



University of Tehran

Beech annual radial growth change assessment across elevation ranges in the Kheyroud forest

Hossein Salarvand Shamsi¹ | Parviz Fatehi² |
Manochehr Namiranian³ | Reza Oladi⁴

1. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: salarvand.hossein@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: parviz.fatehi@ut.ac.ir

3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mnamiri@ut.ac.ir

4. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: oladi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 19 July 2025
Revised: 07 October 2025
Accepted: 29 December 2026
Published online: 09 February 2026

Keywords:
Beech,
Different altitudinal ranges,
Radial growth,
Time series.

ABSTRACT

Altitude, as a key environmental factor, significantly affects tree growth. This study investigated the variations in the annual radial growth of beech trees over a 60-year period (1964–2024) across three altitudinal ranges: below 1,000 m, 1,000–1,400 m, and above 1,400 m a.s.l. in the Kheyroud Educational and Research Forest. To this end, 30 field sample plots (30 × 30 m) were established in pure beech stands, and a total of 150 dominant trees were selected, from which two increment cores per tree were extracted. After measuring tree-ring widths and performing cross-dating, both raw annual ring-width chronologies and detrended time series were constructed, and their statistical quality indices were calculated. The results revealed significant differences in mean radial growth among the altitudinal ranges. Radial growth was greatest at mid-elevations (1,000–1,400 m) and lowest above 1,400 m. However, during the last 30 years, beech trees at the lowest elevations slightly outperformed those at mid-elevations. Moreover, the detrended chronologies indicated that growth patterns at low and mid-elevations were more consistent with each other, whereas trees at higher elevations displayed a different growth pattern and were more sensitive to environmental changes. Overall, the findings suggest that altitude exerts a negative effect on beech growth, although the magnitude and form of this effect vary among altitudinal ranges, with mid-elevations providing the most favorable conditions for growth.

Cite this article: Salarvand Shamsi, H., Fatehi, P., Namiranian, M., Oladi, R. (2026). Beech annual radial growth change assessment across elevation ranges in the Kheyroud forest. *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (4), 381-392. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.398743.1358>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.398743.1358>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

وب‌گاه نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

بررسی تغییرات رویش شعاعی سالانه درختان راش در دامنه‌های ارتفاعی مختلف جنگل خیرود

حسین سالاروند شمسی^۱ | پرویز فاتحی^{۲*} | منوچهر نمیرانیان^۳ | رضا اولادی^۴

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشجویان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: salarvand.hossein@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشجویان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: parviz.fatehi@ut.ac.ir
۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشجویان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mnamiri@ut.ac.ir
۴. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشجویان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: oladi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۱/۲۰

کلیدواژه:

دامنه‌های مختلف ارتفاعی،

راش،

رویش شعاعی،

سری زمانی.

ارتفاع از سطح دریا یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر رویش درختان است. این پژوهش به بررسی تغییرات رویش شعاعی سالانه درختان راش طی یک دوره ۶۰ ساله (۱۳۴۳ تا ۱۴۰۳) در سه دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر، ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر و بیش از ۱۴۰۰ متر در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود پرداخته است. بدین‌منظور ۳۰ قطعه نمونه مربعی ۳۰×۳۰ متری در رویشگاه‌های خالص راش طراحی و در مجموع ۱۵۰ درخت انتخاب و از هر درخت دو مغزی رویشی برداشت شد. پس از اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های رویشی و تطابق دوره زمانی، سری‌های زمانی پهنای خام حلقه سالانه و سری‌های روندزدایی شده (استاندارد) استخراج و شاخص‌های آماری برای بررسی کیفیت آنها محاسبه شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین رویش شعاعی درختان در دامنه‌های ارتفاعی مختلف در این منطقه وجود دارد. بیشترین رویش شعاعی در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر و کمترین رویش شعاعی، در ارتفاعات بیش از ۱۴۰۰ متر مشاهده شد. با این حال، درختان راش در پایین‌ترین دامنه‌های ارتفاعی طی ۳۰ سال گذشته اندکی عملکرد بهتری نسبت به دامنه‌های میانی داشته‌اند. همچنین سری‌های روندزدایی شده نشان دادند که الگوهای رشد در ارتفاعات پایین و میانی همخوانی بیشتری با هم دارند، اما در ارتفاعات بالاتر الگوی رشد متفاوت از ارتفاعات پایین‌تر بوده و نسبت به تغییرات محیطی حساس‌تر است. به‌طور کلی، یافته‌ها حاکی از آن است که دامنه ارتفاعی میان‌بند (۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰) بهترین بستر را برای رشد فراهم کرده است.

استناد: سالاروند شمسی؛ حسین، فاتحی؛ پرویز، نمیرانیان؛ منوچهر، اولادی؛ رضا (۱۴۰۴). بررسی تغییرات رویش شعاعی سالانه درختان راش در دامنه‌های ارتفاعی مختلف جنگل

خیرود. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۸ (۴)، ۳۹۲-۳۸۱. DOI: <https://10.22059/jfwf.2025.398743.1358>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.398743.1358>



۱. مقدمه

رویش شعاعی درختان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های عملکرد جنگل است که می‌تواند نشان‌دهنده مجموعه‌ای از شرایط بوم‌شناختی و اقلیمی در جنگل‌های یک منطقه باشد. عوامل متعددی بر تغییرات رویش شعاعی توده جنگلی مؤثراند که از مهمترین آنها می‌توان به ارتفاع از سطح دریا اشاره نمود. ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی محیطی، تأثیر به‌سزایی بر رویش درختان دارد [۱]. بررسی این عوامل می‌تواند به‌طور مستقیم در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جنگل‌ها و ارزیابی تاب‌آوری بوم‌سازگان‌های جنگلی نسبت به تغییرات اقلیمی مؤثر واقع شود [۲-۴]. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، شدت نور و ترکیب خاک تغییر می‌کنند که این تغییرات می‌توانند به‌طور مستقیم بر رویش درختان اثر بگذارند. در ارتفاعات بالاتر، دمای میانگین سالیانه کاهش می‌یابد و فصل رشد کوتاه‌تر می‌شود. این شرایط می‌تواند منجر به کاهش مقدار فتوسنتز و در نتیجه کاهش رویش شعاعی درختان شود. از طرفی، بررسی تغییرات رویش شعاعی درختان در طی زمان می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره واکنش گونه‌های مختلف نسبت به عوامل محیطی فراهم آورد [۵]. در این راستا، علم گاه‌شناسی درختی^۱ به‌عنوان روشی دقیق و کارآمد برای بررسی رویش شعاعی درختان در دوره‌های زمانی بلندمدت شناخته می‌شود که امکان تحلیل تأثیر عوامل محیطی را فراهم کرده است. گاه‌شناسی درختی یکی از مهم‌ترین تکنیک‌ها برای ثبت فرایندهای طبیعی و نظارت بر تغییرات بوم‌سازگان است. در این روش درخت به ابزاری برای نظارت بر وضعیت محیط‌زیست تبدیل شده است، زیرا نشانه‌های زیستی بلند مدت را در حلقه‌های رویشی ثبت می‌کند [۶]. این روش را می‌توان برای بررسی تأثیر عوامل محیطی مانند ارتفاع از سطح دریا بر رویش شعاعی درختان به‌کار برد.

پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا بر رویش شعاعی درختان پرداخته‌اند، نشان می‌دهند که درختان در ارتفاعات بالاتر نسبت به تغییرات دما حساسیت بیشتری نشان می‌دهند، در حالی که در ارتفاعات پایین‌تر، محدودیت‌های رطوبتی بیشتر محسوس است [۲]. در کوه‌های کین‌لینگ چین درختان در ارتفاعات بالاتر حساسیت بیشتری به دما دارند، در حالی که در ارتفاعات پایین‌تر، رطوبت و میزان بارندگی تأثیر بیشتری بر رویش شعاعی درختان داشته است [۷]. در ارتفاعات پایین‌تر، درختان ممکن است با تنش‌های گرمایی و کمبود آب مواجه شوند که می‌تواند رویش آنها را محدود کند. از سوی دیگر، در ارتفاعات بالاتر، کاهش دما و افزایش باد می‌تواند منجر به کاهش رویش شود. اگرچه مطالعات متعددی در جنگل‌های کوهستانی جهان نشان داده‌اند که رویش درختان اغلب در ارتفاعات بالاتر کاهش می‌یابد [۸]، ولی شواهدی نیز در دست است که رویش گونه‌های درختی در ارتفاعات مختلف متفاوت بوده و ممکن است از الگویی یکسان پیروی نکند. برای مثال، مطالعات در جنگل‌های کوهستانی اروپا نشان داده است که رویش گونه‌هایی مانند نراد (*Abies alba*) و راش (*Fagus sylvatica*) در ارتفاعات مختلف به‌صورت متفاوتی رخ داده است [۹]. همچنین، مطالعات دیگر نشان داده‌اند که افزایش گرمایش جهانی ممکن است باعث جابجایی دامنه پراکنش ارتفاعی درختان به سمت مناطق بالاتر شود، به‌ویژه برای گونه‌هایی مانند راش که در دوره‌های جوانی و میان‌سالی به رویشگاه‌های سردتر و مرتفع‌تر منتقل می‌شوند [۱۰، ۱۱]. در مورد راش شرقی نیز، الگوی تغییرات رویش شعاعی در ارتفاعات مختلف ممکن است بسته به شرایط رویشگاهی تغییر کند [۱۲]. با آنکه گزارش‌هایی از رویش بهتر این گونه در جنگل‌های میان‌بند هیرکانی گزارش شده است [۱۳، ۱۴]، ولی بررسی روند رویش شعاعی درختان راش در چهار مقطع سنی در جنگل کلاردشت نشان داد که رویش شعاعی در طی سال‌های مختلف از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند و نوسان‌های متفاوتی دارد ولی عامل ارتفاع از سطح دریا بر میزان رویش شعاعی درختان مؤثر است، به‌طوری که با افزایش ارتفاع رویش شعاعی هم کاهش می‌یابد [۱۵].

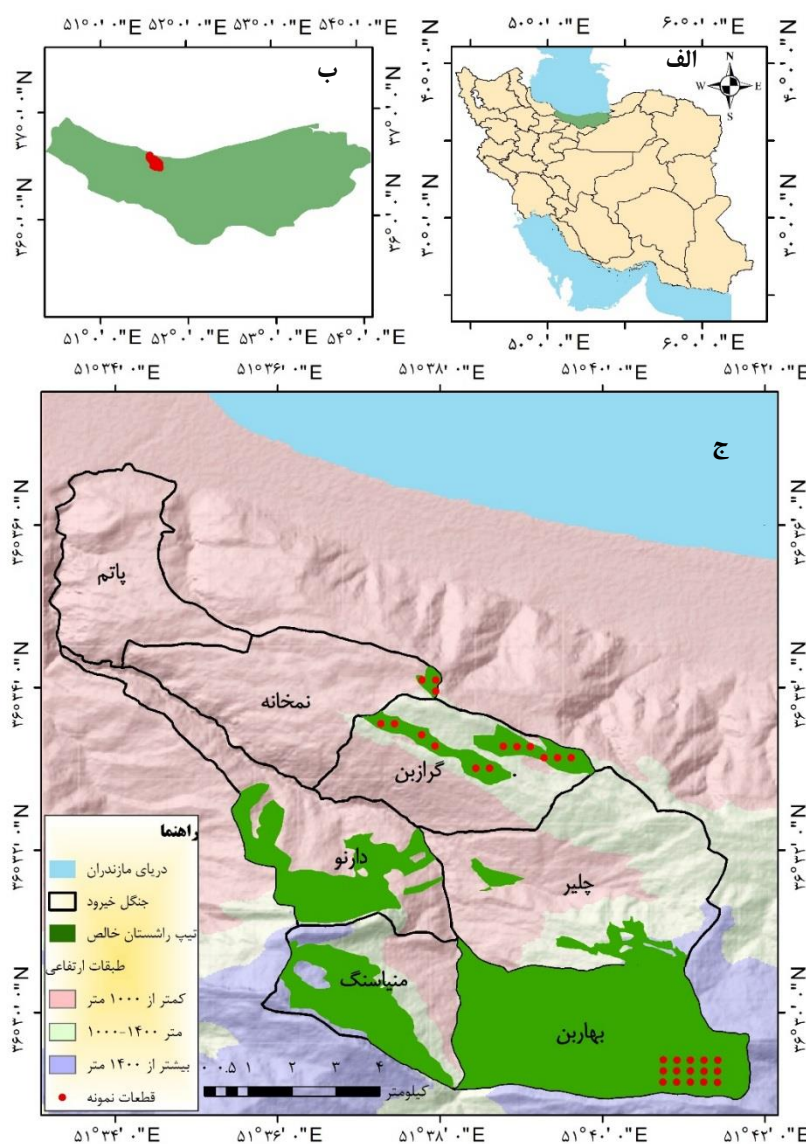
با توجه به اهمیت شناخت تأثیر ارتفاع بر رویش درختان، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا بر رویش شعاعی درختان راش در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در سه دامنه ارتفاعی (کمتر از ۱۰۰۰ متر، ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۰ متر و بالاتر از ۱۴۰۰ متر) و تحلیل روندهای سری زمانی رویش شعاعی درختان در دامنه‌های مختلف ارتفاعی با استفاده از روش گاه‌شناسی درختی انجام شده است. این مطالعه در جنگل‌های طبیعی با پوشش غالب راش انجام شده و نتایج آن می‌تواند در درک بهتر پاسخ درختان به تغییرات اقلیمی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در بوم‌سازگان‌های کوهستانی نقش مؤثری داشته باشد.

