University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

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

Quantification of structural diversity of *Pistacia atlantica* Desf. and *Juniperus excelsa* M. Bieb. forest stands (Case study: Irano-Turanian region, East Azerbaijan, Iran)

Raheleh Ostadhashemi[1] | Khosro Sagheb-Talebi[2] | Akbar Abdi Ghazi Jahani[3] | Javad Sheikhzadeh[4]

1. Corresponding Author, Forests and Rangelands Research Department, East Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Tabriz, Iran. Email: r.ostadhashemi@areeo.ac.ir
2. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: saghebtalebi@rifr-ac.ir
3. Forests and Rangelands Research Department, East Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Tabriz, Iran. Email: a.abdi@areeo.ac.ir
4. Forests and Rangelands Research Department, East Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Tabriz, Iran. Email: sheikhzadejavad@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 11 March 2024
Revised: 14 May 2024
Accepted: 02 July 2024
Published online: 10 September 2024

Keywords:
Crown area differentiation,
Forest structure,
Spatial pattern,
Species mingling.

ABSTRACT

This research aimed to quantify the structure of juniper and pistachio forest stands. To achieve this, two one-hectare sample plots were randomly selected: *Pistacia atlantica* in the Eslami Island region and *Juniperus excelsa* M. Bieb. in the Kaghazkonan region. Quantitative measurements included diameter at breast height (DBH), collar diameter, tree height, and crown diameter for all trees. The spatial pattern of the two stands was analyzed using the distance-azimuth method, and structural diversity was assessed in terms of species mingling, tree dimensions, and spatial position based on the four nearest neighbors method. The results showed that the most abundant species were *P. atlantica* and *Ephedra major* in plot 1, and *J. excelsa* and *Cotoneaster nummularioides* in plot 2. The average DBH and canopy cover were 22 cm and 569.5 m² in plot 1, and 4 cm and 1195 m² in plot 2, respectively. Species mingling was low in plot 1 (0.31), while plot 2 had higher mingling (0.5). Additionally, crown area differentiation was high, while height differentiation was intermediate in both stands. The mean distances between trees, 7.4 m in plot 1 and 2.8 m in plot 2, indicated sparse and dense stands, respectively. The assessment of structural diversity showed high values for both stands, with plot 2 (0.539) having significantly higher diversity than plot 1 (0.459). This highlights the importance of species mixture in the structural diversity of forest stands. This information serves as an important tool for silvicultural interventions, monitoring, and evaluating forest stand management effectiveness.

Cite this article: Ostadhashemi, 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. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.373745.1286

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.373745.1286

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

اندازه‌گیری تنوع ساختاری توده‌های جنگلی ارس و بنه (مطالعهٔ موردی: ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی، آذربایجان شرقی)

راهله استادهاشمی[۱] | خسرو ثاقب طالبی[۲] | اکبر عبدی قاضی جهانی[۳] | جواد شیخ‌زاده[۴]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. رایانامه:r.ostadhashemi@areeo.ac.ir

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

۳. بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. رایانامه: a.abdi@areeo.ac.ir

۴. بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. رایانامه: sheikhzadejavad@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

کلیدواژه:
آمیختگی گونه،
الگوی مکانی،
تمایز سطح تاج درختان،
ساختار جنگل.

چکیده

این پژوهش با هدف کمی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی ارس و بنه انجام شد. بدین‌منظور، تودهٔ بنه (*Pistacia atlantica*) در جزیرهٔ اسلامی و تودهٔ ارس (*Juniperus excelsa*) در منطقهٔ کاغذکنان درنظر گرفته شدند و در هرکدام، یک قطعه‌نمونهٔ مربعی شکل دائمی یک‌هکتاری به‌طور تصادفی پیاده شد. متغیرهای کمی قطر برابر سینه (DBH) و یقه، ارتفاع، قطر بزرگ تاج و قطرعمود بر آن 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 بر اساس روش نزدیک‌ترین چهار همسایه تعیین شد. نتایج نشان داد در قطعه‌نمونهٔ بنه، بیشترین فراوانی گونه‌ای شامل *Pistacia atlantica* و *Ephedra major* و در قطعه نمونهٔ ارس، *Juniperus excelsa* و *Cotoneaster nummularioides* بود. میانگین DBH و سطح تاج‌پوشش در رویشگاه ارس ۴ سانتی‌متر و ۱۱۹۵ متر مربع و در رویشگاه بنه ۲۲ سانتی‌متر و ۵۶۹/۵ متر مربع بود. میانگین شاخص آمیختگی ۰/۳۱ و ۰/۵۰۲ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ آمیختگی گونه‌ای کم در تودهٔ بنه و آمیختگی زیاد در تودهٔ ارس بود. در هر دو توده اختلاف سطح تاج درختان زیاد و اختلاف ارتفاع درختان متوسط بود. مقدار متوسط فاصله ۲/۸ و ۷/۴ متر به‌ترتیب نشان داد که تودهٔ ارس، متراکم و تودهٔ بنه، تنک بود. ارزیابی نهایی نشان داد، تنوع ساختاری هر دو توده زیاد، اما تنوع ساختاری ارس (۰/۵۳۹) نسبت به بنه (۰/۴۵۹) در سطح معنی‌داری (۵ درصد) بیشتر بود که اهمیت آمیختگی گونه‌ای در تنوع ساختاری را نمایان ساخت. اطلاعات به‌دست آمده، ابزار مهمی برای دخالت‌های پرورشی در توده، پایش و ارزیابی کارآمدی مدیریتی محسوب می‌شوند.

