University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

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

Structure analysis of juniper (*Juniperus excelsa* M.B.) stands in the Irano-Touranin vegetation zone (Case study: Parvar protected area, Semnan province)

Parisa Panahi[1*] | Khosro Sagheb Talebi[2] | Hooman Ravanbakhsh[3] | Morteza Moridi[4] | Mehdi Pourhashemi[5] | Yousef Ajani[6] | Maryam Hasaninejad[7] | Maedeh Fadaei Khojasteh[8]

1. Corresponding author, Botany Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. E-mail: panahi@rifr-ac.ir
2. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. E-mail: saghebtalebi@rifr-ac.ir
3. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. E-mail: h.ravanbakhsh@rifr-ac.ir
4. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: morteza.moridi@ut.ac.ir
5. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. E-mail: pourhashemi@rifr-ac.ir
6. Botany Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. E-mail: ajani@rifr-ac.ir
7. Botany Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. E-mail: hasaninejad@rifr-ac.ir
8. Botany Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. E-mail: fadaei@rifr-ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 31 August 2024
Revised: 16 October 2024
Accepted: 16 November 2024
Published online: 15 December 2024

Keywords:
Combined structural diversity,
Dynamics,
Mixture,
Monitoring.

ABSTRACT

The dynamics of spatial structure play a major role in understanding the mechanisms of forest structure and the formation of biodiversity, and largely determine the sustainability of the forest and its productivity. As part of a long-term monitoring project, the present study was conducted to assess the structure of juniper (*Juniperus excelsa* M.B.) stands in the Parvar protected area of Semnan province in the Irano-Touranian vegetation zone. Two permanent sample plots, each one hectare, were randomly selected, and the quantitative characteristics of woody species were measured and recorded using the full calipering inventory method. The structural characteristics of the stands were calculated based on the nearest neighbor indices. In sample plot one, juniper was the most abundant species, accounting for 49.7% (94 stems), while *Rosa canina* was the least abundant, with 4.8% (9 stems). *Berberis integerrima* and *Cerasus microcarpa* accounted for 39.7% and 5.8% of abundance, respectively. Sample plot two, with 75 stems per hectare, consisted of only two species: juniper (54 stems, 72%) and barberry (21 stems, 28%). The Clarke and Evans index and uniform angle indices indicated a clustered spatial distribution pattern of trees. The species mingling index for the entire stand in sample plots one and two was 0.46 and 0.38, respectively, indicating moderate mixing. The combined structural diversity index value was 0.47 and 0.48 in sample plots one and two, respectively, suggesting high diversity in the investigated stands. This study demonstrated the effectiveness of these indices in estimating the horizontal structure of forest stands, providing valuable information essential for management and decision-making processes.

Cite this article: Panahi, P., Sagheb Talebi, K., 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. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.381531.1310

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.381531.1310

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

تحلیل ساختار توده‌های ارس (*Juniperus excelsa* M.B.) در ناحیهٔ رویشی ایرانی– تورانی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ پرور، استان سمنان)

پریسا پناهی[۱*] | خسرو ثاقب‌طالبی[۲] | هومن روانبخش[۳] | مرتضی مریدی[۴] | مهدی پورهاشمی[۵] | یوسف اجنی[۶] | مریم حسنی‌نژاد[۷] | مائده فدایی خجسته[۸]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: panahi@rifr-ac.ir

۲. بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: saghebtalebi@rifr-ac.ir

۳. بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ravanbakhsh@rifr-ac.irh

۴. گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: morteza.moridi@ut.ac.ir

۵. بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: pourhashemi@rifr-ac.ir

۶. بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ajani@rifr-ac.ir

۷. بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: hasaninejad@rifr-ac.ir

۸. بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: fadaei@rifr-ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

کلیدواژه:
آمیختگی،
پایش،
پویایی،
تنوع ساختاری ترکیبی.

چکیده

پویایی ساختار مکانی نقش عمده‌ای در درک مکانیسم‌های ساختار جنگل و شکل‌گیری تنوع زیستی ایفا می‌کند و تا حد زیادی پایداری جنگل و بهره‌وری آن را تعیین می‌کند. پژوهش حاضر با هدف تحلیل ساختار توده‌های جنگلی ارس (*Juniperus excelsa* M.B.) در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ پرور استان سمنان در ناحیهٔ رویشی ایرانی– تورانی در قالب طرح بلندمدت پایش توده‌های جنگلی انجام شد. دو قطعه‌نمونهٔ دائمی یک هکتاری مربعی‌شکل به‌صورت تصادفی پیاده و با روش آماربرداری صددرصد، مشخصه‌های کمی پایه‌های چوبی اندازه‌گیری و ثبت شد. ویژگی‌های ساختاری توده براساس شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه محاسبه و تفسیر شدند. در قطعه‌نمونهٔ یک، ارس با ۴۹/۷ درصد (۹۴ پایه) بیشترین فراوانی و نسترن وحشی با ۴/۸ درصد (۹ پایه) کمترین فراوانی را داشتند. همچنین گونه‌های زرشک و راناس به‌ترتیب ۳۹/۷ و ۵/۸ درصد فراوانی را به‌خود اختصاص دادند. قطعه‌نمونهٔ دو با ۷۵ پایه در هکتار تنها از دو گونهٔ ارس و زرشک به‌ترتیب با ۵۴ پایه (۷۲ درصد) و ۲۱ پایه (۲۸ درصد) تشکیل شده بود. شاخص کلارک و ایوانز و زاویهٔ یکنواخت نشان‌دهندهٔ الگوی کپه‌ای درختان بودند. مقدار شاخص آمیختگی برای کل توده در قطعه‌نمونهٔ یک و دو به‌ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۳۸ به‌دست آمد که بیانگر آمیختگی متوسط بود. شاخص تنوع ساختاری ترکیبی نیز در قطعه‌نمونهٔ یک و دو به‌ترتیب، ۰/۴۷ و ۰/۴۸ محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ تنوع زیاد توده‌های مورد بررسی بود. پژوهش حاضر نشان داد که کارایی شاخص‌ها در برآورد وضعیت ساختار افقی جنگل مناسب است و می‌توانند اطلاعات مفید و ارزشمندی در مورد توده‌های جنگلی فراهم کند که در مدیریت و تصمیم‌گیری‌ها کارساز است.

