Research Article

Iranian Journal of Forest and Poplar Research Vol. 32 No. 1, 2024
Vol. 32, No. 1, Page 1-15 (2024) DOI: 10.22092/IJFPR.2023.364158.2134

Comparative investigation of the radial growth of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the altitude gradient of Hyrcanian forests, Iran

K. Pourtahmasi [1*], F. Najafi-Harsini [2], M. Naderi [3], M. Kousha [4], R. Oladi [5] and M. Nadi [6]

1*- Corresponding author, Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: pourtahmasi@ut.ac.ir
2- Ph.D., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- M.Sc., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4- M.Sc. Student., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
5- Associate Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
6- Assistant Prof., Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 19.11.2023 Accepted: 14.12.2023

Abstract

Background and objectives: The Hyrcanian forests in northern Iran exhibit diverse rainfall and air temperature patterns. Altitude above sea level is a crucial topographical factor that influences plant growth and development, prompting trees to adopt different morphological, anatomical, and physiological strategies for survival and growth at varying elevations. This study aims to understand the impact of altitude on radial growth and tree-ring width by examining the rate of radial growth of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) across different age classes in three altitude zones: low, middle, and high altitudes of the Hyrcanian forests in Kordkuy and Asalem habitats.

Methodology: t three selected sites, located at approximately 700, 1400, and 2000 meters above sea level, tree-ring cores were extracted from 62 beech trees using an increment borer. Following core extraction, the holes on the trees were completely sealed with grafting wax. The surface of each core was prepared using a sequence of 100-, 400-, and 1000-grit sandpaper. Tree-ring widths (TRWs) were measured using LINTAB 5 and TSAP software. Measurements were taken from one side of the core and then from the other side. The obtained TRW series were analyzed using statistical parameters such as sign test, correlation coefficient, and Student's t-test. After cross-dating, average TRW chronologies were prepared for each tree. This method was then used to match the trees within each site. TRW chronologies for each site were verified using statistical methods. A one-way analysis of variance (ANOVA) test was performed to compare TRW chronologies. Meteorological data such as rainfall and temperature were obtained from the nearest weather stations. Meteorological data for Kordkuy and Asalem were obtained from the Gorgan and Astara meteorological stations, respectively.

Results: The findings demonstrated that the elevation gradient had a significant impact on the radial growth of beech trees. TRW in the examined habitats is influenced by elevation above sea level in trees aged 50 to 150 years. The average radial growth of these trees in the middle elevations of Asalem and the lower elevations of Kordkuy is substantially higher than in other altitude areas. The mean growth of trees aged 100-150 years in the middle elevations of Asalem was the highest, amounting to 3.98 mm. Statistical analysis revealed a significant difference between the TRW of trees aged 100-150 years in the highland of Kordkuy with a mean annual growth of 1.94 mm and the lowerland of Kordkuy with a mean annual growth of 2.97 mm. During this age period, no significant difference was observed between trees from the upperland of Kordkuy and the moderate altitudes of Kordkuy, but there was a statistical difference between trees from moderate altitudes and the lowerland. A comparison of trees aged 200-250 years revealed a statistically significant difference between Kordkuy and Asalem moderate altitudes. The mean radial growth of trees aged 300-350 years in the upperland and moderate altitudes of Asalem is 1.25 and 1.32 mm, respectively. Statistical analysis demonstrated that there is no statistically significant difference between the mean radial growth of trees aged 300-350 years in the upper and middle altitudes of Asalem and the lowerlands of Kordkuy.

Conclusion: This study demonstrated that radial growth and tree-ring width of beech trees exhibited notable variations along an east-west transect across the Hyrcanian forests. The observed variations in beech radial growth and tree-ring sensitivity along the elevational gradient highlight the ability of beech trees to develop adaptive functional traits in response to environmental changes.

Keywords: Age class, dendrochronology, elevation, tree-ring width.

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (https://ijfpr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

بررسی مقایسه‌ای رویش شعاعی راش ایرانی (*Fagus orientalis* Lipsky) در گرادیان ارتفاعی جنگل‌های هیرکانی

کامبیز پورطهماسی [۱*]، فاطمه نجفی هرسینی [۲]، میلاد نادری [۳]، مهتا کوشا [۴]، رضا اولادی [۵] و مهدی نادی [۶]

۱*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: pourtahmasi@ut.ac.ir

۲- دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۵- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۶- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران از غرب به شرق بارندگی و دمای متفاوتی دارند. ارتفاع از سطح دریا نیز یکی از عوامل مهم توپوگرافی است که بر رشدونمو گیاه تأثیر می‌گذارد و سبب می‌شود درختان، رویکردهای ریخت‌شناختی، تشریحی و فیزیولوژیکی مختلفی را برای بقا و رشد در ارتفاعات مختلف اتخاذ کنند. برای درک تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر رویش شعاعی و پهنای حلقه‌های رویش در این پژوهش، رویش شعاعی راش ایرانی (*Fagus orientalis* Lipsky) در طبقه‌های سنی مختلف در سه منطقه ارتفاعی پایین‌بند، میان‌بند و بالابند در جنگل‌های هیرکانی واقع در رویشگاه‌های کردکوی و اسالم به‌ترتیب از توابع استان‌های گلستان و گیلان بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در نواحی انتخاب‌شده، در سه ارتفاع حدود ۷۰۰، ۱۴۰۰ و ۲۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا با کمک مته رویش‌سنج از ۶۲ اصله درخت راش نمونه‌گیری شد. پس از استخراج نمونه‌ها، محل نمونه‌برداری توسط چسب پیوند به‌طور کامل پوشش داده شد. سطح نمونه‌ها با استفاده از توالی سنباده‌های نمره ۱۰۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ آماده‌سازی شدند. برای اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های رویش از میز LINTAB 5 و نرم‌افزار TSAP استفاده شد. ابتدا نمونه یک سمت درخت و آن‌گاه نمونه سمت دوم درخت اندازه‌گیری شد. منحنی‌های تطابق‌یافته با آزمون‌های علامت، همبستگی و t-student سنجش شدند. پس از تطابق، سری‌زمانی میانگین برای هر درخت تهیه شد. این روش برای تطابق بین درختان در هر رویشگاه نیز انجام گرفت و سری زمانی میانگین هر رویشگاه تحلیل شد. آنالیز آماری داده‌ها توسط آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد. به‌منظور درک شرایط اقلیمی مناطق نمونه‌برداری، داده‌های بارندگی و دما از سازمان هواشناسی ایران و از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به رویشگاه‌های مورد مطالعه تهیه شد. داده‌های هواشناسی رویشگاه‌های کردکوی و اسالم به‌ترتیب از ایستگاه‌های هواشناسی گرگان و آستارا تهیه شدند.

نتایج: براساس نتایج به‌دست‌آمده، تغییرات ارتفاعی می‌تواند بر رویش شعاعی درختان راش تأثیرگذار باشد. به‌طوری‌که میانگین رویش شعاعی در رویشگاه‌های مورد مطالعه در سن ۵۰ تا ۱۵۰ سال تحت تأثیر ارتفاع از سطح دریا بود. همچنین، میانگین رویش شعاعی این درختان در میان‌بند اسالم و پایین‌بند کردکوی، به‌طور معناداری بیشتر از مناطق ارتفاعی دیگر بود. بیشینه میانگین رویش با ۳/۹۸ میلی‌متر در درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در رویشگاه میان‌بند اسالم مشاهده شد. تجزیه‌وتحلیل آماری، وجود تفاوت معناداری را بین میانگین رویش شعاعی درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در بالابند کردکوی با میانگین رویش سالانه ۱/۹۴ میلی‌متر و در پایین‌بند کردکوی با میانگین رویش سالانه ۲/۹۷ میلی‌متر نشان داد. بین درختان بالابند کردکوی با میان‌بند کردکوی در این دوره سنی، تفاوت معناداری ملاحظه نشد، اما بین درختان میان‌بند و پایین‌بند این

