشد کند تا متوسط و طول عمر زیاد، در شرایط طبیعی قادر است به سن بیش از ۳۰۰ سال برسد، اما چرای مفرط دام، بهره‌برداری سنتی، قطع شاخه‌ها، آتش‌سوزی و تداوم خشکسالی‌های شدید موجب اختلال در ساختار سنی توده‌ها، کاهش زادآوری بذری و ساختار متفاوت رویشی این گونه شده است (۷، ۸). بلوط ایرانی عمدتاً در ارتفاعات ۸۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا، با بارندگی سالانه حدود ۴۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر و خاک‌های کم‌عمق و سنگلاخی رشد می‌کند و رشد قطری و ارتفاعی آن به‌طور محسوسی به شرایط رطوبتی و ویژگی‌های اکولوژیک رویشگاه وابسته است (۹).

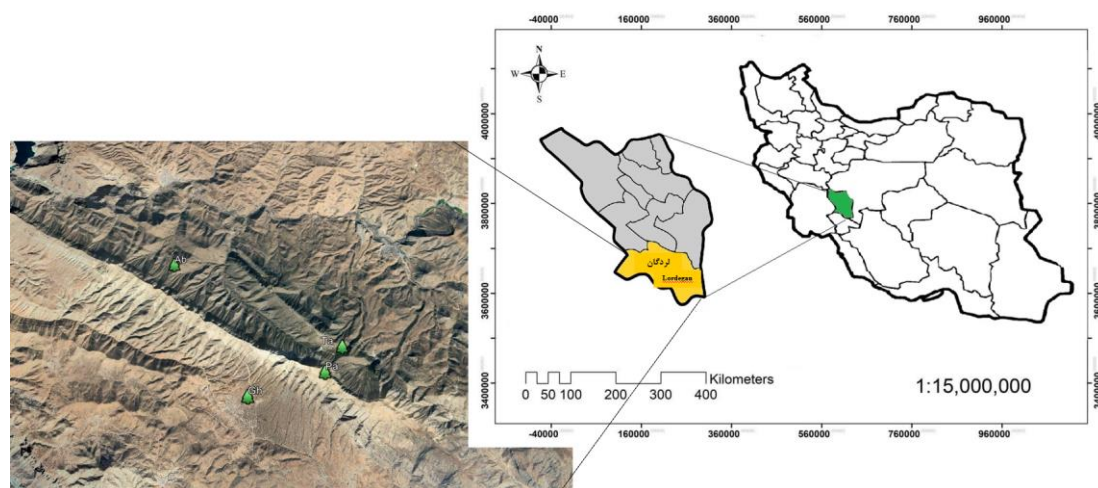
مطالعات گاه‌شناسی انجام‌شده در مورد گونه‌های مختلف بلوط نشان می‌دهد که اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های سالانه ابزار معتبری برای ارزیابی رویش درختان و واکنش آن‌ها به عوامل محیطی است (۱۰). در پژوهشی در مورد *Q. suber* در پرتغال، میانگین رویش شعاعی سالانه حدود ۳/۹ میلی‌متر و در ۳۰ سال نخست ۴/۲ میلی‌متر گزارش شد (۱۱). مطالعه گاه‌شناسی *Q. robur* در کشور لهستان، میانگین رویش شعاعی آن را ۳/۵۶ میلی‌متر با دامنه تغییرات ۲/۱۰ تا ۵/۴۳ میلی‌متر گزارش نمود (۱۲). نتایج پژوهش انجام‌شده در مورد *Q. rotundifolia*، نیز پهنای حلقه‌های این گونه را در سال‌های اولیه رشد بین ۱/۹ تا ۲/۷ میلی‌متر برآورد کرد (۱۳) که با افزایش سن کاهش یافته و نشان‌دهنده روند طبیعی رشد شعاعی آن بود. در ایران، نیز نتایج مطالعات انجام‌شده بیانگر آن است که رویش درختان بلوط ایرانی در مناطق مختلف زاگرس متغیر بوده و به‌شدت تحت تأثیر شرایط اکولوژیک و وضعیت سلامت درختان قرار دارد. در همین راستا، جهانبازی و

برای جامعیت بهتر تحلیل‌ها و بر اساس جنگل‌پیمایی‌های اولیه، نظرات کارشناسی و موقعیت جنگل‌های منطقه و با در نظر گرفتن این‌که بیش‌ترین سطح جنگل‌های استان (۱۵۰ هزار هکتار) در شهرستان لردگان واقع شده، برداشت نمونه از چهار رویشگاه این شهرستان شامل دو رویشگاه الگو از مناطق جنگلی استان (آب‌زالو و تنگ زندان)، یک پارک جنگلی و تفرجگاهی در منطقه چهارطاق (که از این به بعد پارک جنگلی نامیده می‌شود) و یک رویشگاه دخالت‌شده به نام قلعه‌مدرسه انجام شد (شکل ۱). انتخاب رویشگاه‌های موردنظر به این دلیل بود که تنوعی از شرایط رویشگاهی، مورد مطالعه قرار گیرد و میانگین رویش بیانگر کل منطقه باشد. منطقه لردگان با دارا بودن اقلیم نیمه مرطوب معتدل و زمستان‌های نیمه سرد دارای میانگین دما و بارش سالانه ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد و ۵۶۷ میلی‌متر است (۲۰).

مدیریت پایدار، حفاظت و احیای جنگل‌های زاگرس را فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: برای این پژوهش، استان چهارمحال و بختیاری انتخاب شد، زیرا در جنگل‌پیمایی‌های اولیه مشخص شد که درختان بلوط ایرانی در اکثر رویشگاه‌های این استان سنی بیش از ۵۰ سال دارند که برای پژوهش پیش‌رو مطلوب بود. این استان که با مساحتی حدود ۱۶۳۶۴ کیلومترمربع در میان رشته‌کوه‌های زاگرس و جلگه اصفهان واقع شده، با دارا بودن شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک از جمله بخش‌های کوهستانی فلات ایران محسوب می‌شود که بالغ بر ۳۰۷ هزار هکتار پوشش جنگلی دارد. جنگل‌های این استان دارای تیپ غالب بلوط ایرانی و فرم رویشی شاخه‌زاد هستند که در برخی نقاط با بانه و بادام نیز تشکیل تیپ می‌دهند. خنجوک، کیکم، زالزالک، نارون، داغداغان، محلب، گلایی وحشی، شن، زبان‌گنجشک و گونه‌های مختلف بادام از دیگر گونه‌های جنگلی این استان به شمار می‌روند (۱۹).



شکل ۱- استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان لردگان و رویشگاه‌های مورد مطالعه (با رنگ سبز) در تصویر گوگل‌ارت.

Figure 1. Chaharmahal and Bakhtiari Province, Lordegan country and the study areas (with green color) in the Google Earth image.

نمونه قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه مغزی‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن، آماده‌سازی شدند. برای این کار، پس از خارج کردن هر نمونه از محفظه پلاستیکی، روی نگهدارنده چوبی با در نظر گرفتن راستای طولی الیاف تثبیت شده و سطح رویی آن‌ها با درجات مختلف سمباده (۲۰۰-۱۲۰۰) از شماره درشت به ظریف، با دقت آماده شد تا امکان تفکیک حلقه‌های رویشی آن فراهم شود (شکل ۲).

