University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Structure assessment of juniper and wild pistachio stands in the Irano-Touranin vegetation zone (Case study: Dostloo protected area, Ardabil Province)

Younes Rostamikia[1*] | Khosro Sagheb Talebi[2] | Sohrab Mohtaram Anbaran[3]

1. Corresponding Author, Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran. Email: younesrostamikia@gmail.com
2. Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: saghebtalebi@yahoo.com
3. Forest Science and Engineering, Department of Forest Science and Engineering, Ardabil, Iran. Email: sohrab_mohtaram@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 15 February 2025
Revised: 15 May 2025
Accepted: 30 June 2025
Published online: 16 September 2025

Keywords:
Height differentiation,
Number per hectare,
Species mingling,
Structural diversity.

ABSTRACT

This study aimed to determine the structural indices of juniper (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) and pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) stands in the Dostloo protected area of Khalkhal. In each stand, a one-hectare permanent square plot was randomly selected. Quantitative variables were measured using the full calipering inventory method. The spatial pattern of the two stands was analyzed with the distance-azimuth method, and structural diversity was assessed in terms of species mingling, tree dimensions, and spatial position using the four nearest neighbors' method. The results showed that the juniper and pistachio plots contained 235 and 144 trees per hectare, respectively. In the juniper plot, the average diameter and basal area at 0.5 m height, total height, crown area, and canopy density were 12.10 cm, 129.07 cm², 3.65 m, 8.87 m², and 20.93%, respectively. In the pistachio plot, the corresponding values were 8.89 cm, 91.56 cm², 5.24 m, and 55.7%, respectively. The average values of the uniform angle index and Clark-Evans index were 0.57 and 0.72 for juniper and 0.57 and 0.58 for pistachio. The mean mingling index values were 0.19 for juniper and 0.54 for pistachio. These results highlight the need to prioritize conservation programs to maintain the structure and spatial pattern of juniper and pistachio stands and to monitor changes in their structural characteristics over time.

Cite this article: Rostamikia, Y., Sagheb Talebi, K., Mohtaram Anbaran, S. (2025). Structure assessment of Juniper and Wild Pistachio stands in the Irano-Touranin vegetation zone (Case study: Dostloo protected area, Ardabil province). *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (2), 105-115. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.390576.1337

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.390576.1337

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

ارزیابی ساختار توده‌های جنگلی ارس و بنه در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ دوستلو، استان اردبیل)

یونس رستمی‌کیا[۱*] | خسرو ثاقب طالبی[۲] | سهراب محترم عنبران[۳]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. رایانامه: younesrostamikia@gmail.com

۲. بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: saghebtalebi@yahoo.com

۳. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه:sohrab_mohtaram@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

کلیدواژه‌ها:
آمیختگی گونه،
تعداد در هکتار،
تمایز ارتفاعی،
تنوع ساختاری.

چکیده

این پژوهش با هدف تعیین شاخص‌های ساختاری توده‌های ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) و بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ دوستلو شهرستان خلخال درنظر انجام شد. در هرکدام از توده‌ها، یک قطعه‌نمونهٔ مربعی شکل دائمی یک هکتاری به‌طور تصادفی پیاده شد. متغیرهای کمی از قبیل قطر در ارتفاع نیم متری، رویهٔ زمینی، ارتفاع کل، قطر بزرگ تاج و قطرعمود برآن برای تمام درختان اندازه‌گیری شد. الگوی پراکنش مکانی درختان با روش فاصله–آزیموت و تنوع ساختاری با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر آمیختگی گونه‌ای، ابعاد درختان و موقعیت مکانی آنها مبتنی بر روش نزدیکترین چهار همسایه تعیین شد. نتایج نشان داد قطعات نمونهٔ ارس و بنه به‌ترتیب ۲۳۵ و ۱۴۴ پایه در هکتار دارند. میانگین قطر و رویهٔ زمینی در ارتفاع نیم‌متری، میانگین ارتفاع کل، میانگین سطح تاج و انبوهی تاج در قطعه‌نمونهٔ ارس به‌ترتیب ۱۲/۱۰ سانتی‌متر، ۱۲۹/۰۷ سانتی‌متر مربع، ۳/۶۵ متر، ۸/۸۷ متر مربع و ۲۰/۹۳ درصد و برای قطعه‌نمونهٔ بنه ۹/۸۸ سانتی‌متر، ۹۱/۵۶ سانتی‌متر مربع، ۵/۲۴ متر مربع و ۷/۵۵ درصد بود. مقادیر متوسط شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت و کلارک ایوانز در قطعه‌نمونهٔ ارس به‌ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۷۲ و بنه به‌ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۵۸ و مقدار شاخص آمیختگی برای کل توده در قطعه‌نمونه‌های ارس و بنه به‌ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۵۴ بودند. در این راستا لازم است، ضمن اولویت دادن به برنامه‌های حفاظتی و حفظ ساختار و الگوی مکانی درختان ارس و بنه، پایش روند تغییرات ویژگی‌های ساختاری توده‌های مورد بررسی مد نظر مدیران جنگل قرار گیرد.

استناد: رستمی‌کیا؛ یونس، ثاقب طالبی؛ خسرو، محترم عنبران؛ سهراب (۱۴۰۴). ارزیابی ساختار توده‌های جنگلی ارس و بنه در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ دوستلو، استان اردبیل). *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۸ (۲)، ۱۱۵–۱۰۵. DOI: https://10.22059/jfwp.2025.390576.1337

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.390576.1337

۱. مقدمه

با توجه به فشارهای زیادی که در دهه‌های اخیر بر بوم‌سازگان‌های جنگلی وارد شده است، شناخت ساختار و تغییرات آنها در طول زمان ما را در تصمیم‌گیری و چگونگی حفظ، توسعه و هدایت آن به‌سوی اهداف ایده‌آل سوق می‌دهد [۱]. جنگل‌های ایرانی–تورانی نیز از این امر مستثنی نبوده و در کنار اثرات مخرب بهره‌برداری‌های غیراصولی، بروز پدیده‌های طبیعی ناشی از این فشارها مانند تغییر اقلیم و تغییر رژیم بارندگی‌ها، ضرورت ارزیابی و پایش وضعیت ساختار این جنگل‌ها را بیش از پیش نشان می‌دهد. ساختار جنگل یکی از مهمترین و اساسی‌ترین ویژگی بوم‌سازگان جنگل است که هم فرآیندهای تجدیدحیات (شامل نحوهٔ احیاء، رقابت و در نتیجه تنک طبیعی) و هم رویدادهای مؤثر در گذشته و حال را منعکس می‌کند [۲]. بنابراین، ساختار جنگل هم محصول و هم محرک فرآیندهای بوم‌سازگان و تنوع زیستی است که تحت تأثیر فعل و انفعالات گسترده بین فرآیندهای مختلف طبیعی و اکولوژیک در مدت زمانی طولانی قرار می‌گیرد و کیفیت کالاها و خدمات اکوسیستم جنگل را تعیین می‌کند. از آنجا که تنوع گونه‌های درختی و زیستگاه بیولوژیکی بر بهره‌وری جنگل تأثیر می‌گذارد، شناخت ساختار جنگل عامل مهمی در تجزیه‌وتحلیل و مدیریت بوم‌سازگان جنگل محسوب می‌شود [۳]. ساختار جنگل به موقعیت متقابل درختان در توده و چیدمان فضایی و مشخصاتی از قبیل گونه، ابعاد (قطر، ارتفاع و تاج پوشش)، سن و جنسیت آنها اشاره می‌کند. به‌عبارت دیگر، ساختار تودهٔ جنگلی سه جنبهٔ مهم تنوع الگوی مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد درختان را بررسی می‌کند [۴].