¹Dendrochronology

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود به‌عنوان یک پایگاه تحقیقاتی مهم برای مطالعات جنگل‌شناسی، بوم‌شناسی و مدیریت جنگل شناخته می‌شود [۱۶]. این جنگل در محدوده‌ای به مختصات جغرافیایی بین $36^{\circ} 40'$ تا $36^{\circ} 27'$ عرض شمالی و $51^{\circ} 45'$ تا $51^{\circ} 30'$ طول شرقی در استان مازندران و در نزدیکی شهرستان نوشهر قرار دارد (شکل ۱). جنگل خیرود مساحتی در حدود ۸۰۰۰ هکتار از جنگل‌های هیرکانی را در بر می‌گیرد و میانگین دمای سالانه در این جنگل حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. این جنگل یکی از مناطق غنی از تنوع زیستی در جنگل‌های هیرکانی است و دارای پوشش گیاهی متنوعی شامل گونه‌های درختی، درختچه‌ای، بوته‌ای و علفی است که تحت تأثیر عوامل محیطی مانند ارتفاع، شیب، اقلیم و خاک قرار دارند [۱۷]. جنگل خیرود دارای گونه‌های درختی متنوعی از جمله راش (*Fagus orientalis* Lipsky) است. راش یکی از مهم‌ترین و فراوان‌ترین گونه‌های درختی در جنگل‌های هیرکانی، به‌ویژه در جنگل خیرود است. این گونه در جنگل خیرود گسترده‌ترین دامنه انتشار را به‌خود اختصاص داده و به‌دلیل ویژگی‌های بوم‌شناختی خاص خود، در ارتفاعات ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متری به‌عنوان گونه غالب در توده‌های کوچک و بزرگ حضور دارد [۱۸].



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)، استان مازندران (ب) و موقعیت مکانی قطعه نمونه‌ها در دامنه‌های ارتفاعی مختلف در جنگل خیرود (ج)

۲-۲. روش پژوهش

۲-۲-۱. انتخاب گونه

درخت راش یکی از گونه‌های با ارزش جنگل‌های شمال ایران به‌شمار می‌رود. این گونه دارای رویشگاه‌های مشخصی است و به‌صورت توده‌های خالص راشستان در ارتفاعات میان‌بند و بالابند نیز مشاهده می‌شود. این درخت گونه بومی شمال ایران است و از نظر گاه‌شناسی درختی هم حلقه‌های کاذب و گمشده کمتری در این گونه مشاهده می‌گردد. راش به‌دلیل پراکنش مناسب، طول عمر زیاد، حساسیت به تغییرات اقلیمی و وضوح حلقه‌های رویشی، یک گونه ارزشمند برای مطالعات گاه‌شناسی درختی در جنگل‌های شمال ایران به‌شمار می‌رود [۱۹]. بنابراین درخت راش برای بررسی این پژوهش انتخاب شد.

۲-۲-۲. انتخاب قطعه نمونه‌ها

به‌منظور تحلیل اثر ارتفاع از سطح دریا بر رویش شعاعی درختان راش در جنگل خیرود، ابتدا با استفاده از نقشه تیپ‌بندی تهیه شده در گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، محل‌هایی که گونه راش به‌صورت توده‌های خالص مشاهده می‌شد، شناسایی شد. سپس تعداد ۳۰ قطعه نمونه مربعی شکل به ابعاد 30×30 متر با فاصله حداقل ۲۵۰ متر از هم در این جنگل به‌گونه‌ای طراحی شد تا پوشش مناسبی از راشستان‌های خالص در دامنه‌های مختلف ارتفاعی را در بر گیرد (شکل ۱ ج). قطعه نمونه‌ها در سه دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر (۵ قطعه نمونه)، ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر (۱۰ قطعه نمونه) و بیشتر از ۱۴۰۰ متر (۱۵ قطعه نمونه) توزیع شدند. پایین‌ترین قطعه نمونه در ارتفاع ۸۵۶ متری از سطح دریا قرار دارد و مرتفع‌ترین قطعه نمونه در ۱۸۵۰ متری قرار داشت. در هر قطعه نمونه تعداد ۵ درخت از قطورترین و بلندترین درختان انتخاب و با استفاده از متد سال‌سنج از هر درخت دو نمونه از دو جهت عمود بر هم و با توجه به شیب استخراج شد. علاوه بر این سایر مشخصه‌های کمی درختان راش مانند قطر برابر سینه و ارتفاع درختان نیز اندازه‌گیری شد.

۲-۲-۳. اندازه‌گیری رویش شعاعی و ساخت سری‌های زمانی برای هر قطعه نمونه

مغزی‌های استخراج شده از درختان در آزمایشگاه، روی نگهدارنده‌های چوبی تثبیت شدند تا به آرامی و در دمای اتاق خشک شده و از تاب برداشتن آنها جلوگیری شود. پس از خشک شدن، نمونه‌ها با سنباده‌هایی با درجات زبری مختلف صیقل داده تا حلقه‌های رویشی به‌خوبی نمایان شوند. سپس نمونه‌ها با استفاده از اسکنری با وضوح ۲۴۰۰ dpi اسکن شده و پهنای حلقه‌های رویشی تمامی نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ با دقت 0.01 میلی‌متر از سمت پوست به‌سمت مغز اندازه‌گیری شدند. به‌دلیل وجود برخی ناهنجاری‌های رشد (مثل حلقه‌های کاذب و یا حلقه‌های گمشده) ممکن است سال اطلاق به هر حلقه رویشی دقیقاً همان سالی نباشد که رویش در آن اتفاق افتاده است. از این‌رو با تهیه نمودار تغییرات رویش شعاعی سالانه از نمونه‌های به‌دست آمده از درختان مختلف و انطباق آنهایی که در یک سال معینی تشکیل شده‌اند تاریخ‌گذاری تطبیقی انجام شد. تاریخ‌گذاری تطبیقی ابتدا برای جفت نمونه‌های یک درخت و سپس بین درختان هر قطعه نمونه، هم به‌صورت چشمی و هم به‌صورت آماری با استفاده از آزمون‌های آماری GLK^2 ، عدد تی (T-value) و ضریب همبستگی پیرسون (r) در نرم‌افزار R انجام شد. از آزمون‌های آماری GLK (درصد تطابق واریانس‌ها) برای بررسی تطابق زمانی بین سری‌های زمانی حلقه‌های رویشی استفاده می‌شود. GLK شاخصی است که تطابق پهنای حلقه‌های رویش را در دو سری زمانی نشان می‌دهد. به‌عبارتی GLK درصد سال‌هایی را اندازه‌گیری می‌کند که در آنها دو سری زمانی، به‌دست آمده از اندازه‌گیری رویش شعاعی از مغزی‌های دو طرف یک درخت، تغییرات هم‌جهت داشته‌اند (یعنی هر دو در همان سال افزایشی یا کاهشی هستند). در بسیاری از مطالعات علمی، $GLK \geq 65\%$ به‌عنوان حداقل مقدار قابل قبول برای تشابه زمانی بین دو سری در نظر گرفته می‌شود. یعنی حداقل در ۶۵ درصد سال‌ها، دو سری تغییرات روند مشابه داشته‌اند. عدد تی (T_{BP}) نشان می‌دهد که آیا همگنی مشاهده شده بین دو سری زمانی واقعی و معنی‌دار است یا اینکه صرفاً نتیجه تصادف و نوسانات ناشی از نمونه‌گیری است [۲۰]. مقدار این عدد بین سری‌های زمانی باید برابر یا بزرگتر از $3/5$ باشد تا همخوانی بین

²Gleichläufigkeit

سری‌ها از نظر آماری مورد قبول قرار گیرد. ضریب همبستگی پیرسون عددی بین ۱+ تا ۱- است که شدت و نوع وابستگی دو سری زمانی به یکدیگر را نشان می‌دهد.