برداشت نمونه: با توجه به هدف پژوهش، حداقل ۱۱ درخت در هر رویشگاه انتخاب شد. درختان نمونه سالم و تک‌تنه بوده و حداقل قطر آنها در طبقه میان‌قطر (قطر بین ۵۰-۳۰ سانتی‌متر) قرار داشت. پس از انتخاب درختان، توسط مته سال‌سنج، از ارتفاع برابر سینه هر درخت، دو نمونه مغزی (Core) ترجیحاً عمود برهم که شامل مغز و پوست درخت بود، استخراج شد. محل نمونه‌برداری در درختان توسط چسب پیوند به‌طور کامل پوشش داده شد. نمونه‌ها پس از تهیه و کدگذاری در عرصه داخل نگهدارنده



شکل ۲- الف و ب) مراحل تهیه نمونه از درختان بلوط ایرانی، ج و د) آماده‌سازی نمونه‌های مورد مطالعه.

Figure 2. a) and b) Sampling stages of *Q. brantii* trees, g) and d) Preparation of the samples.

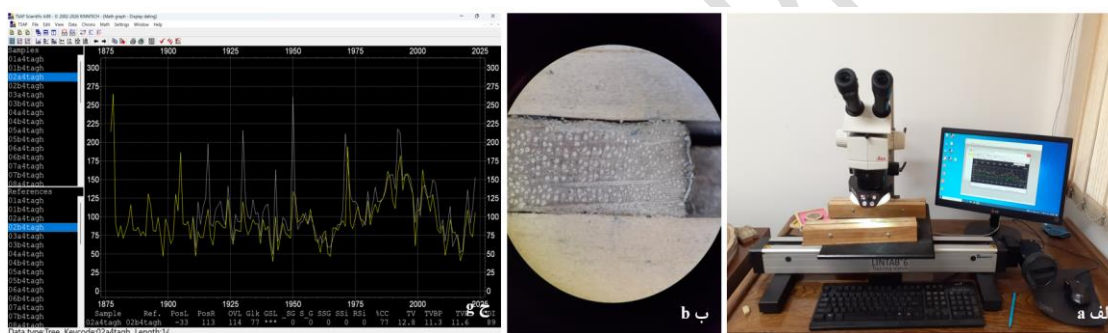
به‌دست آمده نیز انجام شد (۲۱). در صورتی که اختلاف قابل‌توجهی در تطابق زمانی‌ها مشاهده می‌شد، اندازه‌گیری‌ها دوباره تکرار می‌شد تا بیش‌ترین تطابق زمانی به‌دست آید. در انتها، برای بررسی صحت تطابق‌های زمانی ارائه‌شده توسط نرم‌افزار COFECHA نیز تطابق زمانی دیگری برای مقایسه همبستگی میان داده‌ها انجام شد.

لازم به ذکر است که نتایج نهایی آنالیز شده توسط نرم‌افزار COFECHA در مورد اندازه‌گیری‌های انجام شده از تمامی رویشگاه‌ها، متناسب بودند. بدین ترتیب، برای هر درخت دو سری زمانی (دو منحنی رویش) وجود داشت. پس از تطابق زمانی دو سمت تنه درخت، تطابق میانگین رویش شعاعی درختان و در

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، پهنای حلقه‌های رویشی هر یک از مغزی‌ها توسط میز اندازه‌گیری Lintab6 بخش تحقیقات جنگل مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اندازه‌گیری شد. بررسی حلقه‌های رویشی نمونه‌ها از پوست به مغز با دقت لازم (۰/۰۱ میلی‌متر) توسط نرم‌افزار TSAP انجام شد که دارای دو آماره GLK و t-values است. لازم به ذکر است که آماره GLK تطابق کم‌وزیاد شدن پهنای حلقه‌های رویشی دو سری زمانی را صرف‌نظر از پهنای حلقه مورد بررسی قرار داده و متغیر دیگر شباهت میان دو سری زمانی را از نظر حلقه‌های رویشی پهن و نازک مورد مقایسه قرار می‌دهد (شکل ۳).

(۲۲) از سری‌های زمانی رویشگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه توسط نرم‌افزار آماری R برای دو سده پایانی رشد درختان استخراج شد. مقادیر نمادین به صورت طبقه‌ای محاسبه و ترسیم شدند، این روش مبتنی بر نرمال‌سازی سری‌های زمانی پهنای حلقه‌های درختی در یک پنجره متحرک با استفاده از میانگین و انحراف معیار محلی است، به گونه‌ای که هر سال نسبت به شرایط چندساله اطراف خود استاندارد می‌شود. مقادیر حاصل امکان شناسایی انحرافات معنی‌دار رشد از وضعیت نرمال را فراهم کرده و سال‌های دارای انحراف شدید از میانگین محلی به‌عنوان سال‌های رویداد نمادین تعریف می‌شوند.

ادامه سری زمانی میانگین هر رویشگاه انجام شد. پس از تعیین منحنی میانگین رویشگاه‌ها، میانگین رویش آن‌ها توسط نرم‌افزار TSAP و Excel محاسبه و برای هر رویشگاه یک میانگین، کمینه و بیشینه رویش محاسبه شد. با دارا بودن داده‌های منحنی رویش درختان رویشگاه‌های موردنظر، یک میانگین منحنی رویش کل برای منطقه مورد مطالعه نیز به‌دست آمد. در محاسبات آماری، با توجه به این‌که بیش‌ترین تغییرات درختان در دو سده پایانی بود، تغییرات رویش درختان رویشگاه‌های مختلف از سال ۱۹۰۰ میلادی به بعد مورد بررسی قرار گرفت. علاوه‌براین، سال‌های نمادین مثبت و منفی توسط روش کروپر



شکل ۳- الف) اندازه‌گیری نمونه‌ها توسط میز اندازه‌گیری Lintab6، ب) نمایش پهنای حلقه‌های رویش توسط بینوکولار، ج) نمایش سری‌های زمانی در برنامه TSAP.

Figure 3. a) Measurement of samples using LINTAB6 measuring table, (b) Annual ring widths under a binocular microscope, (g) Display of time series in the TSAP software.

ارائه شده است. بر اساس نتایج، رویشگاه‌های پارک جنگلی و قلعه‌مدرسه با مقادیر ۱/۲۵ و ۱/۵ میلی‌متر بیش‌ترین متوسط رویش و رویشگاه‌های جنگلی تنگ زندان و آب‌زالو کم‌ترین مقدار را داشتند. با توجه به درون‌پوسیده بودن درختان بلوط ایرانی و این‌که تعدادی از نمونه‌های هر رویشگاه به مغز نرسیده بودند، بر اساس تعداد نمونه‌های دارای مغز (بیش از نیمی از نمونه‌های هر رویشگاه دارای مغز بودند) و برآورد سنی از سایر نمونه‌ها، برای هر یک از رویشگاه‌ها متوسط سنی از درختان تعریف شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. بر این اساس، از نظر