منطقه تفاوت معنادار وجود داشت. مقایسه درختان ۲۰۰ تا ۲۵۰ ساله نشان داد که تفاوت معنادار بین درختان میان‌بند کردکوی با میان‌بند اسالم وجود دارد. میانگین رویش شعاعی درختان ۳۰۰ تا ۳۵۰ ساله در بالابند و میان‌بند اسالم به‌ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۳۲ میلی‌متر بود. همچنین، بین این میانگین‌ها با میانگین رویش شعاعی درختان ۳۰۰ تا ۳۵۰ ساله در پایین‌بند کردکوی، تفاوت معنادار وجود نداشت.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج این مطالعه نشان داد که با حرکت از غرب جنگل‌های هیرکانی به شرق آن، رویش شعاعی و پهنای حلقه‌های رویش درختان راش تغییر می‌کند. تغییر رویش شعاعی راش و حساسیت حلقه‌های درخت در امتداد گرادیان ارتفاعی، حاکی از توانایی این گونه برای سازگاری با محیط و ایجاد ویژگی‌های عملکردی تطبیقی است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع از سطح دریا، پهنای حلقه رویش، طبقه سنی، گاه‌شناسی درختی.

مقدمه

رشد شعاعی و استقرار درختان به‌طور بالقوه تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل مختلف شامل مقدار و مدت تابش نور، مؤلفه‌های اقلیمی، دسترسی به آب، باد، رقابت، ویژگی‌های خاک، ارتفاع، جهت و مقدار شیب هستند (Körner, 2007; Topaloğlu *et al*., 2016). همچنین، رویش جنگل بسته به شرایط این بوم‌سازگان می‌تواند نقش عمده‌ای در چرخه کربن جهانی داشته باشد (Zhao & Running, 2010) و تا حدی ممکن است اثرات نامطلوب تغییرات آب‌وهوایی را کاهش دهد، بنابراین بررسی، درک و پیش‌بینی الگوهای مکانی و زمانی رشد جنگل‌ها در پاسخ به تغییرات محیطی، اهمیت ویژه‌ای دارند (Ebrahimi *et a*l., 2019). همچنین، درک نحوه رویش و عوامل اصلی مؤثر بر رشد درختان در مناطق جنگلی، هم از جنبه علمی (بوم‌شناختی و مدیریت پایدار جنگل) و هم برای صنعت ضروری است (Coomes & Allen, 2007; Forrester, 2014; Pretzsch *et al*., 2015). ارتفاع، یکی از عوامل مهم توپوگرافی است (Pourbabaei *et al*., 2021) که بر رشدونمو گیاه تأثیر می‌گذارد. زیرا صفات عملکردی گیاه، بسته به سطح ارتفاع می‌توانند تفاوت‌های زیادی از خود نشان دهند. تغییرات ارتفاعی، یک گرادیان پیچیده است که در طول آن، بسیاری از متغیرهای محیطی به‌طور هم‌زمان تغییر می‌کنند. عملکرد گونه‌ها در گرادیان ارتفاعی توسط برخی از عوامل متقابل زیستی، اقلیمی و تاریخی کنترل می‌شود. در واقع، ارتفاع، با تنظیم چندین عامل غیرزیستی، الگوهای پوشش گیاهی مشاهده‌شده و بوم‌شناسی جنگل‌ها را کنترل می‌کند. ارتفاع‌های بالاتر به‌طور معمول دارای دما و فشار اتمسفر کم، مقدار اشعه ماوراءبنفش بیشتر، پیچیدگی پیش‌بینی بارش، آب‌وهوای غیرعادی و شدید، بادهای شدید و نرخ زیاد گرمایش جهانی هستند (Körner, 2007; Rangwala & Miller, 2012). به‌علاوه، ارتفاع، ارتباط نزدیکی با شدت نور دارد. نور، مهم‌ترین منبع بوم‌شناختی است که فتوسنتز را فراهم می‌کند و درنتیجه، به‌طور مستقیم بر بقا و رشد درخت تأثیر می‌گذارد. ارتفاعات بالاتر به‌طورکلی شدت نور بیشتری نسبت به ارتفاعات پایین‌تر دارند. شدت نور زیادتر سبب افزایش نرخ فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، سطح برگ، وزن خشک، چیرگی رأسی، ضخامت برگ، زیست‌توده درخت (به‌عنوان مثال زیست‌توده ریشه و ساقه)، طول ریشه و قطر ساقه می‌شود (Mielke & Schaffer, 2010; Yao *et al*., 2017).

پژوهش‌های متعددی بر درک تأثیر تغییرات در شرایط محیطی، اقلیمی و ارتفاعی بر خواص فیزیولوژیکی، ریخت‌شناختی، کالبدشناختی و مکانیکی گونه‌های مختلف درختی متمرکز شده‌اند. درختان می‌توانند راهبردهای ریخت‌شناختی، تشریحی و فیزیولوژیکی مختلفی را برای بقا و رشد در ارتفاعات مختلف اتخاذ کنند. ازنظر ریخت‌شناختی، درختان در شیب‌های ارتفاعی مختلف با تغییر بلندی درخت، قطر ساقه، تعداد و اندازه برگ‌ها، طول میان‌گره و ضخامت پوست، خود را سازگار می‌کنند (Gómez-Aparicio *et al*., 2005; Huber *et al*., 2009). ازنظر ویژگی‌های آناتومی چوب، اندازه، تعداد، ضخامت دیواره، توزیع سلول‌ها و نیز پهنای حلقه‌های سالانه در ارتفاعات مختلف، متفاوت هستند (Topaloğlu *et al*., 2016). مقدار پهنای حلقه‌های رویش سالانه و رویش شعاعی ازجمله عوامل مؤثر بر کیفیت چوب است (Aleinikovas, 2007). محققان با بررسی تأثیر ارتفاع بر مقدار رشد شعاعی، گزارش‌های متنوعی را ارائه داده‌اند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که درختانی که در ارتفاعات پایین رشد می‌کنند، پهنای حلقه‌های سالانه، قطر آوندها و طول الیاف بیشتری نسبت به درختانی که در ارتفاعات بالاتر رشد می‌کنند، دارند (Coomes & Allen, 2007). درختان در حال رشد در ارتفاعات پایین به‌طور معمول ارتفاع تنه بیشتری دارند. زیرا این درختان به‌احتمال زیاد به‌صورت عمودی رشد می‌کنند تا نور بیشتری را جذب کنند، درحالی‌که درختانی که در ارتفاعات رشد می‌کنند، ارتفاع و رشد شعاعی کمتری دارند (Panthi *et al*., 2020). بااین‌حال، نتایج برخی از پژوهش‌ها حاکی از عدم وجود اختلاف معنادار در مقدار رشد شعاعی درخت در امتداد شیب ارتفاعی است (Liang *et al*., 2010; Li *et al*., 2020).

