



Structural analysis of veteran trees and their neighbors in Hyrcanian forest types (Case study: Baharbon district of the Kheyroud Forest)

Zahra Veysi¹ | Mohsen Javanmiri Pour^{2*} | Vahid Etemad³ | Mohsen Ghalandar⁴

1. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: rezashahandeh@yahoo.com
2. Corresponding Author, Forest and Rangeland Research Devison, Kermanshah Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kermanshah, Iran. Email: mjavanmiri@ut.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, University College of Agriculture and Natural Resources, Karaj, Iran. Email: vetemad@ut.ac.ir
4. Department of Statistics and Mathematics, Gonbad-Kavoos University. Gonbad-Kavoos, Iran. Email: shghalandar@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 24 August 2025

Revised: 13 December 2025

Accepted: 18 January 2026

Published online: 10 June 2026

Keywords:

Forest types,
Old-growth trees,
Oriental beech,
Structural indices,
Sustainable management.

ABSTRACT

Introduction: Old-growth trees are recognized as key components of the functioning, stability, and biodiversity of natural forests, especially in the Hyrcanian forests. This study aimed to analyze the structural characteristics and spatial distribution patterns of Oriental beech (*Fagus orientalis*) old-growth trees and their neighboring trees in two different forest types (pure beech and mixed beech with other species) in the Baharbon district of Kheyroud Forest, northern Iran.

Method: Old-growth beech trees were identified based on diameter at breast height (DBH > 100 cm). A total of 47 sample plots (0.5 ha in the mixed type and 1 ha in the pure type) were established around old-growth trees. Within each plot, all trees with DBH > 7.5 cm were measured, and their species were recorded. Structural attributes, including mean DBH, dominant height, dominance index, diameter and height differentiation indices, species mingling index, and uniform angle index (for spatial pattern), were calculated. In total, 310 structural groups in the pure beech type and 411 groups in the mixed type were analyzed. An independent t-test was used to compare the indices between the two forest types.

Results: Oriental beech was the dominant species, with 256 old-growth trees in the pure type and 138 in the mixed type. In terms of vegetative dimensions, alder (*Alnus subcordata*) had the largest size in the pure beech type (mean DBH = 103.4 cm, mean height = 40.8 m). Hornbeam (*Carpinus betulus*) was the second most frequent species in the mixed type (153 trees) but had smaller dimensions. The uniform angle index indicated a relatively regular distribution pattern in both types. The species mingling index was significantly higher in the mixed type. The independent t-test revealed that only species mingling and height differentiation showed statistically significant differences ($P \leq 0.05$) between the two forest types. Other indices, including diameter differentiation, dominance, and the uniform angle index, did not differ significantly.

Conclusion: The results emphasize that the mere presence of old-growth beech trees does not create strong structural differentiation at the horizontal level. Instead, the key differences between pure and mixed beech types are reflected in qualitative stand features, vertical competition for light (expressed by height differentiation), and neighborhood species diversity (expressed by the mingling index). In other words, while the spatial distribution pattern of old-growth trees is similar in both types, the vertical structure and species composition surrounding them differ significantly. These findings are crucial for conservation-oriented management of Hyrcanian forests, suggesting that preserving old trees alone is insufficient; attention must also be paid to the ecological context, including species diversity and vertical interactions.

Cite this article: Veysi, Z., Javanmiri Pour, M., Etemad, V., Ghalandar, M. (2026). Structural analysis of veteran trees and their neighbors in Hyrcanian forest types (Case study: Baharbon district of the Kheyroud Forest). *Journal of Forest and Wood Products*, 79 (1), 19-34. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2026.401213.1367>





دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

سایت نشریه: <https://jfwpp.ut.ac.ir>

تحلیل ساختار درختان کهن سال و پایه‌های همسایه آنها در تپ‌های جنگلی هیرکانی (مطالعه موردی: بخش بهاربن جنگل خیرود)

زهرا ویسی^۱ | محسن جوانمیری پور^{۲*} | وحید اعتماد^۳ | محسن قلندر^۴

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: zahra.veysi1422@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: mjavanmiri@ut.ac.ir
۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: vetemad@ut.ac.ir
۴. گروه آمار، دانشکده علوم فنی و مهندسی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: shghalandar@yahoo.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

کلیدواژه:

تپ‌های جنگلی،
درختان کهن‌سال،
راش شرقی،
شاخص‌های ساختاری،
مدیریت پایدار.

مقدمه: درختان کهن‌سال به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ارکان بوم‌سامانه‌های جنگلی، نقش برجسته‌ای در حفظ تنوع زیستی، پایداری و کارکردهای اکولوژیک ایفا می‌کنند. این پژوهش با هدف تحلیل ساختار قطری و ارتفاعی، الگوی پراکنش مکانی و شاخص‌های تمایز و آمیختگی درختان کهن‌سال راش شرقی (*Fagus orientalis*) در مقایسه با درختان همسایه در دو تپ جنگلی راش خالص و تپ آمیخته (راش با سایر گونه‌ها) در بخش بهاربن جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود نوشهر انجام شد.

روش پژوهش: پس از شناسایی درختان کهن‌سال راش براساس معیار قطر برابر سینه (بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر)، تعداد ۴۷ قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل به ابعاد نیم هکتار (در تپ آمیخته) و یک هکتار (در تپ خالص) پیرامون هر درخت کهن‌سال پیاده شد. در هر قطعه، کلیه درختان با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر به‌طور کامل اندازه‌گیری و گونه آنها ثبت گردید. ویژگی‌های ساختاری محاسبه‌شده شامل میانگین قطر برابر سینه، ارتفاع غالب، شاخص چیرگی، شاخص تمایز قطری و ارتفاعی، شاخص آمیختگی گونه‌ای و شاخص زاویه یکنواختی (برای بررسی الگوی پراکنش) بودند. در مجموع، ۳۱۰ گروه ساختاری در تپ راش خالص و ۴۱۱ گروه در تپ آمیخته مورد تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه شاخص‌ها بین دو تپ از آزمون تی مستقل (t-test) استفاده شد.

یافته‌ها: در مجموع، ۲۵۶ پایه راش کهن‌سال در تپ خالص و ۱۳۸ پایه در تپ آمیخته ثبت شد که نشان‌دهنده غالبیت مطلق این گونه در منطقه است. از نظر ابعاد ریشی، بزرگ‌ترین درختان متعلق به گونه توسکا (*Alnus subcordata*) در تپ راش خالص با میانگین قطر ۱۰۳/۴ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰/۸ متر بود. ممرز (*Carpinus betulus*) با ۱۵۳ درخت در تپ آمیخته دومین گونه فراوان بود اما ابعاد کوچک‌تری داشت. تحلیل شاخص زاویه یکنواختی نشان‌دهنده الگوی پراکنش نسبتاً یکنواخت در هر دو تپ بود. شاخص آمیختگی گونه‌ای در تپ آمیخته به‌طور معنی‌داری بیشتر از تپ خالص بود. آزمون تی مستقل نشان داد که تنها دو شاخص آمیختگی گونه‌ای و تمایز ارتفاعی تفاوت آماری معنی‌داری بین دو تپ دارند ($P=0/05$). سایر شاخص‌ها شامل تمایز قطری، چیرگی و زاویه یکنواختی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش تأکید می‌کند که حضور درختان کهن‌سال راش به‌تنهایی نمی‌تواند تمایز ساختاری واضحی در سطح افقی ایجاد کند؛ بلکه تفاوت‌های اساسی بین تپ‌های راش خالص و آمیخته بیشتر در ویژگی‌های کیفی توده، رقابت عمودی برای نور (نشان‌دهنده توسط تمایز ارتفاعی) و تنوع گونه‌ای همسایگان (شاخص آمیختگی) خلاصه می‌شود. به‌عبارت دیگر، الگوی پراکنش درختان کهن‌سال در هر دو تپ مشابه است، اما ساختار عمودی و ترکیب گونه‌ای پیرامون آنها تفاوت معنی‌دار دارد. این یافته برای مدیریت حفاظتی جنگل‌های هیرکانی حائز اهمیت است، زیرا نشان می‌دهد که حفظ صرف درختان کهن‌سال کافی نیست و باید به بافت اکولوژیک پیرامون آنها شامل تنوع گونه‌ای و رقابت‌های ارتفاعی توجه شود.

استناد: ویسی، زهرا، جوانمیری پور، محسن، اعتماد، وحید، قلندر؛ محسن (۱۴۰۵). تحلیل ساختار درختان کهن‌سال و پایه‌های همسایه آنها در تپ‌های جنگلی هیرکانی (مطالعه موردی: بخش

بهاربن جنگل خیرود). نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۹ (۱)، ۳۴-۱۹. DOI: <https://10.22059/jfwpp.2026.401213.1367>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwpp.2026.401213.1367>



۱. مقدمه

ساختار توده‌های جنگلی یکی از ویژگی‌های بنیادین و تعیین‌کننده بوم‌سازگان‌های جنگلی است که نقش اساسی در عملکرد، پایداری و حفظ تنوع زیستی آنها ایفا می‌کند. این ساختار حاصل تعاملات پیچیده و چندبعدی فرآیندهای طبیعی و بوم‌شناختی است که در مقیاس‌های زمانی و مکانی طولانی شکل گرفته و تکامل می‌یابد [۱، ۱۳]. ساختار جنگل از چیدمان عمودی و افقی درختان، تنوع گونه‌ای، پراکنش مکانی، ابعاد درختان و وضعیت زادآوری آنها تشکیل شده و اطلاعات حیاتی برای مدیریت نزدیک به طبیعت جنگل‌ها فراهم می‌آورد [۵، ۱۱]. جنگل‌های طبیعی، به‌ویژه به‌واسطه حضور درختان کهن‌سال، ناهمگنی و پیچیدگی ساختاری قابل توجهی دارند که زمینه‌ساز تنوع بالای زیستگاهی، تنوع زیستی و مقاومت بوم‌سازگانی در برابر فشارهای محیطی است [۲۴]. جنگل‌های کهن‌سال بر اساس تعریف Franklin و Spies (۱۹۹۱) [۶] و بعدها با اصلاحات Peterken (۱۹۹۶) [۲۶] و Bauhus و همکاران (۲۰۰۹) [۲۷]، به جنگل‌هایی گفته می‌شود که در آنها فرآیندهای طبیعی رشد، مرگ و تجزیه درختان در طی دوره‌های طولانی بدون آشفتگی عمده انسانی ادامه یافته است. این جنگل‌ها، ویژگی‌هایی همچون حضور درختان قطور و کهن‌سال، حجم بالای خشک‌دار، لایه‌های عمودی متعدد و ساختار ناهمگنی را نشان می‌دهند. درختان کهن‌سال به‌عنوان اجزای کلیدی ساختار جنگل‌های طبیعی، دارای ریخت‌شناسی پیچیده‌ای شامل تغییرات اندازه، شکل تاج، ساختار پوست تنه، وجود حفره‌ها و تخلخل‌های تنه و سیستم‌های ریشه‌ای گسترده‌اند [۲۱]. این ویژگی‌ها علاوه بر فراهم کردن زیستگاه‌های متنوع برای گونه‌های گیاهی و جانوری، در تنظیم چرخه‌های انرژی، گردش مواد غذایی و ذخیره‌سازی کربن نیز نقشی اساسی دارند [۴، ۹].