پس از بررسی دو منحنی رویش (سری زمانی پهنای حلقه‌های رویشی) از نمونه‌های دو طرف یک درخت با هم، در صورت عدم تطابق، مجدداً مغزی‌ها بررسی و دوایر گمشده و کاذب آنها شناسایی شده و عمل تطابق زمانی دوباره انجام می‌شود. پس از انجام فرآیند تطابق زمانی، ابتدا سری زمانی میانگین پهنای حلقه‌های رویش برای هر درخت و سپس سری زمانی میانگین درختان هر قطعه نمونه رسم شدند. در نهایت یک سری زمانی برای هر دامنه ارتفاعی نیز تهیه شد.

با استفاده از بسته نرم‌افزاری dplR در نرم‌افزار R، گرایش سنی از سری‌های زمانی پهنای حلقه‌های رویش حذف شده و برای هر رویشگاه (دامنه ارتفاعی)، یک سری زمانی روندزایی^۳ شده با استفاده از تمام درختانی که پس از تطابق زمانی باقی ماندند، ساخته شد. کیفیت این سری زمانی روندزایی (استاندارد) شده با سه شاخص آماری میانگین حساسیت (MS)، خودهمبستگی مرتبه اول (AC) و سیگنال جمعیت بیان شده (EPS) برآورد شد. میانگین حساسیت (MS) بیانگر میزان تغییرات نسبی پهنای حلقه در سال‌های متوالی و بازتابی از حساسیت درخت به تغییرات محیطی است که معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۵ قرار دارد و مقادیر بالاتر از ۰/۲ نشان‌دهنده سیگنال اقلیمی مطلوب است. خودهمبستگی مرتبه اول (AC) میزان وابستگی پهنای حلقه هر سال به سال پیشین را نشان داده و بیانگر حافظه زیستی درخت است و برای مطالعات اقلیم‌شناسی درختی اگر کمتر باشد، بهتر است. سیگنال جمعیت بیان شده (EPS) نیز شاخصی از کفایت نمونه‌برداری و نشان‌دهنده این است که سری زمانی ساخته شده تا چه میزان کل جامعه را نمایندگی می‌کند. مقدار برابر یا بیشتر از ۰/۸۵ به عنوان آستانه پذیرفته شده و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده کفایت نمونه‌برداری و نمایندگی مناسب سیگنال مشترک هستند [۶].

۳. یافته‌های پژوهش

در مجموع ۳۰۰ مغزی از ۱۵۰ درخت در قطعه نمونه‌های مربعی شکل با مساحت ۹۰۰ متر مربع در سه بخش نمخانه (۵۰ مغزی) گرازین (۱۰۰ مغزی) و بهارین (۱۵۰ مغزی) از جنگل خیرود برداشت شد (جدول ۱) و رویش شعاعی سالانه آنها در سه دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر، ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۱۴۰۰ متر اندازه‌گیری شد.

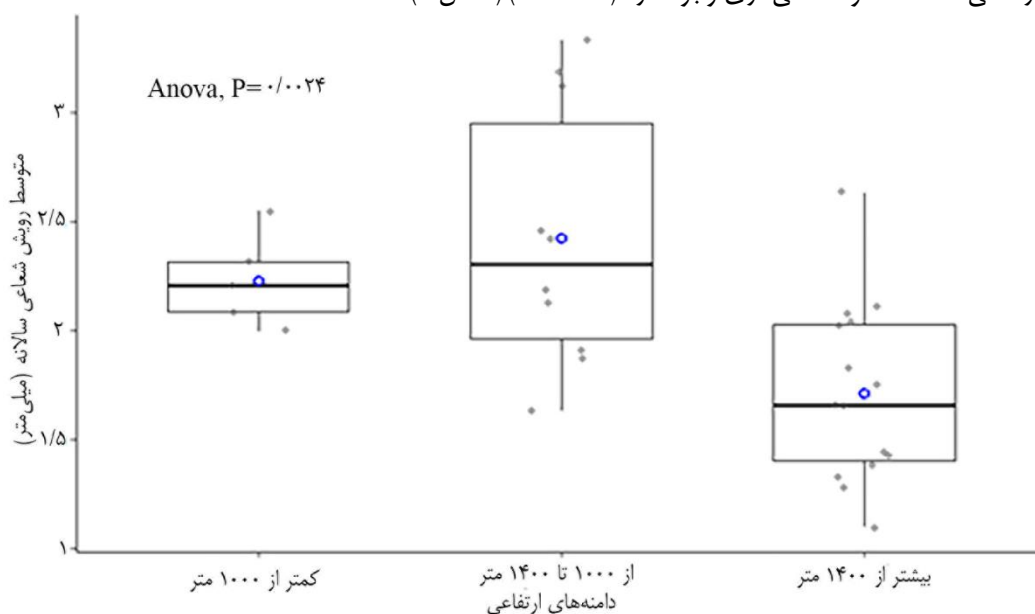
جدول ۱. قطعه‌نمونه‌ها و نمونه‌های رویشی در در بخش‌های مختلف راشتستان های جنگل خیرود

ردیف	ارتفاع (متر)	نام بخش	مساحت هر قطعه نمونه (متر مربع)	تعداد قطعه نمونه	تعداد درختان برداشت شده	تعداد هسته‌های رویشی (مغزی)
۱	کمتر از ۱۰۰۰ متر	نمخانه و گرازین	۹۰۰	۵	۲۵	۵۰
۲	۱۴۰۰-۱۰۰۰	گرازین	۹۰۰	۱۰	۵۰	۱۰۰
۳	بیشتر از ۱۴۰۰ متر	بهارین	۹۰۰	۱۵	۷۵	۱۵۰
۴	جمع	-	-	۳۰	۱۵۰	۳۰۰

الگوی پراکنش رویش شعاعی درختان در قطعه نمونه‌های مختلف مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که ارتفاع از سطح دریا تأثیر قابل توجهی بر رویش شعاعی سالانه دارد. بیشترین میزان رویش شعاعی در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر مشاهده شد؛ به طوری که در این محدوده رویش شعاعی بین ۱ تا ۴ میلی متر متغیر است و به صورت میانگین تا ۲/۴۲ میلی متر نیز ثبت شده است (جدول ۲). همچنین، بالاترین درصد رویش شعاعی سالانه (۳/۸ درصد) نیز در همین دامنه ارتفاعی بدست آمد. در مقایسه، دامنه کمتر از ۱۰۰۰ متر دارای رویش متوسط سالانه بین ۱ تا ۳/۵ میلی متر بوده و در ارتفاعات بیش از ۱۴۰۰ متر، این مقدار به طور محسوسی کاهش یافته و بین ۰/۷ تا ۳ میلی متر در نوسان بوده است. در این دامنه ارتفاعی، میانگین پهنای حلقه‌های رویش سالانه عمدتاً بین ۱ تا ۲ میلی متر بوده که بیانگر محدودیت رویش در شرایط اقلیمی سخت تر ارتفاعات بالا است.