استناد: استادهاشمی، راهله؛ ثاقب طالبی، خسرو؛ عبدی قاضی جهانی، اکبر؛ شیخ‌زاده، جواد (۱۴۰۳). اندازه‌گیری تنوع ساختاری توده‌های جنگلی ارس و بنه (مطالعهٔ موردی: ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی، آذربایجان شرقی). *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۷ (۲)، ۱۱۰–۹۷. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.373745.1286

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.373745.1286

۱. مقدمه

ساختار جنگل یکی از ویژگی‌های مکانی جنگل‌هاست که تأثیر زیادی بر روند رشد درختان دارد. هر درختی در تغییرات ساختار جنگل در دورهٔ طولانی‌مدت رشد خود دخیل است و ساختار کل درختان بر روی اکوسیستم جنگلی اثرگذار است [۱]. به‌عبارت دیگر، ساختار تودهٔ جنگلی سه جنبهٔ مهم تنوع الگوی مکانی درختان، تنوع گونه‌ای درختان و تنوع ابعاد درختان را بررسی می‌کند [۱، ۲]. ساختار جنگل نقش کلیدی در اجرای کارکردهای چندگانه جنگل ایفا می‌کند. بسیاری از کارکردهای زیستی مانند حفظ تنوع، جلوگیری از فرسایش و ایجاد رواناب کاملاً تحت تأثیر ساختار جنگل‌ها قرار دارد. شاخص‌های ساختار توده و تنوع گونه‌ای، دو ویژگی عملکردی و اکولوژیک مهم در اکوسیستم جنگلی هستند [۳]. ساختار توده‌های جنگلی بیانگر برآیندی از کنش‌ها و واکنش‌های بین درختان و بین درختان و محیط در تودهٔ جنگلی است [۴]. گسترش مکانی درختان در یک تودهٔ جنگلی رابطهٔ تنگاتنگی با شکل‌گیری فرآیندهای اکولوژیک دارد. الگوی مکانی جنگل تعیین‌کنندهٔ رقابت بین درختان، فعل و انفعالات محیطی، روابط درون‌گونه‌ای، پایداری و ویژگی‌های خارجی محیطی است و همچنین زیستگاه‌هایی را نیز برای حیوانات، گیاهان و میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند [۵]. ساختار توده که خود متشکل از مشخصه‌هایی از جمله اندازه، تعداد، ترکیب و ناهمگنی درختان است، مؤلفهٔ حیاتی برای کارآمدی و بالندگی اکوسیستم و پیچیدگی رویشگاه است. از آنجا که در برنامه‌های مدیریتی جنگل، با تغییر ساختار توده می‌توان کارکردهای اکوسیستم جنگلی را تغییر داد، در نتیجه نقش مشخصه‌های درختان در شناخت ساختار توده‌ها مشخص می‌شود [۶]. Pommerening و همکاران (۲۰۲۰) فرضیهٔ رابطهٔ بین آمیختگی گونه‌ای و اندازهٔ درختان را ثابت کردند و نشان دادند که درختان با آمیختگی گونه‌ای بیشتر در اطراف خود، اندازهٔ بزرگ‌تری دارند [۷]. در تحقیقی دیگر Yue و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که با افزایش فاصله بین درختان و کم شدن تراکم، رشد درختان و ناهمگنی بیولوژیک بیشتر می‌شود که خود باعث تغییر ساختار است [۸]. تنوع چیدمان گونه‌ای و اندازه‌ای درختان در جنگل باعث پدید آمدن ویژگی‌های بسیار زیاد و پیچیده در اکوسیستم‌های جنگل می‌شود که نتیجهٔ فعل و انفعالات بین ساختارهای مکانی کوچک‌تر است [۹]. شاخص‌هایی برای کمی کردن و تجزیه و تحلیل ساختار توده‌های جنگلی وجود دارد که براساس نوع آمیختگی گونه‌های درختی، اندازهٔ درختان و موقعیت مکانی آنها، نتایج قابل قبول و با دقت زیادی ارائه می‌دهند و استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند در آسان کردن درک روابط پیچیده ساختارهای جنگلی مؤثر باشند [۱]. بسیاری از این شاخص‌ها، برمبنای فاصله (درخت مبدأ و درختان همسایه) محاسبه می‌شوند. مطالعات زیادی در مورد ساختار جنگل‌ها با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر فاصله انجام شده است که نشان از کارایی زیاد این شاخص‌ها دارد. Pommerening (۲۰۰۶) با استفاده از شاخص‌های مختلف به ارزیابی و شبیه‌سازی ساختار توده‌های جنگلی پرداخت و بیان کرد که برای محاسبهٔ شاخص‌ها، استفاده از سه تا چهار همسایهٔ مجاور در واحد ساختاری، بهترین نتیجه را برای مدل‌سازی ساختار نشان داده است [۱۰]. Wang و همکاران (۲۰۱۶) نیز به نتیجهٔ مشابهی دست یافتند که برای تجزیه و تحلیل ساختار جنگل، باید تعداد درختان همسایه در واحدهای ساختاری ثابت باشد و استفاده از چهار همسایهٔ مجاور را از نظر دقت و هزینه در اجرای کار، مناسب دانستند [۱۱]. همچنین، Dong و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که شاخص‌های ساختاری به‌دست آمده براساس نزدیک‌ترین همسایه، می‌توانند در میزان برداشت درخت در تودهٔ جنگلی کاربرد داشته باشند که به رشد درختان و پایداری توده کمک می‌کند. آنها دو شاخص آمیختگی گونه‌ای و میزان همپوشانی تاج درختان (C)[1] را مهم‌ترین عوامل در مدیریت ساختار جنگل معرفی کردند [۱۲].

ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی که بزرگ‌ترین ناحیه را از نظر وسعت در ایران دارد، دارای دو بخش کوهستانی و دشتی است که سهم مهمی در پوشش درختی و درختچه‌ای سرزمین ایران دارند. برخی از جنس‌های مهم جنگلی در این ناحیه عبارتند از بنه (Pistacia)، بادام (Amygdalus)، ارس (Juniperus) و تاغ (Haloxylon). همچنین، از نظر ساختار فیتوسوسیولوژی در این جنگل‌ها، جوامع جنگلی ارس در مناطق مرتفع، بنه–بادام در ارتفاعات میانی و تاغ و گز در مناطق بیابانی رویش دارند [۱۳]. این درختان بیشتر به‌صورت تک‌پایه باقی مانده و به‌ندرت جوامعی از آنها دیده می‌شود. بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و ارس (*Juniperus excelsa* M. B.) از گونه‌های شاخص ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی هستند و از معدود گونه‌هایی هستند که در شرایط

[1] Crowdedness

سخت اکولوژیک و محیطی مستقر و در مناطق وسیعی با اقلیم‌های خشک تا نیمه‌مرطوب ایران پراکنش دارند و می‌توانند به‌صورت خالص و یا همراه با سایر گونه‌های دیگر از قبیل بادام (*Amygdalus* spp.)، بلوط (*Quercus* spp.) و افرا (*Acer* spp.) تشکیل تیپ دهند [۱۴]. گونهٔ بنه اهمیت زیادی در حفاظت از خاک دارد و برای کاشت در مناطق خشک مناسب است. این گونه بیشترین زنده‌مانی و رشد را در مقایسه با دیگر درختان در مناطق نیمه‌خشک دارد [۱۵]. ارس نیز نقش مهمی در حفظ آب، خاک و غنای زیستی دارد و پس از بنه، بیشترین پراکنش را در بین درختان بومی ایران دارد [۱۶].