جنگل‌های هیرکانی، با قدمتی بیش از ۲۵ میلیون سال، از کهن‌ترین و باارزش‌ترین بوم‌سازگان‌های جنگلی جهان به‌شمار می‌روند و از نظر ساختاری، دارای ویژگی‌های بوم‌شناختی منحصربه‌فردی هستند [۱۰]. این جنگل‌ها با تنوع بالای گونه‌ای، ساختار چنداشکوبه و ناهمگنی‌های افقی و عمودی، شرایط پایداری زیستی و عملکردهای چندگانه بوم‌سازگانی را فراهم می‌کنند [۷]. در کنار آن، ویژگی‌های زمین‌شناسی و خاکی خاص منطقه، تأثیر قابل توجهی در شکل‌گیری ساختار و ترکیب گونه‌ای این جنگل‌ها داشته و موجب بروز الگوهای پیچیده در توزیع درختان شده است [۱۳]. افزایش سن درختان، تحول در شکل تاج‌ها و گسترش ابعاد تنه از مهم‌ترین عواملی است که موجب افزایش پیچیدگی ساختار جنگل و ایجاد زیستگاه‌های متنوع در سطوح افقی و عمودی می‌شود [۱۲]. آرایش جنگل‌های کهن‌سال، با وجود اشکوب‌های متعدد ارتفاعی، روشنه‌ها، فضاهای خالی و ناهمگنی بالا در چیدمان درختان، اساس پایداری بوم‌شناختی را شکل می‌دهد [۴، ۶]. از دیدگاه کمی، ساختار این جنگل‌ها با شاخص‌هایی مانند میانگین قطر برابر سینه، ارتفاع غالب، شاخص‌های چیرگی و تمایز قطری و ارتفاعی، آمیختگی گونه‌ای و الگوهای مکانی درختان توصیف می‌شود.

میانگین قطر برابر سینه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اندازه و مرحله رشد توده، بیانگر میانگین قطر تنه در ارتفاع استاندارد ۱/۳ متری و نشان‌دهنده سطح ابعاد و تحول درختان است [۱]. ارتفاع غالب نیز با تمرکز بر میانگین بلندترین درختان توده، معیاری نسبتاً مستقل از تراکم برای ارزیابی کیفیت رویشگاه و توان بالقوه تولیدی آن محسوب می‌شود. علاوه بر شاخص‌های اندازه، شاخص‌های چیرگی نقش مهمی در توصیف وضعیت رقابتی درختان نسبت به همسایگان ایفا کرده و نشان می‌دهند که کدام درختان از نظر قطر یا ارتفاع برتری نسبی دارند. این شاخص‌ها برای بررسی ناهمگنی اندازه‌ای، شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی مورد استفاده قرار می‌گیرند که میزان تفاوت در قطر یا ارتفاع هر درخت با درختان مجاور را کمی‌سازی کرده و درجه ناهمگنی ساختاری توده را آشکار می‌سازند [۱۲]. همچنین، ترکیب گونه‌ای، شاخص آمیختگی گونه‌ای میزان همراهی یک درخت با گونه‌های متفاوت را نشان داده و از این طریق الگوی پراکنش و آمیختگی گونه‌ها را مشخص می‌کند. در نهایت، الگوهای ساختاری درختان با استفاده از روش‌های فاصله‌محور و تابع‌های نقطه‌ای ارزیابی می‌شوند تا مشخص شود پراکنش درختان براساس شاخص‌های مربوطه در مقیاس‌های مختلف خوشه‌ای، تصادفی یا یکنواخت است [۱۳]. در این میان، شاخص‌های ساختاری که نیازمند داده‌های دقیق موقعیت درختان هستند، درک عمیق‌تری از پویایی جنگل و تعاملات بین‌گونه‌ای فراهم می‌سازند [۱]. تحلیل الگوی پراکنش، به‌ویژه در درختان کهن‌سال، ابزاری حائز اهمیت برای شناسایی فرآیندهای بوم‌شناختی مؤثر بر ساختار و طراحی راهبردهای مدیریتی مبتنی بر پویایی طبیعی محسوب می‌شود [۸، ۱۵].

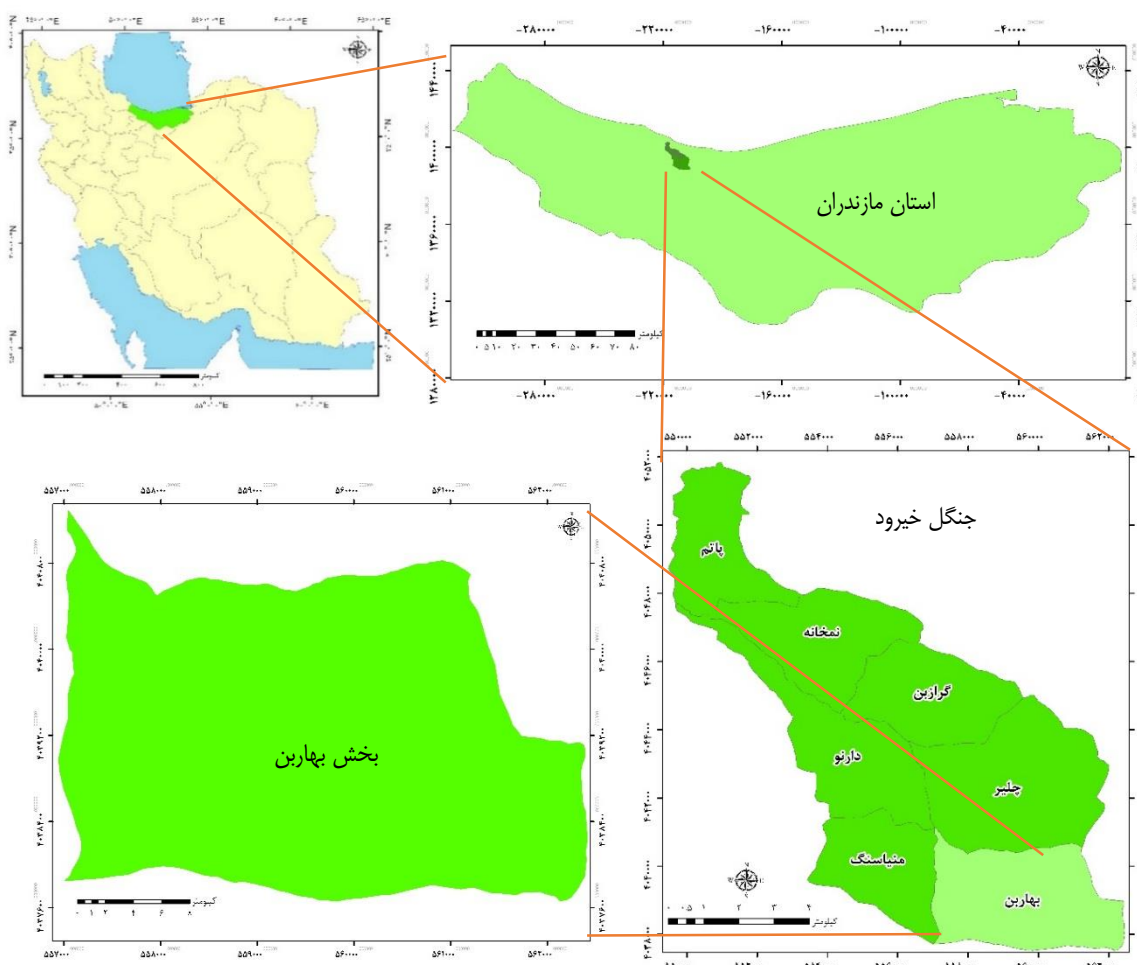
با وجود مطالعات متعدد درباره ساختار و ترکیب گونه‌ای جنگل‌های طبیعی، هنوز پژوهش‌های جامع و متمرکز در زمینه ارتباط

بین شاخص‌های ساختاری و نقش بوم‌شناختی درختان کهن سال در جنگل‌های هیرکانی، به‌ویژه در تیپ‌های بالابند، اندک است. این خلأ سبب شده است که درک دقیقی از نحوه تأثیر درختان کهن سال بر پایداری ساختاری این جنگل‌ها در دست نیابد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف کمی‌سازی و تحلیل ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی، بررسی نقش درختان کهن سال در شکل‌گیری و تمایز ساختاری تیپ‌های مختلف در بخش بهارین جنگل خیرود انجام شد. نتایج این تحقیق می‌تواند در تبیین روابط بوم‌شناختی بین گونه‌ها، شناسایی سازوکارهای چیرگی و آمیختگی و ارتقای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی جنگل‌های هیرکانی مؤثر واقع شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

جنگل آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (جنگل خیرود) در هفت کیلومتری شرق شهرستان نوشهر و در استان مازندران واقع شده است. مختصات جغرافیایی این جنگل $51^{\circ} 39' 56''$ و $51^{\circ} 33' 12''$ در طول شرقی و $36^{\circ} 32' 08''$ و $36^{\circ} 45' 05''$ در عرض شمالی می‌باشد که این پژوهش در آن جنگل به انجام شده است. جنگل خیرود به هشت بخش تقسیم شده که رویشگاه مورد مطالعه در بخش بهارین واقع شده است و به‌عنوان بخش ششم این جنگل شناخته می‌شود. این بخش از شمال به جنگل چلیبر، از شرق به حوزه ۴۶، از جنوب به یال هشتادتن و از غرب به رودخانه کلیک و بخش میناسنگ منتهی می‌گردد (شکل ۱). مساحت بخش بهارین برابر با ۱۵۵۰ هکتار است و در محدوده ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا گسترش یافته است. تیپ‌های جنگلی عمده این بخش شامل راش خالص، راش-ممرز، راش آمیخته، ممرز-راش و همچنین توسکا-افرا و توسکا-ممرز می‌باشد [۳].