جنگل‌های کوهستانی ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی که در ارتفاعات فلات ایران پراکنش دارند به‌صورت لکه‌های بزرگ و کوچک از شمال غرب تا شمال شرق و از شمال غرب تا ارتفاعات جنوبی ایران گسترش یافته‌اند. این جنگل‌ها اگرچه از نظر تولید چوب اهمیت چندانی ندارد، اما از نظر کارکردهای اکولوژیک به‌ویژه حفاظت از تنوع زیستی، منابع آب و خاک، تثبیت خاک و ترسیب کربن اهمیت زیادی دارند [۵]. ارس (*Juniperus excels*a M. Bieb.) و بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) از گونه‌های مهم ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی هستند و به‌لحاظ کارکردهای اکولوژیک و ایجاد و حفاظت از تنوع ژنتیکی اهمیت فراوانی دارند. بنابراین اندازه‌گیری و پایش ساختار جنگل‌های مذکور می‌تواند راهگشای مدیریتی در راستای حفظ، احیاء و توسعهٔ این توده‌های جنگلی باشد [۶].

مطالعات چندی در مورد ساختار گونهٔ ارس و بنه انجام شده است. ارزیابی ساختار مکانی جنگل‌های ارس در منطقهٔ کندرق خلخال با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه‌ها نشان داد چیدمان مکانی درختان ارس از الگوی یکنواخت تبعیت می‌کند و تنوع ساختاری در رویشگاه‌های ارس اندک است [۷]. اندازه‌گیری تنوع ساختاری توده‌های جنگلی ارس و بنهٔ شهرستان میانهٔ آذربایجان شرقی نشان داد دو توده از نظر شاخص آمیختگی گونه‌ای، اختلاف ابعاد سطح تاج درختان و فاصلهٔ بین درختان با هم اختلاف معنی‌داری داشته و از نظر الگوی مکانی و اختلاف ارتفاع درختان تفاوتی بین آنها مشاهده نشد [۸]. اندازه‌گیری شاخص‌های ساختاری ارس در دامنه‌های جنوبی البرز (منطقهٔ آتشگاه کرج) نشان داد پراکنش درختان ارس از الگوی مکانی یکنواخت تبعیت می‌کند و گزارش شد که این توده‌های جنگلی مورد مطالعه، از نظر تنوع درختی، خالص و دارای آمیختگی اندک هستند [۶]. بررسی توده‌های ارس در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ پرور استان سمنان نشان داد الگوی پراکنش درختان کپه‌ای است و تودهٔ مورد مطالعه از نظر آمیختگی گونه‌ها با یکدیگر متوسط و دارای تنوع ساختاری زیاد هستند [۹].نتایج ارزیابی الگوی مکانی بنه در جنگل‌های جوانرود استان کرمانشاه نشان داد درختان بنه از الگوی کپه‌ای متمایل به تصادفی تبعیت می‌کند [۱۰]. در پژوهشی دیگر، ارزیابی ساختار توده‌های بنه (*Pistacia atlantica*) در مناطق قرق و غیر قرق (منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ باغ شادی استان یزد) نشان داد، درختان بنه در منطقهٔ قرق، شاداب‌تر از منطقهٔ غیرقرق هستند، همچنین ساختار توده در منطقهٔ قرق، ناهمسال و در منطقهٔ غیرقرق، همسال می‌باشد [۱۱]. بررسی ساختار توده‌های ارس (*Juniperus excelsa*) در شمال شرقی یونان با برداشت ۴۰ قطعه نمونه به شکل مستطیل به مساحت ۱۲۰۰ مترمربع به روش تصادفی، نشان داد که میانگین سطح مقطع برابر سینه در هکتار ۱۹/۴ مترمربع، تراکم ۵۲۵ اصله در هکتار و حداکثر ارتفاع درختان ۸/۵۴ متر است [۱۲]. در تحقیقی دیگر، ارزیابی اثر مدیریت سنتی بر تغییرات رشد و ساختار سنی گونهٔ *Juniperus thurifera* با برداشت ۱۰۷ قطعه‌نمونهٔ ۸۰ مترمربعی در اراضی جنگلی منطقهٔ Soria اسپانیا نشان داد تودهٔ مورد بررسی دو اشکوبه و ساختار سنی درختان بین ۱۷۵–۷۵ سال دارند [۱۳]. پژوهش حاضر، بخشی از پروژهٔ جامع و بلندمدت پایش جنگل‌های ایرانی–تورانی در موسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور است که با هدف کمی‌سازی ساختار این جنگل‌ها و ارزیابی روند تغییرات آنها انجام شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقهٔ پژوهش

برای انجام این پژوهش، با جنگل‌پیمایی، دو قطعه‌نمونهٔ ثابت یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر) [۸، ۹ و ۱۴] در تودهٔ ارس با مختصات "۳۴ ´۲۷ °۳۷ عرض شمالی و "۱۰ ´۲۳ °۴۸ طول شرقی و میانگین ارتفاع ۱۵۸۵ متر بالاتر از سطح دریا و تودهٔ بنه با مختصات "۱۲ ´۲۷ °۳۷ عرض شمالی و "۳۲ ´۲۴ °۴۸ طول شرقی و میانگین ارتفاع ۱۵۹۳ متر بالاتر از سطح دریا در منطقهٔ حفاظت شدهٔ دو ستلو خلخال در فاصلهٔ حدود ۲۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان خلخال و ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهر اردبیل انتخاب شدند. هر دو رویشگاه دارای اقلیم کوهستانی (نیمه‌خشک سرد) با میانگین بارندگی سالانه ۳۳۰ میلی‌متر هستند که بیشترین مقدار آن در فصل زمستان و بهار اتفاق می‌افتد. متوسط دما، ۱۱ درجهٔ سانتی‌گراد، حداقل مطلق دما، منفی ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد در بهمن و حداکثر دما، ۳۰/۳ درجهٔ سانتی‌گراد در مرداد گزارش شده است [۷].