استناد: پناهی؛ پریسا، ثاقب‌طالبی؛ خسرو، روانبخش؛ هومن، مریدی؛ مرتضی، پورهاشمی؛ مهدی، اجنی؛ یوسف، حسنی‌نژاد؛ مریم، فدایی خجسته، مائده (۱۴۰۳). تحلیل ساختار توده‌های ارس (*Juniperus excelsa* M.B.) در ناحیهٔ رویشی ایرانی– تورانی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ پرور، استان سمنان). *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۷ (۳)، ۳۱۲-۳۰۱. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.381531.1310

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.381531.1310

۱. مقدمه

جنگل‌های ایرانی–تورانی وسیع‌ترین ناحیهٔ رویشی کشور است و ارتفاعات شمال شرقی کشور، شیب‌های جنوبی البرز و مناطق کویری و مرکزی را دربر می‌گیرد. ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی از نظر وسعت، مسائل محیط‌زیستی، حفاظت خاک و توسعهٔ منابع آب از اهمیت فراوانی برخوردار است [۱]. این جنگل‌ها در دهه‌های اخیر به‌سبب مشکلات اجتماعی و عدم مدیریت جامع به‌شدت تخریب شده‌اند و توان بالقوهٔ خود را از دست داده‌اند که ادامهٔ این روند آینده، این جنگل‌ها را دچار بحران خواهد کرد.

جنس ارس یا سرو کوهی (*Juniperus*) از مهم‌ترین سوزنی‌برگان ایران است که در اکثر نقاط کوهستانی و نیمه‌خشک دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز، بخش‌های شمالی خراسان و رشته‌کوه‌های هزار مسجد، ارسباران و بسیاری از ارتفاعات داخلی در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی، پراکنش دارد [۲]. جنگل‌های ارس ایران در گذشته انبوه و نیمه‌انبوه بوده، ولی عدم مراقبت و حفاظت، آنها را به‌صورت تنک و پراکنده درآورده است. با توجه به نقش حائز اهمیت این توده‌ها در حفظ آب، خاک و مقابله با فرسایش خاک و حفظ غنای زیستی، احیاء و توسعهٔ این توده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گونهٔ تشکیل‌دهندهٔ جنگل‌های ارس ایران، *J. excelsa* از گروه ارس‌های ایستاده است که به‌دلیل نرمش اکولوژیک بیشتر خود، نسبت به سایر گونه‌های ارس در گسترهٔ وسیع‌تری پراکنش دارد. این گونهٔ درختی در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی در مرز بالایی جامعهٔ بنه و بادام و در دامنهٔ ارتفاعی ۷۵۰ تا ۳۴۰۰ متری از سطح دریا پراکنش دارد که این رویشگاه‌ها تحت عنوان جنگل‌های ارس، مساحتی حدود ۱/۳ میلیون هکتار را شامل می‌شوند [۳].

ساختار جنگل یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های توده‌های جنگلی است که کارکرد اصلی توده‌ها را تعیین می‌کند. ساختار جنگل را در سه جنبهٔ تنوع موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد درختان تعریف و مورد بررسی قرار می‌دهند [۴]. برای تعریف ساختار جنگل می‌توان از ویژگی‌های مکانی و غیرمکانی استفاده کرد. شاخص‌های ساختار غیرمکانی مانند ترکیب گونه‌های درختی، رویهٔ زمینی، توزیع درختان در طبقات قطری و تراکم توده نشان‌دهندهٔ میانگین ویژگی‌های توده با نادیده‌گرفتن اطلاعات مکانی هستند، در حالی‌که شاخص‌های ساختاری مکانی الگوی توزیع افراد و آرایش مکانی ویژگی‌های آنها را در نظر می‌گیرند [۵]. ثابت شده که شاخص‌های ساختاری مکانی در زمینهٔ شناخت و آگاهی از وضعیت توده، نقش مؤثرتری نسبت به شاخص‌های ساختار غیرمکانی ایفا می‌کنند [۶].

مطالعات متعددی در ارتباط با توده‌های جنگلی ارس در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی انجام شده است. در مطالعهٔ ویژگی‌های کمی و کیفی درختان ارس در تودهٔ جنگلی ارس امین‌آباد فیروزکوه به وسعت ۶۱۳ هکتار، میانگین تعداد در هکتار برای این گونه ۳۱ اصله در هکتار و میانگین ارتفاع درختان ارس ۴/۹ متر گزارش شد [۷]. در بررسی ویژگی‌های ساختاری ارس در جنگل‌های کوهستانی دامنه‌های جنوبی البرز، الگوی مکانی و چیدمان درختان ارس در کنار یکدیگر یکنواخت گزارش شد و بیان شد که این جنگل‌ها، از نظر تنوع درختی خالص و فاقد هر نوع آمیختگی هستند [۸]. الگوی مکانی درختان ارس در منطقهٔ کندرق خلخال در برخی قسمت‌ها یکنواخت و در بعضی نقاط تصادفی گزارش شد [۹].

در ارتباط با مطالعهٔ ساختار جنگل در توده‌های ارس، تاکنون مطالعه‌ای با استفاده از قطعه‌نمونه‌های ثابت (دائمی) به‌منظور پایش مستمر این توده‌ها در این ناحیهٔ رویشی انجام نشده است و مطالعهٔ تغییرات ساختار و پویایی توده‌های جنگلی ایرانی–تورانی و تغییرات کمی و کیفی آن در طول زمان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. آگاهی از ویژگی‌ها و پیچیدگی‌های ساختاری جنگل‌های ایرانی–تورانی و تغییرات آن در طول زمان این امکان را فراهم می‌آورد که پیش از اقدامات حفاظتی و احیایی در این جنگل‌ها، شناخت مناسبی از جنگل داشته و با اطمینان بیشتری برای آیندهٔ توده‌ها تصمیم‌گیری شود. تا زمانی که اطلاعات از ساختار این جنگل‌ها محدود باشد، نمی‌توان انتظار حفظ این جنگل‌ها را در طولانی‌مدت داشت. انتخاب قطعات ثابت و دائمی که از اصول اجرایی این پژوهش است نیز کمک خواهد کرد که امکان مطالعهٔ درازمدت تغییرات ساختار با توجه به تغییرات محیطی و اقلیمی میسر شود. بنابراین، با توجه به ضرورت مطالعهٔ ساختار جنگل‌های ارس، پژوهش حاضر با هدف اصلی بررسی ساختار و الگوی مکانی درختان در دو تودهٔ جنگلی ارس در منطقهٔ پرور استان سمنان در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی انجام شد تا ضمن تحلیل ویژگی‌های ساختاری توده‌های مورد مطالعه، با تکرار برداشت داده‌ها در دوره‌های زمانی مشخص در آینده، امکان پایش آنها فراهم شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲–۱. منطقهٔ مورد مطالعه