³Detrended

بررسی نمودار جعبه‌ای نشان داد که پراکندگی مشاهده‌ها در دامنه ارتفاعی میانی نسبت به سایر دامنه‌های ارتفاعی بیشتر است (شکل ۲). نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) نشان داد که بین میانگین رویش شعاعی سالانه درختان در دامنه‌های ارتفاعی مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P=0.0024$) (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار رویش شعاعی سالانه درختان راش در ارتفاع‌های مختلف جنگل خیرود

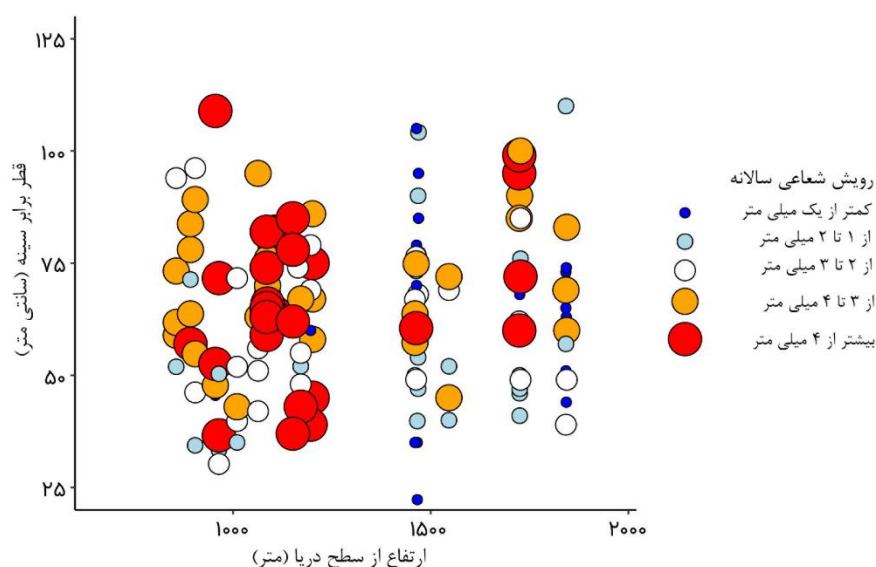
دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر علاوه بر رویش شعاعی سالانه بیشتر، دارای بیشترین مقادیر قطر برابر سینه (DBH)، مجموع رویش شعاعی ۶۰ ساله و نیز متوسط رویش شعاعی سالانه در کل دوره بوده است. در مقابل، درختان واقع در ارتفاعات بیش از ۱۴۰۰ متر کمترین مقادیر این شاخص‌ها را نشان دادند. همچنین در تمامی دامنه‌های ارتفاعی، میانگین رویش شعاعی در ۱۰ سال اخیر کمتر از میانگین ۶۰ ساله بود که این امر می‌تواند نشانه‌ای از اثر سن بر کاهش رویش شعاعی گونه راش در این منطقه باشد (جدول ۲). با توجه به اینکه سیگنال جمعیتی بیان‌شده (EPS) برای هر سه دامنه بالاتر از ۰/۹۵ بوده است نشان‌دهنده این است که تعداد نمونه‌ها به اندازه کافی بوده و سری زمانی به‌دست آمده از این داده‌ها از اعتبار بالایی برخوردار است و نماینده مناسبی از جامعه آماری است. میانگین حساسیت (MS) هر سه دامنه ارتفاعی در محدوده قابل قبول قرار دارد؛ به‌نحوی که استخراج سیگنال‌های اقلیمی از سری زمانی امکان‌پذیر است. با این حال، این عدد برای دامنه ارتفاعی بیشتر از ۱۴۰۰ متر بسیار بالاتر از دامنه‌های ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر و ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر بوده و نشان‌دهنده حساسیت بسیار بالای این محدوده به تغییرات محیطی است. همچنین نتایج خود همبستگی سالانه (AC) نشان داد که از دامنه‌های ارتفاعی پایین‌تر به سمت دامنه‌های بالاتر میزان وابستگی پهنای حلقه‌های هر سال نسبت به سال قبل کمتر می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲. تغییرات رویش شعاعی درختان راش در دامنه‌های ارتفاعی مختلف در جنگل خیرود

دامنه ارتفاعی (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	رویش شعاعی ۶۰ ساله (میلی‌متر)	متوسط رویش شعاعی سالانه (میلی‌متر)	متوسط رویش شعاعی ۱۰ ساله	درصد رویش شعاعی سالانه*	میانگین حساسیت (MS)	سیگنال جمعیتی بیان‌شده (EPS)	خود همبستگی سالانه (AC)
کمتر از ۱۰۰۰	۶۲/۵۲	۱۳۱/۴	۲/۱۹	۱/۸۷	۳/۵۰	۰/۲۷	۰/۹۵	۰/۴۵
۱۰۰۰-۱۴۰۰	۶۳/۷۴	۱۴۵/۲۰	۲/۴۲	۱/۶	۳/۸	۰/۲۶	۰/۹۷	۰/۲۷
بیشتر از ۱۴۰۰ متر	۶۲/۱۷	۱۰۲/۶	۱/۷۱	۱/۵۵	۲/۷۵	۰/۸۰	۰/۹۹	۰/۲۱

* درصد تغییر رویش شعاعی سالانه درخت در یک سال نسبت به سال قبل

برای تحلیل دقیق‌تر، نمودار پراکنش قطر برابر سینه نسبت به ارتفاع از سطح دریا با استفاده از داده‌های رویش شعاعی سالانه رسم شد (شکل ۳). در این نمودار، قطر برابر سینه در محور Y و ارتفاع از سطح دریا در محور X قرار دارد، در حالی که اندازه و رنگ دایره‌ها نشان‌دهنده متوسط رویش شعاعی سالیانه هستند. در این نمودار، با افزایش ارتفاع تا حدود ۱۴۰۰ متر، اندازه دایره‌ها (نشان‌دهنده متوسط رویش سالانه) افزایش یافته و رنگ آنها به سمت طیف‌های گرم‌تر میل کرده است که بیانگر رویش بیشتر است. با عبور از این ارتفاع، کاهش قابل توجهی در اندازه و گرمی رنگ‌ها مشاهده می‌شود که تأییدی بر افت رویش در دامنه ارتفاعی بالاتر است.



شکل ۳. بررسی تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر رویش شعاعی، با استفاده از مشخصه قطر برابر سینه (DBH)

