

Research Paper

Analysis of releases in the growth pattern of Persian oak (*Quercus brantii* Lind.) based on annual rings in the Zagros forest ecosystem**Elham Motaharfard¹, Ali Mahdavi^{*,1}, Reza Akhavan³, Asghar Fallah⁴ and Reza Omidipour⁵**

1- Ph.D. Student of Forest Sciences, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, I. R. Iran. (emotaharfard@gmail.com)

2,*- (Corresponding author) Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, I. R. Iran. (a.mahdavi@ilam.ac.ir)

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

4- Professor, Sari Agriculture Sciences and Natural Resource University, Sari, Mazandaran, I. R. Iran. (fallaha@sanru.ac.ir)

5- Assistant Prof., Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I. R. Iran. (r.omidipour@ilam.ac.ir)

Received: 29 March 2025

Accepted: 01 September 2025

Extended Abstract

Background and Objective: Disturbances are among the most influential drivers of changes in natural ecosystems, profoundly affecting forest species composition, structure, and functioning. To better understand tree responses to such disturbances, researchers have employed a variety of tools. Dendrochronology, by providing a long-term perspective, is a fundamental method for reconstructing the history of disturbances. Tree rings offer valuable data on growth patterns, which are essential for understanding forest dynamics. Dendrochronology is particularly reliable for species such as Persian oak (*Quercus brantii*), where annual ring boundaries are clearly defined. By identifying changes in growth—specifically sudden increases in radial growth—disturbance events can be detected. This study analyzed annual growth ring variations in Persian oak trees in the Zagros forests to reconstruct the disturbance history.

Material and Methods: The study was conducted in the Maleh-Panjab forest, approximately 25 km from Ilam city. Fifteen fallen trees were sampled using cross-sectional stem cuts with a chainsaw. After sample preparation, high-resolution photographs were taken and imported into CooRecorder software to measure annual ring widths in two directions. To synchronize and standardize the samples and remove non-climatic trends, the dplR package in R was used to develop a chronology. Growth variations were then analyzed using the widely applied method of calculating percentage growth change for each ring series, implemented through the TRADER package in R. For detecting growth changes, the percentage increase in growth over the 10 years preceding a given year was compared to the 10 years following it.

Results: Analysis of 30 growth series from the 15 sampled trees indicated an average series length of 48.16 years. The resulting standardized chronology spanned 72 years (1951–2022), with key statistical indicators including a mean sensitivity of 0.32 and a high signal-to-noise ratio (0.88), reflecting a strong climatic signal and sufficient sampling. Using the TRADER package and radial growth averaging, a total of 15 abrupt growth changes were identified, including six major changes

(growth increase >50%) and nine intermediate changes (growth increase >25%). Notably, 60% of these changes occurred between 1990 and 2010, a period characterized by repeated droughts and increased wildfire frequency, indicating a concentrated disturbance interval in the forest.

Conclusion: The results demonstrate that climatic events (particularly recurrent droughts), anthropogenic disturbances (fire), and biological factors (pest outbreaks) have been key drivers of growth pattern changes in Persian oak trees. Given the intensification of these factors in recent decades, it is expected that Zagros forests may experience long-term structural changes, including decreased density and altered species composition. This study highlights the need for adaptive management strategies, including: (1) continuous monitoring of disturbances using dendrochronology, (2) development of restoration programs for affected forests, and (3) mitigation of anthropogenic stressors that exacerbate forest vulnerability.

Keywords: Dendrochronology, Tree rings, Zagros forests, Disturbance, Growth releases.

How to Cite This Article: Motaharfard, E., Mahdavi, A., Akhavan, R., Fallah, A., and Omidipur, R. (2025). Analysis of releases in the growth pattern of Persian oak (*Quercus brantii* Lind.) based on annual rings in the Zagros forest ecosystem. Forest Research and Development, 11(3), 317-333. DOI: [10.30466/jfrd.2025.56090.1755](https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.56090.1755)



Copyright ©2024 Motaharfard et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

تحلیل تغییرات در الگوی رویش بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lind.) براساس حلقه‌های سالانه در بوم‌سازگان جنگلی زاگرس

الهام مطهرفرد^۱، علی مهدوی^{۲*}، رضا اخوان^۳، اصغر فلاح^۴ و رضا امیدی‌پور^۵

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (emotaharfard@gmail.com)

۲- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (a.mahdavi@ilam.ac.ir)

۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (akhavan@rifr-ac.ir)

۴- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (fallaha@sanru.ac.ir)

۵- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (r.omidipour@ilam.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۹

چکیده

مقدمه و هدف: آشفتگی‌ها به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تغییر بوم‌سازگان‌های طبیعی، ترکیب گونه‌ای، ساختار و عملکرد جنگل‌ها را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای درک بهتر پاسخ درختان به این آشفتگی‌ها، پژوهشگران از ابزارهای مختلفی استفاده کرده‌اند. گاه‌شناسی درختی به دلیل ارائه یک چشم‌انداز بلندمدت، از ابزارهای اساسی برای بررسی تاریخچه این آشفتگی‌ها است. در حقیقت، حلقه‌های رویشی داده‌های ارزشمندی را از روند رشد درختان ارائه می‌دهند که این داده‌ها نقش مهمی در درک پویایی جنگل خواهند داشت. استفاده از گاه‌شناسی درختی به‌ویژه برای گونه‌هایی مانند بلوط ایرانی که مرز حلقه‌های سالانه در این درختان به‌خوبی مشخص است، روش قابل اطمینانی می‌باشد. با شناسایی تغییرات رشد یا همان افزایش ناگهانی رشد شعاعی درختان می‌توان آشفتگی‌ها را شناسایی کرد. در این بررسی، تغییرات رشد در حلقه‌های سالانه درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در جنگل‌های زاگرس مورد تحلیل قرار گرفت تا تاریخچه آشفتگی‌ها بازسازی شود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در رویشگاه مله‌پنجاب و در فاصله ۲۵ کیلومتری از شهرستان ایلام انجام شد. برای انجام این بررسی، تعداد ۱۵ اصله درخت بادافتاده مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. نمونه‌برداری به صورت برش‌های عرضی ساقه و با استفاده از اره‌موتوری انجام گرفت. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، با استفاده از دوربین عکاسی تصاویری از این نمونه‌ها تهیه شد. سپس این تصاویر به محیط نرم‌افزار CooRecorder انتقال یافت و پهنای حلقه‌های سالانه در دو جهت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در ادامه، برای تطابق زمانی نمونه‌ها، استانداردسازی برای حذف روندهای غیراقليمی از سری‌های رویشی و ایجاد گاه‌شناسی، بسته

نرم‌افزاری dplR در محیط نرم‌افزار R مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، تغییرات در الگوی رویش درختان با استفاده از متداول‌ترین روش یعنی محاسبه درصد تغییرات رشد برای هر سری از حلقه‌های رویشی و با استفاده از بسته نرم‌افزاری TRADER در محیط R مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای شناسایی تغییرات رشد، درصد افزایش رشد در ۱۰ سال قبل از سال معین با ۱۰ سال بعد مقایسه شد.

یافته‌ها: تجزیه و تحلیل ۳۰ سری رویشی حاصل از ۱۵ درخت نمونه‌برداری شده، نشان داد که میانگین طول سری‌ها ۴۸/۱۶ سال است. گاه‌شناسی استاندارد به دست آمده، دوره زمانی ۷۲ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۲) را پوشش داد که شاخص‌های آماری کلیدی آن شامل میانگین حساسیت ۰/۳۲ و سیگنال تجمعی بالا (معادل ۰/۸۸) بود که نشان‌دهنده سیگنال اقلیمی قوی و همچنین نمونه‌برداری کافی است. با استفاده از بسته نرم‌افزاری TRADER و روش میانگین‌گیری رشد شعاعی، در مجموع ۱۵ تغییر ناگهانی رشد شناسایی شد که شامل شش تغییر اصلی (افزایش رشد بیش از ۵۰ درصد) و نه تغییر حدواسط (افزایش رشد بیش از ۲۵ درصد) بود. قابل توجه است که ۶۰ درصد از این تغییرات در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۰ رخ داده است، یعنی دوره‌ای با خشکسالی‌های مکرر و افزایش فراوانی آتش‌سوزی در منطقه که نشان‌دهنده فاصله متمرکز آشفستگی در جنگل است.