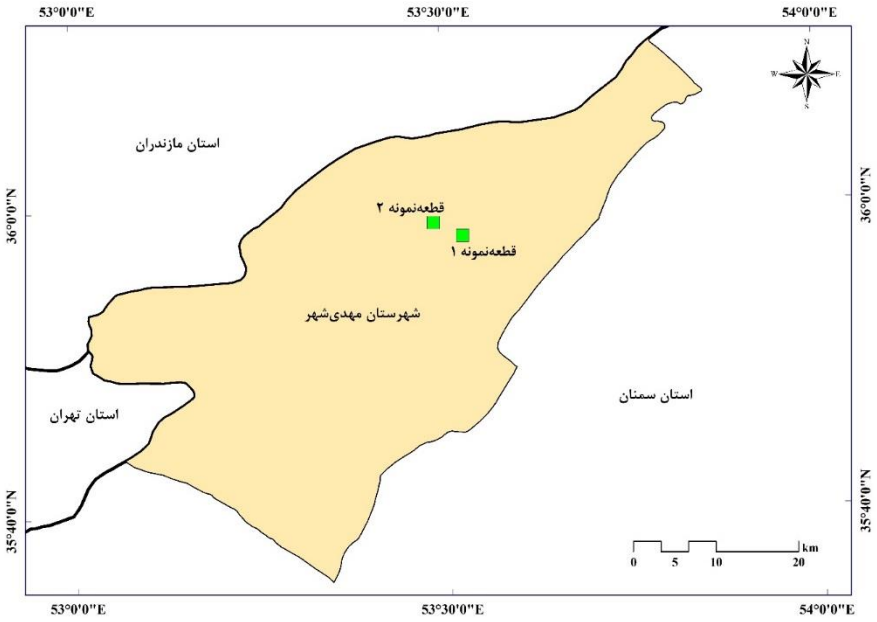
این پژوهش در چارچوب طرح جامع سنجش و پایش جنگل‌های ایرانی–تورانی که با روش مکان‌محور (Place-based research) طراحی شده، در جنگل‌های ارس منطقهٔ حفاظت‌شده پرور استان سمنان اجرا شد. این منطقه با وسعت ۶۴۴۲۶/۹ هکتار، در ۴۰ کیلومتری شهرستان مهدی‌شهر در مختصات جغرافیایی ″۰۹ ′۲۱ °۵۳ تا ″۲۳ ′۴۸ °۵۳ طول شرقی و ″۵۷ ′۵۰ °۳۵ تا ″۰۲ ′۰۷ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. بیشترین و کمترین ارتفاع منطقه ۱۲۴۳ و ۳۷۲۶ و متوسط آن ۲۲۵۴ متر بالاتر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالیانه ۳۴۷ میلی‌متر است. منطقهٔ حفاظت‌شده پرور یکی از کانون‌های اصلی زیست گونهٔ سوزنی‌برگ ارزشمند ارس در کشور محسوب می‌شود. این منطقه از تنوع گونه‌ای خوبی برخوردار بوده و به استناد مطالعات انجام‌شده، دارای ۱۲ تیپ جنگلی، شامل لور خالص، لور–کرب، لور–ارس، لور–اوری، بلندمازو–کرب، بلندمازو–کرب–راش، بلندمازو–راش، اوری–کرب–راش، اوری–کرب، راش، ارس و ارس–لور است [۱۰].

۲–۲. روش‌شناسی

پس از جنگل‌پیمایی‌های اولیه در جنگل‌های ارس منطقهٔ پرور، دو مکان برای این پژوهش درنظر گرفته و در هر مکان یک قطعه‌نمونهٔ مربعی‌شکل دائمی به مساحت یک هکتار به‌صورت تصادفی پیاده شد (جدول ۱ و شکل ۱). برای هر قطعه‌نمونه یک منطقهٔ ضربه‌گیر ۱۰ متری درنظر گرفته و مجموع قطعه‌نمونه و ضربه‌گیر به‌عنوان سایت پایش انتخاب شد. شرایط قطعه‌نمونه‌های متمرکز پایش (پوشش درختی، تیپ و شرایط رویشگاهی) باید تا حد امکان همگن بوده و برای عملیات روتین قابل دسترس باشد [۱۱]. سعی شد مکان‌ها طوری انتخاب شوند که الگویی از جنگل‌های ارس منطقهٔ مورد مطالعه باشند.

جدول ۱. مشخصات قطعه‌نمونه‌ها در منطقهٔ پرور

شمارهٔ قطعه‌نمونه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	شیب (درصد)	جهت جغرافیایی	مختصات مرکز قطعه‌نمونه (UTM)	
				Y	X
۱	۲۱۲۰	۲۷	شمال	۳۹ ۸۳ ۳۵۰	۰۷۲ ۷۷ ۳۰
۲	۱۹۸۰	۶۰	شمال	۳۹ ۸۴ ۹۰۰	۰۷۲ ۴۱ ۹۵



شکل ۱. موقعیت قطعه‌نمونه‌ها در شهرستان مهدی‌شهر استان سمنان

پس از پیاده کردن قطعه‌نمونه‌ها، ویژگی‌های ساختاری کلیهٔ پایه‌های چوبی با ارتفاع بیشتر از نیم‌متر ثبت و اندازه‌گیری شد [۱۲]. برای درختان، مشخصات گونه، مختصات مکانی، قطر در ارتفاع نیم‌متری، ارتفاع، قطر بزرگ تاج و قطر عمود بر آن اندازه‌گیری شد. برای پایه‌های شاخه‌زاد، ارتفاع بلندترین جست در هر جست‌گروه، به‌عنوان ارتفاع درخت درنظر گرفته شد. در درختچه‌ها نیز ارتفاع، قطر بزرگ تاج و قطر عمود بر آن اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان، از روش فاصله-آزیموت استفاده شد. ابتدا مختصات گوشهٔ جنوب‌غربی قطعه‌نمونه‌ها به‌عنوان نقطهٔ مبنا برداشت شد و سپس فاصله و آزیموت درخت اول نسبت به نقطهٔ مبنا با متر نواری و قطب‌نمای سونتو اندازه‌گیری شد و با استفاده از 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 پیشین سنجیده شد. برای تشریح ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی مورد مطالعه، از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه، با در نظرگرفتن یک درخت شاهد و چهار درخت همسایه برای هر گروه ساختاری، استفاده شد (جدول ۲). این شاخص‌ها به مطالعهٔ ساختار جنگل براساس سه ویژگی تنوع الگوی مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد درختان می‌پردازند. به‌منظور بررسی تنوع موقعیت مکانی درختان از شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت، و کلارک و ایوانز استفاده شد. همچنین، برای بررسی آمیختگی گونه‌ای نیز از شاخص آمیختگی و برای بررسی تنوع ابعاد درختان، از شاخص‌های تمایز قطری، تمایز سطح تاج‌پوشش و چیرگی قطری استفاده شد. تراکم درختان نیز با استفاده از شاخص فاصله تا همسایه‌ها اندازه‌گیری شد [۱۳].