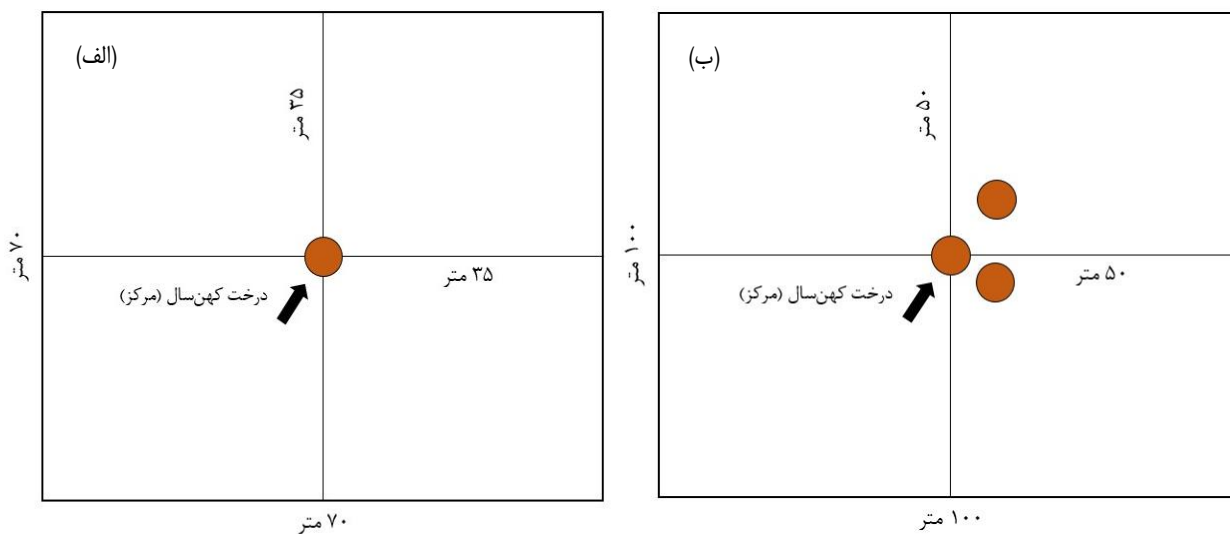


شکل ۱. نقشه موقعیت مکانی بخش بهارین، جنگل خیرود

۲-۲. روش پژوهش

برای انجام این تحقیق از نقشه توپوگرافی و نقشه تپ‌بندی بخش بهاربن با مقیاس $\frac{1}{10000}$ استفاده شد. از طریق جنگل‌گردشی و پیمایش عرصه، درختان کهن‌سال در تپ جنگلی راش خالص شناسایی شدند. براساس نقشه موجود، بیشترین مساحت این بخش به تپ راش خالص اختصاص یافته است.

با توجه به شرایط جنگل و همچنین مراجعه به پژوهش‌های پیشین برای هرگونه درختی یک قطر خاص به‌عنوان معیاری برای کهن‌سال بودن درخت در نظر گرفته شد [۲]. به‌عنوان نمونه، حداقل قطر برابر سینه برای گونه‌های راش، ممرز، توسکا و پلت ۱/۵ متر و بلندمازو ۲ متر در نظر گرفته شد. با شناسایی یک درخت کهن‌سال به‌عنوان نمونه، از آن درخت به‌عنوان مرکز قطعه‌نمونه استفاده شد و قطعه‌نمونه مربعی شکل به مساحت نیم هکتار با ابعاد 70×70 متر تعیین شد. برای استقرار هر قطعه‌نمونه، از درخت کهن‌سال واقع در مرکز به فاصله ۳۵ متر در جهات جغرافیایی شمال، جنوب، شرق و غرب حرکت نموده و مرزهای هر قطعه‌نمونه مشخص شد (شکل ۲ الف). در مواردی که بیش از یک درخت کهن‌سال در نزدیکی همدیگر قرار داشتند، نقطه‌ای در میان آنها انتخاب شد به گونه‌ای که هر یک از درختان کهن‌سال فاصله‌ای مساوی با دو یا چند درخت دیگر داشته باشد. این نقطه به‌عنوان مرکز قطعه‌نمونه با مساحت یک هکتار لحاظ شد. در چنین مواردی، از نقطه مرکزی قطعه‌نمونه به سمت بیرون به فاصله ۵۰ متر در راستای جهات جغرافیایی اصلی حرکت نموده و مرز قطعه‌نمونه مستقر شد (شکل ۲ ب). در تپ راش ۲۱ و در سایر تپ‌ها ۲۶ قطعه‌نمونه یعنی در مجموع تعداد ۴۷ قطعه‌نمونه در دو تپ اندازه‌گیری شد.



شکل ۲. قطعه‌نمونه نیم هکتاری (الف) و قطعه‌نمونه یک هکتاری (ب)

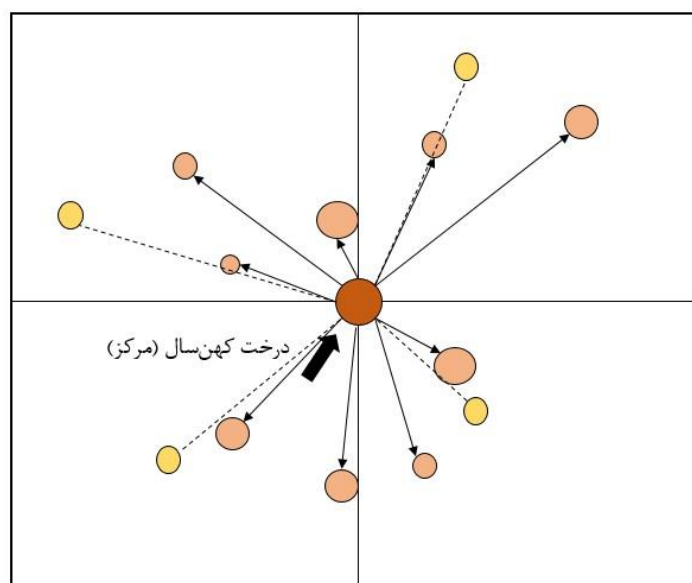
پس از تعیین حدود قطعه‌نمونه، در ابتدا قطر برابر سینه و ارتفاع کل درخت کهن‌سال اندازه‌گیری شد. در مجموع درختانی که دارای قطر بالاتر از حد شمارش (طبقه قطری ۱۰ سانتی‌متر یعنی بالاتر از ۷/۵ سانتی‌متر) بودند، با ذکر نام گونه اندازه‌گیری شدند. درختان همسایه درخت کهن‌سال از میان تمامی درختان واقع در محدوده قطعات نمونه نیم و یک هکتاری اندازه‌گیری شدند و شاخص‌های ساختاری مرتبط با آنها بررسی شد. برای تعیین فاصله بین درختان همسایه هر درخت کهن‌سال، ابتدا گوشه جنوب غربی هر قطعه‌نمونه به‌عنوان مبدا با مختصات $(Y=0, X=0)$ در نظر گرفته شد و سپس برای درختان همسایه درخت کهن‌سال، مقادیر x و y مشخص شد. اندازه‌گیری مقادیر x و y برای هر درخت با توجه به فاصله از مرز آن قطعه‌نمونه محاسبه می‌شود (شکل ۳).

مختصات (X) و (Y) اندازه‌گیری شده برای هر درخت با هدف استفاده مستقیم در محاسبات مربوط به فاصله، تعیین همسایگان و تحلیل ساختار توده مورد استفاده قرار گرفت. این مختصات امکان بازسازی کامل موقعیت درختان در دستگاه مختصات دوبعدی

را فراهم کرد و مبنای محاسبه فاصله اقلیدسی بین درخت کهن‌سال و سایر درختان بود. فاصله بین هر دو درخت براساس رابطه ۱ زیر محاسبه شد:

$$d_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

با استفاده از این فاصله‌ها، نزدیک‌ترین همسایگان هر درخت کهن‌سال شناسایی شدند. این مجموعه همسایگان به‌عنوان داده ورودی در محاسبه شاخص‌های ساختار افقی شامل شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی، چیرگی، آمیختگی گونه‌ای و شاخص یکنواختی زاویه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۳. شمایی از آرایش درختان همسایه درخت کهن‌سال در قطعات نمونه مورد مطالعه

مقادیر عددی شاخص‌های مرتبط با الگوی ساختار شامل سه گروه از شاخص‌های ساختاری، تنوع و آمیختگی بود. این شاخص‌ها شامل زاویه یکنواخت، آمیختگی گونه‌ای، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، چیرگی قطری و چیرگی ارتفاعی هستند (جدول ۱).