نتیجه‌گیری: نتایج این بررسی نشان داد که وقایع اقلیمی (به‌ویژه خشکسالی‌های مکرر) و آشفستگی‌های انسانی (آتش‌سوزی) و زیستی (شیوع آفات) به عنوان عوامل کلیدی تغییر الگوی رشد درختان بلوط عمل کرده‌اند. با توجه به تشدید این عوامل در دهه‌های اخیر، انتظار می‌رود که جنگل‌های زاگرس شاهد تغییرات ساختاری بلندمدت (کاهش تراکم، تغییر ترکیب گونه) در آینده باشند. این بررسی لزوم اجرای مدیریت تطبیقی شامل: ۱. پایش مستمر آشفستگی‌ها با استفاده از گاه‌شناسی، ۲. توسعه برنامه‌های احیای جنگل‌های آسیب‌دیده و ۳. کنترل عوامل انسانی تشدیدکننده تنش را برجسته می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: گاه‌شناسی، حلقه‌های رویشی، جنگل‌های زاگرس، آشفستگی، تغییرات ناگهانی رشد.

مقدمه

ساختار، رشد و ترکیب جنگل‌ها تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل خاک، ویژگی‌های بوم‌شناسی فردی گونه‌ها و الگوهای اقلیمی کوتاه‌مدت و بلندمدت قرار می‌گیرد. با این حال، درک وضعیت اکنون توده‌های جنگلی و پیش‌بینی توسعه آن‌ها در آینده، مستلزم بررسی تاریخچه آشفته‌گی در این توده‌ها است (Black and Abrams, 2003). به‌طورکلی، آشفته‌گی‌ها از مهم‌ترین عوامل تغییرات بوم‌سازگان‌های طبیعی مانند جنگل‌ها هستند که می‌توانند ترکیب گونه‌ها، ساختار و عملکرد جنگل‌ها را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار دهند (Fraver and White, 2005). هرچند، بزرگی و شدت تغییرات ایجادشده بسته به نوع بوم‌سازگان، شرایط محیطی موجود و حتی نوع آشفته‌گی متفاوت است. به همین دلیل بررسی پاسخ بوم‌سازگان‌های مختلف به آشفته‌گی‌ها از پایه‌های اصلی مدیریت بوم‌سازگان به‌شمار می‌رود. در این راستا، پژوهشگران از ابزارهای مختلفی برای شناسایی و کمی‌سازی آشفته‌گی‌ها در جنگل استفاده کرده‌اند (Abrams and Nowacki, 1997).

از میان این روش‌ها می‌توان به تحلیل‌های دیرینه‌شناسی، ارزیابی مستندات و تصاویر هوایی و گاه‌شناسی درختی (Dendrochronology) اشاره داشت (Ebrahimi et al., 2019). در این میان، گاه‌شناسی درختی و بوم‌شناسی درختی (Dendroecology) ابزارهای قدرتمندی برای بازسازی وقایع آشفته‌گی در گذشته هستند (Fritts and Swetnam, 1989). سن درختان، آتش‌سوزی و افزایش ناگهانی رشد شعاعی درختان، اطلاعات کلیدی برای بازسازی تاریخچه این آشفته‌گی‌ها را فراهم می‌کنند (Fraver and White, 2005).

ابزار اصلی در بوم‌شناسی درختی برای شناسایی تاریخچه آشفته‌گی‌ها، تشخیص تغییرات ناگهانی (Release) یا افزایش ناگهانی در رشد شعاعی درختان است (Frelich, 2002). از آنجا که رشد شعاعی درختان به دما و بارش وابسته است و پاسخ درختان به آشفته‌گی‌ها نیز تحت تأثیر نوع گونه، قطر و سن درخت قرار می‌گیرد، به همین دلیل تشخیص تغییرات رشد با چالش‌های زیادی همراه است (Fraver and White, 2005). تغییرات رشد به‌عنوان دوره‌هایی از رشد درخت شناخته می‌شوند که پهنای حلقه‌های رویشی نسبت به میانگین دوره ۱۰ ساله قبل و بعد از آن تغییرات داشته و چندین سال نیز به طول انجامد (Nowacki and Abrams, 1997). بر این اساس، تغییرات در الگوی رشد درختان به دو دسته تغییرات اصلی (بیش از ۵۰ درصد افزایش رشد) و تغییرات حدواسط (بیش از ۲۵ درصد افزایش رشد) تقسیم‌بندی می‌شوند. با شمارش این تغییرات در حلقه‌های رویشی، می‌توان تاریخچه آشفته‌گی‌ها را بازسازی کرد (Fraver and White, 2005).

رشد شعاعی ساقه چوبی فرآیندی پیچیده است که تحت تأثیر فیزیولوژی درخت و شرایط محیطی کنترل می‌شود (Fonti et al., 2010). تغییرات محیطی می‌توانند پویایی جنگل‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. در برخی موارد، این تغییرات موقتی هستند و جنگل به حالت اولیه باز می‌گردد، اما در موارد دیگر، تغییرات ممکن است غیرقابل برگشت باشند و جنگل به سمت تعادل جدیدی حرکت کند (de Wergifosse, 2021). حلقه‌های رویشی درختان داده‌های بلندمدتی از رشد سالانه ارائه می‌دهند که برای درک پویایی جنگل‌ها در عصر تغییرات جهانی و تأثیر عوامل اقلیمی و محیطی بر آن‌ها بسیار ارزشمند هستند (Amoroso et al., 2017). این حلقه‌ها، مقیاس‌های زمانی از دهه‌ها تا

قرن‌ها را پوشش می‌دهند و یکی از قوی‌ترین روش‌ها برای بررسی حساسیت اقلیمی رشد درختان محسوب می‌شوند. همچنین، حلقه‌های رویشی چشم‌انداز بلندمدتی ارائه می‌دهند که به درک تأثیر تدریجی عوامل محیطی بر رشد درختان و جنگل‌ها کمک می‌کند (Walker et al., 2021). این روش به‌ویژه برای گونه‌هایی مانند بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lind.) که حلقه‌های سالانه با مرز مشخص تشکیل می‌دهند، بسیار قابل اعتماد است (Arsalani et al., 2018).

بلوط‌های خزان‌کننده، از گونه‌های مهم جنس *Quercus* هستند (Romagnoli et al., 2018). اگرچه این گونه‌ها در قرن بیستم رشد به‌نسبت پایدار و حساسیت اقلیمی کمی داشته‌اند (Rybníček et al., 2016)، اما امروزه سلامت و بقای آن‌ها به دلیل ترکیبی از عوامل زنده (مانند حمله حشرات و قارچ‌های بیماری‌زا) و عوامل اقلیمی (مانند خشکی تابستان و یخبندان زمستان) و همچنین وقوع آتش‌سوزی به‌طور جدی در معرض خطر قرار گرفته است (Gentilesca et al., 2017). بلوط ایرانی هم به‌عنوان یکی از این گونه‌های خزان‌کننده، با وجود سازگاری اکولوژیکی بالا و نقش کلیدی در مقاومت جنگل‌های زاگرس در برابر تغییرات اقلیمی، به دلیل چالش‌های متعدد در معرض انقراض گسترده قرار دارد (Sagheb-Talebi et al., 2014). در حقیقت آشفته‌گی‌های طبیعی و انسانی (مانند تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی، خشکسالی‌های مکرر، ریزگردها، آتش‌سوزی‌ها و آفات) در جنگل‌های زاگرس باعث مرگ‌ومیر گسترده این گونه ارزشمند شده است (Haidarian Aghakhani et al., 2017).