جدول ۲. شاخص‌های ساختاری مورد استفاده

ویژگی	شاخص	رابطه	تشریح	منبع
تراکم درختان	فاصله تا همسایه‌ها	$D_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} s_{ij}$	S_{ij}=فاصله درخت مرجع تا همسایه‌ها	[۱۴]
موقعیت مکانی	زاویهٔ یکنواخت	$W_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij}$	$v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow & \alpha_j < \alpha_0 \\ 0 \rightarrow & \alpha_j \geq \alpha_0 \end{bmatrix}$	[۱۵، ۱۶]
	کلارک و ایوانز	$R = \frac{\bar{r}_{observed}}{E(r)}$	$E(r) = \frac{1}{2\times\sqrt{\frac{N}{A}}}$	[۱۳]
آمیختگی	آمیختگی	$M_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} V_{ij}$	$v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow j_{\text{گونه}} & \neq i_{\text{گونه}} \\ 0 \rightarrow j_{\text{گونه}} & = i_{\text{گونه}} \end{bmatrix}$	[۱۴]
ابعاد درختان	تمایز قطری درختان	$T_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\left(1-r_{ij}\right)$	$r_{ij} = \frac{\min(X_i, X_j)}{\max(X_i, X_j)}$	[۱۴، ۱۶]
	چیرگی قطر برابر سینه	$TD_i = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} v_{ij}$ $v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow DBH_i \geq DBH_j \\ 0 \rightarrow DBH_i < DBH_j \end{bmatrix}$	DBH = قطر برابر سینه	[۱۷]
سطح تنوع درختی	تنوع ساختاری ترکیبی	$SI = (T_i \times w_1) + (M_i \times w_2) + (W_i \times w_3)$	Ti= شاخص اختلاف ابعاد Mi=شاخص مینگلینگ Wi= شاخص زاویه یکنواخت	[۱۸، ۱۹]

شاخص زاویهٔ یکنواخت برای بررسی موقعیت مکانی درختان به‌کار رفته و به بررسی درجهٔ منظم بودن الگوی مکانی درخت مرجع نسبت به چهار درخت همسایه اطراف خود می‌پردازد. مقدار این شاخص بین صفر تا یک متغیر است و در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از پنج ارزش صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ می‌تواند برای این شاخص به‌دست آید. ارزش پایین این شاخص نشان‌دهندهٔ وضعیت منظم درختان است، در حالی‌که در درختان با توزیع کپه‌ای این ارزش به‌سمت یک میل می‌کند

[۲۰]. شاخص کلارک و ایوانز مقدار انحراف یک جنگل در سطحی برابر A که دارای N درخت است، از توزیع Poisson (جنگلی با توزیع کاملاً تصادفی) نشان می‌دهد [۱۳]. اگر مقدار این شاخص بیشتر از یک باشد، جنگل دارای الگوی مکانی منظم، اگر مساوی یک باشد، جنگل الگوی مکانی تصادفی و اگر کمتر از یک باشد، جنگل مورد مطالعه دارای الگوی مکانی کپه‌ای است.

شاخص آمیختگی گونه‌ها با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه‌ها نسبت به یکدیگر می‌تواند دارای ارزشی بین صفر تا یک باشد. در هنگام استفاده از چهار همسایهٔ اطراف درخت مرجع، ارزش این شاخص می‌تواند یکی از پنج مقدار صفر (همهٔ همسایه‌ها مشابه گونهٔ مرجع)، ۰/۲۵ (یک همسایه متفاوت با گونهٔ مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسایه متفاوت با گونهٔ مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسایه متفاوت با گونهٔ مرجع) و یا یک (هیچ‌کدام از همسایه‌ها مشابه گونهٔ مرجع نیست) باشد [۱۴]. همچنین، در این پژوهش به‌منظور بررسی تنوع ابعاد درختان، از شاخص تمایز قطری و شاخص تمایز تاج‌پوشش استفاده شد. هرچه درختان همسایه از نظر قطر و تاج‌پوشش دارای ناهمگنی کمتری نسبت به یکدیگر باشند، ارزش این دو شاخص نزدیک به صفر و هرچه درختان همسایه دارای اختلاف بیشتری نسبت به یکدیگر باشند، این ارزش به سمت یک میل پیدا می‌کند [۱۳]. شاخص چیرگی ابعاد نیز همانند شاخص‌های تمایز قطری و تاج‌پوشش به بررسی تنوع ابعاد درختان می‌پردازد. اگر قطر برابر سینه (یا قطر در ارتفاع نیم‌متری) درخت مرجع نسبت به گونه‌های همسایه چیره (TDi) باشد، ارزش این شاخص به سمت یک میل می‌کند و برعکس.

یکی از معایب شاخص‌های ذکر شده در بالا، درنظر نگرفتن تراکم توده‌های جنگلی است، به‌طوری‌که هنگام مقایسهٔ دو جنگل با چیدمان مشابه ولی تراکم‌های متفاوت، اختلافات به‌خوبی نشان داده نمی‌شوند. به‌همین منظور، شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها به‌طور مکمل با شاخص‌های دیگر در کمی‌سازی ساختار جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. با استفاده از این شاخص، به‌راحتی می‌توان به مقایسهٔ توده‌های مختلف در زمان‌ها و مکان‌های مختلف پرداخت.

شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، با توصیف سه جنبهٔ موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و اختلاف ابعاد درختان و با درنظر گرفتن وزن‌های مختلف برای هر سه شاخص به‌صورت یکجا به بررسی وضعیت تنوع ساختاری می‌پردازد [۱۸، ۱۹]. این شاخص ترکیبی از شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت، آمیختگی و اختلاف ابعاد بوده و هدف اصلی آن، ارزیابی سطح تنوع زیستی در ارتباط با گونه‌های درختی در اکوسیستم‌های جنگلی است. مقادیر کمتر از ۰/۳ بیانگر تنوع درختی کم، مقدار ۰/۳ تا ۰/۴ بیانگر تنوع درختی متوسط و مقدار بیشتر از ۰/۴ بیانگر تنوع درختی زیاد است [۱۹]. تحلیل‌های مربوطه به نوع آمیختگی و نوع پراکنش درختان در توده‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Crancod (ver 1.4) انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

به‌منظور شناخت بهتر توده‌های ارس مورد مطالعه، مشخصات توصیفی آنها در جدول ۳ ارائه شده است. در قطعه‌نمونهٔ یک، ۱۸۹ اصله درخت و درختچه وجود داشت. ارس با ۴۹/۷ درصد (۹۴ پایه) بیشترین و نسترن وحشی (*Rosa canina*) با ۴/۸ درصد (۹ پایه) کمترین فراوانی را داشتند. همچنین، گونه‌های زرشک (*Berberis integerrima*) و راناس (*Cerasus microcarpa*) به‌ترتیب ۳۹/۷ درصد (۷۵ پایه) و ۵/۸ درصد (۱۱ پایه) فراوانی را به‌خود اختصاص دادند. قطعه‌نمونهٔ دو با ۷۵ پایه در هکتار تنها از دو گونهٔ ارس و زرشک به‌ترتیب با ۵۴ پایه (۷۲ درصد) و ۲۱ پایه (۲۸ درصد) تشکیل شده بود.