جدول ۱. شاخص‌های تحلیل کمی ساختار در توده‌های جنگلی [۲۵]

شماره	نام شاخص	منبع	فرمول	توضیحات
۱	زاویه یکنواخت	[۱۷]	$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$	$v_j = \begin{cases} 1, & \alpha_j \leq \alpha_0 \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$
۲	آمیختگی گونه‌ای	[۱۸]	$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$	$v_j = \begin{cases} 1, & \text{گونه } i \neq \text{گونه } j \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$
۳	تمایز قطری	[۱۷]	$TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (1 - r_{ij})$	$r_{ij} = \frac{\text{قطر کوچکتر}}{\text{قطر بزرگتر}}$
۴	تمایز ارتفاعی	[۱۸]	$TH_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (1 - r_{ij})$	$r_{ij} = \frac{\text{ارتفاع کوچکترین درخت}}{\text{ارتفاع بزرگترین درخت}}$
۵	چیرگی قطری	[۱۶ و ۲۲]	$UD_i = n! \sum_{j=1}^n v_j$	$v_j = \{1, 0, DBH_i > DBH_j\}$ در غیر این صورت
۶	چیرگی ارتفاعی	[۱۶ و ۲۲]	$UH_i = n! \sum_{j=1}^n v_j$	$v_j = \{1, 0, H_i > H_j\}$ در غیر این صورت

n : تعداد درختان همسایه ($n=4$), i : درخت شاهد و j : درخت همسایه. توزیع شاخص‌های ۱ تا ۴ بین ۰ تا ۱ و بدون واحد می‌باشد.

در این مطالعه ۳۱۰ و ۴۱۱ گروه ساختاری به ترتیب در تپ‌های راش خالص و سایر گونه‌ها بررسی شدند. برای تحلیل و استخراج شاخص‌های ساختاری مورد بررسی از قبیل آمیختگی، زاویه یکنواخت، چیرگی قطر برابر سینه، چیرگی ارتفاعی، تمایز قطر برابر سینه و شاخص تمایز ارتفاعی از نرم‌افزار Crancod 1.4 استفاده شد. برای تحلیل‌های آماری در داخل هر تپ از آزمون ANOVA و از آزمون t مستقل با توجه به عدم وابستگی داده‌ها در تپ‌های جنگلی مورد مطالعه در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش

بیشترین فراوانی در تپ راش خالص مربوط به گونه راش با ۲۵۶ درخت است، در حالی که سایر تپ‌ها و گونه‌ها فراوانی کمتری دارند، به‌ویژه توسکا و ممرز با فراوانی ۶ و ۵ درخت در تپ راش خالص. میانگین قطر برابر سینه بیشترین مقدار را در تپ راش خالص توسکا (۱۰۷ سانتی‌متر) و سایر تپ‌های پلت (۸۵/۶۰ سانتی‌متر) دارد و کمترین آن در تپ راش خالص سایر گونه‌ها (۲۱/۵۷ سانتی‌متر) مشاهده شد. میانگین سطح مقطع بیشترین مقدار را در تپ راش خالص پلت (۴۳/۵ سانتی‌متر مربع) و تپ راش خالص راش (۱۷/۲۰ سانتی‌متر مربع) دارد و کمترین مقدار مربوط به تپ راش خالص سایر گونه‌ها (۰/۰۹۵ سانتی‌متر مربع) است. همچنین، میانگین ارتفاع در تپ راش خالص توسکا بیشترین مقدار را دارد (۴۲/۳۳ متر) و کمترین میانگین ارتفاع مربوط به تپ راش خالص سایر گونه‌ها (۱۳/۲۸ متر) است (جدول ۲).

جدول ۲. میانگین ویژگی‌های فراوانی، قطر برابر سینه، سطح مقطع و ارتفاع برای گونه‌های مختلف در تپ‌های مورد مطالعه

فراوانی (تعداد)	راش		پلت		توسکا		ممرز		سایر گونه‌ها	
	تپ راش خالص	سایر تپ‌ها	تپ راش خالص	سایر تپ‌ها	تپ راش خالص	سایر تپ‌ها	تپ راش خالص	سایر تپ‌ها	تپ راش خالص	سایر تپ‌ها
۲۵۶	۱۳۸	۳۶	۵۵	۶	۲۳	۵	۱۵۳	۷	۴۲	۷
میانگین قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	۵۵/۰۵	۸۲/۷۱	۱۰۴/۳	۶۰/۸۵	۱۰۷	۷۵/۶۵	۷۰/۴	۴۱/۰۹	۲۱/۵۷	۲۵/۹
میانگین سطح مقطع (سانتی‌متر مربع)	۱۷/۲۰	۱۰/۷۴	۵/۴۳	۲/۲۳	۳/۰۵	۳/۰۷	۱/۸۶	۳/۳۵	۰/۰۹۵	۰/۶۶
میانگین ارتفاع (متر)	۲۹/۷۲	۳۶	۴۰/۸۳	۳۴/۹	۴۲/۳۳	۳۴/۵۸	۲۸	۲۵/۱۶	۱۳/۲۸	۱۳/۷۶

نتایج تحلیل شاخص‌های ساختاری و گونه‌ای جنگل نشان داد که گونه توسکا در تپ راش بیشترین چیرگی ارتفاعی (۰/۹۲) و چیرگی قطری (۰/۷۹) را دارد، در حالی که فراوانی آن ۶ درخت است. گونه راش در تپ خالص راش بیشترین فراوانی (۲۵۶ درخت) را دارد، اما چیرگی ارتفاعی و قطری آن ۰/۴۸ است. گونه پلت در تپ راش بیشترین شاخص آمیختگی گونه‌ای (۰/۶۳) و سایر گونه‌ها در تپ سایر گونه‌ها بالاترین شاخص آمیختگی (۰/۸۳) و بیشترین تنوع ارتفاع و قطر را نشان دادند. شاخص زاویه یکنواخت در بیشتر تپ‌ها بین ۰/۵۲ تا ۰/۵۷ است (جدول ۳).

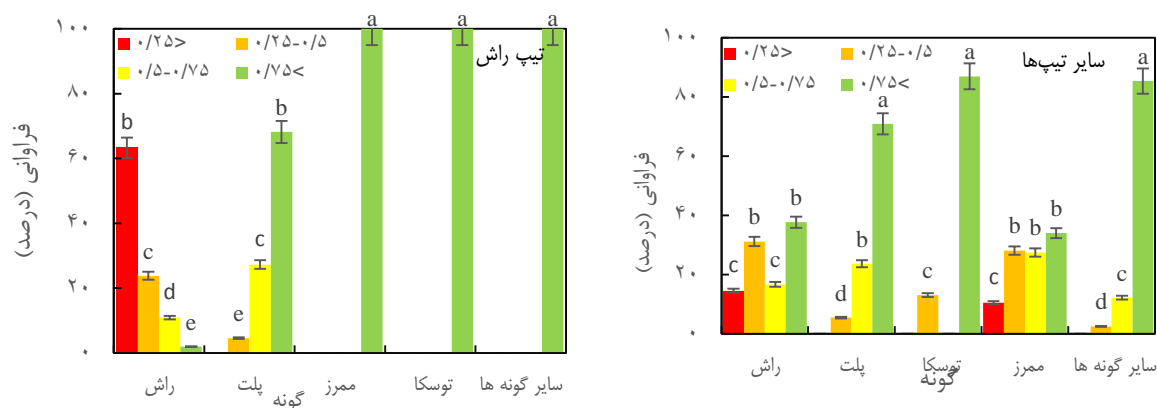
۳-۱. شاخص آمیختگی

در تپ راش خالص، گونه‌های راش و پلت با قرار گرفتن در طبقه $>0/75$ ، بالاترین میزان آمیختگی را نشان می‌دهند (آمیختگی بسیار زیاد). در مقابل، گونه‌های ممرز و توسکا عمدتاً در طبقه $0/5$ تا $0/75$ قرار دارند (آمیختگی متوسط تا زیاد). گونه‌های گروه سایر، بیشتر در طبقه $<0/25$ قرار دارند (آمیختگی بسیار کم یا ساختار تقریباً خالص). همچنین، طبقه $0/5$ تا $0/75$ کمترین فراوانی را در بین تمام گونه‌ها به خود اختصاص داده است (شکل ۴). در سایر تپ‌ها، گونه‌های راش و پلت بیشترین فراوانی را در طبقه $>0/75$ دارند (آمیختگی بسیار بالا). گونه‌های توسکا و ممرز عمدتاً در طبقه $0/5$ تا $0/75$ قرار گرفته‌اند (آمیختگی متوسط تا زیاد). در مقابل، گونه‌های گروه سایر بیشتر در طبقه $<0/25$ متمرکز هستند (آمیختگی بسیار کم یا ساختار نسبتاً خالص). همچنین، طبقه

۰/۲۵ تا ۰/۵ کمترین فراوانی در بین تمام گونه‌ها را دارد (شکل ۴).