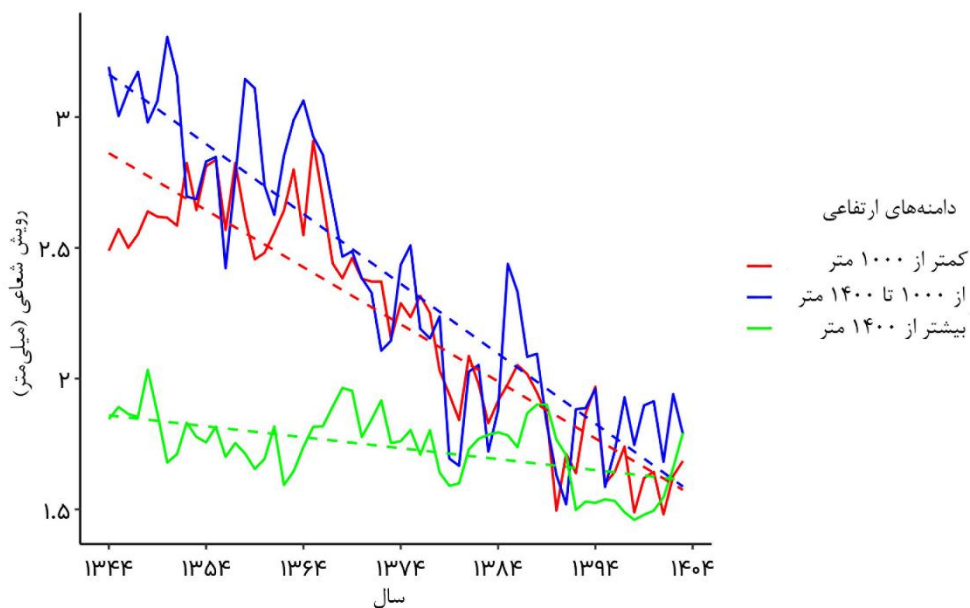
بررسی روند سری‌های زمانی رویش شعاعی در سه دامنه ارتفاعی (شکل ۴) نشان داد در دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر، رویش اولیه حدود ۲/۵ میلی‌متر بوده اما با گذر زمان به حدود ۱/۵ میلی‌متر کاهش یافته است. در واقع در این دامنه ارتفاعی یک کاهش نسبتاً شدید در رویش شعاعی اتفاق افتاده است. در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر، بیشترین رویش در آغاز دوره (بیش از ۳ میلی‌متر) ثبت شده است. با وجود کاهش منظم در طول زمان، این دامنه همچنان بالاترین میانگین رویش شعاعی کلی را در کل دوره نشان داده است. در دامنه ارتفاعی بیشتر از ۱۴۰۰ متر، رویش اولیه پایین‌تر (حدود ۱/۸ میلی‌متر) بوده و کاهش تدریجی و پراکندگی بیشتر داده‌ها در این دامنه قابل توجه است. در پایان دوره، رویش به حدود ۱/۵ میلی‌متر رسیده است که نشان‌دهنده شرایط زیستی نامساعدتر در ارتفاعات بالاتر است.

سری زمانی روندزدایی (استاندارد) شده پهنای حلقه رویشی در شکل ۵ نشان داده شده است. تغییرات سالیانه در دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر و دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر (به ترتیب، منحنی‌های قرمز و آبی در شکل ۵) همخوانی خوبی با یکدیگر داشته، درحالی‌که تغییرات سالیانه در دامنه ارتفاعی بیشتر از ۱۴۰۰ متر (منحنی سبز در شکل ۵)، الگوی متمایزی دارد.

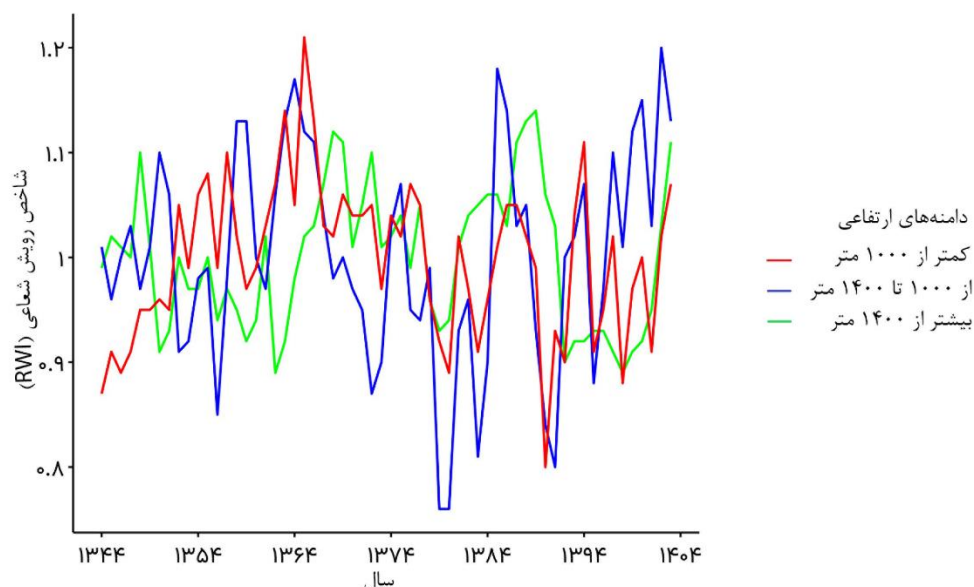
۴. بحث

در این مطالعه، رویش شعاعی درختان راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، در سه محدوده ارتفاعی شامل کمتر از ۱۰۰۰ متر، ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر و بالاتر از ۱۴۰۰ متر از سطح دریا بررسی شد. یافته‌های این پژوهش برپایه داده‌های به‌دست‌آمده از تحلیل ۶۰ ساله (۱۳۴۳ تا ۱۴۰۳) نمونه‌های رویشی از ۱۵۰ درخت در ۳۰ قطعه نمونه ۳۰×۳۰ متری استوار است. در ادامه، این یافته‌ها با تحقیقات گاه‌شناسی درختی موجود تلفیق شده و تأثیر ارتفاع بر رویش شعاعی با تمرکز بر دما، بارش، و اثرات تغییر اقلیم بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین رویش شعاعی در محدوده ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر از

سطح دریا رخ می‌دهد، که با الگوی معمول کاهش رویش با افزایش ارتفاع مغایرت دارد و نشان‌دهنده شرایط اکولوژیک منحصربه‌فرد جنگل‌های هیرکانی است که می‌تواند ناشی از تعادل مطلوب بین دما، رطوبت و سایر شرایط محیطی در این دامنه ارتفاعی باشد [۴]. نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) نشان داد که میانگین رویش شعاعی سالانه درختان بین دامنه‌های ارتفاعی مختلف دارای تفاوت معنی‌داری است. تحلیل نمودار جعبه‌ای بیانگر آن است که پراکندگی داده‌ها در دامنه ارتفاعی میانی نسبت به سایر ارتفاعات بیشتر بوده است، که می‌تواند ناشی از تأثیر عوامل زیستی یا بوم‌شناختی متنوع‌تری در این منطقه باشد.



شکل ۴. روند تغییرات سری زمانی رویش شعاعی سالانه درختان راش در سه دامنه ارتفاعی (قرمز: کمتر از ۱۰۰۰ متر، آبی: ۱۰۰۰-۱۴۰۰ متر و سبز: بیشتر از ۱۴۰۰ متر) طی یک دوره ۶۰ ساله از ۱۳۴۴-۱۴۰۳



شکل ۵. سری زمانی رویش شعاعی سالانه روند زدایی (detrend) شده در سه دامنه ارتفاعی (قرمز: کمتر از ۱۰۰۰ متر، آبی: ۱۰۰۰-۱۴۰۰ متر و سبز: بیشتر از ۱۴۰۰ متر) طی یک دوره ۶۰ ساله از ۱۳۴۴-۱۴۰۳