درک بهتر پاسخ درختان به آشفته‌گی‌های گذشته برای مدیریت پایدار جنگل‌ها ضروری است. برای درک پویایی بوم‌سازگان‌های جنگلی، به یک چشم‌انداز بلندمدت نیاز است و گاه‌شناسی درختی ابزاری منحصر

به‌فرد برای بررسی این موضوع محسوب می‌شود (Rinaldi et al., 2021). بررسی‌های مختلفی برای شناسایی تاریخچه آشفته‌گی‌ها براساس گاه‌شناسی درختی انجام شده است (Bretfeld et al., 2015; Rinaldi et al., 2021; Nagel and Cerioni., 2023). در بوم‌سازگان جنگلی هیرکانی نیز Ebrahimi et al. (2019) به مقایسه زادآوری طبیعی و تغییرات رویش شعاعی درختان در توده‌های بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده راش شرقی براساس گاه‌شناسی درختی پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد رژیم‌های آشفته‌گی طبیعی و انسانی هر دو نوع تغییرات اصلی و حد واسط را در الگوی رشد درخت ایجاد کرده‌اند و رویش شعاعی درختان در منطقه بهره‌برداری‌شده نسبت به منطقه بهره‌برداری نشده، در طی زمان متحمل تغییرات بیشتری شد. بررسی‌های متعددی نیز در جنگل‌های زاگرس به بررسی پاسخ رویشی بلوط ایرانی به عوامل تنش‌زا پرداخته‌اند. به‌طور خاص Nasser Karimvand et al. (2016) نشان دادند که کاهش بارندگی و خشکسالی عامل کاهش رشد سالیانه بلوط ایرانی است. بررسی داده‌های حلقه‌های رویشی درختان بلوط، برای ارائه اطلاعات بوم‌شناسی استفاده می‌شود. بنابراین ایجاد گاه‌شناسی بلوط ایرانی در منطقه مورد بررسی یکی از اهداف این پژوهش است. همچنین بررسی وقوع آشفته‌گی در روند رشد درختان بلوط که می‌تواند به درک شرایط محیطی گذشته کمک کند، هدف دیگر این پژوهش است.

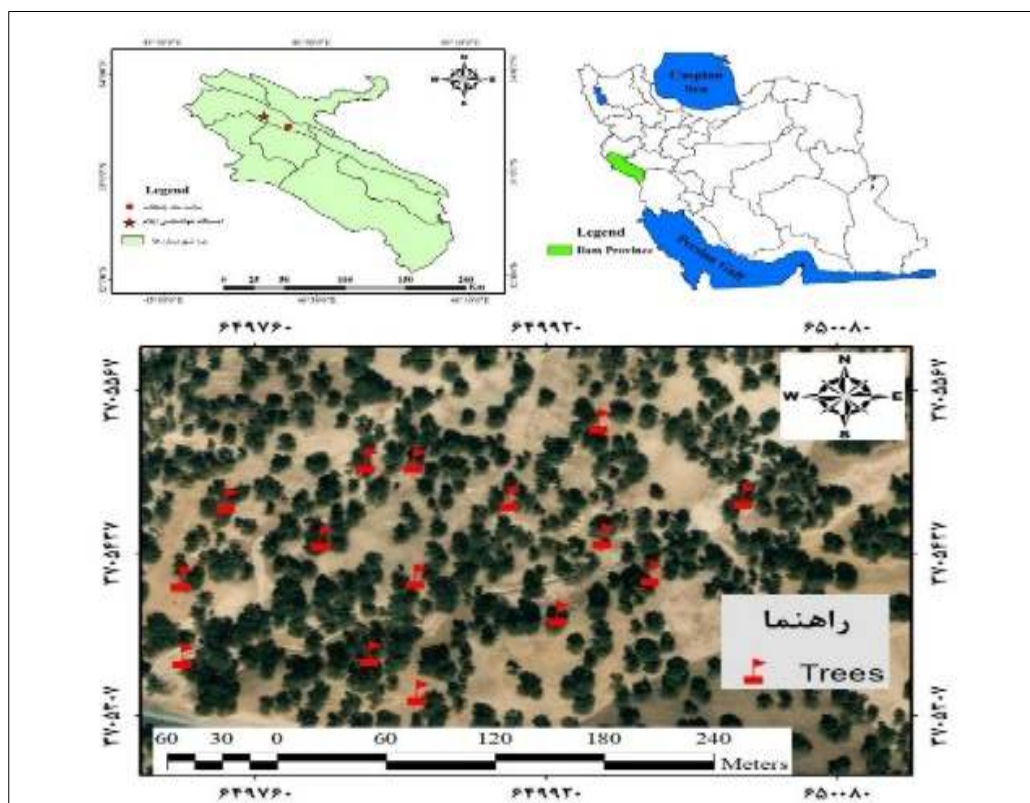
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این بررسی در جنگل‌های بلوط استان ایلام و رویشگاه مله‌پنجاب (با مختصات $47^{\circ} 26' 6^{\circ}$ طول شرقی و $18^{\circ} 43' 33^{\circ}$ عرض شمالی) در فاصله ۲۵ کیلومتری از

بادامک و خنجک، گونه‌های همراه این تیپ را تشکیل می‌دهند (Sanjabi, 2017). براساس تحلیل داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی شهرستان ایلام و برای یک دوره ۳۶ ساله، بارندگی سالانه در این رویشگاه تقریباً ۵۵۵ میلی‌متر است که در طول هشت ماه از سال (مهرماه سال قبل تا اردیبهشت ماه سال جاری) اتفاق می‌افتد. میانگین دمای ماهانه در این رویشگاه نیز ۱۷ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است.

شهرستان ایلام انجام شد (شکل ۱). مله‌پنجاب در واحد زمین‌شناسی زاگرس چین‌خورده قرار گرفته که حدود ۸۰ درصد از آن را اراضی کوهستانی تشکیل می‌دهد. سنگ‌شناسی آن متشکل از سنگ‌های گچی و آهکی است که روی سازند گورپی قرار دارند. از نظر ویژگی‌های خاکشناسی دارای بافت لومی است که این بافت با افزایش عمق، سبک‌تر می‌شود. تیپ درختی غالب در این رویشگاه بلوط ایرانی است و گونه‌های بنه، زالزالک،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

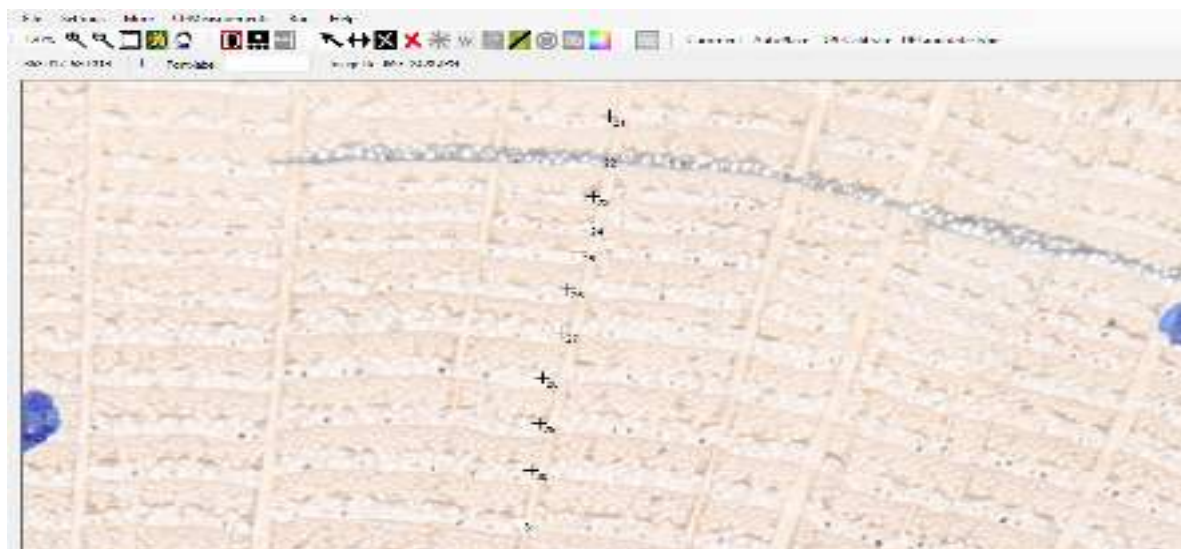
Figure 1. The geographic location of the study area

et al. (2022) مناسب به نظر می‌رسد. سپس دیسک‌های ساقه با استفاده از اره موتوری برش داده شدند. نمونه‌ها در دمای محیط خشک شده، با استفاده از سنباده‌های زیر و نرم صیقل داده شدند تا سطحی مناسب برای تشخیص مرز حلقه‌های رویشی ایجاد شود (Speer, 2010). در ادامه، از نمونه‌ها با استفاده از دوربین عکاسی (Canon EOS R5; <https://global.canon>), تصاویری با وضوح