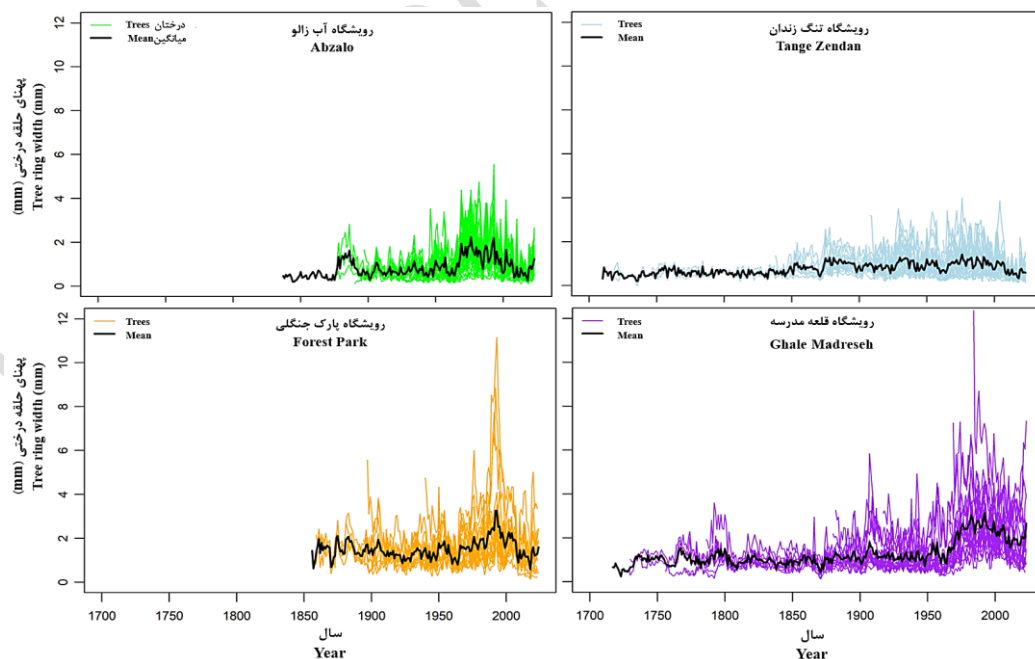
نتایج و بحث

ویژگی منحنی‌های رویش رویشگاه‌های مورد مطالعه: نتایج نشان داد که الگوی رشد درختان در تمام رویشگاه‌ها دارای رفتار مشابهی است. طول منحنی رویش درختان رویشگاه‌های تنگ زندان، آب‌زالو، قلعه‌مدرسه و پارک جنگلی به ترتیب ۳۱۳، ۱۸۶، ۳۰۶ و ۱۶۷ سال بود که بین آنها، درختان رویشگاه‌های تنگ زندان و پارک جنگلی به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر را داشتند (جدول ۱ و شکل ۴). پهنای دوائر رویش نمونه‌ها در رویشگاه‌های تنگ زندان، آب‌زالو، قلعه‌مدرسه و پارک جنگلی نیز در شکل ۴

قطر حدود ۵۰ سانتی‌متر و بیش‌تر که سن بیش از ۱۰۰ سال را نشان دادند) برای اندازه‌گیری استفاده شود که نشان‌دهنده ثبات نسبی شرایط محیطی یا فشار انسانی کم‌تر در گذشته باشد. در مقابل، کوتاه‌تر بودن سری زمانی در برخی توده‌ها (مانند آب‌زالو) احتمالاً نتیجه اختلالاتی مانند بهره‌برداری، آتش‌سوزی یا تنش‌های اقلیمی است که به کاهش بقای درختان کهنسال و جوان‌تر شدن ساختار سنی انجامیده است. در این میان، درختان بزرگ و کهنسال به‌عنوان عناصر ساختاری مهم در حفظ تنوع زیستی و یکپارچگی اکوسیستم شناخته می‌شوند و معمولاً در جنگل‌هایی دیده می‌شوند که کم‌ترین دخالت انسانی را تجربه کرده‌اند (۲۳) که در این پژوهش اندازه‌گیری رویش از همین درختان مسن انجام شده بود. این در حالی است که تفاوت در طول کروئولوژی و ساختار سنی جنگل‌های نیمه‌خشک شاخصی از تاریخچه اختلال و پویایی توده‌ها محسوب می‌شود (۲۴).

سن، رویشگاه‌های قلعه‌مدرسه و آب‌زالو به ترتیب دارای مسن‌ترین و جوان‌ترین درختان بلوط ایرانی بودند (جدول ۱).

شباهت روند منحنی‌های رویش در رویشگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که با وجود تأثیر شرایط خرداقلیمی و ویژگی‌های محلی بر شدت رشد، روند کلی رشد بلوط ایرانی در این بخش از زاگرس از یک الگوی منطقه‌ای مشترک پیروی می‌کند. در توصیف شرایط جنگل‌شناسی رویشگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش که پیش‌تر در قسمت منطقه مورد مطالعه به آن اشاره شده بود، توجه به این‌که دو رویشگاه تنگ‌زدان و آب‌زالو جزو رویشگاه‌های جنگلی بودند که کم‌ترین دخالت‌های انسانی را داشتند (با وجود دخالت عمده دام و انسان در بیش‌تر رویشگاه‌های زاگرس) و رویشگاه‌های پارک‌جنگلی و قلعه‌مدرسه رویشگاه‌های بودند که دخالت‌های انسانی بیش‌تری داشته و تنک‌تر بودند، باعث شد که در انتخاب درختان برای برآورد رویش عمدتاً از درختان مسن (با



شکل ۴- پهنای دواير رویشی نمونه‌ها (خطوط رنگی هر گراف) و منحنی میانگین رویش رویشگاه‌های استان چهارمحال و بختیاری (خطوط مشکی رنگ در میانه نمودارها).

Figure 4. Annual ring widths of the samples (colorful lines) and the mean growth curve of the study areas in Chaharmahal and Bakhtiari Province (black line in the middle of graphs).

میلی‌متر و رویش شعاعی آنرا ۱/۷ (۲۱) و ۲ میلی‌متر (۲۲) در سال برآورد کرده‌اند. با توجه به میانگین رویش محاسبه شده در این پژوهش که می‌تواند مبنای علمی برای سایر مطالعات در حوزه رویش باشد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقدار رویش درختان بلوط ایرانی در این منطقه در مقایسه با مطالعات جهانی و همکاران (۱۳ و ۱۴) و سایر پژوهش‌های انجام شده در گذشته در جنگل‌های زاگرس کم‌تر است. این تفاوت‌ها می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر سن، شرایط رویشگاهی و فرم رویشی بر رشد شعاعی درختان بلوط ایرانی باشد.

رویش درختان یکی از مشخصه‌های کلیدی در مدیریت منابع طبیعی به‌ویژه منابع جنگلی است که با داده‌های آن می‌توان پویایی توده‌های جنگلی را بررسی کرد. در این پژوهش، متوسط رویش شعاعی درختان بلوط ایرانی در مناطق مورد مطالعه با میانگین سنی ۱۷۰ سال، یک میلی‌متر به‌دست آمد (جدول ۱). این مقدار می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تکمیل مطالعات مرتبط با پویایی رشد این‌گونه در جنگل‌های زاگرس مورد استفاده قرار گیرد. این در حالی است که پژوهش‌گران مقادیر رویش قطری این‌گونه در جنگل‌های زاگرس را ۳/۱۱ (۱۳)، ۵/۶ (۱۴) و ۲/۴۴

جدول ۱- مشخصات درختان در رویشگاه‌های مورد مطالعه استان چهارمحال و بختیاری.