۲-۲. روش‌شناسی

پس از پیاده کردن قطعه‌نمونه‌ها، مشخصه‌های فرم رویشی (درخت و درختچه)، قطر در ارتفاع نیم‌متری، ارتفاع کل، قطر بزرگ تاج و قطر عمود بر آن در مورد کلیهٔ درختان و درختچه‌های موجود با ارتفاع بیش از ۰/۵ متر اندازه‌گیری شدند. سپس متغیرهای ساختاری سطح تاج (براساس دو قطر اندازه‌گیری شدهٔ تاج) درصد انبوهی تاج و تراکم محاسبه شدند. برای تعیین مختصات مکانی درختان از روش فاصله–آزیموت استفاده شد، به این صورت که فاصله و آزیموت درخت اول نسبت به نقطهٔ مبنا با شیب‌سنج و قطب‌نمای سونتو اندازه‌گیری و سپس با روابط مثلثاتی به مختصات دکارتی (X و Y) تبدیل شد. پس از اضافه کردن این مختصات به مختصات نقطهٔ مبنا، مختصات درخت اول مشخص شد. به‌همین ترتیب، فاصله و آزیموت هر درخت نسبت به درخت قبلی سنجیده و به مختصات UTM تبدیل شد.

برای کمی‌سازی ساختار مکانی از شاخص‌های مبتنی بر تنوع آمیختگی گونه‌ای، ابعاد درختان و موقعیت مکانی آنها براساس روش نزدیک‌ترین چهار همسایه استفاده شد (جدول ۱). یعنی هر گروه ساختاری متشکل از یک درخت مرجع و نزدیکترین چهار درخت همسایه اطراف آن بود. برای حذف اثرات حاشیه‌ای و تصحیح درختان مرزی، از روش تصحیح حاشیهٔ نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد [۱۵]. شاخص کلارک و ایوانز، پراکنش مکانی درختان در کل توده را نشان می‌دهد. این شاخص، میانگین فاصلهٔ یک درخت و نزدیکترین همسایهٔ آن را با میانگین مورد انتظار در یک جنگل تصادفی تعیین می‌کند. اگر ارزش شاخص برابر با یک باشد، نشان‌دهندهٔ الگوی تصادفی، کمتر از یک الگوی کپه‌ای و بیشتر از یک نشان‌دهندهٔ الگوی یکنواخت است [۱۵]. شاخص زاویهٔ یکنواخت به‌عنوان مکمل شاخص کلارک و ایوانز استفاده می‌شود. این شاخص موقعیت مکانی درختان مرجع نسبت به درختان همسایهٔ خود را بررسی می‌کند [۱۶]. شاخص آمیختگی وضعیت قرار گرفتن گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر را نشان می‌دهد و مقدار ارزش آن بین صفر و یک متغیر است. مقدار کم این شاخص، نشان‌دهندهٔ آمیختگی اندک و مقدار زیاد آن، نشان‌دهندهٔ آمیختگی زیاد است [۱۷]. شاخص فاصلهٔ همسایگی در حقیقت فشار رقابتی (به‌طور عمده تاجی) را بین درخت مرجع و درختان همسایه مشخص می‌کند. چنانچه مقدار این شاخص بین صفر تا دو متر باشد، نشان‌دهندهٔ رقابت خیلی شدید، ۲ تا ۴ متر رقابت شدید، ۴ تا ۶ متر رقابت متوسط و بیشتر از ۶ متر، رقابت کم است [۱۷]. شاخص تمایز ابعاد، یکنواختی یا عدم یکنواختی درختان را از نظر اندازهٔ ابعاد تعیین می‌کند که در این پژوهش و با توجه به شرایط گونه‌های مورد مطالعه در منطقهٔ دو، مشخصهٔ ارتفاع کل و سطح تاج درختان جهت ارزیابی ابعاد درختان تعیین شد [۱۵]. در نهایت، شاخص تنوع ساختاری، ترکیبی از شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت، آمیختگی و اختلاف ابعاد بوده و هدف اصلی آن، ارزیابی سطح تنوع زیستی در ارتباط با گونه‌های درختی در بوم‌سازگان جنگلی است. با توجه به اهمیت نسبی سه جنبهٔ مختلف ساختاری، هر سه شاخص وزن‌دهی شده‌اند. مقادیر کمتر از ۰/۳ تنوع درختی کم، بین ۰/۳ تا ۰/۴ بیانگر تنوع درختی متوسط و بیشتر از ۰/۴ بیانگر تنوع درختی‌کم است [۱۸]. تجزیه‌وتحلیل مشخصه‌های ساختاری توده‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Crancod (ver 1.3) انجام شد.

جدول ۱. شاخص‌های کمی‌سازی متغیرهای ساختاری توده‌های مورد بررسی [۷].

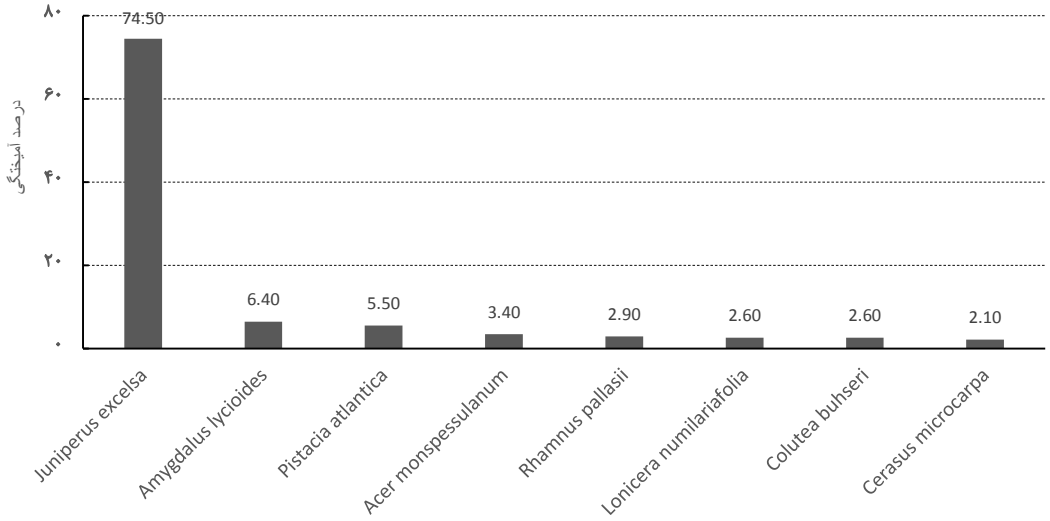
ویژگی	شاخص	رابطه و اجزاء آن	دامنه شاخص	منبع
موقعیت درخت	کلارک و ایوانز	$CE = \frac{\bar{r}}{E(r)}$ میانگین فاصله هر درخت تا همسایه = $\bar{r}$ E(r) = میانگین مورد انتظار	CE=1 تصادفی CE>1 منظم CE<1 کپه‌ای	[۱۱]
موقعیت درخت	زاویه یکنواخت	$w = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{n} w_j \quad w_j = \begin{cases} 1 a_j < a_0 \\ 0 \text{ در غیر اینصورت} \end{cases}$ $a_0 = \frac{360^\circ}{n+1}$	یکنواخت <۰/۵ تصادفی ۰/۵ تا ۰/۶ کپه‌ای > ۰/۶	[۱۲]
موقعیت درخت	فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها	$D_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{n} s_{ij}$ فاصله تا درختان همسایه = s_{ij}	هرچه عدد کوچکتر، توده متراکم‌تر	[۱۳]
گونه درخت	آمیختگی	$M = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{n} m_j \quad m_j = \begin{cases} 1 \text{ گونه}_j < \text{ گونه}_i \\ 0 \text{ در غیر اینصورت} \end{cases}$	کم <۰/۳ متوسط ۰/۵ تا ۰/۳ زیاد > ۰/۵	[۱۳]
ابعاد درخت	تمایز ارتفاعی	$T_m = 1 - \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{n} \frac{\min(y_i,y_j)}{\max(y_i,y_j)}$ درختان همسایه = j ارتفاع درختان = y	کم <۰/۳ متوسط ۰/۵ تا ۰/۳ زیاد ۰/۵ تا ۰/۷ خیلی زیاد > ۰/۷	[۱۱]
ابعاد درخت	تمایز سطح تاج	$T_m = 1 - \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{n} \frac{\min(X_i,X_j)}{\max(X_i,X_j)}$ درختان همسایه = j سطح تاج درختان = X	کم <۰/۳ متوسط ۰/۵ تا ۰/۳ زیاد ۰/۵ تا ۰/۷ خیلی زیاد > ۰/۷	[۱۱]
ترکیبی	تنوع ساختاری	$SI = (w_1 \times W) + (w_2 \times M) + (w_3 \times T_m)$ w: وزن‌های مختلف شاخص	کم <۰/۳ متوسط ۰/۴ تا ۰/۳ زیاد > ۰/۴	[۱۴]