جنگل‌های هیرکانی اغلب بر روی شیب‌های شمالی رشته‌کوه‌های البرز واقع شده‌اند. حضور گونه‌های مهمی مانند راش (*Fagus orientalis* Lipsky) بر اهمیت این جنگل‌ها افزوده است. راش در این جنگل‌ها در ارتفاع ۶۰۰ تا ۲۲۰۰ متری از سطح دریا از آستارا تا گلستان گسترش دارد و ازنظر تعداد از گونه‌های درختی دیگر در این مناطق، فراوان‌تر است. این درخت سایه‌پسند است، اما در مقابل یخبندان مقاوم نیست. ازنظر اهمیت چوب راش می‌توان گفت که این گونه، باارزش‌ترین و صنعتی‌ترین گونه چوبی در جنگل‌های ایران است (Sagheb-Talebi *et al*., 2014). به‌رغم اهمیت موضوع مقدار رویش راش و تأثیر ارتفاع بر آن (Amini *et al*., 2009)، پژوهش‌های کمی در این زمینه انجام شده است. پژوهش‌های انجام‌شده فقط بر روی یک رویشگاه انجام شده‌اند و جنبه مقایسه ندارد. بررسی روند رویش قطری راش در جنگل‌های کلاردشت نشان داد که رویش قطری در طول سال‌های مختلف از نظم خاصی پیروی نمی‌کند و نوسان‌های متفاوتی دارد (Delfan Abazari & Sagheb-Talebi, 2007). ارزیابی اثر ارتفاع بر رویش قطری راش در ارتفاعات ۷۰۰ تا ۱۱۰۰، ۱۱۰۰ تا ۱۶۰۰ و بیشتر از ۱۶۰۰ متری از سطح دریا نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، رویش قطری سالانه کاهش می‌یابد (Oladi *et al*., 2011)، اما در بررسی پهنای دایره‌های رویشی راش، بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) و ممرز (*Carpinus betulus* L.) در حوضه جنگلی آستارا از توابع استان گیلان در سه دامنه ارتفاعی ۴۰۰ تا ۱۲۵۰

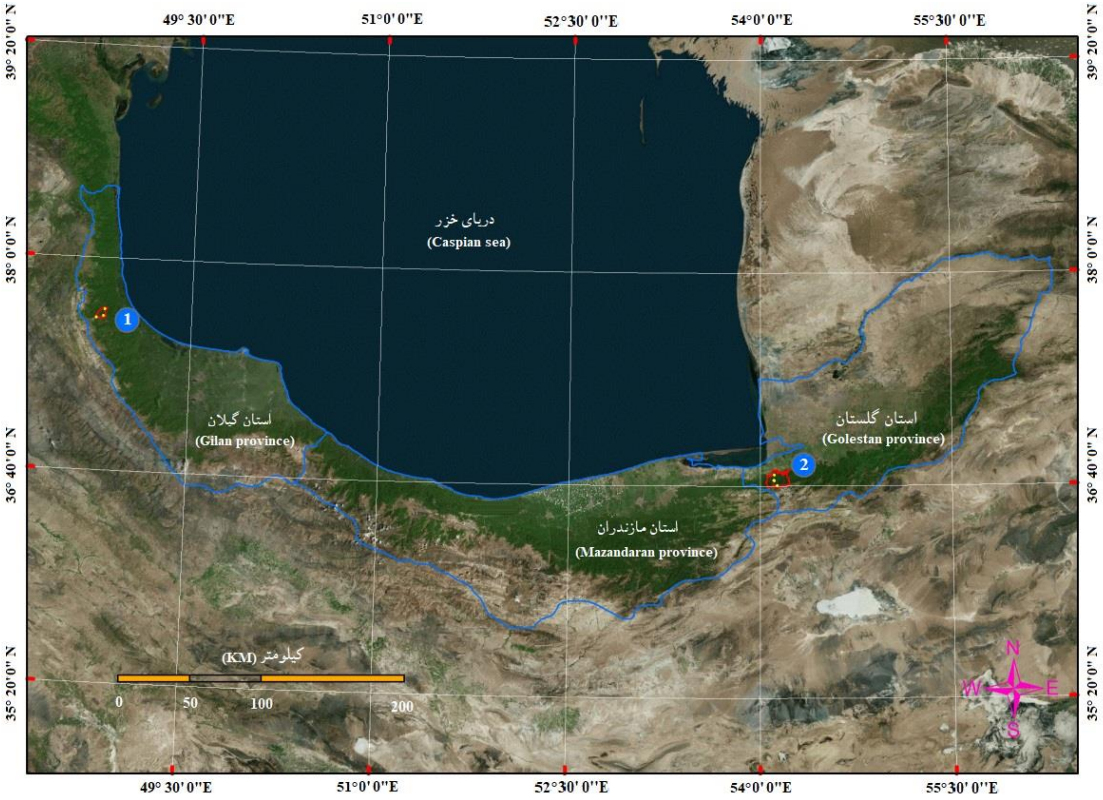
متری از سطح دریا گزارش شد که راش و ممـرز بـا افـزایش ارتفـاع، رشد بیشتری دارند. هرچند این روند افزایشی در ممرز، بسیار ملایم‌تر از راش بود، درحالی‌که رشـد بلنـدمازو بـا افزایش ارتفاع کاهش یافت (Jafari, 2012a). همچنین، بررسی تولید چوب راش و بلندمازو در مراحل مختلف رشد و واکنش آن‌ها نسبت به مقدار بارش، دما، تبخیر، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و نسبت سطح جنگل به سطح کل حوضه از آستارا تا گلستان نشان داد کـه تولید چوب و رویش درختان راش و بلندمازو در وهله اول تحت تأثیر بارش، نسبت سطح جنگل به سطح کل حوضه و دما است و سپس، تحت تأثیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و درنهایت، تبخیر قرار می‌گیرد (Jafari, 2012b). در پژوهشی دیگر، بررسی رویش شعاعی سالانه راش در منطقه نکا و هفت‌خال واقع در بخش مرکزی دامنه شمالی رشته‌کوه البرز در سه طبقه ارتفاعی ۴۵۰، ۹۰۰ و ۱۳۸۰ متر از سطح دریا نشان داد که میانگین رویش طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴ در ارتفاع میان‌بند، ۳/۱ میلی‌متر است که با میانگین رویش در بالابند و پایین‌بند (به‌ترتیب ۲/۵۳ و ۲/۵۸ میلی‌متر) اختلاف معنادار داشت (Kanani *et al*., 2018). استفاده از گاه‌شناسی درختی در شناخت تنوع ژنتیکی درختان راش کردکوی در سه منطقه ارتفاعی نشان داد که با کاربرد ژنتیکی گاه‌شناسی درختی، امکان شناسایی تنوع در درختان راش وجود دارد (Jafari *et al*., 2012). به‌طوری‌که واکنش‌های متفاوت درختان راش به عوامل اقلیمی و محیطی می‌تواند منشأ ژنتیکی داشته باشند.

باتوجه‌به اهمیت زیستی و بوم‌شناختی راش در جنگل‌های هیرکانی و تأثیر ارتفاع بر رویش، در پژوهش پیش‌رو، تأثیر ارتفاع‌های پایین‌بند، میان‌بند و بالابند بر رویش شعاعی راش در کردکوی (گلستان) و اسالم (گیلان) بررسی شد. این پژوهش با رویکردی جامع به بررسی مقایسه‌ای رویش شعاعی راش در غرب و شرق جنگل‌های هیرکانی در سه تراز ارتفاعی و با در نظر گرفتن طبقه‌های سنی می‌پردازد. امید است که درک نحوه رویش شعاعی این گونه، راه را برای مدیریت صحیح جنگل‌های کم‌نظیر هیرکانی هموارتر کند و به برنامه‌ریزان طرح‌های جنگل‌داری برای اتخاذ تصمیم‌های اجرایی کمک کند. همچنین، نتایج این پژوهش می‌تواند در ارزیابی انطباقی راش نسبت به تغییر اقلیم ارزنده باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

از جنگل‌های هیرکانی، دو منطقه در غرب (اسالم در استان گیلان) و شرق (کردکوی در استان گلستان) انتخاب شد. در هر منطقه، سه ارتفاع پایین‌بند، میان‌بند و بالابند انتخاب و نمونه‌برداری از آن‌ها انجام شد. براین‌اساس، موقعیت مناطق نمونه‌برداری به شرح شکل ۱ و جدول ۱ معین شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت مکانی دو رویشگاه محل نمونه‌برداری: (۱) اسالم در استان گیلان و (۲) کردکوی در استان گلستان

Figure 1. Location of the two habitats of sampling sites - (1) Asalem in Gilan Province and (2) Kordkuy in Golestan Province, Iran