جدول ۳. میانگین مقدار شاخص‌های مورد مطالعه برای گونه‌های مختلف در تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه

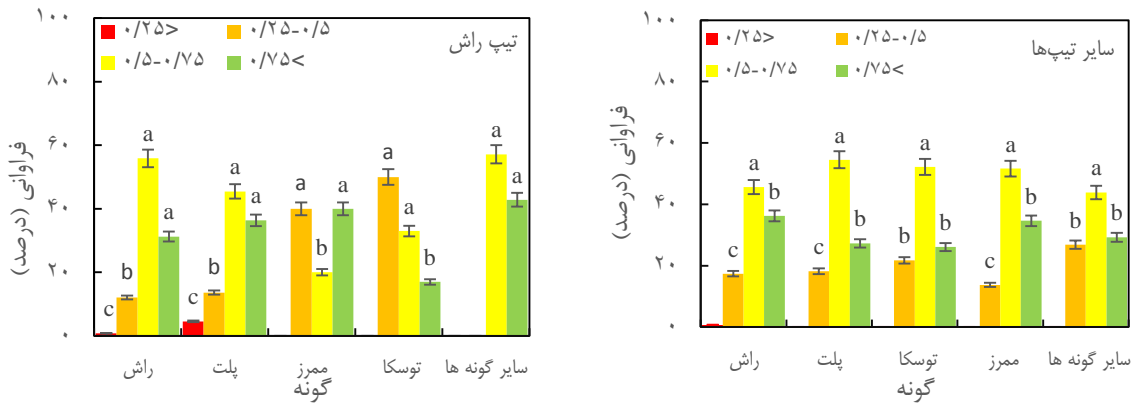
نوع گونه	تیپ	فراوانی	شاخص آمیختگی گونه‌ای	شاخص زاویه یکنواخت	شاخص تمایز قطری	شاخص تمایز ارتفاعی	شاخص چیرگی قطری	شاخص چیرگی ارتفاعی
راش	راش	۲۵۶	۰/۱۴	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۴۸	۰/۴۸
	سایر	۱۳۶	۰/۴۸	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۶۲	۰/۶۲
پلت	راش	۳۶	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۴	۰/۲۳	۰/۶۳	۰/۶۳
	سایر	۵۵	۰/۷۶	۰/۵۵	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۵۹	۰/۵۹
توسکا	راش	۶	۰/۹۲	۰/۵	۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۷۹	۰/۹۲
	سایر	۲۳	۰/۸	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۵۴
ممرز	راش	۵	۰/۹	۰/۵	۰/۴۹	۰/۳۷	۰/۳	۰/۲۵
	سایر	۱۵۳	۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۴۲	۰/۳۹
سایر گونه‌ها	راش	۷	۱	۰/۶	۰/۵۸	۰/۵۳	۰/۲۵	۰/۲۵
	سایر	۴۲	۰/۸۳	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۳۲	۰/۲۸



شکل ۴. مقدار شاخص آمیختگی در مهمترین گونه‌های موجود در تیپ‌های راش و سایر گونه‌ها در بخش بهارین

۲-۳. شاخص زاویه یکنواخت

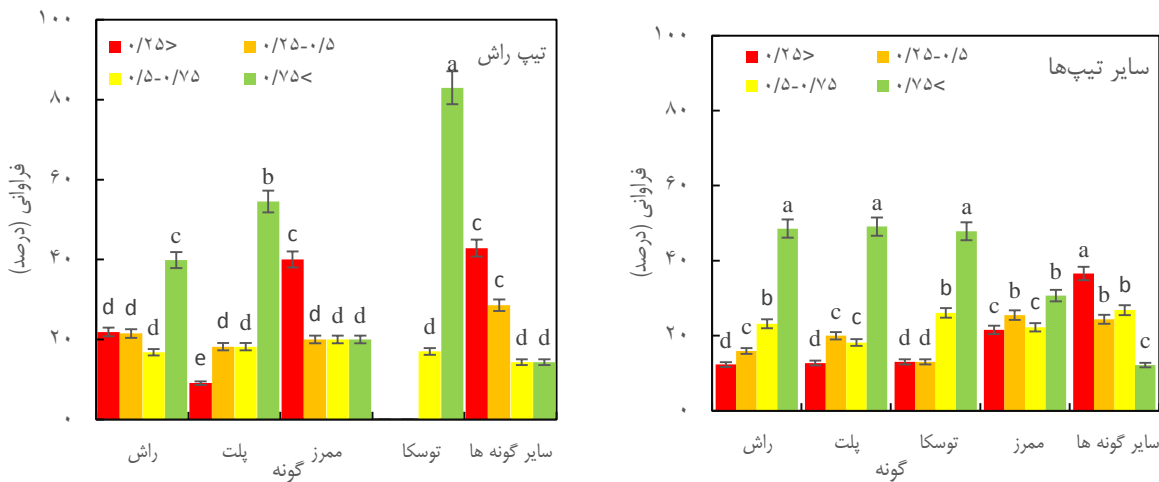
در تیپ راش خالص، گونه‌های راش و پلت با دارا بودن بیشترین فراوانی (به ترتیب حدود ۵۵ درصد و ۴۵ درصد) در طبقه $>0/75$ دارای توزیع بسیار یکنواخت هستند. گونه‌های ممرز و توسکا عمدتاً در طبقه $0/5-0/75$ (با فراوانی ۴۰-۳۵ درصد) قرار گرفته‌اند که بیانگر توزیع نسبتاً یکنواخت، اما نه کاملاً منظم است. در مقابل، سایر گونه‌ها بیشترین فراوانی (حدود ۵۰ درصد) را در طبقه $<0/25$ نشان می‌دهند. طبقه $0/25-0/5$ در تمام گونه‌ها دارای کمترین فراوانی است (شکل ۵). در سایر تیپ‌ها، گونه راش با دارا بودن بیشترین سهم (حدود ۵۵ درصد) در طبقه $>0/75$ ، الگوی توزیع کاملاً یکنواختی را نشان می‌دهد. گونه پلت نیز با حدود ۴۵ درصد در همین طبقه اما با شیب ملایم‌تری در سایر بازه‌ها قرار گرفته است. در مقابل، گونه‌های توسکا و ممرز عمدتاً در طبقه $0/5-0/75$ قرار گرفته‌اند (به ترتیب حدود ۳۵ و ۳۰ درصد). در سایر گونه‌ها، بیش از ۵۰ درصد آنها در طبقه $<0/25$ قرار دارند. همچنین، کمترین فراوانی برای تمام گونه‌ها در طبقه $0/25-0/5$ است (شکل ۵).



شکل ۵. مقدار شاخص زاویه یکنواخت در مهمترین گونه‌های موجود در تپ‌های راش و سایر گونه‌ها در بخش بهارین

۳-۳. شاخص چیرگی قطر برابر سینه

در تپ راش خالص، گونه راش با فراوانی ۸۵ درصد و قرارگیری غالب نمونه‌ها در طبقه >0.75 ، نشان‌دهنده تنوع بالای قطری درون گونه‌ای است. گونه پلت نیز با حدود ۷۰ درصد در همین طبقه، الگوی مشابهی از ناهم‌قطری را نشان می‌دهد، هرچند به دلیل فراوانی کمتر، سهم آن در ساختار کلی توده پایین‌تر است (شکل ۶). در سایر تپ‌ها، گونه راش با دارا بودن بیشترین سهم (حدود ۵۵ درصد) در طبقه >0.75 ، بالاترین میزان ناهمگنی قطری را نشان می‌دهد. گونه‌های توسکا و ممرز به ترتیب با حدود ۴۰ و ۳۰ درصد در طبقه $0.5-0.75$ قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تنوع قطری متوسط در این توده‌هاست. در مقابل، سایر گونه‌ها عمدتاً (حدود ۵۰ درصد) در طبقه <0.25 متمرکز شده‌اند که حاکی از همگنی نسبی در اندازه‌های قطری است. نکته قابل توجه، کاهش تدریجی فراوانی از طبقه >0.75 به سمت طبقه <0.25 در همه گونه‌ها است (شکل ۶).

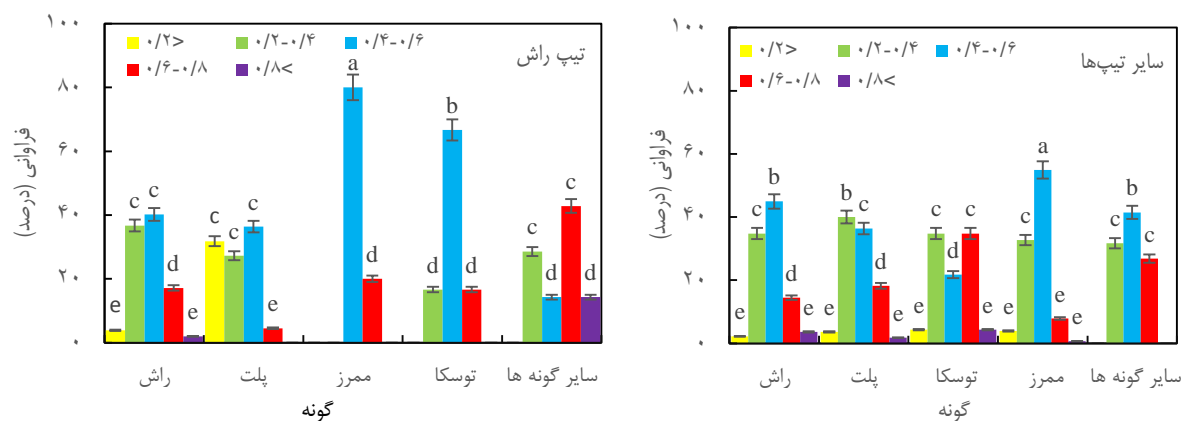


شکل ۶. مقدار شاخص چیرگی قطر برابر سینه در مهمترین گونه‌های موجود در تپ‌های راش و سایر گونه‌ها در بخش بهارین

۳-۴. شاخص تمایز قطر برابر سینه

در تپ راش خالص، گونه پلت نیز با حدود ۷۰ درصد در طبقه $0.2-0.4$ قرار گرفته است، اما با شیب کاهشی محسوس‌تری در بازه‌های پایین‌تر. گونه‌های ممرز و توسکا به ترتیب با حدود ۵۰ و ۴۰ درصد در طبقه $0.6-0.8$ قرار دارند. در مقابل، سایر گونه‌ها با تمرکز حدود ۶۰ درصد در طبقه <0.2 ، کمترین میزان غالبیت را دارند (شکل ۷). در سایر تپ‌ها، گونه راش با دارا بودن بیشترین سهم (حدود ۶۵ درصد) در طبقه >0.8 ، به‌وضوح بالاترین سطح تمایز ارتفاعی