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

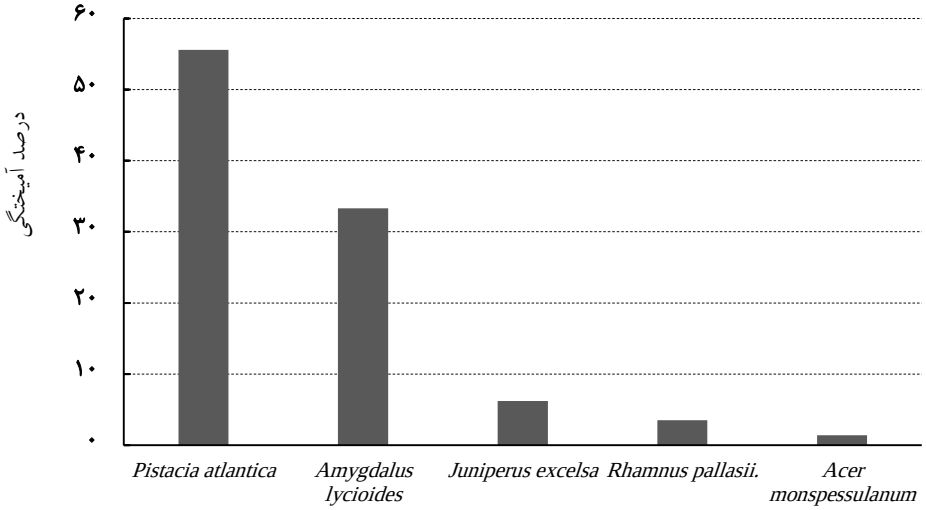
اندازه‌گیری فراوانی گونه‌ها در قطعه‌نمونه‌ها نشان داد تودهٔ ارس با ۲۳۵ پایه در هکتار از ۸ گونهٔ درختی و درختچه‌ای شامل ارس با ۷۴/۵ درصد، بنه ۵/۵ درصد، کیکم (*Acer monspessulanum* L.) ۳/۴ درصد، بادام کوهی (*Amygdalus lycioides* Spach.) ۶/۴ درصد، تنگرس (*Lonicera numilariafolia* Jaub. & Spach.) ۲/۹ درصد، پلاخور (*Rhamnus pallasii*. Fisch. & C. A. Mey) ۲/۶ درصد، دغدغک (*Colutea buhsei* (Boiss.) Shap.) ۲/۶ درصد و راناس (*Cerasus microcarpa* (C.A.Mey.) Boiss) ۲/۱ درصد تشکیل شده است (شکل ۱). این تراکم در مقایسه با یافته‌های Rostamikia و Zobeiri (۲۰۱۳) در نقاط دیگر همین منطقه (۳۲۶ پایه در هکتار) کمتر [۱۹] و با نتایج Sefidi و همکاران (۲۰۱۸) و Akhavan و Rostamikia (۲۰۲۰) که به‌ترتیب ۱۲۰ و ۱۶۲ پایه در هکتار را در نقاط دیگر همین منطقه گزارش کردند، بیشتر است [۷ ، ۲۰]. دلیل این امر می‌تواند ناشی از سطح مورد بررسی، تفاوت شرایط رویشگاهی، آشفتگی‌های انسانی و نامطلوب بودن وضعیت حفاظتی توده‌های مورد مطالعه باشد. در پژوهش پیش‌رو، قطعه‌نمونهٔ بنه با ۱۴۴ پایه در هکتار از پنج گونهٔ بنه، بادام کوهی، ارس، تنگرس و کیکم به‌ترتیب با ۵۵/۶ ، ۳۳/۳، ۶/۲ ، ۳/۵ و ۱/۴ درصد تشکیل شده بود (شکل ۲).

میانگین قطر و رویهٔ زمینی در ارتفاع نیم‌متری، میانگین ارتفاع کل، میانگین سطح تاج و انبوهی تاج پوشش برای قطعه‌نمونهٔ ارس به‌ترتیب ۱۲/۱ سانتی‌متر، ۱۲۹/۰۷ سانتی‌متر مربع، ۳/۶۵ متر، ۸/۸۷ متر مربع و ۲۰/۹۳ درصد و برای قطعه‌نمونهٔ بنه ۹/۹ سانتی‌متر، ۹۱/۵۶ سانتی‌متر مربع، ۵/۲۴ متر مربع و ۷/۵۵ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). به‌عبارت دیگر قطعه‌نمونهٔ بنه در مقایسه با تودهٔ ارس از ابعاد قطر و ارتفاع درختان کمتری برخوردار بود. Rostamikia و Zobeiri (۲۰۱۳) نشان دادند درختان بنه و ارس به‌دلیل جوان بودن توده‌های مورد بررسی در شهرستان خلخال و نیز رویش کند درختان در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی به‌دلیل

محدویت‌های اقلیمی و خاکی، از ابعاد بزرگی برخوردار نیستند [۱۹]. Sefidi و همکاران (۲۰۱۸) نیز در پـژوهش خـود به کم بودن قطر برابر سینه درختان و درصد تاج پوشش جنگل در این منطقـه اشـاره و دلیل آن را سرمای زیاد در پاییز و زمستان، کوتاه بودن طـول فصل رویش و فقیر بودن خاک گزارش کردند [۷].