Table 1. Characteristics of trees in the study area of Chaharmahal and Bakhtiari Province.

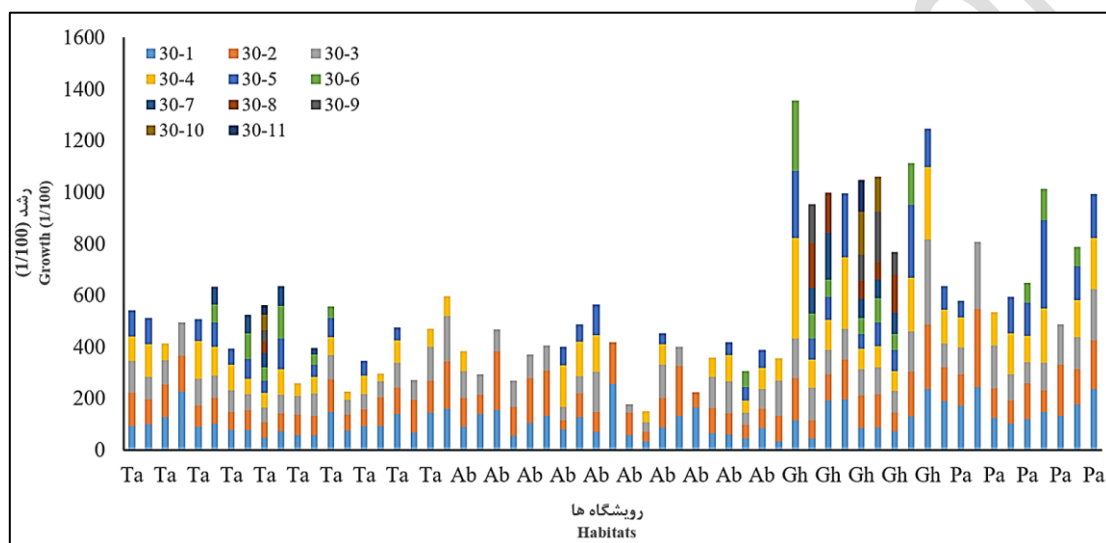
متوسط سن درختان Average age of trees	میانگین رویش (میلی‌متر) Average growth (mm)	طول منحنی رویش Length of growth curve	سال آغاز و پایان Beginning and ending year	تعداد منحنی‌های رویش Number of growth curves	تعداد درختان Number of trees	رویشگاه Site
149	0.75	313	1710-2023	40	20	تنگ زندان Tang-e Zendan
117	0.83	186	1837-2023	40	20	آب زالو Abzalo
251	1.25	306	1717-2023	24	12	قلعه‌مدرسه Ghale Madreseh
159	1.50	167	1856-2023	22	11	پارک جنگلی Forest Park
170	1.08	313	1710-2023	126	63	کل مناطق Total

بیش‌تر در پارک جنگلی و قلعه‌مدرسه نسبت به دو رویشگاه دیگر، نشان‌دهنده تأثیر شرایط رویشی، حاصلخیزی خاک، میزان دسترسی به رطوبت و شدت رقابت درون‌توده‌ای بر رشد شعاعی درختان است. اختلاف سن درختان و الگوی نمودارهای جعبه‌ای ۳۰ساله نشان می‌دهد که مرحله تحولی توده‌ها بر شدت رشد اثرگذار است، به‌طوری‌که توده‌های

در شکل ۵ منحنی میانگین رویش دوره‌های زمانی ۳۰ ساله درختان رویشگاه‌های مختلف از مغز درختان ارائه شده است که بر اساس آن، به ترتیب درختان رویشگاه‌های قلعه‌مدرسه، پارک جنگلی و تنگ زندان سنین بیش‌تری داشته و درختان رویشگاه آب‌زالو جوان‌تر از بقیه رویشگاه‌ها بودند. تفاوت میانگین پهنای حلقه‌ها در رویشگاه‌های مختلف، به‌ویژه مقادیر

و میزان ناهمگنی توده‌ها می‌تواند به تفاوت‌های معنادار در رشد درختان منجر شود (۲۶). در مجموع، این یافته‌ها تأکید می‌کند که رشد بلوط ایرانی در زاگرس حاصل برهم‌کنش عوامل اقلیمی با ویژگی‌های ساختاری و اکولوژیک محلی است و برای درک پویایی رشد و مدیریت پایدار آن، توجه هم‌زمان به این عوامل ضروری است.

جوان‌تر رشد قطری بیشتر و توده‌های مسن‌تر با وجود کاهش تدریجی رشد، پایداری بیشتری دارند. این الگو با نتایج سایر مطالعاتی همسو است که سن توده را عامل اصلی ناهمگنی پهنای حلقه‌ها و تفاوت الگوی رشد در مراحل مختلف رشد و تکامل توده می‌دانند (۲۵). پژوهش‌های انجام‌شده در مورد بلوط‌های مدیترانه‌ای (*Q. pubescens*) نشان می‌دهد که حتی در شرایط اقلیمی مشابه نیز تفاوت در ساختار



شکل ۵- میانگین رویش دوره‌های زمانی ۳۰ ساله درختان رویشگاه‌های مختلف تنگ زندان (Ta)، آب‌زالو (Ab)، قلعه مدرسه (Gh) و پارک جنگلی (Pa) در استان چهارمحال و بختیاری.

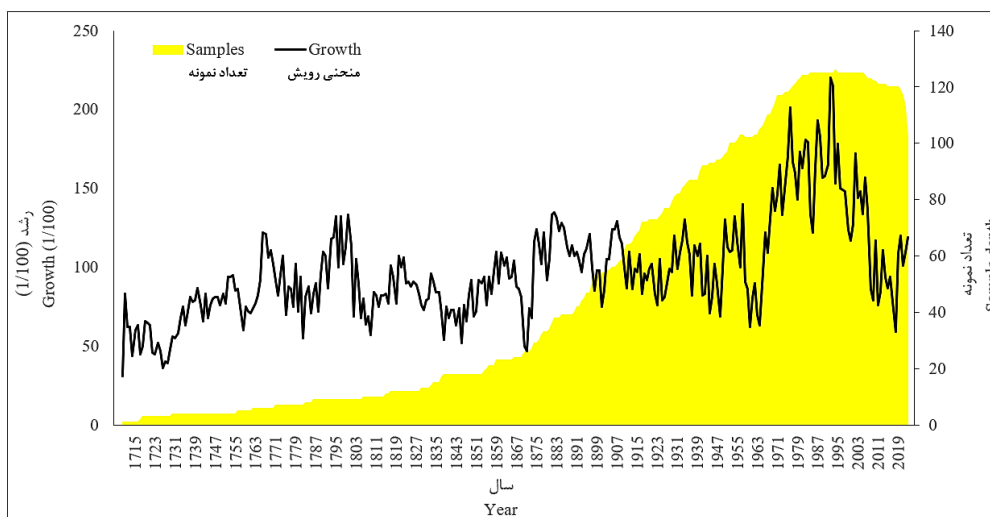
Figure 5. Mean growth of 30-year periods for trees in different sites: Tange Zendan (Ta), Abzalu (Ab), Ghale Madresheh (Gh), and Forest Park (Pa) in Chaharmahal and Bakhtiari Province.