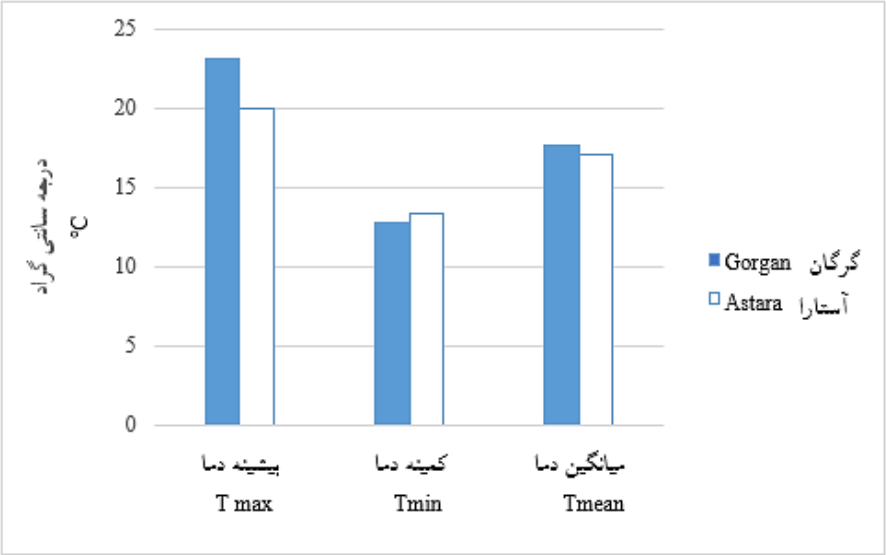
جدول ۱- ویژگی‌های مناطق نمونه‌برداری

Table 1. Specifications of sampling areas

Province	Site	Altitude level	Altitude (m.a.s.l.)	Degree, minute, second	
				Longitude	latitude
Gilan	Asalem	Low altitudes (AL)	440	$48^{o}49'10''$	$37^{o}40'58''$
		Intermediate altitudes (AM)	1400	$48^{o}48'36''$	$37^{o}38'22''$
		High altitudes (AH)	2060	$48^{o}44'52''$	$37^{o}37'21''$
Golestan	Kordkuy	Low altitudes (KL)	635	$54^{o}55'16''$	$36^{o}42'57''$
		Intermediate altitudes (KM)	1385	$54^{o}5'56''$	$36^{o}41'32''$
		High altitudes (KH)	1990	$54^{o}7'25''$	$36^{o}40'31''$

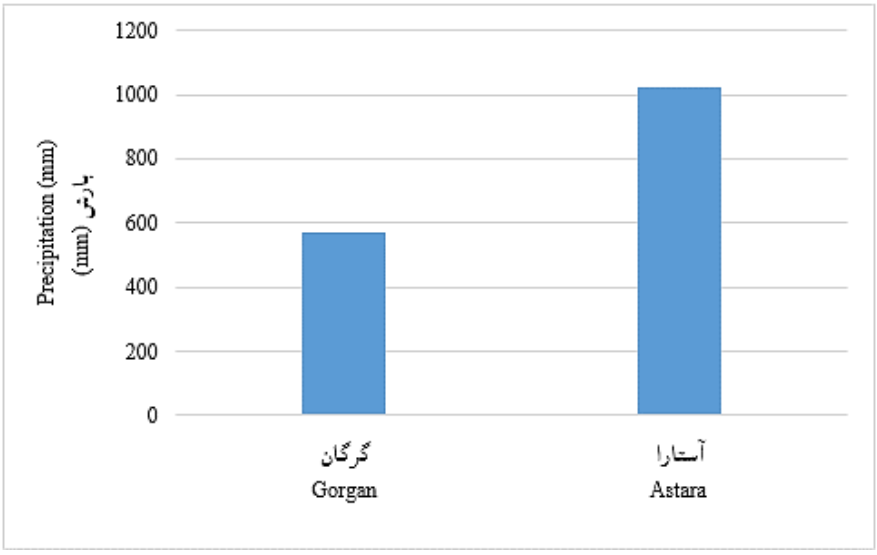
به‌منظور درک شرایط کلی اقلیم رویشگاه‌های مورد مطالعه، داده‌های بارندگی و دما از سازمان هواشناسی ایران و از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به رویشگاه‌های مورد مطالعه تهیه شدند. داده‌های اقلیمی رویشگاه‌های کردکوی و اسالم به‌ترتیب از ایستگاه‌های هواشناسی گرگان و آستارا به‌دست آمدند. دوره مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه آستارا (رویشگاه اسالم) از ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۱ و در ایستگاه گرگان (رویشگاه کردکوی) ۱۹۵۵ تا ۲۰۲۱ بود. متوسط

دمای سالانه رویشگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۲ قابل‌ملاحظه است. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، بیشینه دمای سالانه در گرگان با ۲۳ درجه سانتی‌گراد، بیشتر از آستارا است. همچنین، میانگین دمای سالانه در ایستگاه گرگان، بیشتر از ایستگاه آستارا به‌دست آمد. کمینه دما در هر دو ایستگاه تقریباً یکسان است. میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی آستارا و گرگان در شکل ۳ ملاحظه می‌شود. میانگین بارش سالانه در ایستگاه آستارا با ۱۰۲۲ میلی‌متر، بیشتر از ایستگاه گرگان ثبت شده است.



شکل ۲- متوسط دمای سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی آستارا و گرگان

Figure 2. Average annual temperature in Astara and Gorgan meteorological stations



شکل ۳- میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی آستارا و گرگان

Figure 3. Average annual precipitation in Astara and Gorgan meteorological stations

روش پژوهش

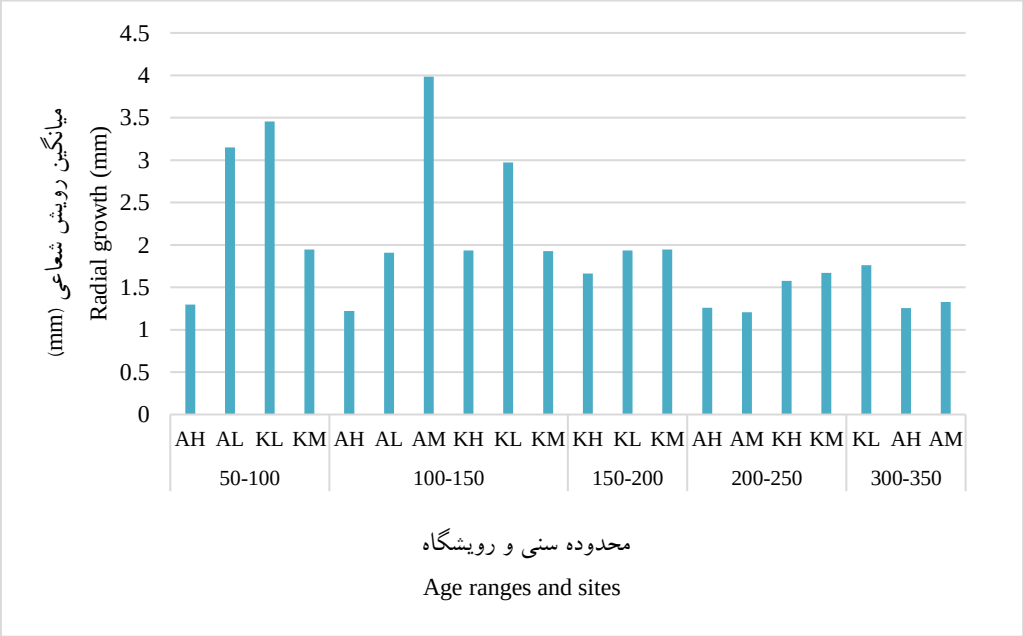
در نواحی انتخاب‌شده در سه ارتفاع حدود ۷۰۰، ۱۴۰۰ و ۲۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، ۶۲ اصله درخت راش قطور به‌صورت انتخابی گزینش شدند. با مته رویش‌سنج در ارتفاع قطر برابرسینه و گاهی مقداری پایین‌تر برای دستیابی به حلقه‌های رشد بیشتر، دو مغزی ترجیحاً عمودبرهم از درختان استخراج شدند. پس از استخراج نمونه‌ها، محل نمونه‌برداری توسط چسب پیوند به‌طور کامل پوشش داده شد. همه نمونه‌ها داخل نگهدارنده نمونه قرار داده شدند و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، نمونه‌ها پس از خارج شدن از قاب‌های پلاستیکی به‌صورت جداگانه در روی یک نگهدارنده چوبی نمونه تثبیت شدند. سطح نمونه‌ها با استفاده از توالی سنباده‌های نمره ۱۰۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ آماده‌سازی شدند.