شکل ۱. درصد آمیختگی گونه‌های درختی و درختچه‌ای موجود در تودهٔ ارس



شکل ۲. درصد آمیختگی گونه‌های درختی و درختچه‌ای موجود در تودهٔ بنه

جدول ۲. مشخصه‌های کمی قطعه نمونه‌های یک هکتاری ارس و بنه

قطعه نمونه	تعداد در هکتار	میانگین قطر در ارتفاع نیم‌متری (سانتی‌متر)	رویهٔ زمینی در ارتفاع نیم‌متری (سانتی‌متر مربع)	میانگین ارتفاع کل (متر)	میانگین سطح تاج (متر مربع)	انبوهی تاج‌پوشش (درصد)
ارس	۲۳۵	۱۲/۱۰	۱۲۹/۰۷	۳/۶۵	۸/۸۷	۲۰/۹۳
بنه	۱۴۴	۹/۹۰	۹۱/۵۶	۲/۱۰	۵/۲۴	۷/۵۵

میانگین شاخص‌های ساختاری قطعه‌نمونه‌های مورد بررسی براساس نزدیک‌ترین همسایه برای کل گونه‌های موجود در جدول ۳ ارائه شده است. براساس یافته‌های این پژوهش، متوسط شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت در هر دو قطعه‌نمونهٔ ارس و بنه به‌ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۵۷ به‌دست آمد (جدول ۳) که نشان‌دهندهٔ این است هر دو قطعه‌نمونه الگوی چیدمان تصادفی با میل اندک به‌سمت حالت کپه‌ای نسبت به درختان همسایه خود دارند. در این بین، گونه‌های بادام کوهی و راناس در قطعه‌نمونهٔ ارس و گونهٔ تنگرس در قطعه‌نمونهٔ بنه الگوی چیدمان یکنواختی داشتند (جدول ۳). به‌منظور تشریح دقیق‌تر فراوانی نسبی شاخص زاویهٔ یکنواخت در طبقات مختلف در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. به‌نظر می‌رسد شاخص زاویهٔ یکنواخت در قطعات نمونه‌ها تحت تأثیر گونه‌های غالب (ارس و بنه) در قطعات نمونه است و سایر گونه‌ها تأثیر چندانی در نتیجهٔ کلی ندارند. در این راستا، می‌توان اظهار داشت این گونه‌ها به‌دلیل داشتن بیشترین فراوانی و ابعاد بزرگتر در مقایسه با درختچه‌هایی از قبیل بادام وحشی، تنگرس، دغدغک، زرشک و راناس نقش مهمی در چیدمان مکانی و ترکیب توده‌های مورد بررسی دارند. با این وجود گونه‌هایی که فراوانی اندکی در قطعه‌نمونه‌ها دارند پس از تصحیح حاشیه ممکن است حذف شوند و تأثیر کمی در نتایج کلی داشته باشند که با یافته‌های Alijani و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد [۲۱]. Ostadhashemi و همکاران (۲۰۲۴) الگوی مکانی تودهٔ ارس و بنه در منطقهٔ حفاظت‌شده کاغذکنان شهرستان میانه استان آذربایجان شرقی را کپه‌ای گزارش کردند که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد [۸]. پراکنش مکانی درختان براساس شاخص کلارک و ایوانز، در قطعه‌نمونهٔ ارس (۰/۷۲) و قطعه‌نمونهٔ بنه (۰/۵۸)، از الگوی کپه‌ای و براساس شاخص زاویهٔ یکنواخت از الگوی تصادفی متمایل به کپه‌ای تبعیت می‌کند. اختلاف اندکی با یکدیگر دارند. از آنجا که نحوهٔ زادآوری و پراکنش بذرهای گونه‌های جنگلی و نیز ناهمگنی رویشگاه از مهم‌ترین عوامل ایجاد الگوی کپه‌ای در جنگل هستند [۲۲]، می‌توان گفت با توجه به سنگین بودن بذر هر دو گونهٔ ارس و بنه، الگوی پراکنش کپه‌ای دور از انتظار نیست. در نتیجه به‌نظر می‌رسد شاخص کلارک و ایوانز (استفاده از میانگین فاصلهٔ درختان نسبت به نزدیکترین همسایه) در مقایسه با شاخص زاویهٔ یکنواخت (استفاده از زاویهٔ بین درختان همسایه) الگوی مکانی درختان ارس و بنه دقیق‌تر نشان می‌دهد. Habashi و همکاران (۲۰۰۷) نیز الگوی پراکنش کپه‌ای درختان راش را سنگین بودن بذر آن گزارش کردند [۲۳]. از سوی دیگر، در توده‌های جنگلی ناحیهٔ ایرانی–تورانی، نونهال‌ها و نهال‌ها بیشتر در اطراف پایه‌های مادری رشد کرده و درختان مادری نقش پرستار برای آنها دارند و همچنین به‌دلیل شرایط سخت رویشگاهی در مناطق توده‌های ایرانی–تورانی، الگوی کپه‌ای در این توده‌ها قابل قبول است [۸].