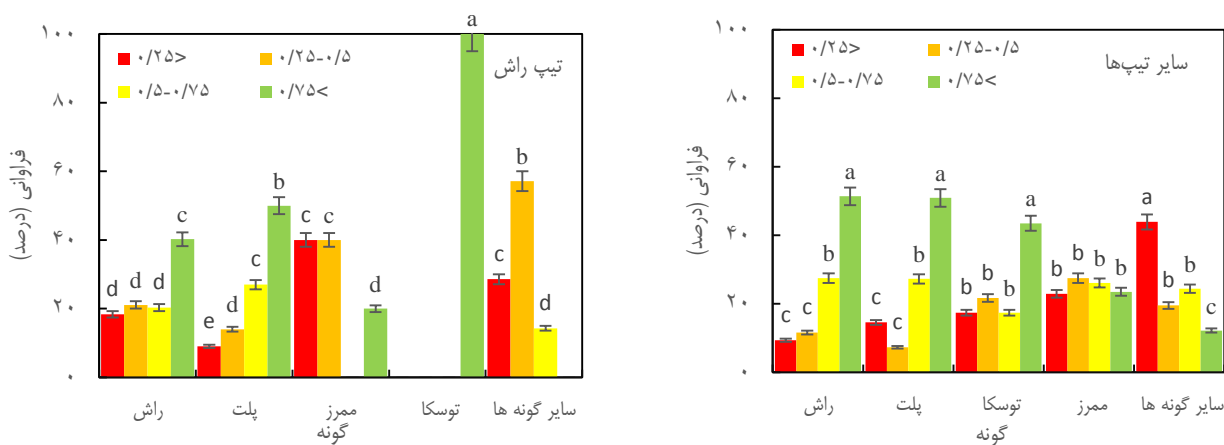
را نشان می‌دهد. گونه پلت نیز با حدود ۵۵ درصد در همین طبقه قرار دارد، اما با شیب کاهشی محسوس‌تر که نشان‌دهنده درجه کمتری از پیچیدگی ساختار عمودی نسبت به راش است. گونه‌های توسکا و ممرز عمدتاً در طبقه ۰/۴-۰/۶ (به ترتیب حدود ۴۰ و ۳۵ درصد) متمرکز شده‌اند که بیانگر ساختار نسبتاً ساده‌تر با تمایز ارتفاعی متوسط است. سایر گونه‌ها با تمرکز حدود ۵۰ درصد در طبقه ۰/۲ <، کمترین سطح تمایز ارتفاعی را نشان می‌دهند (شکل ۷).



شکل ۷. مقدار شاخص تمایز قطر برابر سینه در مهمترین گونه‌های موجود در تیپ‌های راش و سایر گونه‌ها در بخش بهارین

۳-۵. شاخص چیرگی ارتفاعی

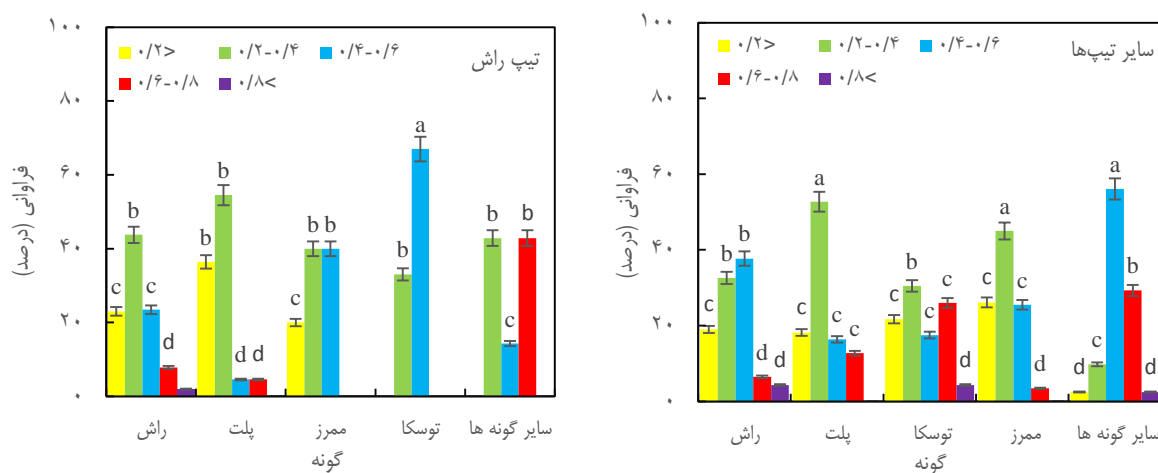
گونه راش با بیشترین سهم (حدود ۶۰ درصد) در طبقه ۰/۷۵ >، بالاترین میزان ناهمگنی ارتفاعی را نشان می‌دهد. گونه‌های توسکا و ممرز به ترتیب با حدود ۴۵ و ۳۵ درصد در طبقه ۰/۷۵-۰/۵ قرار دارند که نشان‌دهنده تنوع ارتفاعی متوسط است. سایر گونه‌ها عمدتاً (حدود ۵۵ درصد) در طبقه ۰/۲۵ < متمرکز شده‌اند (شکل ۸). در سایر تیپ‌ها، گونه‌های راش و پلت با دارا بودن بیشترین سهم (حدود ۵۰ درصد) در طبقه ۰/۷۵ >، بالاترین میزان ناهمگنی ارتفاعی را نشان می‌دهد. گونه توسکا با حدود ۴۵ درصد در طبقه ۰/۷۵ > و ممرز با نسبتی تقریباً یکنواخت در تمام محدوده‌ها قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تنوع قطری متوسط در این توده‌هاست. در مقابل، سایر گونه‌ها عمدتاً (حدود ۴۰ درصد) در طبقه ۰/۷۵ > متمرکز شده‌اند که حاکی از همگنی نسبی در اندازه‌های ارتفاعی و احتمالاً وجود توده‌های همسال یا تحت مدیریت شدید است. نکته قابل توجه، کاهش تدریجی فراوانی از طبقه ۰/۷۵ > به سمت محدوده‌های پایین‌تر در تمام گونه‌ها است (شکل ۸).



شکل ۸. مقدار شاخص چیرگی ارتفاعی در مهمترین گونه‌های موجود در تیپ‌های راش و سایر گونه‌ها در بخش بهارین

۳-۶. شاخص تمایز ارتفاعی

در تپ راش خالص، گونه راش با دارا بودن بیشترین فراوانی (حدود ۷۵ درصد) در طبقه $>0/8$ ، بالاترین میزان تمایز ارتفاعی را نشان می‌دهد. گونه پلت نیز با حدود ۶۵ درصد در همین محدوده قرار دارد، اما با شیب کاهشی ملایم‌تری در سایر بازه‌ها. گونه‌های ممرز و توسکا عمدتاً در طبقه $0/4-0/6$ قرار گرفته‌اند (به ترتیب حدود ۴۵ و ۳۵ درصد) که نشان‌دهنده تمایز ارتفاعی متوسط است. در مقابل، سایر گونه‌ها با بیش از ۵۵ درصد تمرکز در طبقه $<0/2$ ، کمترین تنوع ارتفاعی را دارند (شکل ۹). در سایر تپ‌ها، گونه‌های راش و پلت با بیشترین سهم (به ترتیب حدود ۵۵ و ۴۵ درصد) در طبقه $>0/8$ ، بالاترین میزان تمایز ارتفاعی را نشان می‌دهند. گونه‌های توسکا و ممرز عمدتاً در طبقه $0/4-0/6$ (با فراوانی حدود ۳۵-۴۰ درصد) قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تمایز ارتفاعی متوسط است. در مقابل، سایر گونه‌ها بیشترین تمرکز (حدود ۵۰ درصد) را در طبقه $<0/2$ دارند (شکل ۹).