روند صعودی رشد خود را آغاز کرده، در دوره‌های ۱۸۶۱-۱۸۶۶، ۱۸۸۶-۱۸۸۰، ۱۹۱۰-۱۹۰۳، ۱۹۳۴-۱۹۳۰ و ۱۹۵۷-۱۹۵۰ بیش‌ترین مقادیر رویش خود را ثبت کرده تا در دوره ۱۹۶۷-۱۹۹۷ (یک دوره ۳۰ ساله) به بیشینه مقدار رشد خود رسیده و پس از آن رشد کاهشی خود را ادامه داده است. این الگو بیانگر رشد وابسته به سن است که با افزایش سریع در مراحل اولیه، اوج‌گیری در دوره بلوغ و کاهش تدریجی در سنین بالاتر مشاهده می‌شود و با یافته‌های کلارک (۱۹۸۳) همخوانی دارد (۲۷، ۲۸). بیشینه رویش‌های ثبت‌شده

با در نظر گرفتن این‌که رویش در درختان جنگلی در ابتدا سیر صعودی داشته، سپس به بیشینه مقدار خود می‌رسد و در نهایت در دوران پیری کاهش می‌یابد، منحنی رویش تجمعی با طول ۳۱۳ سال که از ادغام بیش از ۱۲۰ نمونه به‌دست آمد، تصویری یکپارچه از پویایی بلندمدت رشد بلوط ایرانی در استان چهارمحال و بختیاری ارائه می‌دهد. در منحنی رویش کلی به‌دست‌آمده روند تغییرات اشاره شده به‌خوبی مشخص شد (شکل ۶). این منحنی با وجود دوره‌های کاهش و افزایش رشد خود از سال ۱۷۱۰

محیطی است، موضوعی که با نتایج حاتمی و همکاران (۲۰۲۵) همخوانی دارد که در مطالعات تکمیلی پژوهش‌های آینده نوسانات محیطی منطقه می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد (۲۹).

در این پژوهش و در برخی بازه‌های زمانی بیانگر شرایط محیطی مساعدتر بوده، درحالی‌که کاهش رشد پس از اواخر دهه ۱۹۹۰ احتمالاً با تشدید تنش‌های اقلیمی مرتبط است. دامنه تغییرات پهنای حلقه‌ها نیز نشان‌دهنده حساسیت رشد این‌گونه به نوسانات



شکل ۶- منحنی رویش درختان بلوط ایرانی استان چهارمحال و بختیاری و فراوانی تعداد نمونه‌ها.

Figure 6. Growth curve of *Q. brantii* in Chaharmahal and Bakhtiari Province and the frequency of sample depth.

دوره ثبت شده بود، منحنی رویش رویشگاه‌های مورد مطالعه پس از ۱۹۰۰ میلادی به بعد به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

با توجه به این‌که بیش‌ترین تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده متعلق به سال‌های پس از ۱۸۸۰ میلادی بود و این‌که عمده تغییرات رویش پس‌ازاین

جدول ۲- تغییرات رویش منحنی‌های رویش چهار رویشگاه استان چهارمحال و بختیاری طی دو سده اخیر.

Table 2. Changes in growth curves of the four sites in Chaharmahal and Bakhtiari Province over the past two centuries.

متوسط رویش (میلی‌متر) Average growth (mm)	کم‌ترین رویش Minimum growth		بیش‌ترین رویش Maximum growth		متغیر Variable	رویشگاه Site
	سال Year	مقدار (میلی‌متر) Amount (mm)	سال Year	مقدار (میلی‌متر) Amount (mm)		
0.85	2018	0.3	1930	1.25		تنگ زندان Tange Zendan
0.88	2018	0.23	1993	1.98		آب زالو Abzalo
1.68	1948	0.72	1992	3.14		قلعه مدرسه Ghale Madreseh
1.51	2018	0.58	1992	3.26		پارک جنگلی Forest Park

تغییرات رویش دو سده پایانی رشد درختان و بررسی سال‌های نمادین مثبت و منفی: به‌طور کلی، روند تغییرات رویش هر چهار رویشگاه از نظر همسانی روند رشد و تغییرات آن در دو سده پایانی رشد درختان مشابه بود، به‌طوری‌که این روند در دو رویشگاه جنگلی تنگ زندان و آب‌زالو و سپس پارک جنگلی بیش‌ترین شباهت را به یکدیگر داشت. در رویشگاه قلعه‌مدرسه نیز که نسبت به سایر رویشگاه‌ها بیش‌ترین دخالت‌های انسانی را داشت، روند کلی تغییرات شبیه به بقیه رویشگاه‌ها بود (شکل ۸). کم‌ترین مقدار رویش ثبت‌شده در میان منحنی‌های میانگین رویش رویشگاه‌های مورد مطالعه از سال ۱۹۰۰ میلادی تاکنون به‌ترتیب مربوط به رویشگاه‌های جنگلی آب‌زالو، تنگ زندان و پس‌از آن پارک جنگلی و در سال ۲۰۱۸ بود. بیش‌ترین مقادیر رویش نیز به‌ترتیب در رویشگاه‌های پارک جنگلی، قلعه‌مدرسه و آب‌زالو در سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۳ ثبت شد. هم‌چنین، متوسط رویش درختان رویشگاه قلعه‌مدرسه با ۱/۶۸ میلی‌متر بیش‌تر از بقیه رویشگاه‌های مورد مطالعه بود (جدول ۲).

کاهش طبیعی پهنای حلقه‌ها در سنین بالاتر و هم‌ترازسازی مراحل رشدی درختان پس از سال ۱۹۰۰ امکان مقایسه دقیق‌تر اثر اختلالات محیطی را فراهم کرد. همسانی روند تغییرات رشد در رویشگاه‌های مختلف نشان داد که نوسانات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای نقش غالبی در کنترل رشد شعاعی بلوط ایرانی دارند. شباهت بیش‌تر رویشگاه‌های تنگ زندان، آب‌زالو و پارک جنگلی احتمالاً ناشی از شرایط اکولوژیک و ساختار توده‌ای مشابه است، درحالی‌که تفاوت نسبی قلعه‌مدرسه، با وجود تبعیت کلی از الگوی منطقه‌ای، می‌تواند بازتاب شدت بیش‌تر مداخلات انسانی و فعالیت‌های زیرآشکوبی در این رویشگاه باشد. ثبت کمینه رشد در سال ۲۰۱۸ در اغلب رویشگاه‌ها بیانگر وقوع تنش اقلیمی گسترده،