جدول ۳. مشخصات کمی دو قطعه‌نمونهٔ مورد مطالعه در جنگل‌های ارس منطقه پرور

قطعه نمونه	تعداد در هکتار (اصله)	میانگین قطر در ارتفاع نیم‌متری (سانتی‌متر)	میانگین رویه زمینی در ارتفاع نیم‌متری (سانتی‌متر مربع)	میانگین سطح تاج (متر مربع)	میانگین ارتفاع (متر)	تعداد در هکتار ارس (اصله)	تعداد در هکتار زرشک (اصله)	تعداد در هکتار سایر گونه‌ها (اصله)
یک	۱۸۹	۱۷	۱۹۴/۳	۱۰/۸	۳/۱	۹۴	۷۵	۲۰
دو	۷۵	۱۱	۷۸/۹	۹	۲/۲	۵۴	۲۱	۰

ساختار جنگل مبنای نظری مدیریت جنگل است و می‌تواند انواع مختلفی از شرایط توده مانند توزیع مکانی، رقابت فردی و ترکیب گونه‌ها را منعکس کند [۲۰]. مدیریت جنگل اغلب با تمرکز بر تنظیم تراکم توده و ترکیب گونه‌ها، بر تئوری‌های سنتی تکیه می‌کند، در حالی‌که نقش حیاتی ساختار مکانی توده در حفظ سلامت و ثبات جنگل را نادیده می‌گیرد [۲۱]. براساس نتایج، در هر دو قطعه‌نمونه، گونه‌های ارس و زرشک به‌عنوان گونه‌های اصلی آشکوب درختی و درختچه‌ای، تیپ جنگلی ارس–زرشک را نشان دادند. ساختار تودهٔ حالت جنگل دوآشکوبه داشت، به‌طوری‌که درختان ارس در آشکوب بالا و درختچه‌های زرشک در آشکوب پایین حضور داشتند. در بررسی ساختار توده‌های ارس در جنگل کندیرق خلخال، ارس بیشترین درصد آمیختگی و بیشترین تعداد در هکتار را به‌خود اختصاص داد [۲۲]. در پژوهش حاضر، تعداد در هکتار درختان ارس در قطعه‌نمونه‌های یک و دو به‌ترتیب ۹۴ و ۵۴ پایه بود که نسبت به مطالعات انجام‌شده در داخل کشور از جمله در منطقهٔ خلخال با ۱۳۴ اصله در هکتار [۹] و ۳۲۶ اصله در هکتار [۲۲] کمتر بود و نسبت به جنگل‌های ارس امین‌آباد فیروزکوه با ۳۲ اصله در هکتار [۷] بیشتر بود. این موضوع می‌تواند به‌دلایل متعددی ازجمله سطح مورد مطالعه، ترکیب گونه‌ای، روش آماربرداری، موقعیت جغرافیایی (شرایط رویشگاهی، ارتفاع، شیب و جهت)، چرای دام، مداخلات انسانی، دسترسی به جاده اصلی و حضور گردشگران باشد.

پس از تصحیح حاشیه و حذف گروه‌های ساختاری که دارای یک یا چند همسایه در خارج از مرز قطعه‌نمونه بودند، شاخص‌های ساختاری محاسبه شد. جدول ۴ میانگین شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه را برای کل گونه‌ها در توده‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. همچنین، تعداد گروه‌های ساختاری پیش و پس از تصحیح حاشیه به روش نزدیک‌ترین همسایه ارائه شده است. نتایج حاصل از شاخص کلارک و ایوانز نشان‌دهندهٔ الگوی مکانی کپه‌ای درختان در هر دو قطعه‌نمونه بود، هرچند که میانگین این شاخص در قطعه‌نمونهٔ یک (۰/۷۳) به مقدار بسیار کمی بیشتر از قطعه‌نمونهٔ دو (۰/۶۶) بود که نشان‌دهندهٔ تمایل بیشتر درختان در قطعه‌نمونهٔ دو به داشتن الگوی کپه‌ای است، ولی این تفاوت بسیار جزئی است. مقادیر شاخص زاویهٔ یکنواخت در قطعه‌نمونه‌های یک (۰/۵۳) و دو (۰/۵۶) نیز نشان‌دهندهٔ الگوی کپه‌ای در هر دو قطعه‌نمونه بود. الگوی پراکنش مکانی یک گونه توسط عوامل مختلفی تعیین می‌شود و عوامل کلیدی تعیین‌کننده بر حسب گونه متفاوتند [۲۳]. در ذخیره‌گاه جنگلی چهارطاق اردل در استان چهارمحال و بختیاری، الگوی پراکنش مکانی درختان ارس در تمام فواصل کپه‌ای گزارش شد [۲۴]، اما در جنگل‌های کوهستانی دامنهٔ جنوبی البرز در منطقهٔ آتشگاه کرج، الگوی پراکنش مکانی درختان ارس با استفاده از شاخص زاویهٔ یکنواخت و کلارک و ایوانز، یکنواخت گزارش شد [۸] که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد. دلیل این اختلاف می‌تواند روش بررسی، تفاوت دو رویشگاه، شرایط توپوگرافی، وضعیت اقلیمی و عوامل انتشار بذر درختان باشد. شرایط پیچیدهٔ توپوگرافی در جنگل‌های کوهستانی نیز بذرها را در مکان‌های محدود متمرکز می‌کند که منجر به الگوی پراکنش کپه‌ای می‌شود.

مقدار شاخص آمیختگی برای کل توده در قطعه‌نمونه‌های یک و دو به‌ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۳۸ به‌دست آمد که بیانگر آمیختگی متوسط در توده‌های مورد بررسی بود، درحالی‌که ارس با مقدار ۰/۲۶ در قطعه‌نمونهٔ دو و راناس با مقدار ۰/۹۶ در قطعه‌نمونهٔ یک به‌ترتیب کمترین و بیشترین تمایل به آمیختگی را درختان همسایه اطراف خود داشتند. آمیختگی گونه‌ها، به تفکیک گونه‌های مختلف در یک جامعه اشاره دارد که می‌تواند عدم تشابه گونه‌های درختی را براساس یک درخت مرجع و مجموعه‌ای از درختان همسایه توصیف کرده و درجهٔ آمیختگی وضعیت نور و ترکیب بستر را تعیین می‌کند که به‌نوبهٔ خود بر رشد و زادآوری درختان تأثیر می‌گذارد [۲۵]. در جنگل‌های کندرق خلخال مقدار شاخص آمیختگی برای ارس ۰/۱۴ گزارش شد [۹]. از دلایل کم بودن مقدار شاخص آمیختگی برای ارس می‌توان به بردباری و نیز غلبهٔ آن نسبت به دیگر گونه‌ها اشاره کرد که نتایج شاخص چیرگی قطری و چیرگی تاج‌پوشش گواهی بر این موضوع است. مقدار شاخص آمیختگی در جنگل‌های ارس آدران در منطقهٔ آتشگاه نیز صفر گزارش شد [۸] و دلیل این موضوع عدم تمایل به آمیختگی ارس با سایر گونه‌های درختی در منطقهٔ کوهستانی البرز عنوان شد.