برای اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های رویش از میز LINTAB 5 و نرم‌افزار TSAP استفاده شد. ابتدا نمونه یک سمت درخت و آن‌گاه نمونه سمت دوم درخت اندازه‌گیری شدند. از بینوکولار با بزرگ‌نمایی زیاد برای بررسی حلقه‌های احتمالی دروغین استفاده شد. منحنی‌های تطابق‌یافته با آزمون‌های علامت (Gleichläufigkeit=GLK)، همبستگی (CC) و آزمون تی (t-student) سنجش شدند. در صورت تطابق، سری‌زمانی میانگین برای هر درخت تهیه شد. این روش برای تطابق بین درختان در هر رویشگاه نیز انجام گرفت و سری زمانی میانگین هر رویشگاه تحلیل شد. GLK یا ضریب درصد تطابق واریانس‌ها، معیاری کلی از شباهت بین دو سری زمانی اندازه‌گیری شده است. هرچه مقدار آن به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تطابق بیشتر دو نمونه خواهد بود. درصد CC از تشابه همبستگی استاندارد بین دو نمونه به‌دست می‌آید. آزمون تی، شباهت میانگین دو سری زمانی را بررسی می‌کند. پس از تعیین منحنی رویش شعاعی درختان در هر رویشگاه، درختان ازنظر سنی در بازه‌های سنی ۵۰ تا ۱۰۰، ۱۰۰ تا ۱۵۰، ۱۵۰ تا ۲۰۰، ۲۰۰ تا ۲۵۰ و ۳۰۰ تا ۳۵۰ گروه‌بندی شدند. لازم به ذکر است که در رویشگاه های مورد مطالعه، هیچ درختی در بازه سنی ۲۵۰ تا ۳۰۰ سال مشاهده نگردید. میانگین رویش شعاعی در رویشگاه‌ها و ارتفاع‌های مختلف، با آزمون‌های تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون LSD (حداقل اختلاف معنادار)، در سطح معنی‌داری ۹۵٪ ، بررسی شد. بررسی‌های آماری برای ۵۰ سال اخیر رویش درختانِ مورد مطالعه نیز انجام گرفت.

نتایج

میانگین رویش شعاعی درختان مورد مطالعه به‌تفکیک محدوده سنی و رویشگاه

میانگین رویش شعاعی درختان در سه منطقه ارتفاعی در اسالم و کردکوی به‌تفکیک سن و رویشگاه در شکل ۴ مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین رویش درختان با محدوده سنی ۱۰۰ تا ۱۵۰ سال در رویشگاه میان‌بند اسالم (AM) با ۳/۹۸ میلی‌متر، بیشتر از میانگین رویش در رویشگاه‌ها دیگر بود. همچنین، تفاوت معناداری ازنظر مقدار رویش شعاعی درختان بین سه منطقه ارتفاعی در اسالم و کردکوی مشاهده شد (sig.=۰).



شکل ۴- میانگین رویش شعاعی درختان مورد مطالعه به‌تفکیک محدوده سنی و رویشگاه

حرف‌های **A** و **K** به‌ترتیب نشان‌دهنده رویشگاه‌های اسالم و کردکوی و **H**، **M** و **L** به‌ترتیب بیانگر بالابند، میان‌بند و پایین‌بند هستند.

Figure 4. Average radial growth of the trees by age range and sites
A and K show Asalem and Kordkuy sites, respectively, and letters H, M, and L represent high, intermediate, and low altitudes, respectively.

جدول ۲- مقایسه چندگانه میانگین رویش شعاعی درختان رویشگاه‌های مورد مطالعه

Table 2. Multiple comparison of average radial growth of trees in the study sites

Age (year)	Site	Site	Mean difference	Std. error	Sig.	Interval	
						Lower bound	Upper bound
50-100	AH	AL	185.08	16.5	0.00	-243.61	-126.54
	KL	KM	151.02	15.22	0.00	97.04	205
100-150	AH	AL	-68.88	13.74	0.00	-117.6	-20.16
	AH	AM	-276.31	13.91	0.00	-325.65	-226.95
	AH	KH	-71.56	14.3	0.00	-122.27	-20.85
	AL	KL	-1.06	0.13	0.00	-1.54	-0.58
	AL	AM	-207.42	13.3	0.00	-254.61	-160.22
	AM	KM	2.05	0.13	0.00	1.85	2.53
	KH	KL	-103.75	14	0.00	-153.42	-54.09
	KL	KM	104.55	13.41	0.00	56.98	-152.1

A and K show Asalem and Kordkuy sites, respectively, and letters H, M, and L represent high, intermediate, and low altitudes, respectively.

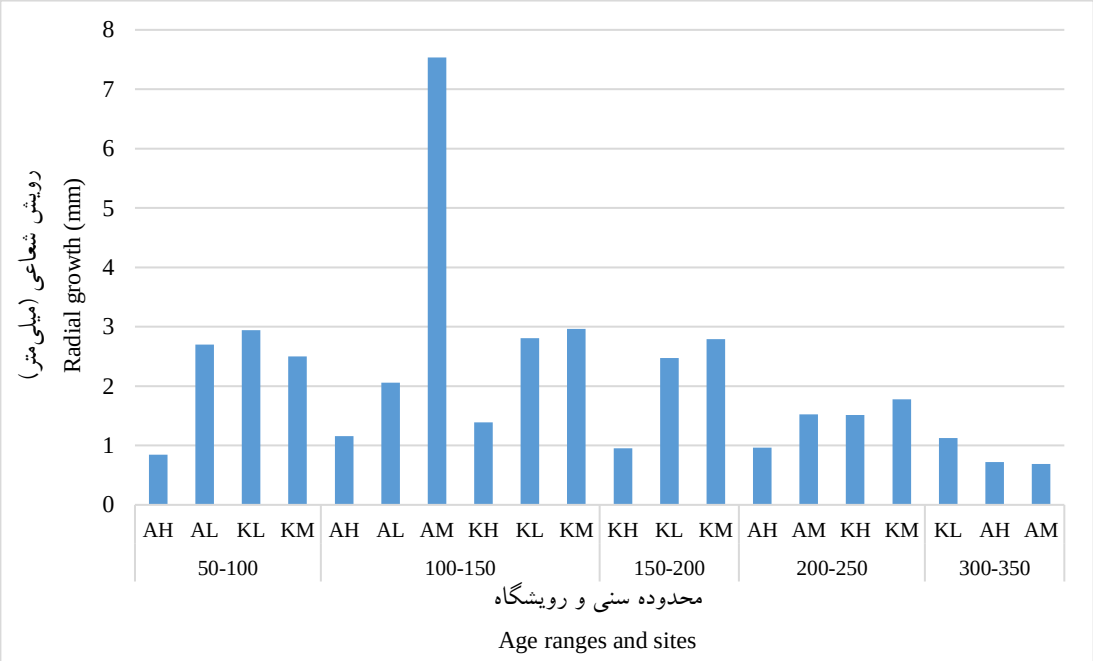
میانگین رویش شعاعی سالانه درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در بالابند اسالم (AH) برابر با ۱/۲۲، پایین‌بند اسالم (AL)، ۱/۹۱ و میان‌بند اسالم (AM)، ۳/۹۹ میلی‌متر به‌دست آمد. نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه، وجود تفاوت معنادار بین رویش شعاعی سالانه در بالابند اسالم با پایین‌بند و میان‌بند این رویشگاه را نشان می‌دهد. همچنین، بین رویش درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در میان‌بند و پایین‌بند اسالم نیز تفاوت معناداری ملاحظه شد. وجود تفاوت معنادار بین میانگین رویش شعاعی درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در بالابند کردکوی (KH) با ۱/۹۴ میلی‌متر و پایین‌بند کردکوی (KL)