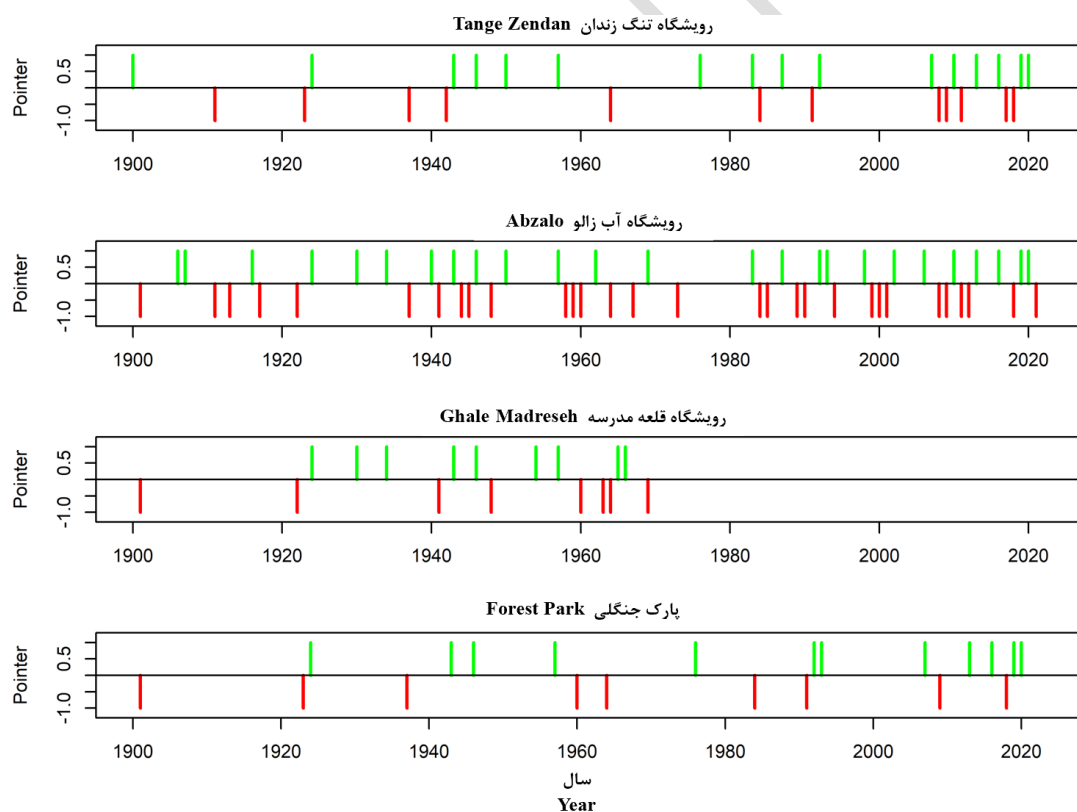
احتمالاً ناشی از خشکسالی و گرمای شدید است که در این پژوهش هدف نبود. روندی که در سال‌های اخیر زاگرس نیز با افزایش دما، تشدید خشکسالی و افت رشد و مرگ‌ومیر گونه‌هایی چون بلوط ایرانی و زربین گزارش شده است (۳۰، ۳۱). این رویدادها در مقیاس جهانی نیز بی‌سابقه بوده و خشکسالی‌های تابستانی ۲۰۱۸-۲۰۱۵ بخش‌های وسیعی از اروپای غربی و مرکزی را طی ۴۰۰ سال گذشته از نظر شدت شرایط خشکسالی استثنایی ساخته است (۳۲). در مقابل، بیشینه‌های رشد در سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۹۲ نشان‌دهنده دوره‌ای با شرایط رطوبتی مساعدتر است. میانگین بیش‌تر رشد در قلعه‌مدرسه نیز با وجود دست‌خوردگی بیش‌تر، احتمالاً به کاهش رقابت درون‌توده‌ای ناشی از بهره‌برداری مرتبط است که در کوتاه‌مدت رشد قطری درختان باقی‌مانده را افزایش می‌دهد. در مجموع، اگرچه سیگنال اقلیمی منطقه‌ای عامل اصلی هم‌نوسانی رشد است، پاسخ رشد هر توده تحت تأثیر ساختار سنی، سابقه مدیریتی و فشارهای انسانی نیز تعدیل می‌شود (۳۳).

سال‌های نمادین رویشگاه‌های مورد مطالعه طی دو سده اخیر، در جدول ۳ و شکل ۷ نشان داده شده است. بیش‌ترین تعداد سال‌های نمادین مثبت و منفی، در رویشگاه‌های تنگ زندان و آب‌زالو دیده می‌شود. از طرفی، میانگین تعداد سال‌های نمادین منفی در همه رویشگاه‌ها از میانگین سال‌های نمادین مثبت بیش‌تر بود و این امر نشان‌دهنده کاهش پهنای حلقه‌های درختی نسبت به افزایش آن‌ها است. پس از محاسبه سال‌های نمادین هر رویشگاه، سال‌هایی که حداقل در سه رویشگاه دارای اثرات هم‌زمان مثبت یا منفی بودند، به‌عنوان سال‌های نمادین مشترک منطقه‌ای در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب، سال‌های نمادین مثبت کل مناطق شامل ۹ سال ۱۹۲۴، ۱۹۴۳، ۱۹۴۶، ۱۹۵۷، ۱۹۹۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ و سال‌های نمادین منفی شامل ۷ سال ۱۹۰۱، ۱۹۳۷، ۱۹۶۰، ۱۹۶۴، ۱۹۸۴، ۲۰۰۹، ۲۰۱۸ بودند (شکل ۸).

جدول ۳- نمایش سال‌های نمادین مثبت و منفی رویشگاه‌های مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری.

Table 3. Positive and negative pointer years in the study sites of Chaharmahal and Bakhtiari Province.

سال‌های نمادین منفی Negative pointer years	سال‌های نمادین مثبت Positive pointer years	رویشگاه Site
1911, 1923, 1937, 1942, 1960, 1964, 1984, 1991, 2008, 2009, 2011, 2017, 2018	1900, 1924, 1943, 1946, 1950, 1957, 1976, 1983, 1987, 1992, 2007, 2010, 2013, 2016, 2019, 2020	تنگ زندان Tange Zendan
1901, 1911, 1913, 1917, 1922, 1937, 1941, 1944, 1945, 1948, 1958, 1960, 1964, 1967, 1973, 1984, 1985, 1989, 1990, 1994, 1999, 2000, 2008, 2009, 2011, 2012, 2018, 2021	1906, 1916, 1924, 1930, 1934, 1940, 1943, 1946, 1950, 1957, 1962, 1969, 1983, 1987, 1992, 1993, 1998, 2002, 2006, 2010, 2013, 2016, 2019, 2020	آب زالو Abzalo
1901, 1922, 1941, 1948, 1960, 1963, 1964, 1969	1924, 1930, 1934, 1943, 1946, 1954, 1957, 1965, 1966	قلعه مدرسه Ghale Madreseh
1901, 1923, 1937, 1960, 1964, 1984, 1991, 2009, 2018	1924, 1943, 1946, 1957, 1976, 1992, 1993, 2007, 2013, 2016, 2019, 2020	پارک جنگلی Forest Park
1901, 1937, 1960, 1964, 1984, 2009, 2018	1924, 1943, 1946, 1957, 1992, 2013, 2016, 2019, 2020	کل مناطق Total