با توجه به نتایج شاخص تمایز قطری در قطعه‌نمونهٔ دو نسبت به قطعه‌نمونهٔ یک، درختان از نظر قطری دارای اختلاف بیشتری بودند، ولی در سایر شاخص‌های مرتبط با تنوع ابعاد درختان به‌تقریب دارای اختلاف بسیار ناچیزی بودند. ابعاد درخت

عامل مهمی است که بر رشد درخت تأثیر می‌گذارد و می‌تواند برای تشریح پویایی جنگل مورد استفاده قرار گیرد. بررسی ساختار افقی یک توده با بررسی شاخص تمایز قطری به‌راحتی امکان‌پذیر است. ارس در قطعه‌نمونهٔ دو و راناس در قطعه‌نمونهٔ یک به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار شاخص تمایز قطری را داشتند. زیاد بودن مقدار این شاخص برای ارس می‌تواند به‌دلیل حضور پایه‌های ارس کوچک‌تر و نیز درختچه‌های زرشک، نسترن و راناس اطراف درختان مرجع باشد. همچنین، این موضوع می‌تواند بیانگر ناهمسال بودن تودهٔ مورد بررسی و ناهمگنی بیشتر توده باشد [۴]. مقدار شاخص تنوع ساختاری ترکیبی برای قطعه‌نمونهٔ یک و دو به‌ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۴۸ محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ این است که توده‌های مورد بررسی از نظر تنوع ساختاری، دارای اختلاف زیاد هستند. این موضوع می‌تواند به‌دلیل حضور گونه‌های درختچه‌ای و شیب زیاد منطقه باشد. همچنین، با توجه به اختلاف زیاد ابعاد درختان و الگوی پراکنش کپه‌ای آنها، این مقدار قابل توجیه است. علاوه‌براین، زیاد بودن مقدار شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، می‌تواند نشان‌دهندهٔ ناهمسال و نامنظم بودن توده‌های مورد بررسی باشد که منجر به قرار گرفتن درختان با ابعاد متفاوت و گونه‌های متفاوت درکنار یکدیگر شده است.

میانگین شاخص فاصله تا همسایه‌ها در قطعه‌نمونه‌های یک و دو به‌ترتیب ۶/۰۱ و ۸/۹ متر به‌دست آمد که بیانگر تراکم کم دو تودهٔ مورد بررسی است. در پژوهشی در جنگل‌های راش اسالم استان گیلان بیان شد که هرچه توده در مراحل پیشرفته‌تری از تحول قرار داشته باشد، متوسط فاصلهٔ درختان نیز از یکدیگر بیشتر می‌شود [۲۶].

جدول ٤. میانگین شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه برای کل گونه‌ها در توده‌های مورد بررسی

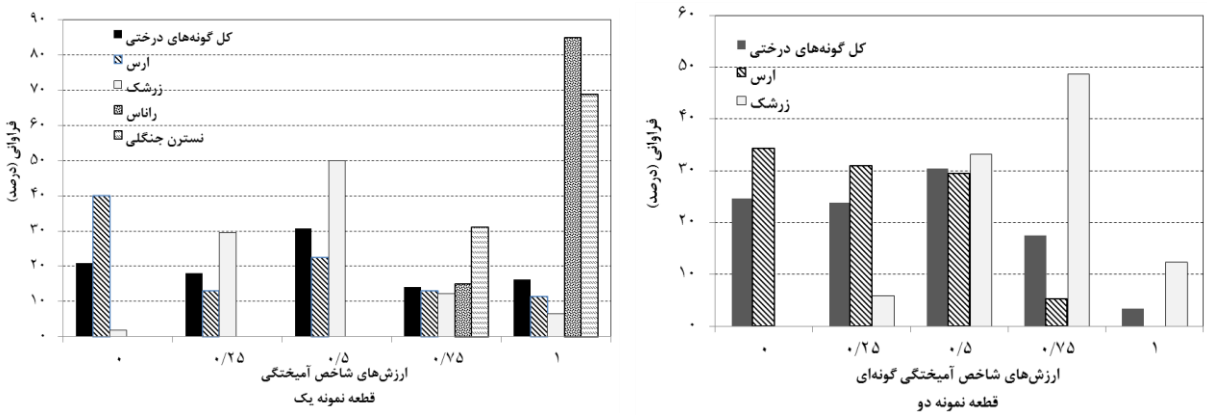
ویژگی	شاخص	قطعه نمونهٔ یک	قطعه نمونهٔ دو	تشریح
–	تعداد گروه ساختاری پیش از تصحیح حاشیه	۱۸۹	۷۵	
–	تعداد گروه ساختاری پس از تصحیح حاشیه	۱۷۵	۵۸	
رقابت	شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه	۲/۶۱	۳/۷۴	متوسط اولین درخت
تنوع الگوی مکانی	شاخص زاویهٔ یکنواخت	۰/۵۳	۰/۵۶	کپه‌ای
	شاخص کلارک و ایوانز	۰/۷۳	۰/۶۶	
تنوع آمیختگی گونه‌ای	شاخص آمیختگی	۰/۴۶	۰/۳۸	آمیختگی
تنوع ابعاد	شاخص تمایز قطری	۰/۴۲	۰/۵۹	
	شاخص تمایز تاج‌پوشش	۰/۶۴	۰/۶۱	قطر در ارتفاع نیم‌متر
	شاخص چیرگی قطری	۰/۳۴	۰/۴۲	
	شاخص چیرگی تاج‌پوشش	۰/۵۳	۰/۵۱	
تراکم	شاخص فاصله همسایگی	۶/۰۱	۸/۹	متوسط ۴ درخت
–	شاخص تنوع ساختاری ترکیبی	۰/۴۷	۰/۴۸	قطر در ارتفاع نیم‌متر