با ۲/۹۷ میلی‌متر تأیید شد. بین درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در بالابند کردکوی با میان‌بند کردکوی، تفاوت معناداری ملاحظه نشد، اما بین درختان میان‌بند (KM) و پایین‌بند، تفاوت معناداری وجود داشت. مقایسه درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در بالابند اسالم و کردکوی حاکی از وجود تفاوت معنادار آماری بین میانگین رویش شعاعی این درختان بود (sig.=۰). همچنین، درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در پایین‌بند کردکوی با اسالم تفاوت معناداری داشتند (sig.=۰). این تفاوت معنادار بین درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله میان‌بند اسالم با کردکوی نیز مشاهده شد. مقایسه چندگانه میانگین رویش شعاعی درختان ۱۵۰ تا ۲۰۰ ساله بین بالابند، پایین‌بند و میان‌بند کردکوی به‌ترتیب با مقادیر ۱/۶۶، ۱/۹۴ و ۱/۹۵ میلی‌متر، حاکی از عدم وجود تفاوت معنادار بین آن‌ها بود. میانگین رویش شعاعی درختان ۲۰۰ تا ۲۵۰ ساله رویشگاه‌های مورد مطالعه نیز در شکل ۴ ارائه شده است. مقایسه میانگین رویش شعاعی سالانه این درختان بین بالابند (۱/۲۶ میلی‌متر) و میان‌بند (۱/۱۲ میلی‌متر) در رویشگاه اسالم بیانگر عدم وجود تفاوت معنادار بین آن‌ها بود. همچنین، بین درختان بالابند و پایین‌بند کردکوی به‌ترتیب با میانگین رویش شعاعی ۱/۵۷ و ۱/۶۶ میلی‌متر، اختلاف معناداری مشاهده نشد. مقایسه درختان ۲۰۰ تا ۲۵۰ ساله رویشگاه‌های اسالم و کردکوی نشان داد که تفاوت معناداری بین درختان میان‌بند کردکوی با میان‌بند اسالم وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، میانگین رویش شعاعی درختان ۳۰۰ تا ۳۵۰ ساله در بالابند و میان‌بند اسالم به‌ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۳۲ میلی‌متر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین میانگین رویش شعاعی درختان ۳۰۰ تا ۳۵۰ ساله در بالابند و میان‌بند اسالم با پایین‌بند کردکوی (۱/۷۶ میلیمتر)، تفاوت معنادار وجود ندارد (sig.=۱).

میانگین رویش شعاعی ۵۰ سال اخیر درختان مورد مطالعه به‌تفکیک محدوده سنی و رویشگاه

شکل ۵، میانگین رویش شعاعی ۵۰ حلقه سالانه اخیر درختان سه منطقه ارتفاعی در اسالم و کردکوی به‌تفکیک سن و رویشگاه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین رویش شعاعی ۵۰ حلقه اخیر درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در رویشگاه میان‌بند اسالم با ۷/۵۴ میلی‌متر، بیشتر از میانگین رویش در رویشگاه‌های دیگر بود. نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه در جدول ۳ نیز وجود تفاوت معنادار بین مقدار رویش شعاعی درختان در سه منطقه ارتفاعی در اسالم و کردکوی را تأیید می‌کند (sig.=۰).

جدول ۴، مقایسه چندگانه میانگین رویش شعاعی در ۵۰ حلقه سالانه اخیر درختان در رویشگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی میانگین رویش شعاعی در درختان ۵۰ تا ۱۰۰ ساله در بالابند اسالم (۰/۸۴ میلی‌متر) و پایین‌بند این رویشگاه (۲/۷۱ میلی‌متر) نشان‌دهنده تفاوت معنادار بین آن‌ها بود (sig.=۰). مقایسه میانگین رویش شعاعی سالانه درختان این محدوده سنی در پایین‌بند و میان‌بند کردکوی تفاوت معناداری را نشان نداد (sig.=۰/۷۱).



شکل ۵- میانگین رویش شعاعی ۵۰ سال اخیر درختان مورد مطالعه به‌تفکیک محدوده سنی و رویشگاه

حرف‌های **A** و **K** به‌ترتیب نشان‌دهنده رویشگاه‌های اسالم و کردکوی و **H**، **M** و **L** به‌ترتیب بیانگر بالابند، میان‌بند و پایین‌بند هستند.

Figure 5. Average radial growth of last 50 years of trees by age ranges and sites
A and K show Asalem and Kordkuy sites, respectively, and letters H, M, and L represent high, intermediate, and low altitudes, respectively.

جدول ۳- تحلیل واریانس یک‌طرفه برای میانگین رویش شعاعی ۵۰ حلقه سالانه اخیر درختان در رویشگاه‌های مورد مطالعه

Table 3. One-way variance analysis of average radial growth of last 50 annual rings of trees in the study sites

Source of variation	Sum of squares	df	Mean square	f	Sig.
Between groups	2282.84	19	127.5	127.5	0.00
Within groups	956.42	1015	1.28		
Total	2339.26	1034			

جدول ۴- مقایسه چندگانه میانگین رویش شعاعی ۵۰ حلقه سالانه اخیر درختان در رویشگاه‌های مورد مطالعه

Table 4. Multiple comparison of average radial growth of last 50 annual rings of the study sites

Age (year)	Site	Site	Mean difference	Std. error	Sig.	Interval	
						Lower bound	Upper bound
50-100	AH	AL	-185.92	19.04	0.00	-253.57	-118.28
	KL	KM	44.42	10.11	0.71	-23.22	112.07
	AL	KL	-24.05	8.21	0.99	-91.70	43.59
100-150	AH	AL	-89.71	13.61	0.00	-1571.36	-22.07
	AH	AM	-637.74	21.01	0.00	-705.29	-569.99
	AH	KH	-22.83	8.61	1.00	-90.47	44.82
	AL	KL	-75.1	13.02	0.01	-142.75	-7.46
	AL	AM	547.93	10.17	0.00	480.29	615.58
	AM	KM	457.39	16.14	0.00	389.76	525.04
	KH	KL	141.98	17.14	0.00	-209.63	-74.34
	KH	KM	157.42	11.34	0.00	-225.07	-89.77
	KL	KM	-15.43	5.98	1.00	-83.08	52.21
150-200	KH	KL	-151.97	12.14	0.00	-219.62	-84.32
	KH	KM	-183.63	17.01	0.00	-251.28	-115.98

A and K show Asalem and Kordkuy sites, respectively, and letters H, M, and L represent high, intermediate, and low altitudes, respectively.