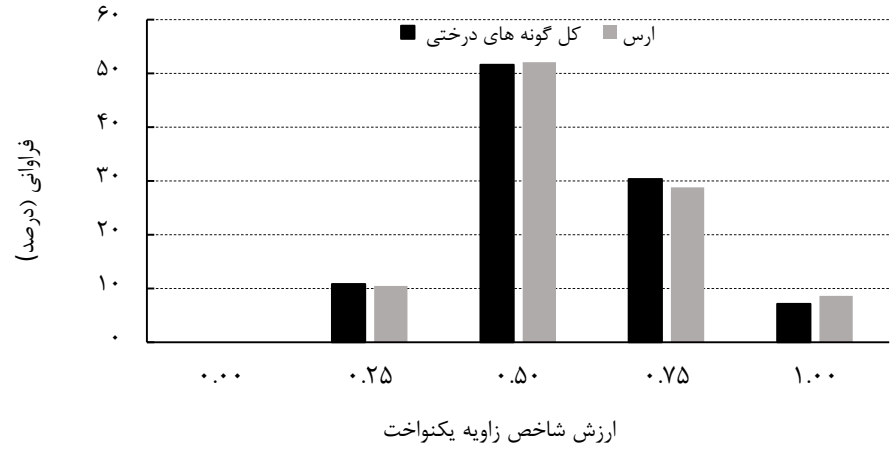
مقدار شاخص آمیختگی برای کل توده در قطعه‌نمونه‌های ارس و بنه به‌ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۵۴ محاسبه شد که بیانگر آمیختگی کم در تودهٔ ارس و آمیختگی متوسط در قطعه‌نمونهٔ بنه است که با نتایج Sefidi و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد [۷]. همچنین Pommerening و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند آمیختگی گونه‌ای تحت تأثیر موقعیت مکانی درختان قرار دارد و گونه‌هایی که دارای الگوی کپه‌ای هستند دارای آمیختگی کمی هستند [۴]. آمیختگی اندک این جنگل تحت تأثیر اختلاط گونه‌ای بسیار ناچیز ارس با سایر گونه‌ها است. این موضوع در جنگل‌های خالص و با گونهٔ غالب امری طبیعی است. در قطعه‌نمونهٔ ارس بیش از ۷۴ درصد گونه‌های چوبی را تشکیل می‌دهد. در نتیجه این گونه با توجه به تعداد زیاد، غالبًا در کنار پایه‌های هم جنس خود قرار دارد این درحالی است که سایر گونه‌ها از قبیل پلاخور و تنگرس با توجه به تعداد اندک، اختلاط بالایی را نشان می‌دهند و تمایل بیشتری به قرار گرفتن درکنار گونه‌های غیر همجنس دارند (جداول ۳ و ۴). همچنین در قطعه‌نمونهٔ بنه بادام کوهی (۰/۸۴) و تنگرس با (۰/۸۶) بیشترین آمیختگی را دارند. به‌منظور تشریح دقیق‌تر، فراوانی نسبی شاخص آمیختگی در طبقات مختلف در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. Sadeghi و همکاران (۲۰۱۶) آمیختگی گونه‌ای در جنگل‌های ارس منطقهٔ آتشگاه کرج را صفر گزارش کردند [۶] که نشان‌دهندهٔ نبود آمیختگی ارس با دیگر گونه‌های دارای فرم رویشی درختی است. Sefidi و همکاران (۲۰۱۸) نیز درصد آمیختگی ارس در منطقهٔ کندرق خلخال را اندک اعلام کردند [۷]. این شاخص برای قطعه‌نمونهٔ بنه ۰/۵۴ محاسبه شد که بیانگر تمایل بیشتر این گونه به قرار گرفتن درکنار سایرگونه‌ها در توده است.

مقدار میانگین شاخص تمایز ارتفاعی برای توده ارس و بنه به‌ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۴۸ و میانگین تمایز تاج پوشش به‌ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۳۲ محاسبه شد که حاکی از آن است درختان توده‌های مورد مطالعه از نظر ارتفاع و سطح تاج پوشش در شرایط حد واسط قرار دارند. در این راستا، Sefidi و همکاران (۲۰۱۸) نیز شاخص ابعاد درختان ارس منطقهٔ کندرق خلخال را اندک (۰/۲۳) گزارش کردند

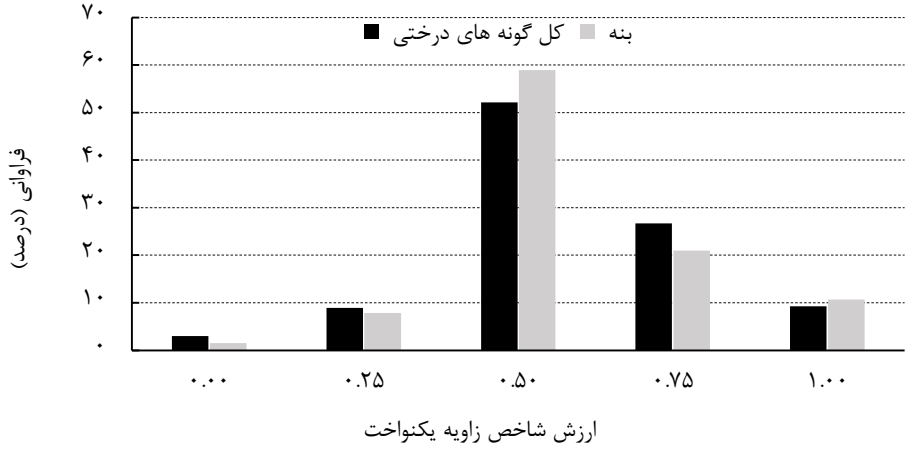
و علت آن را شرایط نامطلوب رویشگاهی ذکر کردند [۷]. از دلایل این امر، می‌توان به شرایط سخت رویشگاهی، کند رشد بودن گونه‌های اصلی (ارس و بنه) هر دو توده اشاره نمود.

جدول ۳. میانگین شاخص‌های ساختاری قطعه‌نمونه‌های مورد بررسی براساس نزدیک‌ترین همسایه برای کل گونه‌ها

مشخصه	شاخص	قطعه نمونه ارس	قطعه نمونه بنه	توضیح
–	تعداد گروه ساختاری پیش از تصحیح حاشیه	۲۳۵	۱۴۴	
–	تعداد گروه ساختاری پس از تصحیح حاشیه	۲۲۶	۱۲۹	
تراکم	شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه	۵/۲۹	۱۲/۵۳	متوسط اولین درخت
تنوع الگوی مکانی	شاخص زاویهٔ یکنواخت	۰/۵۸	۰/۵۷	کپه‌ای
	شاخص کلارک و ایوانز	۰/۷۲	۰/۵۸	
تنوع اختلاط گونه‌ای	شاخص آمیختگی	۰/۱۹	۰/۵۴	آمیختگی کم
تنوع ابعاد	شاخص تمایز ارتفاعی	۰/۵۱	۰/۴۸	
	شاخص تمایز تاج‌پوشش	۰/۳۹	۰/۳۲	
تراکم	شاخص فاصله همسایگی	۵/۳۴	۶/۲۹	متوسط ۴ درخت
	شاخص تنوع ساختاری ترکیبی	۰/۲۹	۰/۵۰	قطر در ارتفاع ۰/۵ متر



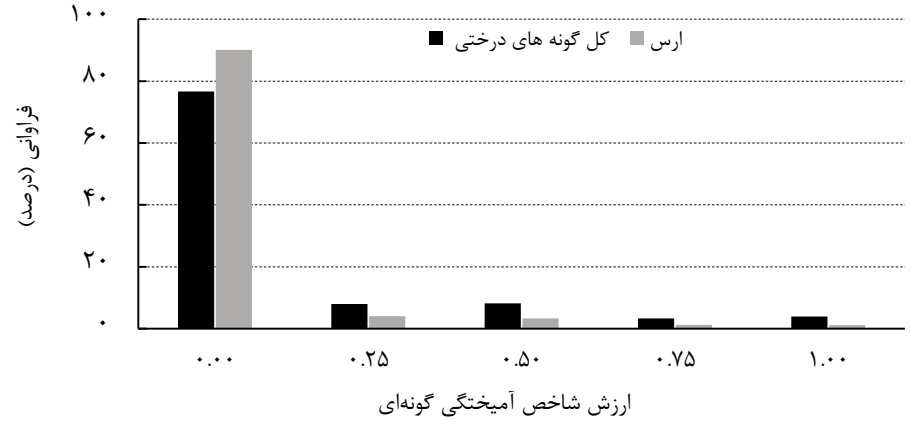
شکل ۳. توزیع پراکنش مقادیر شاخص یکنواختی در قطعه‌نمونهٔ ارس