داده‌های حلقه‌های رویشی درخت پس از بازدید از منطقه و بررسی درختان بادافتاده، در مجموع، تعداد ۱۵ اصله درخت بادافتاده که به صورت تمام‌تنه در عرصه بودند، انتخاب شدند. این تعداد درخت با توجه به انتخاب ۱۵ اصله درخت بلوط در بررسی‌های پیشین (Zarean et al., 2017)، انتخاب ۴۸ اصله درخت بلوط در سه رویشگاه در بررسی Safari

مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به این ترتیب برای ۱۵ دیسک تعداد ۳۰ سری رویشی اندازه‌گیری شد.

بالا تهیه و پهنای حلقه‌های سالانه با استفاده از نرم‌افزار (Larsson and Larsson, 2018) Coorecorder اندازه‌گیری شد (شکل ۲). هر دیسک ساقه در دو جهت



شکل ۲- تصویری از محیط نرم‌افزار Coorecorder

Figure 2. Coorecorder environment

استانداردسازی برای حذف روندهای غیراقلیمی که به خاطر تغییر سن و اندازه درختان در طول زمان به وجود آمده، صورت می‌گیرد (Camarero & Rubino-Cuadrado, 2020). استانداردسازی، علاوه بر حذف روندهای غیراقلیمی و سنی، سری‌های دوایر رویشی را به یک سری زمانی تبدیل می‌کند که نشان‌دهنده ارتباط یک عامل مشخص مانند اقلیم با رویش درختان است. با عمل استانداردسازی، نوسان پهنای دوایر رویشی در منحنی‌های مختلف با هم مقایسه شده و با حذف سیگنال‌های غیراقلیمی، منحنی رویشی به دست آمده را می‌توان با استفاده از متغیرهای اقلیمی مورد بررسی قرار داد (Arsalani, 2012). در بسته نرم‌افزاری dplR از تابع *detrend()* برای استانداردسازی داده‌ها استفاده شد. در این بسته روش‌های مختلفی (مانند Mean, Friedman, AR, AgeDepSpline, ModHugershoff, ModNegExp و Spline) برای

برای ادامه تحلیل‌ها از بسته نرم‌افزاری dplR (Bunn, 2008, 2010) در نرم‌افزار R استفاده شد. با استفاده از این بسته نرم‌افزاری ابتدا تطابق زمانی (Crossdating)، سری‌های رویشی انجام شد. تطابق زمانی با هدف حذف خطای اندازه‌گیری (حذف دوایر کاذب و اضافه کردن دوایر گمشده) انجام می‌شود. در حقیقت فرآیند شناسایی الگوی مشابه حلقه‌های سالانه درختان مختلف در یک رویشگاه به عنوان تطابق زمانی شناخته می‌شود (Douglas, 1940). برای تطابق زمانی تابع *corr.rwl.seg()* مورد استفاده قرار گرفت. این تابع همبستگی بین هر سری از حلقه‌های سالانه را محاسبه می‌کند. برای این منظور کاربر می‌تواند با روش‌های موجود (یعنی spearman، Kendall و Pearson) عمل تطابق زمانی را انجام دهد (Bunn, 2008). در این بررسی تطابق زمانی با معیار همبستگی پیش فرض یعنی ضریب همبستگی Spearman انجام شد.

استانداردسازی وجود دارد که بسته به هدف بررسی روش مناسب انتخاب می‌شود. در این پژوهش تمام سری‌ها با روش Spline استانداردسازی شدند.

در مرحله بعد، سری‌های استاندارد شده برای ایجاد گاه‌شناسی مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از تابع *chron* در بسته نرم‌افزاری dplR گاه‌شناسی ساخته شده و نتیجه آن در دو ستون نشان داده شد که اولین ستون مربوط به مقادیر گاه‌شناسی و دومین ستون مربوط به تعداد نمونه‌ها در هر سال است. از سری‌های استاندارد شده، گاه‌شناسی استاندارد و گاه‌شناسی باقی‌مانده (Residual Chronology) با طول ۷۲ سال (۱۹۵۱ تا ۲۰۲۲) برای تمام نمونه‌ها تهیه شد. علاوه بر آن، بعضی از شاخص‌های آماری برای ارزیابی گاه‌شناسی، شامل میانگین حساسیت (Mean Sensitivity)، همبستگی بین سری‌های رویشی و سیگنال تجمعی (Explanation of population signal) محاسبه شد. همبستگی بین سری‌ها، میانگین همبستگی بین یک سری رویشی و گاه‌شناسی اصلی را نشان می‌دهد (Rinaldi et al., 2021). سیگنال تجمعی (EPS) برای ارزیابی کیفیت گاه‌شناسی استفاده می‌شود. مقدار آستانه EPS برابر ۰/۸۵ در نظر گرفته می‌شود؛ مقادیر بالاتر از این آستانه نشان‌دهنده سیگنال‌های اقلیمی قوی در حلقه‌های رویشی هستند (Wigley et al., 1984). میانگین حساسیت نیز تغییرات سالانه در پهنای حلقه‌های رویشی را مشخص می‌کند (Rinaldi et al., 2021). میانگین حساسیت از رابطه ۱ (Biondi & Qeadan, 2008) و با استفاده از تابع *sens1* در بسته نرم‌افزاری dplR محاسبه شد:

$$\text{رابطه ۱} \quad ms_x = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

در این رابطه x_t : پهنای دایره رویشی در سال t ، x_{t+1} : پهنای دایره رویشی در سال بعد و n : تعداد سال-هایی که با هم مقایسه می‌شوند.

برای محاسبه سیگنال تجمعی، رابطه ۲ (Wigley et al., 1984) به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$\text{رابطه ۲} \quad EPS_t = \frac{t \times r_{bt}}{t \times r_{bt} + (1 - r_{bt})}$$

در این رابطه t : میانگین تعداد سری‌های درخت و r_{bt} : میانگین همبستگی بین درختان است.

تغییرات ناگهانی در الگوی رویشی درختان

روش‌های مختلفی برای شناسایی تغییرات رشد در داده‌های گاه‌شناسی وجود دارد که متداول‌ترین روش محاسبه درصد تغییرات رشد برای هر سری از حلقه‌های رویشی، استفاده از روش میانگین‌گیری رویش شعاعی یا روش Nowacki & Abrams (1997) است (رابطه ۳). در این بررسی، برای شناسایی تغییرات رشد، بسته نرم‌افزاری TRADER (Altman et al., 2014) در نرم‌افزار R مورد استفاده قرار گرفت. برای شناسایی تغییرات رشد، درصد افزایش رشد از ۱۰ سال قبل از یک سال معین با ۱۰ سال پس از سال مورد نظر مقایسه شد. تغییرات باید حداقل پنج سال طول بکشد، رشد ۲۵ درصدی داشته باشد و حداقل ۱۰ سال فاصله داشته باشد تا شناسایی شود (Rinaldi et al., 2021).

$$\text{رابطه ۳} \quad \%GC = [(M_2 - M_1)/M_1] \times 100$$

در این رابطه GC: درصد تغییرات رشد برای هر سال؛ M_1 : میانگین رویش شعاعی در دوره ۱۰ ساله قبل از وقوع تغییر و M_2 : میانگین رویش شعاعی در دوره ۱۰ ساله بعد از وقوع تغییر است.