همچنین، میانگین رویش شعاعی در ۵۰ حلقه سالانه اخیر در درختان ۵۰ تا ۱۰۰ ساله در پایین‌بند اسالم و کردکوی باهم تفاوت معناداری نداشتند (sig.=۰/۹۹). میانگین رویش شعاعی ۵۰ حلقه سالانه آخر درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله نشان داد که اختلاف معناداری بین رویشگاه‌های بالابند، پایین‌بند و میان‌بند اسالم به‌ترتیب با میانگین رویش سالانه ۱/۱۶، ۲/۰۶ و ۷/۵۴ میلی‌متر وجود دارد (sig.=۰). همچنین، مقایسه بین رویش شعاعی سالانه درختان رویشگاه بالابند اسالم (۱/۱۶ میلیمتر) با بالابند کردکوی (۱/۳۸ میلیمتر) تفاوت معناداری را نشان نداد (sig.=۱)، در حالیکه بین درختان رویشگاه پایین‌بند اسالم با پایین‌بند کردکوی به ترتیب با ۲/۰۵ و ۲/۸۱ میلیمتر و همچنین بین رویش شعاعی میان‌بند اسالم (۷/۵۳ میلیمتر) با میان‌بند کردکوی (۲/۹۶ میلیمتر) اختلاف معنادار ملاحظه گردید (sig.=۰). در رویشگاه کردکوی نیز تفاوت‌های معناداری بین رویش شعاعی بالابند (۱/۳۸ میلیمتر) این رویشگاه با میان بند (۲/۹۶) و پایین‌بند آن (۲/۸۱ میلیمتر) ملاحظه شد (sig.=۰)، اما در رویش شعاعی درختان رویشگاه میان‌بند کردکوی با پایین‌بند آن اختلافی معنادار مشاهده نگردید (sig.=۱). در رویشگاه کردکوی، میانگین رویش شعاعی ۵۰ حلقه اخیر درختان با سن ۱۵۰ تا ۲۰۰ سال در بالابند با درختان میان‌بند و پایین‌بند، اختلاف معنادار داشت (sig.=۰)، اما بین درختان میان‌بند و پایین‌بند، تفاوت معناداری مشاهده نشد (sig.=۰/۹۸). نتایج دیگر نشان داد که بین میانگین رویش شعاعی ۵۰ سال اخیر در درختان ۲۰۰ تا ۲۵۰ ساله و ۳۰۰ تا ۳۵۰ ساله در رویشگاه‌های مختلف، تفاوت معناداری وجود ندارد.

بحث

میانگین رویش شعاعی درختان ۵۰ تا ۱۵۰ ساله در ارتفاع میان‌بند اسالم، بیشتر از پایین‌بند و بالابند این رویشگاه به‌دست آمد. به‌عبارت‌دیگر در ارتفاع میان‌بند اسالم، شرایط مؤثر بر رویش ازجمله شرایط خرداقلیم، بهتر بوده است که می‌تواند از عوامل زمینه‌ساز رویش مناسب‌تر در این ارتفاع باشد. این نتایج در راستای یافته‌های پژوهش‌های دیگر مبنی‌بر رویش بیشتر راش در منطقه میان‌بند است (Delfan Abazari & Sagheb-Talebi, 2007; Kanani *et al*., 2018). ارتفاع میان‌بند با رطوبت مناسب و حاصلخیزی زیاد، شرایط رویش خوبی را برای درختان به‌همراه دارد (Bayat *et al*., 2019; Alavi *et al*., 2020)، بنابراین انتظار می‌رود که رویش شعاعی راش در این منطقه ارتفاعی نسبت به پایین‌بند و بالابند، بیشتر باشد. در درختان مسن‌تر، تفاوت معناداری بین رویش شعاعی درختان اسالم مشاهده نشد. باریک بودن حلقه‌های رویش و کاهش رویش شعاعی در منطقه بالابند در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (Pourtahmasi *et al*., 2011). در ارتفاعات بالا، درختان در معرض تنش دمای کم و کاهش فعالیت‌های بیوسنتزی گیاهان (Lenz *et al*., 2013) هستند. کاهش عمده در عملکرد رویشی راش در ارتفاعات بالا می‌تواند تاحدی به‌دلیل محدودیت‌های اکوفیزیولوژیکی، مانند فصل رشد کوتاه، دمای کم و بهره‌وری اندک زیست‌بوم باشد (Körner, 1998). همچنین، تشعشع زیاد خورشید و استرس ناشی از

اشعه ماوراءبنفش، افزایش سرعت باد و کاهش پوشش گیاهی در ارتفاعات بالا می‌تواند نرخ تبخیر و تعرق سطحی را افزایش و رویش درختان را کاهش دهد (Körner, 2007; Guo *et al*., 2016). رویش شعاعی درختان ۵۰ تا ۱۵۰ ساله در منطقه پایین‌بند کردکوی نیز بیشتر از بالابند و میان‌بند این رویشگاه بود. در این رویشگاه، با افزایش ارتفاع، میزان رویش کاهش یافت که مشابه نتایج پژوهش‌های پیشین است. درختان راش برای رویش مناسب به رطوبت کافی و محیط خنک نیاز دارند (Alavi *et al*., 2020). باتوجه‌به شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه، کاهش رویش شعاعی در میان‌بند نسبت به پایین‌بند کردکوی می‌تواند به‌علت نامساعد بودن شرایط اقلیمی مانند بارش‌های کمتر و دمای زیاد در میان‌بند نسبت به پایین‌بند باشد. برای اظهارنظر قطعی در این مورد به نصب ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاعات مختلف جنگل نیاز است.

میانگین رویش شعاعی درختان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله در ارتفاعات پایین‌بند و بالابند کردکوی، بیشتر از ارتفاعات پایین‌بند و بالابند اسالم بود، درحالی‌که میانگین رویش شعاعی در ارتفاع میان‌بند اسالم بیشتر از میان‌بند کردکوی به‌دست آمد. جنگل‌های راش اسالم در غربی‌ترین بخش جنگل‌های هیرکانی، ازجمله پرباران‌ترین جنگل‌های راش کشور محسوب می‌شوند که به‌تدریج به‌سمت شرق از میزان بارندگی کاسته می‌شود. به‌طوری‌که در گرگان، بارندگی حتی به نصف بارش در اسالم کاهش می‌یابد. در جنگل‌های هیرکانی، مقدار بارندگی با افزایش ارتفاع ابتدا افزایش و در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متری کاهش می‌یابد، اما تعیین این کاهش به‌علت عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی و فقدان یک معیار درست برای برآورد آن، به‌خوبی ممکن نیست. در شمال کشور، دما از سمت شرق به غرب و با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش می‌یابد. اثر حرکت از شرق به غرب بر دما، بیشتر از تأثیر تغییر ارتفاع بر دما است. خشکی در شرق در ارتفاعات پایین‌تر و در البرز مرکزی و غربی در ارتفاعات بالاتر رخ می‌دهد که علت آن به تغییر ارتفاع کوه‌ها از سطح دریا برمی‌گردد (Jafari, 2008; Bayat *et al*., 2019). به‌نظر می‌رسد که طول فصل رویش در پایین‌بند و بالابند کردکوی، بیشتر از پایین‌بند و بالابند اسالم باشد که سبب افزایش رویش شعاعی در این ارتفاعات در کردکوی شده است. همچنین، دمای هوا در پایین‌بند و بالابند کردکوی ممکن است شرایط مناسب‌تری را برای رویش درختان راش فراهم کرده باشد. برای درک بهتر این تفاوت، بررسی اثر عوامل اقلیمی بر رویش درون‌سالی و میان‌سالی این رویشگاه‌ها ضروری است. براساس نتایج دیگر در پژوهش پیش‌رو، با افزایش سن درختان و گذر از ۱۵۰ سالگی، تفاوتی در میانگین رویش شعاعی درختان در رویشگاه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد. تنها تفاوت در میانگین رویش شعاعی در ۵۰ سال اخیر کردکوی دیده شد. به‌طوری‌که در درختان ۱۵۰ تا ۲۰۰ ساله، میانگین رویش شعاعی در ۵۰ سال اخیر در ارتفاعات میان‌بند و پایین‌بند کردکوی بیشتر از بالابند این رویشگاه بود که می‌تواند ناشی از کاهش دما در ارتفاعات بالابند کردکوی و تأثیر منفی آن بر روی رشد درختان باشد.