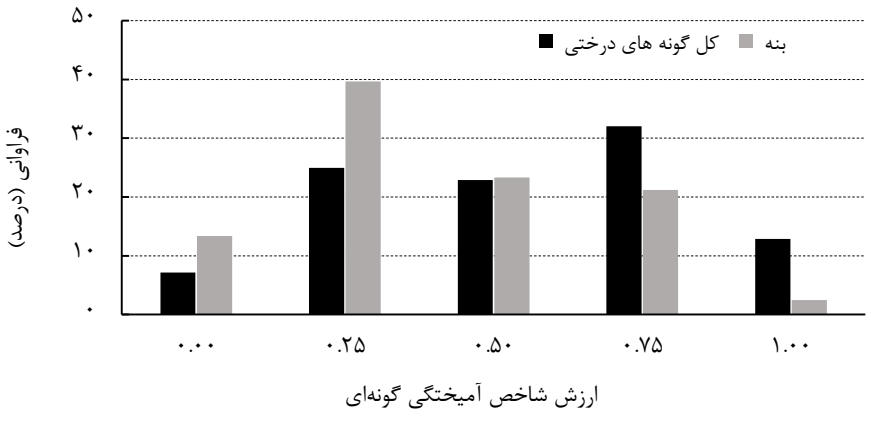
شکل ٤. توزیع پراکنش مقادیر شاخص یکنواختی در قطعه‌نمونهٔ بنه

جدول ٤. میانگین شاخص‌های ساختاری گونه‌ها در قطعه‌نمونه‌های مورد بررسی

قطعه نمونه	گونه	تعداد گروه ساختاری		شاخص ساختاری							
		پیش از تصحیح ساختاری	پس از تصحیحی ساختاری	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه	زاویهٔ یکنواخت	کلارک و ایوانز	آمیختگی	تمایز ارتفاعی	تمایز تاج پوشش	فاصله همسایگی	تنوع ترکیبی ساختاری
	ارس	۱۷۵	۱۶۹	۳/۲۹	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۴۴	۰/۲۱	۰/۳۸	۵/۱۳	۰/۲۵
	بنه	۱۳	۱۲	۱/۰۹	۰/۵۴	۰/۱۱	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۲۴	۲/۹۷	۰/۴۴
	کیکم	۸	۸	۱/۲۵	۰/۶۴	۰/۲۰	۰/۵۲	۰/۳۰	۰/۴۶	۱۰/۲۷	۰/۵۱
ارس	بادام	۱۵	۱۳	۳/۵۶	۰/۴۵	۰/۲۱	۰/۳۹	۰/۲۳	۰/۳۸	۵/۰۸	۰/۲۱
	دغدغک	۶	۶	۲/۳۴	۰/۵۰	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۲۱	۰/۴۷	۶/۹۸	۰/۴۷
	پلاخور	۶	۶	۳/۲۶	۰/۶۰	۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۵۵	۰/۵۲	۲/۹۰	۰/۷۲
	راناس	۵	۵	۳/۲	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۷۵	۰	۰/۱۶	۳/۰۶	۰/۵۵
	تنگرس	۷	۷	۲/۱	۰/۵۱	۰/۱۳	۰/۹۰	۰/۱۵	۰/۱۸	۴/۳۱	۰/۶۸
	بنه	۸۰	۷۲	۸	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۶۶	۰/۲۳	۰/۳۰	۴/۶۰	۰/۴۳
	بادام	۴۸	۴۵	۲/۲۸	۰/۵۹	۰/۴۰	۰/۸۴	۰/۱۹	۰/۳۶	۷/۴۵	۰/۵۸
بنه	کیکم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	ارس	۹	۸	۱/۱۳	۰/۵۷	۰/۲۲	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۲۲	۹/۹۰	۰/۵۶
	تنگرس	۵	۵	۱/۱۲	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۸۶	۰/۱۴	۰/۲۷	۱۲	۰/۶۱



شکل ۵. توزیع پراکنش مقادیر شاخص آمیختگی در قطعه‌نمونهٔ بنه



شکل ٦. توزیع پراکنش مقادیر شاخص آمیختگی در قطعه‌نمونهٔ بنه

شاخص فاصلهٔ همسایگی میزان تراکم توده‌های جنگلی (تعداد پایه در واحد سطح) را نشان می‌دهد و می‌تواند بیانگر فشار رقابتی بین درختان در توده‌ها باشد، به‌طوری‌که با افزایش فاصلهٔ بین درختان و در نتیجه افزایش شاخص فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها از تراکم توده‌های جنگلی کاسته می‌شود [۲۳، ۲۴]. در پژوهش حاضر، مقدار شاخص فاصله تا همسایه‌ها در تودهٔ ارس و بنه به‌ترتیب ۵/۳۴ و ۶/۲۹ متر به‌دست آمد که در مقایسه با مطالعهٔ مشابه [۷] در منطقه کندرق خلخال (۳/۷۰ متر) بیشتر و در مقایسه با منطقهٔ آتشگاه کرج (۹/۳۵ متر) کمتر است [۶].

در این بررسی، شاخص تنوع ساختاری ترکیبی به‌طور میانگین، ۰/۲۹ محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ سطح کم تنوع ترکیبی ساختار در جنگل مورد مطالعهٔ ارس است. اگر چه تعداد ارس نسبت به سایر گونه‌ها زیاد است ولی تعداد گونه‌های موجود در قطعه‌نمونه کمتر است. از دلایل کم بودن سطح تنوع درختی می‌توان به‌حضور درختان ارس در این توده اشاره کرد که بیش از ۷۴ درصد از کل درختان را به‌خود اختصاص داده‌اند. نتایج بررسی شاخص تنوع ساختاری تودهٔ ارس در جنگل کندرق خلخال نیز نشان داد، مقدار عددی این شاخص، ۰/۲۳ است که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد [۷]. همچنین این شاخص برای تودهٔ بنه، ۰/۵۰ است که بیانگر سطح بالای تنوع ترکیبی ساختار در جنگل مورد مطالعه می‌باشد. این نتیجه با یافته‌های Ostadhashemi و همکاران (۲۰۲۴) که این شاخص را در جنگل بنه واقع در جزیرهٔ اسلامی استان آذربایجان شرقی ۰/۴۵۹ گزارش کردند، مطابقت دارد [۸].