به‌طور کلی، این یافته‌ها حاکی از آن است که شرایط موجود در ارتفاع‌های میانی (میان‌بند) می‌تواند بستر مساعدتری را برای رویش شعاعی گونه‌های مورد مطالعه فراهم کند. در دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا، درختان راش رویش شعاعی متوسطی را نشان داده‌اند که عمدتاً به‌دلیل محدودیت‌های دمایی، به‌ویژه در سال‌های خشک، بوده است. به‌نظر می‌رسد دمای بالاتر و طولانی‌تر بودن فصل رویش در این ارتفاع‌های پایین‌تر، موجب افزایش فعالیت کامبیوم می‌شود، اما همین عوامل (بالا بودن دما) ممکن است تأثیر منفی بر رویش داشته باشد. به‌عنوان مثال بالا رفتن دما از حد بهینه در تابستان اثر منفی بر رویش داشته و موجب کاهش رویش شده است [۲۱-۲۲]. این نتایج با نتایج Fuchs و همکاران (۲۰۲۵) همخوانی دارد، که کاهش ۱۹/۳ درصدی رویش در ارتفاعات پایین‌تر جنگل‌های راش شرقی به‌دلیل افزایش دما و در شش دهه گذشته را گزارش کرده‌اند [۲۲]. این روند با پژوهش‌هایی انجام‌شده بر روی *Fagus sylvatica* در جنوب اروپا نیز سازگار است، که کاهش رویش تا ۲۰ درصد را در دامنه‌های ارتفاعی پایین‌تر به‌دلیل گرمایش اقلیمی گزارش کرده‌اند [۲۴]. رقابت با گونه‌های دیگر مانند بلوط و فعالیت‌های انسانی، از جمله تغییرات پوشش زمین، محدودیت‌های رویش را در این مناطق تشدید می‌کنند. علاوه بر این، تحقیقات نشان می‌دهد که تنش‌های رطوبتی در دامنه‌های ارتفاعی پایین‌تر جنگل‌های هیرکانی به‌دلیل افزایش تبخیر و تعرق ناشی از گرمایش اقلیمی شدت یافته است [۲۵].

در ارتفاع‌های بالاتر از ۱۴۰۰ متر از سطح دریا، رویش شعاعی درختان به‌طور محسوسی کاهش یافته و عرض حلقه‌های سالیانه به‌طور میانگین کمتر از ۰/۷ میلی‌متر بدست آمده است. با تغییر ارتفاع عوامل رویشگاهی تغییر می‌کنند و احتمالاً کاهش عرض حلقه‌های سالیانه می‌تواند تحت تأثیر این عوامل (محدودیت‌های بوم‌شناختی نظیر دمای پایین‌تر، فصل رویش کوتاه‌تر و شرایط نامساعد خاک در این ارتفاعات) باشد [۲۶]. یافته‌های این مطالعه کاهش قابل توجهی را در رویش شعاعی در ارتفاعات بالاتر نشان می‌دهد. این نتیجه با گزارش‌های Fuchs و همکاران (۲۰۲۵) در مورد *Fagus orientalis* و نیز یافته‌های King و همکاران (۲۰۱۳) هم‌راستا است؛ مطالعات آنها نیز حاکی از آن بود که درختان در مناطق مرتفع‌تر، علی‌رغم دسترسی بهتر به رطوبت، به‌دلیل تنش‌های سرمایشی و محدودیت‌های فیزیولوژیکی، رویش کمتری دارند [۲۲، ۲۴]. افزون بر این، در جنگل‌های هیرکانی، عواملی مانند کم‌عمق بودن خاک و وقوع یخبندان‌های محلی نیز می‌توانند به‌عنوان عوامل محدودکننده رویش در این دامنه‌های ارتفاعی مطرح باشند. کاهش رویش شعاعی در ارتفاعات بالاتر می‌تواند ناشی از عوامل رویشگاهی با تغییر ارتفاع باشد. این کاهش ناشی از کوتاه‌تر بودن طول دوره رویش در ارتفاعات بالاتر و کمتر بودن نرخ رشد در این ارتفاعات باشد. با این حال نشان داده شده است که افزایش دما در سال‌های اخیر می‌تواند به افزایش رویش شعاعی و افزایش طول دوره رویش در ارتفاعات بالا کمک کند [۲۷-۲۸].

برتری رویش شعاعی در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۴۰۰ متر از سطح دریا احتمالاً نتیجه ترکیبی بهینه از دما، بارش، و کاهش رقابت در جنگل‌های هیرکانی است. برخلاف دامنه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر که تحت تأثیر تنش خشکسالی و رقابت قرار دارند، یا دامنه ارتفاعی بالاتر از ۱۴۰۰ متر که کاهش دما در این محدوده رویش را محدود می‌کند، بنابراین دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۴۰۰ متر از اقلیم معتدل و رطوبت کافی بهره می‌برد. با این حال، حساسیت بالای این محدوده به داده‌های حدی اقلیمی، همان‌طور که در داده‌های این پژوهش و مطالعات قبلی نشان داده شده، نیاز به پایش مداوم و مدیریت دقیق را برجسته می‌کند [۲۳]. در مقابل، دامنه‌های ارتفاعی پایین‌تر با کاهش مداوم رویش به‌دلیل کمبود رطوبت ناشی از گرمایش مواجه هستند، در حالی که دامنه‌های مرتفع‌تر ممکن است با محدودیت‌های لایه نازک خاک و عوامل توپوگرافی مواجه باشند. این یافته‌ها با تحقیقات گسترده‌تر گاه‌شناسی درختی همخوانی دارد و بر نقش ارتفاع در تعدیل روابط اقلیم-رویش تأکید می‌کند [۲۴-۲۵].

براساس سری زمانی روندزدایی شده و شاخص‌های آماری آنها می‌توان نتیجه گرفت که درختان دامنه‌های پایین‌بند و میان‌بند رفتار رشد مشابهی دارند و تغییرات سالیانه آنها همبستگی بیشتری دارد، در حالی که درختان بالا‌بند حساسیت بیشتری به تغییرات محیطی داشته و الگوی رشد آنها مستقل‌تر و متفاوت‌تر از دو دامنه دیگر است. بنابراین، دامنه‌های بالاتر از ۱۴۰۰ متر به‌عنوان مناطق حساس‌تر نسبت به تغییرات اقلیمی قابل شناسایی هستند و می‌توانند اطلاعات ارزشمندتری از سیگنال‌های اقلیمی سالانه ارائه دهند.

بررسی روندهای زمانی عرض حلقه‌های درختی در سه دامنه ارتفاعی (کمتر از ۱۰۰۰ متر، ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر، و بیشتر از ۱۴۰۰ متر) طی یک بازه زمانی ۶۰ ساله (۱۴۰۳-۱۳۴۴ هجری شمسی) نشان‌دهنده نقش کلیدی ارتفاع در تعیین میزان رویش شعاعی سالیانه درختان است که می‌تواند براساس تفسیر بوم‌شناختی ناشی از ارتفاع باشد به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع به سمت دامنه میانی رویش شعاعی بیشتر شده اما تداوم افزایش ارتفاع از ۱۴۰۰ متر به بعد روند کاهشی به خود می‌گیرد. افزایش فراوانی سال‌های منفی (با رویش شعاعی بسیار کم) نشان‌دهنده افزایش رخداد‌های اقلیمی شدید است [۱۱-۱۳]. این یافته‌ها بر حساسیت‌های خاص گونه‌ای تأکید کرده و اهمیت راهبردهای مدیریت جنگل سازگار با تغییرات اقلیمی را برای کاهش تأثیرات و افزایش ذخیره کربن نشان می‌دهد.