به‌طورکلی، تغییر رویش شعاعی راش و حساسیت حلقه‌های درخت در امتداد گرادیان ارتفاعی، حاکی از توانایی این گونه برای سازگاری با محیط و ایجاد ویژگی‌های عملکردی تطبیقی است. براساس پژوهش‌های انجام‌شده،

راش ایران نسبت به رویشگاه‌های دیگر این گونه و نیز راش اروپایی (*F. sylvatica* L.)، تنوع ژنتیکی بیشتری دارد که حاکی از توان زیاد سازگاری این گونه در جنگل‌های هیرکانی است (Salehi Shanjani & Sagheb-Talebi, 2004). پژوهش‌های تکمیلی در زمینه وضعیت فعالیت کامبیوم و آناتومی چوب راش در گرادیان ارتفاعی از شرق به غرب جنگل‌های هیرکانی نیاز است تا توان سازگاری این گونه با شرایط محیطی ارزیابی شود. افزایش گستره رویشگاهی برای بررسی تغییرات شعاعی در محدوده شرق، مرکز و غرب جنگل‌های خزر با تعداد درختان بیشتر نیز پیشنهاد می‌شود. همچنین، دسترسی به داده‌های اقلیمی در هریک از ارتفاعات مورد مطالعه در جنگل‌های خزری به درک بهتر شرایط اقلیمی و اثر آن بر تغییرات رویش منجر می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله، برگرفته از طرح «ارزیابی شبکه حلقه‌های رویش درختان راش جنگل‌های خزری به‌منظور بررسی رویش و بازسازی اقلیمی» تحت قرارداد ۹۹۰۱۴۶۰۳ است. بر خود لازم می‌دانیم از بنیاد ملی علم ایران (صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور) که هزینه‌های اجرایی این پژوهش را تأمین کردند و نیز دانشگاه تهران، کمال سپاس و قدردانی را ابراز داریم. همچنین، از همکاری اداره‌های منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان‌های کردکوی و تالش سپاسگزاریم. از نظرات داوران محترم ناشناس مجله که به غنای مقاله افزودند، نیز تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع مورد استفاده

- Alavi, S.J., Ahmadi, K., Dormann, C.F., Serra-Diaz, J.M. and Nouri, Z., 2020. Assessing the dominant height of oriental beech *(Fagus orientalis* L.) in relation to edaphic and physiographic variables in the Hyrcanian Forests of Iran. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 24(4): 262-273.
- Aleinikovas, M., 2007. Effect of the mean diameter increment on the pine wood mechanical-physical properties in Lithuania. Baltic Forestry, 13: 103-108.
- Amini, M., Sagheb-Talebi, K., Namiranian, M., & Amini, R. (2009). Investigation on increment of Fagus orientalis Lipsky using time series analysis. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(3), 404–421.
- Bayat, M., Hamidi, S.K. and Sadeghzadeh, M.H., 2019. Investigation some of the biotic and abiotic variables effective on the diameter increment of the beech trees at fixed sample plots level by growth models. Ecology of Iranian Forests, 7(13): 91-99 (In Persian with English summary).
- Coomes, D.A. and Allen R.B., 2007. Effects of size, competition and altitude on tree growth. Journal of Ecology, 95: 1084-1097.
- Delfan Abazari, B. and 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 (In Persian with English summary).
Ebrahimi, S. S., Pourbabaei, H., & pourtahmasi, kambiz. (2019). Comparison of natural regeneration and radial growth variations of trees in the utilized and unutilized beech stands, Case study: Asalem forest. Iranian Journal of Forest, 11(2), 221–238.
- Forrester, D.I., 2014. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process. Forest Ecology and Management, 312: 282-292.
- Gómez-Aparicio, L., Zamora, R. and Gómez, J.M., 2005. The regeneration status of the endangered *Acer opalus* subsp. *granatense* throughout its geographical distribution in the Iberian Peninsula. Biological Conservation, 121: 195-206.
- Guo, Q.Q., Li, H. and Zhang, W.H., 2016. Variations in leaf functional traits and physiological characteristics of *Abies georgei* var. *smithii* along the altitude gradient in the southeastern Tibetan Plateau. Journal of Mountain Science, 13(10): 1818-1828.
- Huber, H., Jacobs, E. and Visser, E.J.W., 2009. Variation in flooding-induced morphological traits in natural populations of white clover (*Trifolium repens*) and their effects on plant performance during soil flooding. Annals of Botany, 103: 377-386.
- Jafari, M., 2008. Investigation and analysis of climate change factors in Caspian Zone forests for last fifty years. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(2): 314-326 (In Persian with English summary).
- Jafari, M., 2012a. A new approach to dendroecological studies: Climate change impact on forest' wood production in Astara (Gilan). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(4): 690-706 (In Persian with English summary).

- Jafari, M., 2012b. Climate and environmental impacts on beech and oak wood production in the Hyrcanian forests. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(3): 388-408 (In Persian with English summary).
- Jafari, M., Maghsudloo, M.K., Khanjani Shiraz, B., Karimidoost, A. and Hemmati, A., 2012. New approach in dendro-genetic method for identification of beech tree variability. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 20(2): 284-294 (In Persian with English summary).
- Kanani, N., Fallah, A., Abedini, R. and 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 (In Persian with English summary).
- Körner, C., 1998. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. Oecologia, 115: 445-459.
- Körner, C., 2007. The use of 'altitude' in ecological research. Trends in Ecology and Evolution, 22: 569-574.
- Lenz, A., Hoch, G. and Körner, C., 2013. Early season temperature controls cambial activity and total tree ring width at the alpine treeline. Plant Ecology and Diversity, 6: 365-375.
- Liang, E., Wang, Y., Xu, Y., Liu, B. and Shao, X., 2010. Growth variation in *Abies georgei* var. *smithii* along altitudinal gradients in the Sygera Mountains, southeastern Tibetan Plateau. Trees, 24: 363-373.
- Li, Z., Keyimu, M., Fan, Z. and Wang, X., 2020. Climate sensitivity of conifer growth doesn't reveal distinct low–high dipole along the elevation gradient in the Wolong National Natural Reserve, SW China. Dendrochronologia, 61: 125702.
- Mielke, M.S. and Schaffer, B., 2010. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigment indexes of *Eugenia uniflor*a L. in response to changes in light intensity and soil flooding. Tree Physiology, 30: 45-55.
- Oladi, R., Pourtahmasi, K., Eckstein, D. and 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: 425-433.
- Panthi, S., Fan, Z.X., van der Sleen, P. and Zuidema, P.A., 2020. Long-term physiological and growth responses of Himalayan fir to environmental change are mediated by mean climate. Global Change Biology, 26: 1778-1794.
- Pourtahmasi, K., Lotfiomran, N., Bräuning, A. and Parsapajouh, D., 2011. Tree-ring width and vessel characteristics of oriental beech *(Fagus orientalis*) along an altitudinal gradient in the Caspian forests, northern Iran. IAWA Journal, 32: 461-473.
- Pretzsch, H., del Río, M., Ammer, Ch., Avdagic, A., Barbeito, I., Bielak, K., ... and Bravo-Oviedo, A., 2015. Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. European Journal of Forest Research, 134(5): 927-947.
- Pourbabaei, H., Salehi, A., Sadat Ebrahimi, S., & Khodaparast, F. (2021). The effects of altitude and the most important soil components on vegetation characteristics, Asalem watershed). Iranian Journal of Forest, 13(3), 285–304.
- Rangwala, I. and Miller, J.R., 2012. Climate change in mountains: a review of elevation-dependent warming and its possible causes. Climatic Change, 114: 527-547.
- Sagheb-Talebi, Kh., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Springer, Dordrecht, Netherlands, 152p.
- Salehi Shanjani, P., and Sagheb-Talebi, Kh., 2004. A study on morphological, qualitative and quantitative characteristics of oriental beech stands from gene conservation point of view. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 12(2): 147-184 (In Persian with English summary).
- Topaloğlu, E., Ay, N., Altun, L. and Serdad, B., 2016. Effect of altitude and aspect on various wood properties of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 40: 397-406.
- Yao, X.Y., Liu, X.Y., Xu, Z.G. and Jiao, X.L., 2017. Effects of light intensity on leaf microstructure and growth of rape seedlings cultivated under a combination of red and blue LEDs. Journal of Integrative Agriculture, 16: 97-105.
- Zhao, M. and Running, S.W., 2010. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 t Investigation on increment hrough 2009. Science, 329: 940-943.