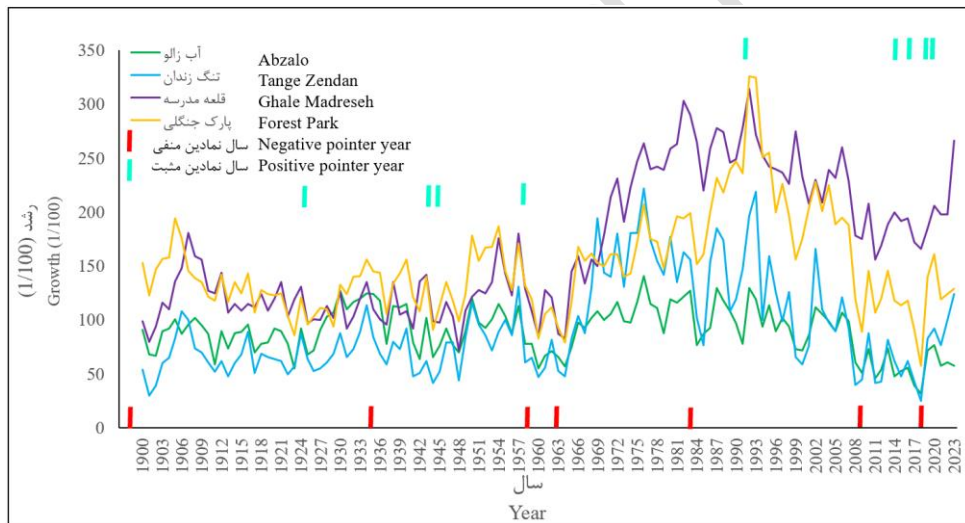


شکل ۷- سال‌های نمادین مثبت و منفی رویشگاه‌های مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری که به ترتیب با رنگ‌های سبز و قرمز نشان داده شده و فقط بیانگر وقوع یا عدم وقوع یک سال نمادین بر اساس آستانه ۲۰٪ و معیار همزمانی ۵۰٪ است.

Figure 7. Positive and negative pointer years of the study sites in Chaharmahal and Bakhtiari Province, shown in green and red, respectively, indicating only the occurrence or non-occurrence of a pointer year based on a 20% threshold and a 50% synchronicity criterion.

هم‌زمان رخ داده‌اند، نشان‌دهنده یک سیگنال اقلیمی غالب است؛ به‌ویژه سال‌های منفی ۱۹۸۴، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۸ که احتمالاً با خشکسالی یا موج‌های گرمایی گسترده همراه بوده‌اند و با روند افزایشی دمای سالانه در زاگرس (۲۰۲۲-۱۹۸۸) و افزایش رخدادهای حدی حرارتی همخوانی دارد (۳۶، ۳۷ و ۳۸). در مقابل، سال‌های مثبت مانند ۱۹۵۷ و ۱۹۹۲ بازتاب دوره‌هایی با بارش مناسب و تنش حرارتی کم‌تر هستند (۳۹، ۴۰). در مجموع، الگوی سال‌های نمادین نشان می‌دهد که رشد بلوط ایرانی در چهارمحال و بختیاری به رخدادهای حدی اقلیمی بسیار حساس است و تداوم یا تشدید این رخدادهای می‌تواند پایداری بلندمدت توده‌های جنگلی زاگرس را تهدید کند.

تحلیل سال‌های نمادین به‌عنوان سال‌هایی که رشد حلقه‌های درختی به‌طور قابل‌توجهی بیش‌تر یا کم‌تر از حد میانگین است (۲۰، ۳۴ و ۳۵)، طی دو سده اخیر نشان داد که بخش قابل‌توجهی از نوسانات رشد ماهیتی هم‌زمان و منطقه‌ای دارد. فراوانی بیش‌تر سال‌های نمادین در تنگ زندان و آب‌زالو عمدتاً به عمق نمونه‌برداری بیش‌تر و قدرت آشکارسازی بیش‌تر رخدادهای حدی در این رویشگاه‌ها مرتبط است. غلبه سال‌های نمادین منفی بر مثبت بیانگر تأثیر گسترده تنش‌های محدودکننده رشد، به‌ویژه خشکسالی و گرمایش شدید، نسبت به دوره‌های بهبود شرایط رویشی است. شناسایی ۹ سال مثبت و ۷ سال منفی مشترک که حداقل در سه رویشگاه



شکل ۸- منحنی رویش رویشگاه‌های مورد مطالعه از سال ۱۹۰۰ تا سال ۲۰۲۳ میلادی و نمایش سال‌های نمادین مثبت و منفی.

Figure 8. Growth curves of the study sites from 1900 to 2023 and the identification of positive and negative pointer years.

به‌طوری‌که توده‌های جوان‌تر رشد سریع‌تر و توده‌های مسن‌تر پایداری بلندمدت اکوسیستم را نشان می‌دهند. منحنی‌های رویش بلندمدت رشد شامل افزایش سریع در جوانی، اوج در بلوغ و کاهش تدریجی در سنین بالاتر بود و بیانگر پیروی دینامیک رشد بلوط ایرانی از یک الگوی منطقه‌ای در زاگرس است.

نتیجه‌گیری کلی

تحلیل پهنای حلقه‌های سالانه بلوط ایرانی در چهار رویشگاه استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که الگوی رشد درختان در تمام رویشگاه‌ها مشابه است و طول دوره رویشی آن‌ها بین ۱۶۷ تا ۳۱۳ سال متغیر است. میانگین رویش شعاعی درختان حدود یک میلی‌متر برای درختان ۱۷۰ ساله برآورد شد،

که هرچند رشد بلوط ایرانی تحت تأثیر شرایط محلی، سن درختان و ویژگی‌های توده‌ای قرار دارد، تنش‌های اقلیمی حدی می‌تواند پایداری بلندمدت جنگل‌های زاگرس را با چالش مواجه کند و مدیریت پایدار این جنگل‌ها نیازمند توجه به تغییرات اقلیمی و نقش توده‌های مسن در حفظ اکوسیستم است.

تحلیل سال‌های نمادین با روش کروپر نشان داد که نوسانات رشد طی دو سده اخیر هم‌زمان و منطقه‌ای بوده و سال‌های نمادین منفی بر مثبت غالب بودند که حساسیت گونه به خشکسالی و گرمایش‌های شدید را برجسته می‌کند. سال‌های مثبت و منفی مشترک در بیش از سه رویشگاه، وجود یک سیگنال اقلیمی غالب را تأیید می‌کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد

منابع

1. Cook, E. R., & Kariukstis, L. A. (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
2. López, L., & Villalba, R. (2016). Reliable estimates of radial growth for eight tropical species based on wood anatomical patterns. 28, 139-152.
3. Voelker, S. (2011). Age-dependent changes in environmental influences on tree growth and their implications for forest responses to climate change. Pp: 455-479. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_17.
4. Jazirehi, M. H., & Ebrahimi Rastaghi, M. (2013). *Zagros silviculture*. University of Tehran Press. [In Persian]
5. Pourhashemi, M., Sadeghzadeh Hallaj, M. H., Jafari, A., et al. (2024). *Comprehensive and strategic analysis of Iran's forests*. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran. [In Persian]
6. Marvi Mohajer, M. R. (2012). *Silviculture and forest management*. University of Tehran Press. [In Persian]
7. Shiravand, H., Khaledi, S., & Behzadi, S. (2019). Evaluation and prediction of decline of oak forests in Middle Zagros. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 17(1), 64-81. [In Persian]
8. Food and agriculture organization of the United Nations (FAO). (2020). *The state of the world's forests 2020*. FAO Forestry Paper No. 90. Rome, Italy.
9. Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). *Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future*. Springer, Dordrecht.
10. Speer, J. (2010). *Fundamentals of tree ring research*. University of Arizona Press. 368p. ISBN: 978-0-816-52684-0.
11. Knapic, S., Louzada, J. L., Leal, S., & Pereira, H. (2007). Radial variation of wood density components and ring width in cork oak trees. *Annals of Forest Science*. 64(2), 211-218.
12. Kalbarczyk, R., Ziemiańska, M., & Machowska Molik, A. (2018). Dendroclimatological analysis of radial growth of old growth oak (*Quercus robur* L.). *Drvna industrija*, 69(2).
13. Sousa, V., Silva, M. E., Louzada, J. L., & Pereira, H. (2021). Wood density and ring width in *Quercus rotundifolia*. *Forests*, 12(11), 1499.
14. Jahanbazi, H. (1996). *Study diameter growth Oak in Chaharmahal va Bakhtiari Province*. Agricultural and Natural Resources Research Center, 78p. [In Persian]
15. Jahanbazi, H., Pourhashemi, M., Iranmanesh, Y., Khanhasani, M., Heidari, M., Rahimi, H., Zarafshar, M., Asgari, Y., Karamian, R., Negahdar Saber, M. R., Mehdifar, D., Henare Khaliani, J., Rasahidi, F., Hosseini, A., & Tahmasbi, M. (2022). Oak decline trend in the forest habitats of Zagros. *Iran Nature*. 7(5), 7-11. [In Persian]
16. Fallah, A., & Heidari, M. (2018). Studying the diameter growth of Persian

- oak and its relationship with climatic parameters in Zagros forests (Case study: Sarab-Karzan forests of Ilam). *Forest Research and Development*. 3(4), 361-375. https://jfrd.urmia.ac.ir/article_20526.html. [In Persian]
17. Motaharfard, E., Mahdavi, A., Akhavan, R., Fallah, A., Omidipour, R., & Maxwell, S. (2025). Tree growth responses to climatic factors. *Iranian Journal of Forestry*. [In Persian]
 18. Askari, Y., Soltani, A., & Akhavan, R. (2017). Estimation of annual radial growth, biomass and carbon allocation in different forms of *Quercus brantii* Lindl. *Iranian Journal of Forest*. 9(3), 427-444. [In Persian]
 19. Iranmanesh, Y., Sagheb-Talebi, K., Sohrabi, H., Jalali, S. G., & Hosseini, S. M. (2014). Biomass and carbon stocks of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal & Bakhtiari forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2014.13197>. [In Persian]
 20. Delpasand, S., Maleknia, R., & Naghavi, H. (2022). Modelling of forest cover change to identify suitable areas for REDD+ projects (case study: Lordegan county). *Forest Research and Development*.
 21. Eckstein, D., & Bauch, J. (1969). Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*. 88(1), 230-250.
 22. Cropper, J. P. (1979). Tree-ring skeleton plotting by computer. *Tree-Ring Bulletin*. 39, 47-59.
 23. Alexander, K. N. A. (2001). What are veteran trees? Where are they found? Why are they important? In: Forfang A., Marciau R., Paltto H., Anderson L., Tardy B. (eds.), *Tools for preserving woodland biodiversity*. Pp: 28-31. London: Nacionex Project.
 24. Suchocka, M., Wojnowska-Heciak, M., Błaszczyk, M., et al. (2022). Old trees are perceived as a valuable element of the municipal forest landscape. *PeerJ*, 10, e12700.
 25. Wang, B., Chen, T., Xu, G., Li, C., Wu, G., & Liu, G. (2021). Stand age related dissimilarity in radial growth. *Forest Ecology and Management*. 482, 118895.
 26. Badalamenti, E., La Mela Veca, D. S., Costa, M., Giardina, G., La Mantia, T., Laschi, A., Maetzke, F. G., Petroncini, S., Sala, G., & Bueno, R. S. (2025). Old-growthness level assessed by structural heterogeneity indices in Mediterranean *Quercus pubescens* forests. *Forest Ecosystems*. 14, 100365.
 27. Clark, J. R. (1983). Age-related changes in trees. *Arboriculture & Urban Forestry*. 9(8), 201-205. <https://doi.org/10.48044/jauf.1983.050>.
 28. Saeedi, S., Bahmani, M., Kool, F., Iranmanesh, Y., & Abbasi, M. (2017). Investigation of biometrical, chemical and physical properties of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) (Case study: Lordegan Township). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 24(3), 171-182. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.13170.1676>. [In Persian]
 29. Hatami, F., Etemad, V., Pourtahmasi, K., Iranmanesh, Y., & Najafi Harsini, F. (2025). Radial growth variation of declined and healthy Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) trees in the Zagros forests. *Iranian Journal of Forest*. 17(3), 327-346. [In Persian]
 30. Najafi-Harsini, F., Oladi, R., Pourtahmasi, K., Souto-Herrero, M., & García-González, I. (2022). Using tree-ring width and earlywood vessel features to study the decline of *Quercus brantii*. *European Journal of Forest Research*. 141(3), 379-393.
 31. Arsalani, M., Griebinger, J., & Bräuning, A. (2022). Tree-ring-based seasonal temperature reconstructions and ecological implications of recent warming on oak forest health in the Zagros Mountains, Iran. *International Journal of Biometeorology*. 66(12), 2553-2565. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02380-5>.

32. Freund, M., Helle, G., Balting, D., Ballis, N., Schleser, G., & Cubasch, U. (2023). European tree-ring isotopes indicate unusual recent hydroclimate. *Communications Earth & Environment*. 4, 26.
33. Pourhashemi, M., & Sadeghi, S. M. M. (2020). A review on ecological causes of oak decline phenomenon in forests of Iran. *Ecology of Iranian Forests*. 8, 148-164. [In Persian]
34. Jetschke, G., van der Maaten, E., & van der Maaten-Theunissen, M. (2019). Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods. *Dendrochronologia*. 53, 55-62.
35. Jalilvand, H., & Balapour, S. (2014). Effect of climate on Oak (*Quercus macranthera*) annual tree-ring chronologies at tree line of hyrcanian forest. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*.
36. Ebrahimi, N., Zarrin, A., Mofidi, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2023). Projected precipitation extremes in Lake Urmia basin under climate change. <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.81891.1270>.
37. Attarod, P., Zhu, H., Beiranvand, S., Pypker, T. G., Bayramzadeh, V., Mariv, H. S., & Karimi, K. (2025). Past and future climate change in the Zagros region of western Iran. *Anthropocene*. 50, 100475.
38. Tamandi, M., Fathian, F., Desmond, A.F., & Jamalizadeh, A. (2025). Modeling drought characteristics using scale mixtures of multivariate Rayleigh distributions. *Theoretical and Applied Climatology*. 156(8), 430.
39. Beiranvand, S., Bayramzadeh, V., Attarod, P., Pourtahmasi, K., G. Pypker, T., Bräuning, A., & Nadi, M. (2024). Increasing drought frequency in the central Zagros Mountains of western Iran over the past two centuries. *Journal of Arid Environments*. 224, 105240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105240>.
40. Wu, Y., Liu, Y., Li, Q., Cai, Q., Song, H., Sun, C., Zhang, T., & Ye, M. (2023). Drought variations in the Yili Basin, Northwest China since AD 1673 Based on Tree-Ring Width. *Forests*. 14, 2127. <https://doi.org/10.3390/f14112127>.

Uncorrected Proof