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نشان داد که رویش شعاعی درختان راش در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر از سطح دریا به‌اوج خود می‌رسد، در حالی که رویش کمتری در دامنه پایین‌تر (زیر ۱۰۰۰ متر از سطح دریا) و بالاتر (بالای ۱۴۰۰ متر از سطح دریا) مشاهده شد. این الگو، که از تحلیل ۶۰ ساله نمونه‌های رویشی به‌دست آمده، نشان‌دهنده تأثیر منفی و کاهشی ارتفاع بر رویش شعاعی است، اما شدت و شکل این تأثیر در دامنه‌های مختلف ارتفاعی متفاوت است. الگوی رشد راش‌ها در دامنه ارتفاعی پایین و میانی مشابه یکدیگر است. درختان دامنه میانی از شرایط بهینه دما و رطوبت بهره برده و بیشترین رشد شعاعی را دارند ولی رویش درختان در دامنه پایین‌تر به‌طور فزاینده‌ای با تنش خشکسالی محدود می‌شود. درختان در دامنه‌های ارتفاعی بالاتر به‌دلیل دمای پایین این محدوده رویش کندتری دارند ولی حساسیت‌شان به عوامل محیطی به‌مراتب بیشتر از دو دامنه ارتفاعی پایین‌تر بوده و گرمایش جهانی ممکن است رشد و بهره‌وری آنها را در آینده افزایش دهد. این یافته‌ها، که با پژوهش‌های پیشین نیز همخوانی دارد، بر تعامل پیچیده ارتفاع، دما، و بارش در جنگل‌های هیرکانی تأکید می‌کند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده داده‌های گاه‌شناسی درختی را با مدل‌های اقلیمی ادغام شوند تا راهبردهای مدیریت جنگل سازگارانه‌ای را، به‌ویژه برای دامنه ارتفاعی میانی پربازده اما آسیب‌پذیر، توسعه دهد.

۶. منابع

- [1] Nadezhda, D. M., Vladimir, V. & Maksim, O. (2023). Elevational changes in climate response of *Pinus nigra pallasiana* tree-rings on the Crimean Peninsula. *Dendrochronologia*, 79(1), 126092.
- [2] Cherubini, P. (2024). Dendrochronology: Large datasets help explain when and how trees grow but not why. *Current Biology*, 34(6), 269-271.
- [3] Fang, K., Zhou, F., Wang, S., Zhang, Y. & Gao, S. (2022). Tree growth sensitivity to climate and drought along an elevational gradient. *Agricultural and Forest Meteorology*, 314(1), 108789.
- [4] Zhang, H., Cai, Q. & Liu, Y. (2022). Altitudinal difference of growth-climate response models in the north subtropical forests of China. *Dendrochronology*, 72(2), 125935.
- [5] Fritts, H.C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press, 567 p.
- [6] Speer, J.H. (2010). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. University of Arizona Press, 352 p.
- [7] Büntgen, U., Krusic, P.J. & Pierrat, A. (2020). Elevation-specific growth changes in five major tree species in the European Alps. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(7), 689-698.
- [8] Vitasse, Y., Lenz, A. & Körner, C. (۲۰۱۴). The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. *Frontiers in Plant Science*, 541(5), 1-12.
- [9] Adamič, P. C., Klopčič, M. & Matović, B. (2023). Growth Response of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver Fir (*Abies alba* Mill.) along the Carpathians. *Forests*, 14(7), 1318: 1-13.
- [10] Pretzsch, H., Hilmers, T. & Avdagi, A. (2019). Productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92(3), 219-234.

- [11] Klop, M., Rozman, A. & Bončina, A. (2022). Evidence of a Climate-Change-Induced Shift in European Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forests*, 13(8), 1311: 1-16.
- [12] Pourtahmasi, K., Najafi Harsini, F., Naderi, M., Kousha, M., Oladi, R. & Nadi, M. (2024). Comparative investigation of the radial growth of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the altitude gradient of Hyrcanian forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 32(1), 1-15.
- [13] Kanani, N., Fallah, A., Abedini, R. & Khorankeh, S. (2018). Effect of climatic factors, temperature and precipitation, on radial growth patterns of beech and oak in of central Alborz Mountains altitudes. *Iranian Journal of Forest*, 10(1), 221-235.
- [14] Oladi, R., Pourtahmasi, K., Eckstein, D. & Bräuning, A. (2011). Seasonal dynamics of wood formation in Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) along an altitudinal gradient in the Hyrcanian Forest, Iran. *Trees*, 25(3), 425-433.
- [15] Delfan Abazari, B. & Sagheb-Talebi, Kh. (2007). Diameter and height increment process of oriental beech (*Fagus orientalis*) in natural Caspian forests; Kelardasht region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4), 320-328.
- [16] Mataji, A. & Sagheb-Talebi, Kh. (2007). Development stages and dynamic of two oriental beech (*Fagus orientalis*) communities at natural forests of Kheiroudkenar-Noshahr. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4), 398-416.
- [17] Bayat, M., Namiranian, N., Zobeiri, M. & Fathi, J. (2013). Determining growth increment and density of trees in forest, using permanent sample plots (Case study: Gorazbon district of Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(3), 424-438.
- [18] Alavi, S.J., Nouri, Z. & Zahedi Amiri, Gh. (2017). Determining the most important environmental variables affecting on oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) site productivity using random forest technique in Khayroud forest, Nowshar. *Iranian Journal of Forest*, 8(4), 477-492.
- [19] Baillie, M.G.L. & Pilcher, J.R. (1973). A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 33(1), 7-14.
- [20] Rapp, J.M., Silman, M.R., Clark, J.S., Girardin, C.A.J., Galiano, D. & Tito, R. (2012). Intra- and interspecific tree growth across a long altitudinal gradient in the Peruvian Andes. *Ecology*, 93(9), 2061-2072.
- [21] Wang, H., Zhang, Y. & Liu, Q. (2023). Growth decline of low-elevation conifers under increasing heat stress. *GeoChronometria*, 50(1), 77-88.
- [22] Fuchs, Z., Vacek, Z., Vacek, S., Černý, J., Cukor, J., Šimůnek, V., Gallo, J. & Hájek, V. (2025). Growth Responses of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) and Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Along an Elevation Gradient under Global Climate Change. *Forests*, 16(4), 1-23.
- [23] Martinez del Castillo, E., Zang, C.S., Buras, A., Hacket-Pain, A., Esper, J., Serrano-Notivoli, R. & de Luis, M. (2022). Climate-change-driven growth decline of European beech forests. *Nature Communications*, 163(3), 1-9.
- [24] Noce, S., Cipriano, C. & Santini, M. (2023). Altitudinal shifting of major forest tree species in Italian mountains under climate change. *Front. For. Glob. Change*, 6, 1-18.
- [25] Hadinezhad, P., Asadi, H., Hojati, S.M., Tafazoli, M. & Yousefpour, R. (2025). Factors affecting tree drought stress in Hyrcanian forests. *Forest Research and Development*, 10(4), 431-451.
- [26] King, G. M., Gugerli, F., Fonti, P. & Frank, D.C. (2013). Tree growth response along an elevational gradient: climate or genetics? *Oecologia*, 173(4), 1587-1600.
- [27] Mousavisangdehi, A., Oladi, R., Pourtahmasi, K., Etemad, V., Koprowski, M. & Tumajer, J. (2024). Higher temperatures promote intra-annual radial growth of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the humid Hyrcanian forests. *Trees*, 38(6), 1569-1580.
- [28] Oladi, R., Elzami, E., Pourtahmasi, K. & Bräuning, A. (2017). Weather factors controlling growth of Oriental beech are on the turn over the growing season. *European Journal of Forest Research*, 136(2), 345-356.