نتایج

جدول ۱ ویژگی‌های ساختاری درختان (ارتفاع، قطر در ارتفاع برابر سینه و ارتفاع تنه) نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، میانگین طول ۳۰ سری رویشی

۴۸/۱۶ سال بود که یک دوره زمانی ۷۲ ساله از سال

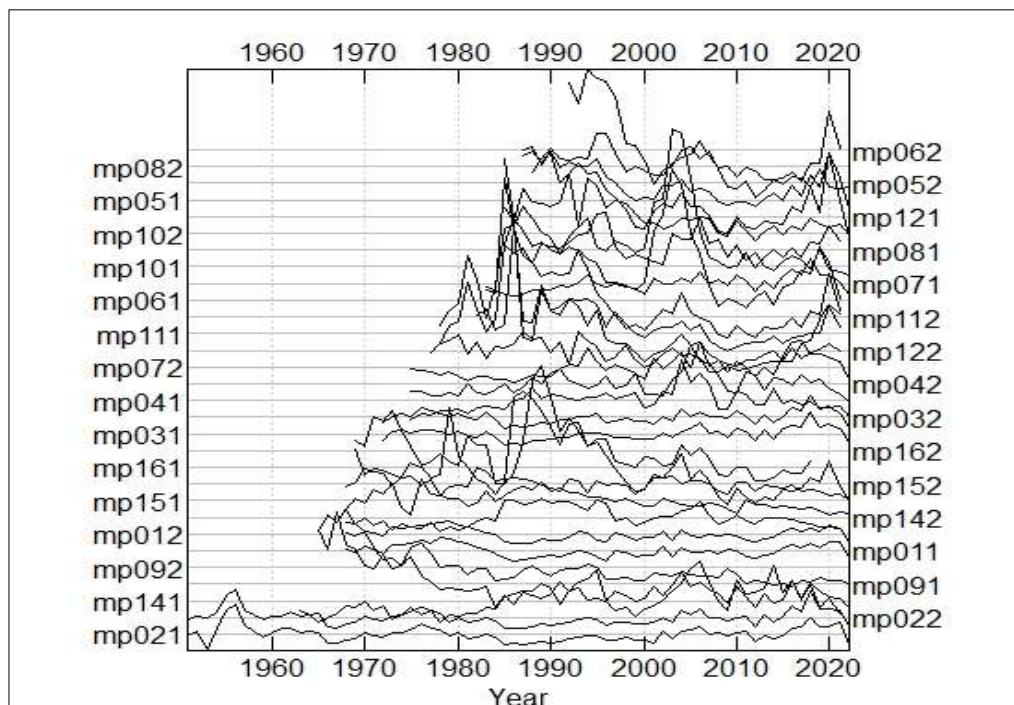
۱۹۵۱ تا ۲۰۲۲ میلادی را پوشش می‌داد. در شکل ۳

دوره زمانی این سری‌های رویشی نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات درختان نمونه‌برداری شده

Table 1. Characteristics of the sampled trees

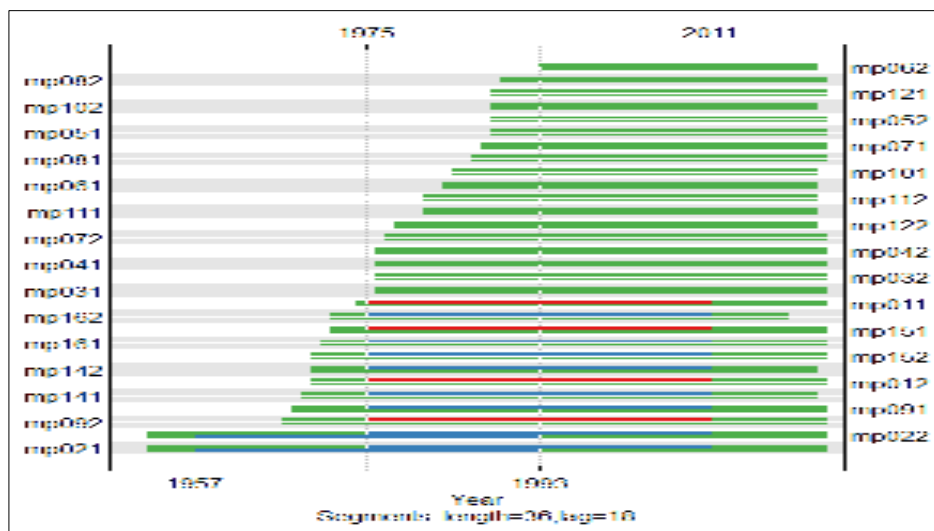
شماره درخت No. tree	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m a.s.l)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) dbh (cm)	ارتفاع درخت (متر) Height (m)	ارتفاع تنه (متر) Stem height (m)
1	46.61333	33.47833	1438	37	6	2
2	46.61388	33.47805	1442	41	5.8	2.2
3	46.61277	33.47860	1438	30	5.25	1.75
4	46.61249	33.47861	1437	42	6.3	2.1
5	46.61221	33.47805	1430	30	5.1	1.7
6	46.61277	33.47777	1433	30	5.4	1.8
7	46.61360	33.47749	1438	32	5.2	1.75
8	46.61416	33.47777	1442	28	5.5	2
9	46.61166	33.47833	1432	19.5	5.7	1.9
10	46.61138	33.47777	1430	28	6.1	2
11	46.61138	33.47721	1442	31	5.4	1.7
12	46.61249	33.47722	1432	24	5.8	1.6
13	46.61276	33.47693	1435	31	5.4	1.8
14	46.61471	33.47833	1441	49	6.5	2.5
15	46.61387	33.47888	1446	33	5.1	1.8



شکل ۳- سری‌های حلقه‌های رویشی (mp به نام رویشگاه مله‌پنجاب اشاره دارد)

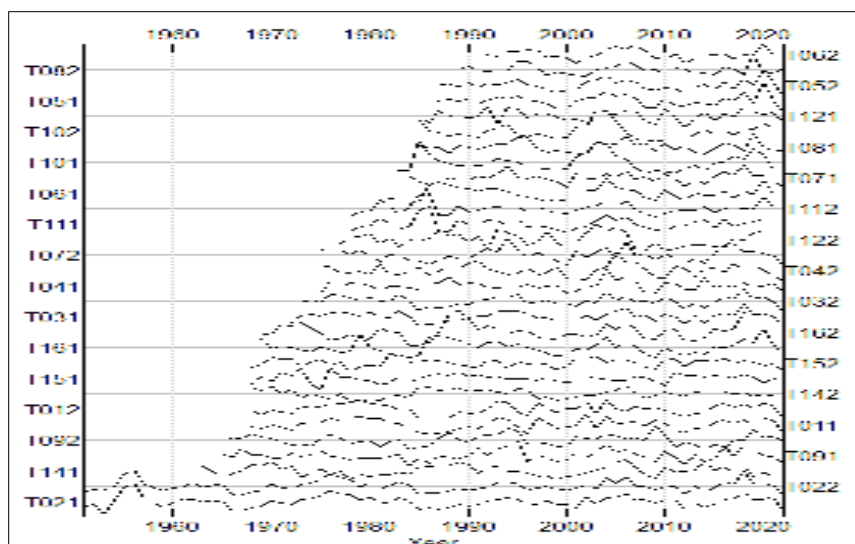
Figure 3. The tree-ring series (mp refers Melehpanjab site)

تطابق زمانی و استانداردسازی
 شکل ۴ وضعیت تطابق زمانی سری‌های رویشی را نشان می‌دهد. بخش‌های آبی و سبز در این شکل همبستگی
 معنی‌دار بین سری‌ها را نشان داده و مشخص می‌کند که تطابق زمانی به‌خوبی انجام شده است. در شکل ۵ نیز سری‌های رویشی استاندارد شده مشخص شده‌اند.



شکل ۴- تطابق زمانی سری‌های رویشی. در این شکل هر سری از مجموعه داده‌ها با دو خط رنگی مشخص شده است که رنگ هر بخش از این خط‌ها براساس همبستگی با گاه‌شناسی اصلی است. خطوط آبی نشان‌دهنده همبستگی بالای سری‌ها با گاه‌شناسی اصلی است. خطوط سبز نشان می‌دهند که سری‌های رویشی با دوره زمانی همپوشانی کامل ندارند. خطوط قرمز نشان از همبستگی پایین سری‌های رویشی با گاه‌شناسی اصلی دارند.