جدول ۵ میانگین شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه را به‌تفکیک گونه در توده‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، براساس مقادیر دو شاخص زاویهٔ یکنواخت و کلارک و ایوانز، الگوی پراکنش مکانی هر یک از گونه‌های مورد بررسی حالت کپه‌ای داشتند. براساس مقادیر شاخص آمیختگی در هر دو قطعه‌نمونه، گونهٔ ارس در مقایسه با دیگر گونه‌ها کمترین مقدار شاخص آمیختگی را به‌خود اختصاص داد. به‌طور کلی، ارس با مقدار ۰/۲۶ در قطعه‌نمونهٔ دو و راناس با مقدار ۰/۹۶ در قطعه‌نمونهٔ یک به‌ترتیب کمترین و بیشترین تمایل به آمیختگی را نسبت به درختان همسایه خود داشتند. مقدار شاخص چیرگی قطری برای ارس در قطعه‌نمونهٔ یک و دو به‌ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۵۸ محاسبه شد. در هر دو قطعه‌نمونه، مقدار شاخص چیرگی قطری برای سایر گونه‌ها صفر بود. با توجه به اینکه تمامی درختان همسایهٔ ارس را درختچه‌ها تشکیل داده که غالباً قطرشان به‌مراتب کمتر از درختان ارس بود و هیچ‌گونه درختی به‌غیر از ارس در تودهٔ مورد بررسی حضور نداشت، این نتیجه دور از انتظار نبود. چیرگی بین درختان نقش مهمی در یک توده دارد و بر سرنوشت هر گونه تأثیرگذار است. ناهمگنی مکانی منابع نور ایجاد شده توسط درختان، به گونه‌های متعدد اجازه می‌دهد تا با استفاده از مبادلهٔ بین پارامترهای مختلف، همزیستی

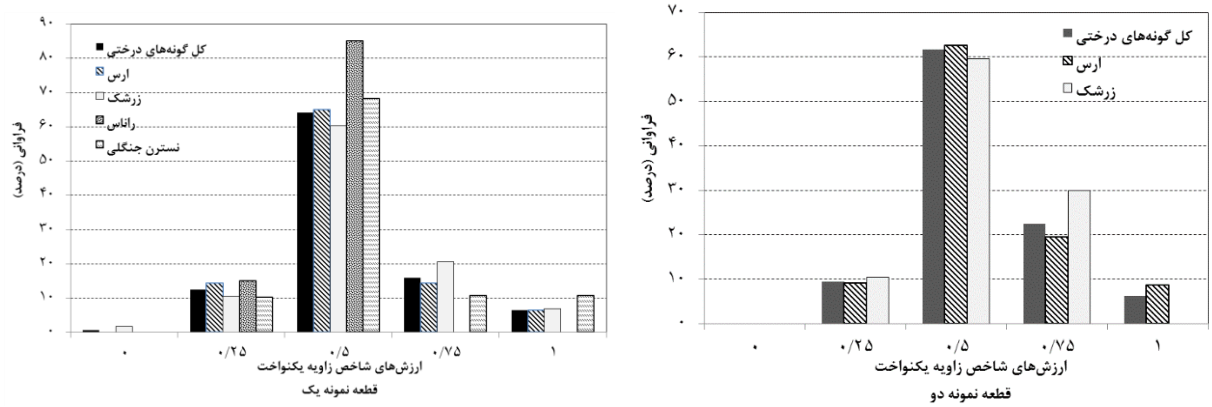
کنند [۲۷]. رویش در توده ممکن است با چیرگی افزایش، کاهش یا بدون تغییر باقی بماند. چیرگی را می‌توان به‌سادگی به‌عنوان تعداد درختان بزرگ در اطراف درخت مرجع توصیف کرد [۲۸]. بیشترین مقدار شاخص تنوع ساختاری ترکیبی در قطعه‌نمونه‌های یک و دو به‌ترتیب در نسترن (۰/۶۸) و زرشک (۰/۶۱) به‌دست آمد. همچنین، به‌منظور تحلیل بهتر شاخص‌های مذکور، در شکل‌های ۲ تا ۴ نمودار توزیع ارزش شاخص‌های مورد بررسی به‌تفکیک گونه ارائه شد.

جدول ۵. میانگین شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه به‌تفکیک گونه در قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه

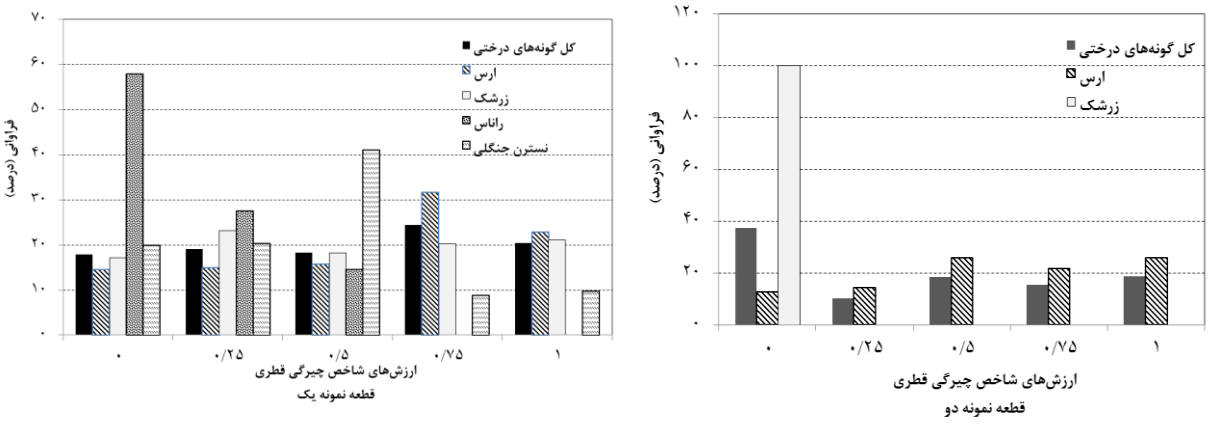
قطعه‌نمونه	گونه یا درخت شاهد	تعداد گروه ساختاری		شاخص ساختاری									
		پیش از تصحیح حاشیه	پس از تصحیح حاشیه	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه	زاویه یکنواخت	کلارک و ایوانز	آمیختگی	تمایز قطری	تمایز تاج‌پوشش	چیرگی قطری	چیرگی تاج‌پوشش	فاصله همسایگی	تنوع ساختاری ترکیبی
یک	ارس	۹۴	۸۳	۱/۰۵	۰/۵۳	۰/۶	۰/۳۶	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۵۸	۶/۵۱	۰/۴۶
	زرشک	۷۶	۷۴	۲/۰۷	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۶۳	۰	۰/۵۱	۵/۷۱	۰/۴۵
	راناس	۸	۸	۱/۰۴	۰/۴۶	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۱۲	۰/۷۱	۰	۰/۱۴	۴/۳۳	۰/۶۴
	نسترن	۱۱	۱۰	۱/۰۹	۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۹۲	۰/۳	۰/۵۴	۰	۰/۴۲	۴/۹۵	۰/۶۸
دو	ارس	۵۴	۴۱	۳/۶۳	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۲۶	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۴۹	۹/۲۵	۰/۴۲
	زرشک	۲۱	۱۷	۳/۹	۰/۵۵	۰/۳۵	۰/۶۷	۰/۵۵	۰/۵۳	۰	۰/۵۹	۸/۰۲	۰/۶۱