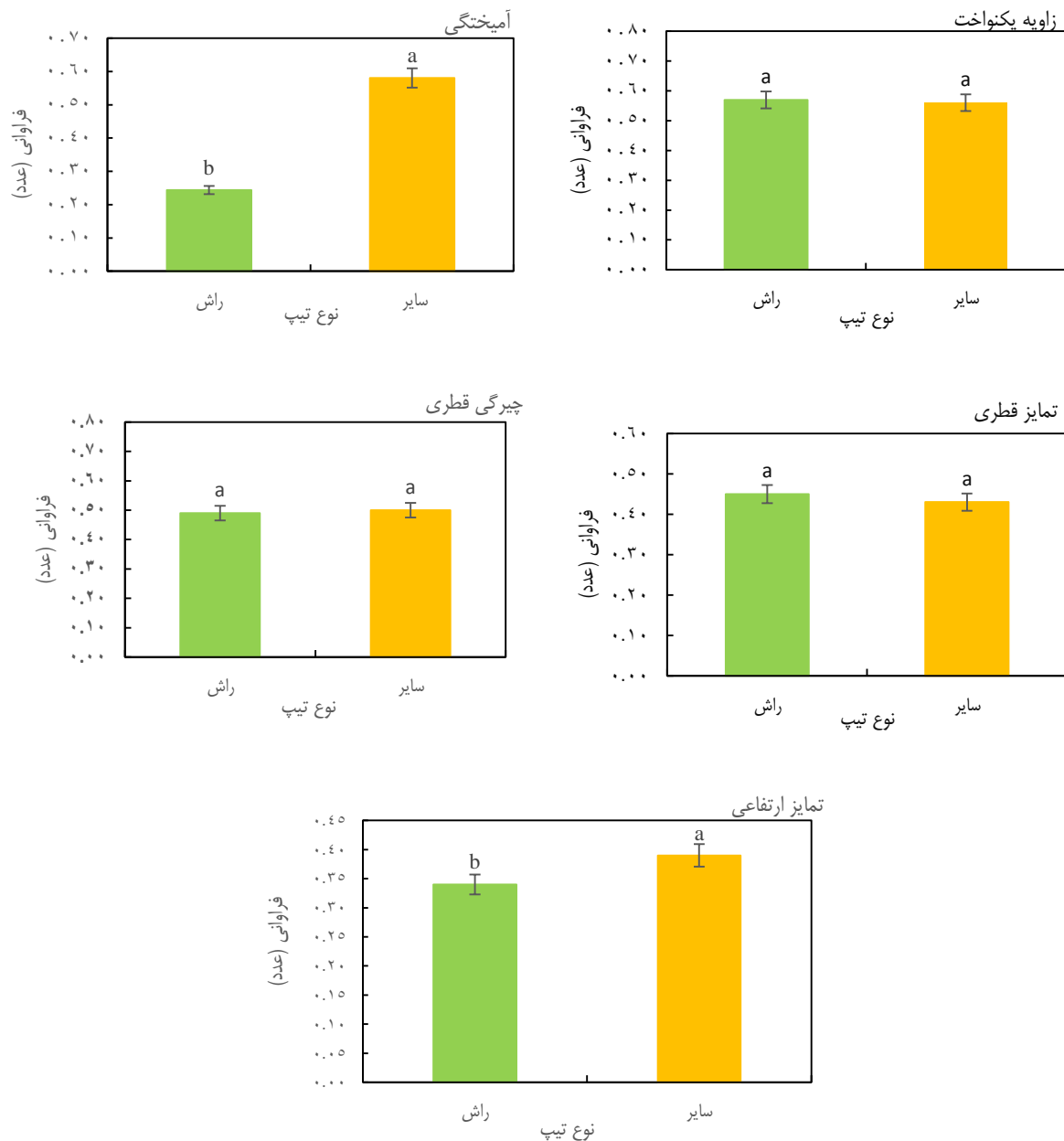


شکل ۹. مقدار شاخص تمایز ارتفاعی در مهمترین گونه‌های موجود در تپ‌های راش و سایر گونه‌ها در بخش بهارین

نتایج مقایسه میانگین‌ها در بین شاخص‌های بررسی شده در بین دو تپ نشان داد، تنها دو متغیر آمیختگی و تمایز ارتفاعی تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها دارند ($P < 0/05$). شاخص آمیختگی در تپ سایر به‌طور معنی‌داری بالاتر از تپ راش بود که بیانگر الگوی پراکنش متراکم‌تر و کمتر یکنواخت درختان کهن‌سال در این تپ است. در مقابل، شاخص زاویه یکنواختی بین دو تپ اختلاف معنی‌داری نشان نداد و الگوی قرارگیری زاویه‌ای درختان در هر دو رویشگاه مشابه بود. شاخص چیرگی قطری و شاخص تمایز قطری نیز تفاوت معنی‌داری بین دو تپ نداشتند. در نهایت، شاخص تمایز ارتفاعی در تپ سایر به‌طور معنی‌داری بیشتر از تپ راش بود که نشان‌دهنده ناهمگنی عمودی و وجود اختلاف ارتفاعی بیشتر میان درختان کهن‌سال در این تپ است (شکل ۱۰).

۴. بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که گونه راش شرقی در هر دو تپ مورد مطالعه (تپ راش خالص و سایر تپ‌ها) دارای بیشترین فراوانی است و نقش غالب را در ساختار جنگل ایفا می‌کند. این یافته با مطالعات پیشین در جنگل‌های هیرکانی همخوانی دارد، که راش را به‌عنوان گونه شاخص و غالب در بسیاری از تپ‌های جنگلی معرفی کرده‌اند [۱۴، ۲۰]. در تپ راش خالص، بیشترین تراکم درختان کهن‌سال مربوط به این گونه با ۲۵۶ پایه بود، در حالی که در سایر تپ‌ها نیز با فراوانی ۱۳۸ درخت همچنان برتری نسبی خود را حفظ کرده است. این امر بیانگر توانایی بالای گونه راش در رقابت، اشغال فضا و پایداری بوم‌شناختی در رویشگاه‌های مختلف در بخش بهارین است.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین شاخص‌های ساختاری درختان کهن‌سال مورد بررسی در تیپ‌های راش و سایر

از نظر ویژگی‌های کمی، گونه توسکا در تیپ راش خالص بالاترین مقادیر میانگین قطر برابر سینه (۱۰۳/۴ سانتی‌متر) و ارتفاع (۴۰/۸ متر) را داشت و بدین ترتیب، از نظر ابعاد تنه و قامت درختی بر گونه‌های دیگر برتری داشت. حضور توسکا در تیپ راش خالص با چنین ابعادی می‌تواند ناشی از شرایط بوم‌شناختی مساعد و یا موقعیت رویشی خاص آن باشد، هرچند فراوانی آن در مقایسه با راش کمتر است. در مقابل، گونه ممرز علی‌رغم فراوانی بالاتر در سایر تیپ‌ها (۱۵۳ درخت)، از نظر میانگین قطر و ارتفاع در سطح پایین‌تری قرار داشت که نشان‌دهنده نقش آن در لایه‌های میانی تاج‌پوشش و ساختار جنگل است. چنین الگویی در ترکیب ساختاری با نتایج دیگر پژوهش‌ها درباره نقش هم‌زیستی گونه‌های سایه‌پسند و نیم‌سایه‌پسند در جنگل‌های آمیخته هیرکانی همخوانی دارد [۱۳]. گونه‌هایی همچون توسکا و ممرز، علی‌رغم حضور قابل توجه در برخی تیپ‌ها، الگوی ساختاری ساده‌تر و همگن‌تری داشتند که می‌تواند ناشی از محدودیت‌های رقابتی، ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه و یا شرایط رویشی خاص در دامنه‌های

مختلف باشد [۱۰]. کاهش مقادیر شاخص آمیختگی در این گونه‌ها به‌ویژه در طبقه ۰/۲۵ <، نشان‌دهنده تمایل به تشکیل لکه‌های تقریباً خالص یا تجمعات یکنواخت است که از منظر بوم‌شناختی می‌تواند به کاهش تنوع زیستگاهی و افزایش آسیب‌پذیری در برابر آشفستگی‌ها منجر شود [۱۳].

بررسی شاخص‌های ساختاری نشان داد که گونه راش در هر دو تپ، بالاترین مقدار میانگین سطح مقطع را داراست (۲۰/۱۷) در تپ راش خالص و ۱۰/۷۴ در سایر تپ‌ها). این موضوع اهمیت این گونه را در تعیین ساختار توده، موجودی حجمی و پایداری بوم‌سازگان جنگلی تأیید می‌کند. از سوی دیگر، مقادیر پایین سطح مقطع برای گروه سایر گونه‌ها در هر دو تپ، بازتاب نقش فرعی آنها در ساختار این توده‌هاست. نتایج مربوط به شاخص‌های ساختاری نیز دیدگاه‌های ارزشمندی درباره الگوی پراکنش درختان همسایه پایه‌های کهن‌سال ارائه می‌دهد. شاخص اختلاف ارتفاعی و قطری برای گونه راش در محدوده نسبتاً پایینی (حدود ۰/۴۸ تا ۰/۶۲) قرار داشت که نشان‌دهنده توزیع یکنواخت‌تر ابعاد تنه و ارتفاع در بین درختان این گونه است. در مقابل، مقادیر بالاتر این شاخص‌ها برای گونه‌های مرمز و توسکا، به‌ویژه در سایر تپ‌ها، بیانگر ناهمگنی بیشتر و وجود تنوع ساختاری در این توده‌هاست. چنین تنوعی معمولاً موجب افزایش پایداری و مقاومت جنگل در برابر آشفستگی‌ها می‌شود [۱۶]. وجود اشکوب‌های متعدد، اختلاف قابل توجه در اندازه و ارتفاع درختان و آمیختگی گونه‌ای بالا، شرایطی را فراهم می‌کند که دامنه متنوعی از ریززیستگاه‌ها ایجاد شود و گونه‌های وابسته به ساختار کهن‌سال، فرصت بقا و تکثیر بیابند [۴]. این ناهمگنی، علاوه بر ایجاد تنوع زیستگاهی، به بهبود عملکردهای بوم‌سازگانی مانند چرخه مواد غذایی، ذخیره کربن و تعدیل خرداقلیم کمک می‌کند [۹].

شاخص آمیختگی در بین گونه‌ها و تپ‌ها تفاوت آشکاری داشت. گونه‌های راش و پلت در هر دو تپ مقادیر > 0.75 را نشان دادند که بیانگر سطح بالای آمیختگی گونه‌ای و ساختار جنگلی متنوع است. این ویژگی از منظر بوم‌شناسی جنگل اهمیت بالایی دارد زیرا آمیختگی گونه‌ای می‌تواند تاب‌آوری جنگل را در برابر بیماری‌ها، آفات و تغییرات اقلیمی افزایش دهد [۱۹]. در مقابل، گونه‌های گروه سایر اغلب در طبقه ۰/۲۵ < متمرکز بودند که نشانه‌ای از ساختار نسبتاً خالص یا حضور محدود آن‌ها در توده‌های جنگلی است. بررسی شاخص زاویه یکنواخت نشان داد که بیشتر گونه‌ها و تپ‌ها مقادیر ۰/۵ تا ۰/۶ را دارند که بیانگر پراکنش نسبتاً یکنواخت درختان است. این امر حاکی از آن است که درختان کهن‌سال مورد مطالعه به‌طور کلی از توزیع منظم یا خوشه‌ای شدید پیروی نمی‌کنند. با این حال، تفاوت در شاخص‌های چیرگی ارتفاعی و قطری بین گونه‌ها حاکی از پیچیدگی ساختار عمودی و افقی جنگل‌های مورد مطالعه است.