Figure 4. Crossdating of series. Each series is shown and colored by correlation with the master chronology. Blue segments correlate well to the master chronology, while potential dating problems are indicated by the red segments green lines show segments that do not completely overlap the time



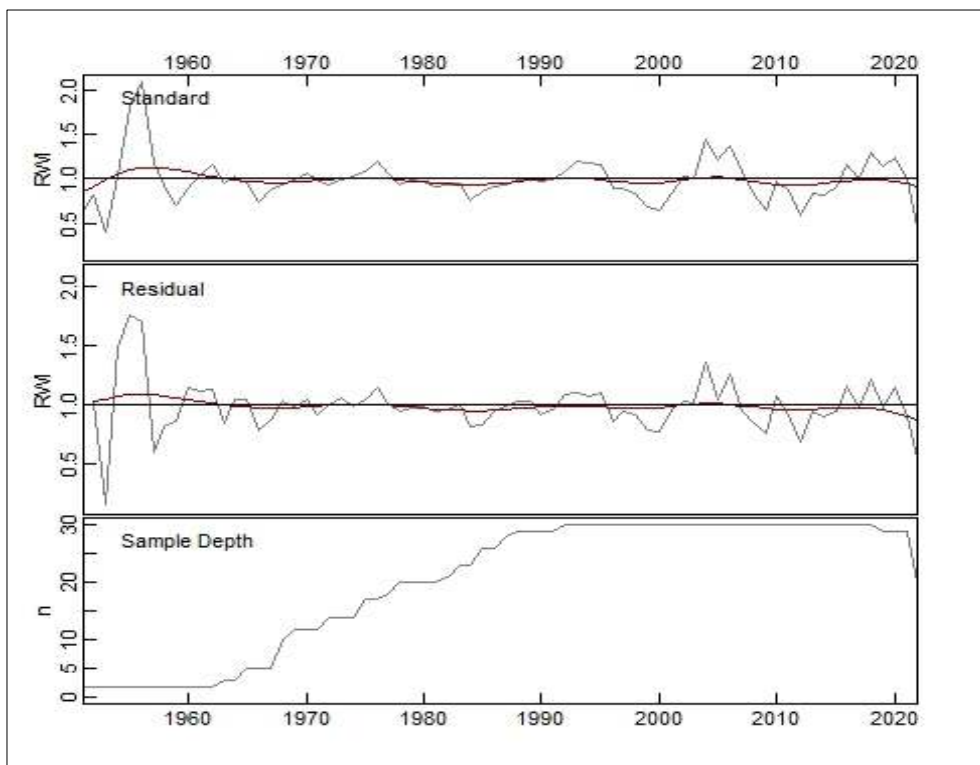
شکل ۵- سری‌های استاندارد شده

Figure 5. Detrended the series

مشخصات گاه‌شناسی درختان

نشان داد که درختان نمونه‌برداری شده تحت تأثیر عامل‌های محیطی مشابه بوده و تعداد نمونه‌ها برای گاه‌شناسی کافی می‌باشد.

شکل ۶ گاه‌شناسی استاندارد و باقی‌مانده برای رویشگاه مله‌پنجاب را نشان می‌دهد. میانگین حساسیت برای گاه‌شناسی ۰/۳۲ به‌دست آمد. سیگنال تجمعی (۰/۸۸)



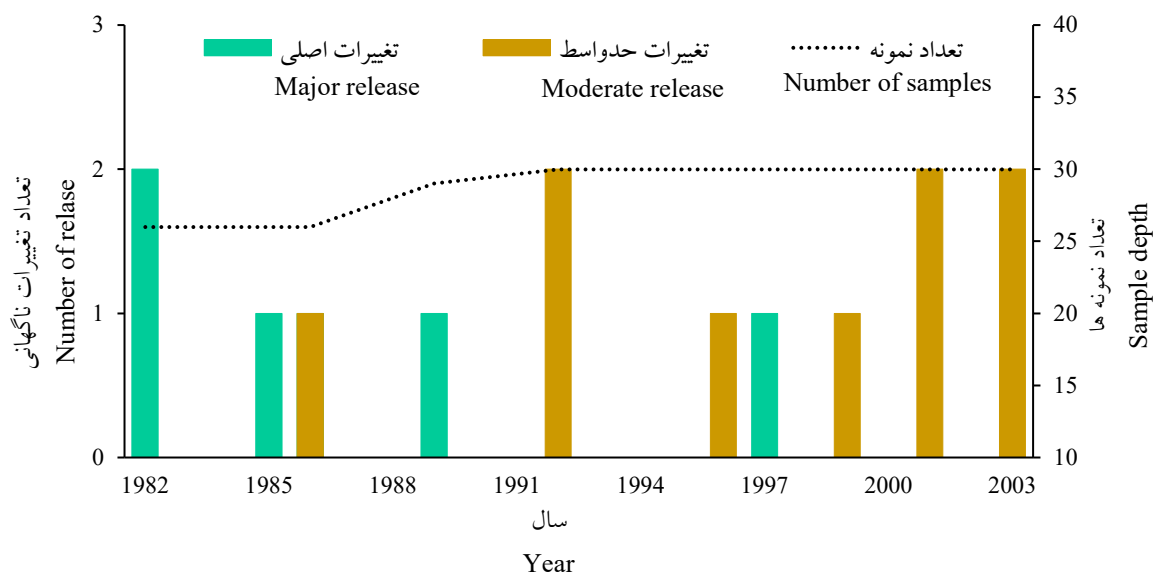
شکل ۶- گاه‌شناسی استاندارد و باقی‌مانده. تعداد نمونه‌ها (Sample Depth) روی محور y نشان داده شده است.

Figure 6. Standardized chronology and residuals. Sample depth is shown on the y-axis.

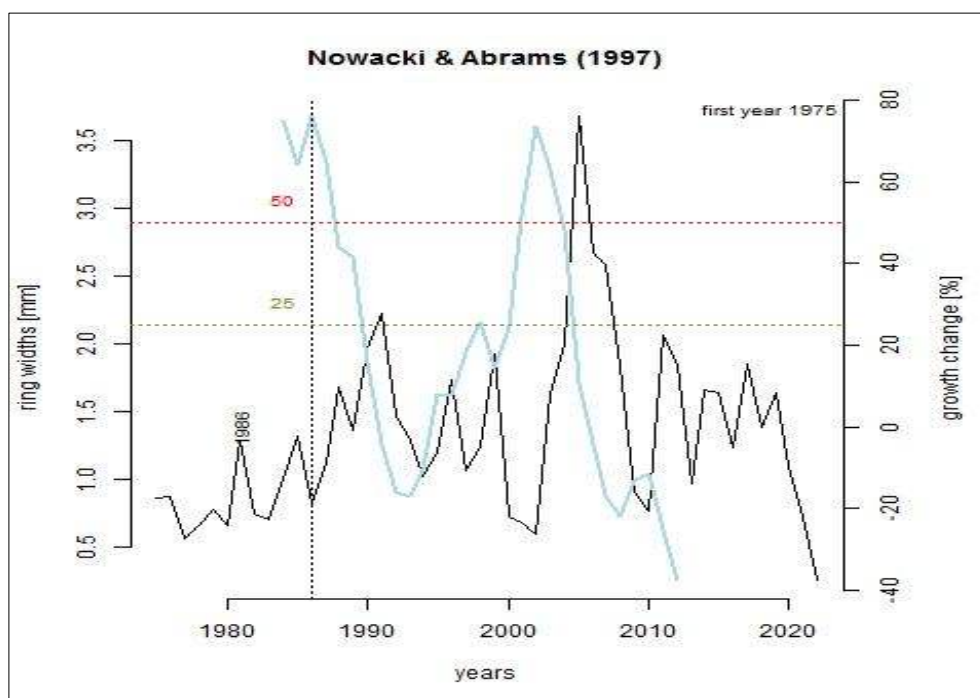
دادند و در تمام درختان حاضر در تجزیه و تحلیل این تغییرات مشاهده شد (شکل ۷). در سال ۱۹۸۲ میلادی بیشترین تعداد تغییرات اصلی در درختان مشاهده شد که این تغییرات تقریباً در ۸۶ درصد درختان مشاهده شد. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که ۶۰ درصد تغییرات از دهه ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ میلادی اتفاق افتاده است. در شکل ۸ نمونه‌ای از تغییرات در الگوی رویشی سری دوم درخت چهارم در رویشگاه مله‌پنجاب نشان داده شده است.