شکل ۲. نمودارهای توزیع مقادیر شاخص آمیختگی به‌تفکیک گونه در قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۳. نمودارهای توزیع مقادیر شاخص زاویهٔ یکنواخت به‌تفکیک گونه در قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ٤. نمودارهای توزیع مقادیر شاخص چیرگی قطری به‌تفکیک گونه در قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش ویژگی‌های ساختاری توده‌های ارس در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ پرور استان سمنان را نشان داد. به‌رغم اینکه منطقهٔ مورد مطالعه جزء مناطق حفاظت‌شده تحت مدیریت سازمان حفاظت محیطزیست قرار دارد، اما آثار تخریب و تأثیر آن بر ساختار این توده‌های ارزشمند مشهود بود، به‌طوری‌که در نواحی نزدیک‌تر به مناطق مسکونی و قابل دسترس‌تر (قطعه‌نمونه دو)، این تخریب بیشتر نمایان شده بود. این موضوع در نواحی دیگر جنگلی کشور نیز مورد تأکید قرار گرفته است [۲۹، ۳۰]. از آنجاکه این پژوهش با هدف نهایی پایش توده‌های جنگلی ارس طراحی شده و این نتایج گام اول در این راستا است، برداشت دوره‌ای داده‌ها در همین قطعات می‌تواند روند تغییرات و دینامیک ساختار در طول زمان را در این توده‌ها به‌خوبی نشان دهد. در این‌صورت می‌توان به استناد نتایج به‌دست آمده، به‌صورت مستدل تخریب این توده‌ها را نمایان و گوشزد کرد. شاید این نتایج بتوانند در راستای مدیریت بهینهٔ این منابع گرانقدر به‌کار گرفته شوند.

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] Kartoolinejad, D., Ravanbakhsh, H., Fadaei, Z., Moshki, A.R. & Nikouee, E. (2024). Infection of juniper trees (*Juniperus excelsa*) to juniper dwarf mistletoeM. Bieb) *Arceuthobium oxycedri* (D.C.) M. Bieb) in forests of Miankouh Tash protected area, Shahroud. *Iranian Journal of Forest*, 15(4), 497-514 (in Persian).

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

[4] 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.

[5] Moridi, M., Fallah, A., Pourmajidian, M.R. & Sefidi, K. (2023). Spatial pattern and intra-specific competition of beech trees in the development stage of volume accumulation in Hyrcanian forest (Case study: Kheyroud forest, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest*, 15(3), 167-178. (In Persian)

[6] Pommerening, A. & Stoyan, D. (2008). Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbour summary statistics measured in small subwindows. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(5), 1110-1122.

[7] Ramin, M., Shataei, Sh., Habashi, H. & Khoshnevis, M. (2012). Investigation on some quantitative and qualitative characteristics of Juniper stands in Aminabad of Firouzkoh. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19(3), 21-40. (In Persian)

[8] 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)

[9] 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(2), 207-220. (In Persian)

[10] Anonymous (2010). Comprehensive management plan (explanatory-detailed) of Pervar protected area-Semnan, vol. six: Vegetation. Department of Environment, Tehran.

[11] Ferretti, M. & Fischer, R. (2013). Forest monitoring; methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia. Elsevier, Netherland.

[12] Alberdi, I., Condés, S. & Martínez-Millán, J. (2010). Review of monitoring and assessing ground vegetation biodiversity in national forest inventories. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1), 649-676.

[13] Pommerening, A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 75(3), 305-324.

[14] 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.

[15] Corral, J.J., Wehenkel, C., Castelanos, H.A., Vargas, B. & Dieguez, U. (2010). A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. *Journal of Forest Research*, 15(4), 218-225.

[16] Szmyt, J. & Korzeniewicz, R. (2014). Do natural processes at the juvenile stage of stand development differentiate the spatial structure of trees in artificially established forest stands? *Journal of Forest Research*, 75(2), 171-179.

[17] Graz, P.F. (2004). The behavior of the species mingling index Msp in relation to species dominance and dispersion. *European Journal of Forest Research*, 123(1), 87-92.

[18] Pastorella, F. & Paletto, A. (2013). Stand structure indices as tools to support forest management: an application in Trentino forests (Italy). *Journal of Forest Science*, 59(4), 159-168.

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

[20] Wan, P., Zhang, G., Wang, H., Zhao, Z., Hu, Y., Zhang, G. & Liu, W. (2019). Impacts of different forest management methods on the stand spatial structure of a natural *Quercus aliena* var. *acuteserrata* forest in Xiaolongshan, China. *Ecological Informatics*, 50, 86-94.

[21] Brunner, A. & Forrester, D.I. (2020). Tree species mixture effects on stem growth vary with stand density–An analysis based on individual tree responses. *Forest Ecology and Management*, 473, 118334.

[22] 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)

[23] Lou, Zh., Ding, B., Mi, X., Yu, J. & Wu, Y. (2009). Distribution patterns of tree species in an evergreen broadleaved forest in eastern china. *Frontiers of Biology in China*, 4(1), 531-538.

[24] Sohrabi, H. (2014). Spatial pattern of woody species in Chartagh forest reserve, Ardal. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(1), 27-38. (In Persian)

[25] Liu, D., Zhou, C., He, X., Zhang, X., Feng, L. & Zhang, H. (2022). The effect of stand density, biodiversity, and spatial structure on stand basal area increment in natural spruce-fir-broadleaf mixed forests. *Forests*, 13(2), 162.

[26] Nobahar, S., Sefidi, K. & Sagheb-Talebi, Kh. (2018). Quantifying the structure of beech stands at old growth phase (Case study: Asalem forests, northern Iran). *Journal of Forest Research and Development*, 4(1), 85-96. (In Persian)

[27] Binkley, D. (2004). A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. *Forest Ecology and Management*, 190(2-3), 265-271.

[28] Ou, Q., Lei, X., & Shen, C. (2019). Individual tree diameter growth models of larch–spruce–fir mixed forests based on machine learning algorithms. *Forests*, 10(2), 187.

[29] Javanmiri Pour, M., Hassanzadeh, A., Parvaneh, R. & Mashayekhi, Z. (2022). Quantification of the destruction of structural characteristics in the areas of Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) slash and burn agricultural areas in Zagros ecosystems. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 30(2), 164-179. (In Persian)

[30] Ravanbakhsh, H., Pourhashemi, M., Hamzeh`ee, B., Rashidi, F., Iranmanesh, Y., Bordbar, S.K., Jahanbazy, H., Ramak, P., Rastegar, A., Zarafshar, M., Alimahmoodi Sarab, S., Askari, Y., Khanhasani, M., Mohammadian, A., Mohammadpour, M., Negahdarsaber, M.R., Henareh, J., Najafifar, A. & Rahimi, H. (2024). Reproduction and the importance of nurse species in the monitoring plots of Zagros forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 32(1), 61-76. (In Persian)