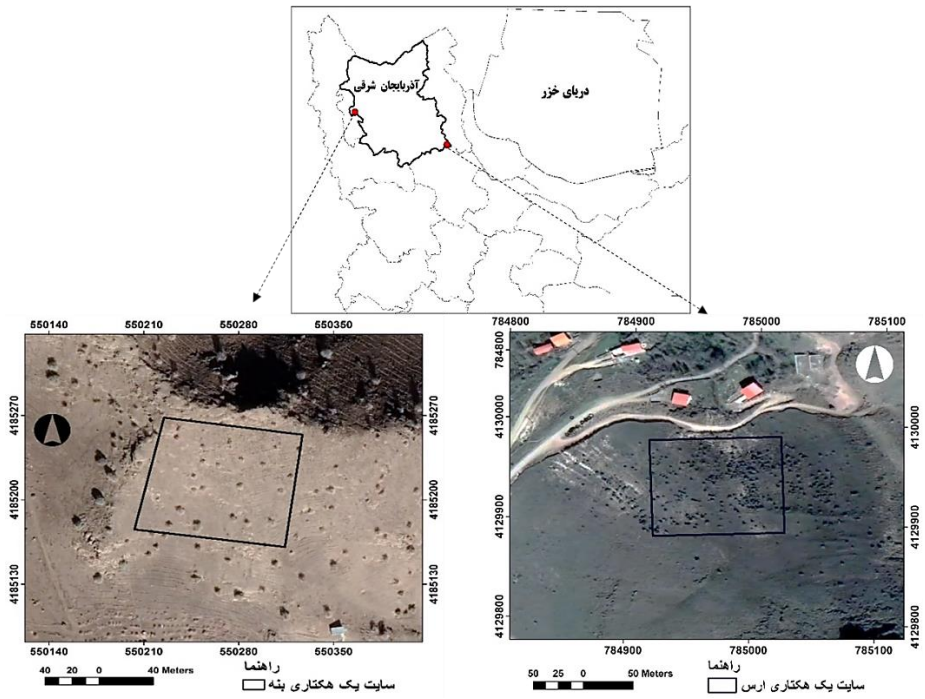
مطالعات متعددی درمورد خصوصیات کمی و ساختاری این دو گونه در مناطق رویشی ایران–تورانی کشور انجام شده است. Rostamikia و Zobeiri (۲۰۱۳) با بررسی ساختار تودهٔ ارس در منطقهٔ کندرق خلخال نشان دادند با وجود تراکم زیاد توده، درصد تاج‌پوشش (۴۲/۸) و رویهٔ زمینی (۴/۷ متر مربع) درختان کم است. آنها این توده را از نظر ساختاری، تودهٔ آمیخته، ناهمسال و با تاج‌پوشش باز ارزیابی کردند و از نظر آمیختگی، ارس بیشترین درصد آمیختگی (۵۵ درصد) را داشت [۱۷]. در پژوهشی دیگر که توسط Sadeghi و همکاران (۲۰۱۶) در منطقهٔ آتشگاه در دامنهٔ جنوبی البرز انجام شد، بررسی ساختار تودهٔ ارس (*Juniperus excelsa*) نشان داد که الگوی پراکنش این گونه، یکنواخت با رقابت تاجی کم و اختلاف ابعاد سطح تاج زیاد است. همچنین، از نظر تنوع گونه‌ای، خالص و آمیختگی آن صفر است. شاخص تنوع ساختار نیز با مقدار ۰/۲۲۷ نشان‌دهندهٔ کم بودن تنوع در این توده بود [۱۸]. Garavand و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی ساختار تودهٔ بنه در دو منطقهٔ قرق و غیر قرق نشان دادند که تودهٔ مورد مطالعه در منطقهٔ قرق ناهمسال و تیپ غالب آن بنه–افدرا بوده و ویژگی‌های کمی درختان بنه از قبیل تعداد در هکتار (۶۴)، سطح مقطع (۲/۱۷ متر مربع) و ارتفاع (۶/۶ متر) در منطقهٔ قرق بیشتر از منطقهٔ غیر قرق بود [۱۹]. در تحقیقی دیگر Zare و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی جنگل تحقیقاتی فیروزآباد فارس در منطقهٔ زاگرس نشان دادند که تودهٔ بنه با تراکم درختی ۱۹/۵ اصله در هکتار، بسیار تنک بوده و میانگین سطح تاج درختان، ۲۶/۷ متر مربع با تاج‌پوشش ۵ درصد است. آنها نشان دادند که روش نزدیک‌ترین همسایه و تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد، برای برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه از کارآیی مناسب برخوردارند [۲۰]. Ghanbari و Sefidi (۲۰۱۸) با ارزیابی ساختار جوامع آردوج (*Juniperus foetidissima* Willd.) در ارسباران نشان دادند که الگوی مکانی درختان یکنواخت (۰/۲۴)، اختلاف ابعاد قطر و ارتفاع کم (کمتر از ۰/۳) و تعداد در هکتار نیز کم (۶۱) بود، یعنی جوامع ارس در ارسباران همگن، تنک و خالص هستند [۲۱]. در پژوهشی دیگر Sefidi و همکاران (۲۰۱۸) ساختار مکانی رویشگاه ارس در منطقهٔ کندرق خلخال را بررسی کرده و نشان دادند که پراکنش مکانی توده‌های ارس یکنواخت بوده و آمیختگی کمی با گونه‌های درختی دیگر دارند. همچنین تنوع ساختاری این توده‌ها (۰/۲۳) کم و توده همگن بود [۲۲]. پژوهشی نیز توسط Zandebasiri و همکاران (۲۰۲۳) در رویشگاه کره‌بس در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد و مشخصه‌های ساختاری دو گونهٔ *Pistacia atlantica* و *Prunus arabica* بررسی شد. نتایج آنها نشان داد که گونه *Prunus arabica* از تنوع ساختاری (۰/۵۵) بیشتری برخوردار است که دلیل آن را بیشتر بودن شاخص آمیختگی (۰/۶) عنوان کردند. آنها بیان کردند که ساختار توده‌ها بستگی به شرایط اقتصادی–اجتماعی منطقه، دخالت‌های انسانی و تنوع گونه‌ای دارد [۲۳].