تغییرات ناگهانی در الگوی رویش درختان

در این بررسی تغییرات در روند رشد شعاعی درختان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، هر دو نوع از تغییرات ناگهانی یعنی تغییرات اصلی و حد واسط در روند رشد شعاعی درختان مشاهده شد. در مجموع، ۱۵ تغییر ناگهانی شناسایی شد که شامل نه تغییر حدواسط و شش تغییر اصلی بود. سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ میلادی بیشترین تعداد تغییرات حدواسط (دو تغییر) را به خود اختصاص



شکل ۷- آنالیز تغییرات اصلی (میله سبز) و حدواسط (قرمز). تعداد نمونه‌ها با خط‌چین مشکی نشان داده شده است
Figure 7. Releases analysis representing growth major release (green bars) and moderate release (red bars). The sample depth is represented by a black dotted line



شکل ۸- نمونه‌ای از تغییرات ناگهانی و حدواسط در سری mp042
Figure 8. An example of major release and moderate release in the mp042 series

شد. این روش به دلیل انعطاف‌پذیری در شناسایی پالس‌های رشد، امکان توصیف دقیق‌تری از تغییرات رشد را فراهم می‌کند (Black & Abrams, 2003). در رویشگاه مله‌پنجاب و با شروع دهه‌های اخیر، درختان

بحث
در این بررسی، از گاه‌شناسی درختی و روش Nowacki & Abrams (1997) برای شناسایی تغییرات در روند رشد درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس استفاده

بلوط بیشترین تعداد تغییرات را در الگوی رویش بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۴ تجربه کردند. بررسی‌های قبلی نشان می‌دهد که ایستگاه‌های هواشناسی استان ایلام برای دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۶ میلادی یک روند افزایش دما و کاهش مقدار بارندگی را تجربه کردند (Ahmadi & Azizzadeh, 2020). علاوه بر این، از سال ۱۸۴۷ تا ۲۰۰۹ میلادی چندین دوره خشکی شدید در این استان اتفاق افتاد (Hosseini et al., 2017) که وقوع دوره‌های خشک بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۹ میلادی همزمان با وقوع تغییرات ناگهانی در الگوی رشد درختان بوده است.

تغییر شرایط اقلیمی و پیامدهای آن (بروز خشکسالی و نیز گرد و غبارهای متعدد) درختان بلوط را ضعیف ساخته و این ضعف سبب شیوع گونه‌های خاصی از حشرات چوبخوار و قارچ‌ها شده که درصد زیادی از جنگل‌های استان را خشکانده است (Jozeyan et al., 2017). این موضوع با بررسی‌های انجام‌شده در جنگل‌های زاگرس نیز همخوانی دارد که نشان می‌دهند درختان بلوط به دلیل ضعف فیزیولوژیکی ناشی از خشکسالی، بیشتر در معرض حمله آفات و بیماری‌ها قرار می‌گیرند (Sagheb-Talebi et al., 2014). از طرفی همخوانی یافته‌های حاضر با بررسی‌های پیشین در زاگرس حاکی از تشدید آشفته‌گی‌ها در دهه‌های اخیر است. به عنوان مثال، بررسی بیگی حیدرلو و میرشکارلو (۱۴۰۳) نشان داد که افزایش دمای سالانه بیش از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد طی دو دهه اخیر، فراوانی آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های زاگرس شمالی را تا ۶۰ درصد افزایش داده است. از طرفی، آمارهای اداره کل منابع طبیعی استان ایلام نشان می‌دهد که بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ شمسی، ۳۶ مورد آتش‌سوزی در جنگل‌های این شهرستان رخ داده که سبب سوختن حدود ۲۱۴ هکتار از جنگل‌ها شده است (Polat et al., 2020).

این یافته‌ها با بررسی‌های انجام‌شده در سایر مناطق زاگرس همسو هستند که نشان می‌دهند آتش‌سوزی‌های مکرر می‌توانند ساختار و ترکیب گونه‌ای جنگل‌ها را به‌طور قابل توجهی تغییر دهند (Haidarian Aghakhani et al., 2017). بنابراین تغییرات در الگوی رشد درختان بلوط می‌تواند تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، پیامدهای آن و یا ترکیبی از عوامل اقلیمی و اکولوژیکی باشد.

بررسی‌های مشابه در سایر مناطق جهان نیز نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی و آشفته‌گی‌ها می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر رشد درختان داشته باشند. به عنوان مثال، در جنگل‌های مدیترانه‌ای، افزایش دما و کاهش بارندگی سبب کاهش رشد درختان بلوط شده است (Gentilesca et al., 2017). همچنین، در جنگل‌های اروپایی، خشکسالی‌های مکرر باعث افزایش مرگ‌ومیر درختان بلوط و کاهش مقاومت آنها در برابر آفات و بیماری‌ها شده است (Rybníček et al., 2016). این یافته‌ها با نتایج بررسی حاضر همسو هستند و نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی می‌توانند تأثیرات مشابهی بر جنگل‌های مختلف در سراسر جهان داشته باشند.

نتیجه‌گیری کلی

تفکیک تأثیر تغییرات اقلیمی و آشفته‌گی‌های جنگل بر روابط رشد-اقلیم چالش‌برانگیز است؛ زیرا این عوامل به‌طور پیچیده‌ای با هم در تعامل هستند (Rinaldi et al., 2021). نتایج این بررسی نشان داد که هم تغییرات اقلیمی و هم آشفته‌گی‌های جنگل می‌توانند بر پاسخ حلقه‌های رویشی درختان به اقلیم در طول زمان تأثیر بگذارند. با توجه به اینکه جنگل‌های زاگرس به‌طور مکرر با وقایع اقلیمی و آشفته‌گی‌هایی مانند آتش‌سوزی و شیوع آفات مواجه می‌شوند، انتظار می‌رود در آینده تغییرات طولانی‌مدت در ساختار و عملکرد این جنگل‌ها به وقوع بپیوندد. این یافته‌ها اهمیت مدیریت

تطبیقی و پایدار جنگل‌ها را در مواجهه با تغییرات محیطی برجسته می‌کند. مدیریت تطبیقی جنگل‌های زاگرس نیز مستلزم ادغام یافته‌های گاه‌شناسی درختی با راهبردهای عملیاتی است. همان‌گونه که Esmaili et al. (2023) در پژوهش خود تأکید کردند که پایش ترکیبی حلقه‌های رویشی و شاخص‌های سلامت درختان، ابزاری کلیدی برای شناسایی زود هنگام تخریب جنگل‌های بلوط است.