تحلیل آماری (آزمون t مستقل) نشان داد که تنها شاخص‌های آمیختگی و تمایز ارتفاعی بین تپ‌ها اختلاف معنی‌دار داشتند ($P < 0.05$). این یافته از یک‌سو بیانگر اهمیت تنوع گونه‌ای و ساختار عمودی در تمایز تپ‌هاست و از سوی دیگر نشان می‌دهد که سایر شاخص‌ها (از جمله زاویه یکنواخت، چیرگی قطری و ارتفاعی و تمایز قطری) تفاوت قابل توجهی در سطح آماری ندارند. چنین الگویی می‌تواند ناشی از تأثیرات مشابه شرایط بوم‌شناختی (از جمله خاک و اقلیم) در هر دو تپ باشد که موجب شباهت نسبی در ساختار پایه‌ای جنگل شده است. توده‌هایی با چیرگی ارتفاعی بالا، به دلیل تنوع لایه‌ای و ایجاد ریززیستگاه‌های متنوع، ظرفیت بالاتری برای جذب و استفاده بهینه از نور، رطوبت و مواد غذایی دارند. بر این اساس، نیاز است راهبردهای مدیریتی در جنگل‌های هیرکانی، به‌ویژه در تپ راش خالص، بر حفظ و بازسازی ساختار ناهمگن و آمیخته متمرکز گردد. این امر نه تنها از منظر حفاظت تنوع زیستی بلکه برای تضمین عملکردهای بوم‌سازگانی و خدمات زیست‌بومی این جنگل‌ها ضروری است. در مقابل، تپ‌های با ساختار ساده‌تر و آمیختگی پایین نیازمند مداخلات مدیریتی هدفمند برای افزایش تنوع گونه‌ای و پیچیدگی ساختاری هستند. اقدامات پیشنهادی می‌تواند شامل مدیریت تنک کردن انتخابی برای افزایش تنوع قطر و ارتفاع، جلوگیری از برداشت انتخابی گونه‌های شاخص و مدیریت توده‌ها به‌صورت نزدیک به طبیعت باشد [۱، ۱۰]. چنین دخالت‌هایی علاوه بر بهبود تاب‌آوری بوم‌سازگانی، ظرفیت ذخیره‌سازی کربن را نیز افزایش خواهد داد [۵، ۱۱]. با توجه به کمبود مطالعات مرتبط با این محدوده جغرافیایی و با توجه به رویکرد استفاده شده در این مطالعه، مقایسه‌های گسترده با پژوهش‌های پیشین محدود است. این امر ممکن است به تعمیم‌پذیری کمتر نتایج منجر شود. با این وجود، یافته‌های حاضر گامی اولیه در درک روابط میان عوامل نهادی و ساختار جنگل ارائه می‌کند و زمینه‌ای را برای مطالعات مقایسه‌ای آینده فراهم می‌آورد. با گسترش دامنه جغرافیایی پژوهش و استفاده از داده‌های

طولی و رویکردهای کمی و کیفی متنوع، امکان بررسی دقیق‌تر و هم‌راستا با سایر کارهای مشابه افزایش می‌یابد.

۵. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که گونه راش شرقی به‌عنوان عنصر غالب و کلیدی جنگل‌های هیرکانی، نقشی تعیین‌کننده در ساختار این جنگل‌ها دارد و حضور آن، به‌ویژه درختان قطور و کهن‌سال، برای حفظ یکپارچگی و تداوم بوم‌سازگان حیاتی است. در عین حال، گونه‌های همراه مانند توسکا و ممرز با ایجاد ناهمگنی در ترکیب گونه‌ای و ساختار ارتفاعی، به افزایش تاب‌آوری جنگل در برابر آشفستگی‌ها کمک می‌کنند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که گونه راش در هر دو تیپ جنگلی، به‌ویژه در تیپ راش خالص، گونه غالب است. توسکا در تیپ راش خالص دارای بزرگ‌ترین ابعاد رویشی بوده و در شکل‌گیری لایه تاج‌پوشش نقش مهمی دارد، در حالی که ممرز در تیپ سایر گونه‌ها از نظر تعداد درختان سهم بیشتری دارد اما در لایه‌های میانی و زیرتاجی متمرکز است. به‌طور کلی، تفاوت‌های ساختاری بیشتر در ویژگی‌های کیفی و روابط بوم‌شناختی میان گونه‌ها نمود دارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

– مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شد.
– حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی در قالب پژوهانه پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانه برای سایر نویسندگان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: زهرا ویسی؛ تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله
نویسنده دوم: محسن جوانمیری‌پور، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده سوم: وحید اعتماد، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله
نویسنده چهارم: محسن قلندر، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

– داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به‌خاطر حمایت مالی/حمایت معنوی/همکاری در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

References

- [1] Akhavan, R. & Hassani, M. (2023). Quantifying the structure of pure beech forests using spatial structural indices (case study: Hyrcanian forests of Mazandaran province, Iran). *Forest Research and Development*, 9(2), 221-235. (In Persian)
- [2] Azaryan, M., Marvie Mohadjer, M.R., Etemaad, V., Shirvany, A. & Sadeghi, S.M.M. (2015). Morphological characteristics of old trees in hyrcanian forest (Case study: Pattom and Namkhaneh districts, Kheyroud). *Forest and Wood Products*, 68(1), 47-59. (In Persian)
- [3] Etemad, V. (2002). *Quantitative and qualitative study of beech seeds (Fagus orientalis Lipsky) in the forests of Mazandaran province*. PhD dissertation. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)
- [4] Etemad, V., Javanmiri Pour, M. & Asgari, M. (2024). Ecological silviculture, concepts and applications. Tehran University Press, 648 p. (In Persian)
- [5] Farhadi, P., Soosani, J., Erfanfard, Y. & Akhtari, M. (2019). Analysis of different type's structure in Nave Asalem-Gilan forests by using nearest neighbor indices. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(1), 167-182. (In Persian)
- [6] Franklin, J.F. & Van Pelt, R. (2004). Spatial aspects of structural complexity in old-growth forests. *Journal of Forestry*, 102(3), 22-28.
- [7] Ghaisaryan, A., Fatehi, P. & Etemad, V. (2023). Estimation of species diversity in the Hyrcanian forests using Sentinel-2 Data (Case study: Kheyroud forest, Mazandaran). *Forest and Wood Products*, 76(3), 229-243. (In Persian)
- [8] Ghanbari, S. & Sefidi, K. (2019). Structure and spatial distribution pattern of tree communities of Juniper (*Juniperus foetidissima* Willd) in Arasbaran region. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(4), 909-921. (In Persian)
- [9] Gilhen-Baker, M., Roviello, V., Beresford-Kroeger, D. & Roviello, G.N. (2022) Old growth forests and large old trees as critical organisms connecting ecosystems and human health. A review. *Environmental Chemical Letters*, 20(2), 1529-1538.
- [10] Ghomi, A., Akbarinia, M., Hosseini, S.M. Talebian, M.H. & Knapp, H.D. (2020). Prioritizing of the Hyrcanian Proposed Sites for Inscription on the UNESCO'S World Heritage List by use of Decision Making Methods. *Ecology of Iranian Forest*. 8(16), 90-102. (In Persian)
- [11] Hosseinzadeh, R., Soosani, J. & Naghavi, H. (2022). Investigation of competition and structural characteristics of *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus* and *Quercus castanaefulia* in different stratum (Case Study: Asalem Forests). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(2), 262-273. (In Persian)
- [12] Javanmiri Pour, M. (2024). A Study on the Structure Complexity Index and Stand Quality in Managed Mixed Habitats in Kheyroud Forest. *Ecology of Iranian Forest*. 12(1), 99-112. (In Persian)
- [13] Javanmiri Pour, M., Etemad, V. & Soofi Mariv, H. (2022). Some structural features of forest types in Hyrcanian Forest (A case study: Palang-Darreh forest, Savadkoh). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(1), 47-67. (In Persian)
- [14] Marvi Mohajer, M. (2013). *Forest ecology and silviculture*. Tehran University Press, 4th edition, 419 p. (In Persian)
- [15] Pourhashemi, M., Mansouri, F., Parhizkar, P., Panahi, P., & Hasani, M. (2015). Spatial pattern of sprout-clumps of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in utilized forest stands of Marivan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(4), 534-543. (In Persian)
- [16] Pommerening, A. (2002). Approaches to Quantifying Forest Structures. *Forestry*, 75, 305-324.
- [17] Pommerening, A. & Grabarnik, P. (2019). *Individual-based methods in forest ecology and management* (1st ed.). Springer Cham.
- [18] Pommerening, A. & Štěrba, H. (2024). *Monitoring spatial tree diversity indices using relascope sampling: Estimators, interactions and limitations*. *Ecological Informatics*, 81, 102579.
- [19] Pretzsch, H. (2009). *Growth, dynamics, and yield of forests: From measurements to models* (First ed.). Springer-Verlag.

- [20] Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. & Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran, A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Springer Dordrecht. 152 p. (In Persian)
- [21] Šamonil, P., Daněk, P., Senecká, A., Adam, D. & Phillips, J. D. (2018). Biomechanical effects of trees in an old-growth temperate forest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(5), 1063-1072.
- [22] Zhang, L., Hui, G., Hu, Y. & Zhao, Z. (2018). Spatial structural characteristics of forests dominated by Pinus. *PLOS ONE*, 13(4), e0194710.
- [23] Kazempour larsary, M., Taheri abkenar, K., Akhavan, R., & Pourbabaei, H. (2021). Spatial patterns of trees and height story competition over forest developmental stages in the mixed stands of Guilan. *Journal of Environmental Research & Technology*, 5(8), 1-13. (In Persian)
- [24] Carroll, C., Noon, B.R., Masino, S.A. & Noss, R.F. (2025). Coordinating old-growth conservation across scales of space, time, and biodiversity: Lessons from the US policy debate. *Frontiers in Forests and Global Change*, Article 1493879.
- [25] Moridi, M., Fallah, A., Pourmajidian, M. & Sefidi, K. (2021). Quantitative Analysis of Forest Structure at Growing Up Volume Stage in the Evaluation of Natural Beech Stands (Case Study: Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 115-128. (In Persian)
- [26] Peterken, G.F. (1996). Natural Woodland: Ecology and Conservation in Northern Temperate Regions. Cambridge University Press. 522 P.
- [27] Bausch, J., Puettmann, K. & Messier C. (2009). Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management*, 258(4), 525-537.