۴. نتیجه‌گیری

شناخت ساختار بوم‌سازگان جنگلی و روند تغییرات آن در گذر زمان ما را در تصمیم‌گیری و چگونگی حفظ، توسعه و هدایت آن به‌سوی اهداف ایده‌آل سوق می‌دهد. در تحقیق حاضر، با بررسی و ارزیابی ساختار توده‌های جنگلی کمتر دست‌خوردهٔ ارس و بنه در دو قطعه‌نمونهٔ یک‌هکتاری دائمی در شهرستان خلخال اطلاعات مفید و ارزشمندی در رابطه با وضعیت موجود توده‌های جنگلی به‌دست آمد. شاخص‌های بکار رفته در این تحقیق، قابلیت زیادی در کمی‌سازی ساختار جنگل و تشریح ویژگی‌های اکولوژیک گونه‌های درختی دارند. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که شاخص‌های بکار رفته دارای توانایی قابل قبولی در تشریح وضعیت فعلی ساختار قطعه نمونه‌ها و همچنین نشان دادن اختلافات اکولوژیک گونه‌های مختلف هستند و کاربرد این شاخص‌ها در مطالعهٔ حاضر مورد تأیید قرار گرفت. براساس یافته‌های این پژوهش، درختان ارس و بنه دارای پراکنش مکانی کپه‌ای بودند و نتایج شاخص تنوع ترکیبی، حاکی از آن است که درختان توده‌های مورد مطالعه از نظر ارتفاع و سطح تاج پوشش در شرایط حد واسط قرار دارند. این نتایج، متأثر از عوامل محیطی مؤثر در شرایط رویشگاهی توده‌های مورد بررسی است. بنابراین لازم است، ضمن اولویت بخشیدن به برنامه‌های حفاظتی و حفظ ساختار و الگوی مکانی درختان ارس و بنه، پایش روند تغییرات ویژگی‌های ساختاری توده‌های مورد بررسی در قطعه‌نمونه‌های دائمی مورد توجه مدیران جنگل قرار گیرد.

۵. منابع

[1] Rostamikia Y. & Fattahi, M. (2021). Effect of landform and edaphic characteristics on the presence and vegetative traits of Buckthorn (*Rhamnus pallasii*) in Andabil forest, Khalkhal region using PCA analysis. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 8(2), 1-18. (In Persian)

[2] Zhang, J., Liu, C., Ge, Z. & Zhang, Z. (2024). Stand spatial structure and productivity based on random structural unit in *Larix principis- rupprechtii* forests. *Ecosphere*, 15(4), e4824.

[3] Hui, G.Y., Zhang, G., Zhao, Z. & Yang, A. (2019). Methods of Forest Structure Research: A Review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 142-154.

[4] Pommerening, A., Wang, H. & Zhao, Z. (2020). Global woodland structure from local interactions: new nearest-neighbour functions for understanding the ontogenesis of global forest structure. *Forest Ecosystems*, 7(22), 1-11.

[5] Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. & Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran: A treasure from the past, a hope for the Future. Springer, Dordrecht, Netherlands. 120 p.

[6] Sadeghi, S.M.M., Alijani, V., Namiranian, M., & Mohamadizadeh, M. (2016). Structural characteristics of *Juniperus excelsa* in the mountainous forests of Alborz south facing slope (Case study: Atashgah, Karaj). *Iranian Journal of Forest*, 8(1), 35-49. (In Persian)

[7] Sefidi, K., Firouzi, Y., Sharari, M., Behjou, F.K. & Rostamikia, Y. (2018). Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region. *Iranian Journal of Forest*, 10(1), 207-220. (In Persian)

[8] Ostadhashmi, R., Sagheb – Talebi, Kh., Abdi Ghazi Jahani, A. & Sheikhzadeh, J. (2024). Quantification of structural diversity of *Pistacia atlantica* Desf. and *Juniperus excelsa* M. Bieb. forest stands (Case study: Irano-Turanian region, East Azerbaijan, Iran). *Journal of Forest and Wood Products*, 77(2), 97-110. (In Persian)

[9] Panahi, P., Sagheb – Talebi, Kh., Ravanbakhsh, H., Moridi, M., Pourhashemi, M., Ajani, Y., Hasaninejad, M, & Fadaei Khojasteh, M. (2024). Structure analysis of juniper (*Juniperus excelsa* M.B.) stands in the Irano-Touranin vegetation zone (Case study: Parvar protected area, Semnan province). *Journal of Forest and Wood Products*, 77(3), 301-312. (In Persian)

[10] Safari, A., Heidari, R.H., Shabanian, N. & Karimi, M. (2014). An investigation of spatial pattern in *Pistacia atlantica* Desf. stands by angular method in Javanroud region of Kermansha, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2), 347-357. (In Persian)

[11] Garavand, Y., Hoseini, M., Ahmadi, K., Ghomi Avili, A. & Ahadi, A.R. (2016). Investigation on Structure of pistacia trees in protected and grazed areas (Baghe shadi protected area, Yazd). *Iranian Natural Ecosystems*, 7(2), 89-102. (In Persian)

[12] Milios, E., Pipinis, E., Petrou, P. & Akritidou, S. (2007). Structure and regeneration patterns of the Juniperus excelsa Beib. Stands in the central part of Nestos valley in the northeast of Greece. *Ecological Research* 22(2), 713-723.

[13] Olano, J.M., Rozas, V., Bartolome, D. and Sanz, D. (2008). Effects of changes in traditional management on height and radial growth patterns in a *Juniperus thurifera* L. woodland. *Forest Ecology and Management*, 225(3), 506-512.

[14] Sagheb-Talebi, Kh., and Schuetz, J.Ph. (2002). The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) forests in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry Oxford*, 75(4), 465-472.

[15] Szmyt, J. (2014). Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica*, 48(1), 1-31.

[16] Motz, K., Sterba, H., & Pommerening, A. (2010). Sampling measures of tree diversity. *Forest Ecology and Management*, 260(11), 1985-1996.

[17] Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K. & Vacik, H. (2010). Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European Journal of Forest Research*, 129(2), 189-198

[18] Szmyt, J. & Dobrowolska, D. (2016). Spatial diversity of forest regeneration after catastrophic wind in northeastern Poland. *iForest*, 9(3), 414-421.

[19] Rostamikia, Y. & Zobeiri, M. (2013). Study on the structure of *Juniperus excelsa* Beib. stand in Khakhal protected forests. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19(4), 151-162. (In Persian)

[20] Akhavan, R. & Rostamikia, Y. (2020). Inter-specific competition of juniper trees in Kandiragh forest reserve using O-ring statistic and mark correlation function. *Journal of Forest and Wood Products*, 73(2):189-200

[21] Alijani, V., Feghhi, J., Zobeiri, M. & Marvi Mohajer, M.R. (2012). Quantifying the spatial structure in Hyrcanian submountain forest (Case study: Gorazbon district of Kheyrud forest- Noushahr- Iran). *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*, 65(1), 111-125. (In Persian)

[22] Karimi, M., Pormajidian, M.R., Jalilvand, H. & Safari, A. (2012). Preliminary study for application of O-ring function in determination of small-scale spatial pattern and interaction species (Case study: Bayangan Forests, Kermanshah). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(4), 608-621*(*In Persian).

[23] Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J. & Rahmani, R. (2007). Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(1), 55-64. (In Persian)

[24] Pommerening, A. & Stoyan, D. (2006). Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(7), 1723-1739.