References

- Ahmadi, H.; Azizzadeh, J., The impacts of climate change based on regional and global climate models (RCMs and GCMs) projections (case study: Ilam province). *Modeling Earth Systems and Environment* **2022**.
- Altman, J.; Fibich, P.; Dolezal, J.; Aakala, T., TRADER: a package for tree ring analysis of disturbance events in R. *Dendrochronologia* **2014**, 32, 107–112.
- Amoroso, M. M.; Daniels, L.; Baker, P. J.; Camarero, J. J., Dendroecology: Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies. *Springer International Publishing* **2017**.
- Arsalani, M., Reconstruction of Precipitation and Temperature Variations Using Oak Tree Rings in Central Zagros, Iran. **2012**. Faculty of Geography, University of Tehran, Iran Unpublished M.A. Thesis.
- Arsalani, M.; Pourtahamsi, K.; Azizi, Gh.; Bräuning, A.; Mohammadi, H., Tree-ring based December–February precipitation reconstruction in the southern Zagros Mountains, Iran. *Dendrochronologia* **2018**, 49, 45–56.
- Beygi Heidarlou, H.; Karamat Mirshkarlou, A., Understanding the effects of climate change on wildfires in the Iranian Northern Zagros Forests. *Forest Research and Development* **2024**, 10(3).
- Biondi, F.; Qeadan, F., Inequality in paleorecords. *Ecology* **2008**, 89(4): 1056–1067.
- Black, B. A.; Abrams, M. D., Use of boundary-line growth patterns as a basis for dendroecological release criteria. *Ecological Applications* **2003**, 13(6), 2003, pp. 1733–1749.
- Bretfeld, M.; Doerner, J. P.; Franklin, S. B., Radial growth response and vegetative sprouting of aspen following release from competition due to insect-induced conifer mortality. *Forest Ecology and Management* **2015**, 347 (2015) 96–106.
- Bunn, A. G., A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* **2008**, 26, 115–124.
- Bunn, A. G., Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia* **2010**, 28 (2010) 251–258.
- Camarero, J. J.; Rubio-Cuadrado, A., Relating climate, drought and radial growth in broadleaf Mediterranean tree and shrub species: A new approach to quantify climate-growth relationships. *Forests* **2020**, 11: 1250.
- de Wergifosse, I., Simulating tree growth response to climate change in structurally-complex oak and beech stands across Europe. **2021**. Doctoral dissertation. Louvain-La-Neuve. 188p.
- Douglass, A. E., Crossdating in Dendrochronology. *Journal of Forestry* **1940**, 825–831.
- Ebrahimi, S. S.; Pourbabaei, H.; Pourtahmasi, K., Comparison of natural regeneration and radial growth variations of trees in the harvested and unharvested beech stands, Case study: Asalem forest. *Iranian Journal of Forest* **2019**, 11(2): 221–238. (In Persian)
- Esmaili, A.; Mousavi Mirkala, S. R.; Alijanpour, A.; Hajarian, M.; Ghanbari, S., Investigation the quantitative and qualitative characteristics of Persian oak and estimating its fruit in Sardasht. *Forest Research and Development* **2023**, 9(3): 365–379.
- Fonti, P.; von Arx, G.; Garcia-Gonzalez, I.; Eilmann, B.; Sass-Klaassen, U.; Gartner, H.; Eckstein, D., Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist* **2010**, 185 (1): 42–53.
- Fraver, Sh.; White, A. S., Identifying growth releases in dendrochronological studies of forest disturbance. *Canadian Journal of Forest Research* **2005**, 35: 1648–1656 (2005)
- Frelich, L. E. *Forest Dynamics and Disturbance Regimes: Studies from Temperate Evergreen-deciduous Forests*. Cambridge University Press, New York, **2002**.

- Fritts, H.; Swetnam, T. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in Ecological Research* **1989**, 19, 111.
- Gentilesca, T.; Camarero, J. J.; Colangelo, M.; Nole, A.; Ripullone, F., Drought-induced oak decline in the western Mediterranean region: an overview on current evidences, mechanisms and management options to improve forest resilience. *iforest, Biogeosciences and Forestry* **2017**, 10 (5): 796.
- Haidarian Aghakhani, M.; Tamartash, R.; Jafarian, Z.; Tarkesh Esfahani, M.; Tatian, M. R., Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus brantii*) using Species Distribution Modelling in Central Zagros for conservation planning. *Journal of Environmental Studies* **2017**, 43(3): 497-511. (In Persian)
- Hosseini, A.; Hosseini, S. M.; Linares, J. C., Site factors and stand conditions associated with Persian oak decline in Zagros mountain forests. *Forest Systems* **2017**, 26 (3), e014, 13 pages.
- Jozeyan, A.; Vafaei Shoushtari, R.; Askari, H., The survey of oak wood borer beetles and natural enemies in the forest of Ilam Province. *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research* **2017**, 14(2): 107-121. (In Persian)
- Larsson, L.; Larsson P., CooRecorder/CDendro package version 9.3.1. Cybis, Saltsjöbaden, Sweden, **2018**.
- Nabuurs, G. J.; Delacote, Ph.; Ellison, D.; Hanewinkel, M.; Hetemaki, L.; Lindner, M., By 2050 the mitigation effects of EU forests could nearly double through climate smart forestry. *Forests* **2017**, 8, 1-14.
- Nagel, Th. A.; Cerioni, M., Structure and dynamics of old-growth *Pinus nigra* stands in Southeast Europe. *European Journal of Forest Research* **2023**, 142:537-545.
- Nasseri Karimvand1, S.; Poursartip, L.; M. Moradi, M.; Soosani, J., Dynamic Effects of climate variables (temperature and precipitation) on the annual diameter growth of Iranian oak (*Quercus brantii* Lindl). *Forest Research and Development* **2016**, 2(1).
- Nowacki, G. J.; Abrams, M. D., Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs* **1997**, 67(2), 225-249.
- Polat, S., Ghasemi Aghbash, F.; Mahdavi, A., Forest fire hazard zone mapping in Ilam county forests. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 6(1): 135-152. (In Persian)
- R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. **2024**.
- Rinaldi, B. N.; Maxwell, R. S.; Callahan, Th. M.; Brice, R. L.; Heeter, K. J.; Harley, G. L., Climate and ecological disturbance analysis of Engelmann spruce and Douglas fir in the greater Yellowstone ecosystem. *Trees, Forests and People* **2021**, 3 (2021) 100053.
- Romagnoli, M.; Moroni, S.; Recanatesi, F.; Salvati, R.; Mugnozza, G. S., Climate factors and oak decline based on tree-ring analysis. A case study of peri-urban forest in the Mediterranean area. *Urban Forestry & Urban Greening* **2018**, 34: 17-28.
- Rybníček, M.; Cermak, P.; Prokop, O.; Zid, T.; Trnka, M.; Kolar, T., Oak (*Quercus* spp.) response to climate differs more among sites than among species in central Czech Republic. *Dendrobiology* **2016**, 75: 55-65.
- Safari, E.; Moradi, H.; Seim, A.; Yousefpour, R.; Mirzakhani, M.; Tegel, W.; Soosani, J.; Kahle, H. P., Regional Drought Conditions Control *Quercus brantii* Lindl. **2022**. Growth within Contrasting Forest Stands in the Central Zagros Mountains, Iran. *Forests*, 13, 495.
- Sagheb Talebi, Kh.; Sajedi, T.; Pourhashemi, M., Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. *Springer* **2014**, New York, 152.
- Sanjabi, E., Estimation of Tree Density of Zagros Woodlands Using OLI Sensor of Landsat 8 Data (Case Study: Melapanjab Forest in Ilam). **2017**. M.Sc. Thesis. Ilam University. (In Persian)
- Speer, J. H., Fundamentals of Tree-ring Research. University of Arizona Press. **2010**.
- Walker, A. P.; De Kauwe, M. G.; Bastos, A.; Belmecheri, S.; Katerina Georgiou, K.; Keeling, R.; McMahon, S.; Medlyn, B.; Moore, D.; Norby, R.; Zaehle, S.; Anderson-Teixeira, K.; Battipaglia, G.; Brien, R.; Cabugao, K.; Cailleret, R. M.; Campbell, E.; Canadell, J.; Ciais, Ph.; Craig, M., et al, Integrating the evidence for a terrestrial carbon sink caused by increasing atmospheric CO₂. *New Phytologist* **2021**, 229(5), 2413-2445.

Wigley, T. M. L.; Briffa, K. R.; Jones, P. D., On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hyrometeorology. *American Meteorological Society* **1984**, 23, 201–213.

Zarean, H.; Yazdanpanah, H.; Movahedi, S.; Jalilvand, H.; Momeni, M., Reconstructing over a century of annual temperature of *Quercus Persica* tree rings in Zagros Forests (Case Study of Dena Region). *Geographic Research* **2017**, 30 (1):153-166.