تخریب و کاهش سطح جنگل‌های ایران–تورانی از دو جنبهٔ طبیعی و اجتماعی قابل بررسی است. تخریب این رویشگاه‌ها باعث از دست رفتن کارکردهای اصلی آن‌ها (حفظ منابع آب و خاک، تنوع زیستی و ذخایر ژنتیکی و تعدیل آب و هوا) می‌شود و ادامهٔ این روند چالش جدی برای پایداری سرزمین‌مان ایجاد می‌کند. بر این اساس، حفظ پایداری اکوسیستم‌های جنگلی باقیمانده و استمرار کارکرد این منابع، نیازمند شناخت وضعیت موجود آنها و در قدم بعد بررسی روند تغییرات آنهاست. با توجه به اهمیت دو گونهٔ اصلی و شاخص منطقهٔ ایران–تورانی که در مناطقی از استان آذربایجان شرقی به‌صورت خالص و تقریباً دست‌نخورده باقی مانده‌اند، این پژوهش به مطالعه و کمی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی خالص و طبیعی ارس و بنه در دو منطقهٔ جزیرهٔ اسلامی و کاغذکنان می‌پردازد تا علاوه بر بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری منحصر به‌فرد گونه‌های مهم منطقهٔ ایران–تورانی، با مقایسهٔ مشخصه‌های کلی ساختار توده‌های خالص، تفاوت در ناهمگنی‌های ساختاری در این توده‌های طبیعی را آشکار کند. از این اطلاعات می‌توان در بیان خصوصیات کلی این توده‌ها استفاده کرد و همچنین به‌عنوان مرجعی برای مدیریت هماهنگ و پایدار جنگل‌های ایرانی–تورانی متناسب با شرایط ساختاری هر توده، مطالعات بیشتر و پایش تغییرات مورد استفاده قرار گیرد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. مناطق مورد مطالعه

برای انجام این پژوهش، با جنگل‌گردشی دو قطعه‌نمونهٔ ثابت مربعی شکل یک هکتاری که نمایندهٔ مناسبی از کل تودهٔ ارس و بنه در منطقه بود، انتخاب شد. این دو توده با درنظر گرفتن ویژگی‌های انتخاب رویشگاه براساس ترکیب رستنی یکنواخت، شرایط رویشگاهی یکنواخت و بدون اثرات حاشیه‌ای و در دسترس بودن انتخاب شدند [۲۴]. منطقهٔ حفاظت‌شده کاغذکنان از توابع شهرستان میانه و در حوزهٔ رودخانهٔ قزل‌اوزن قرار دارد. این محدوده دارای کمترین ارتفاع ۷۰۰ متر در قسمت دشت و بیشترین ارتفاع ۲۱۰۰ متر در ارتفاعات (مرز اردبیل) است. این منطقه از نظر واحدهای ژئومورفولوژی دارای سه واحد کوهستانی، تپه‌ای و دشتی بوده و رودخانهٔ قزل‌اوزن به‌عنوان زیستگاه آبی و یک خرد زیستگاه داخل منطقهٔ حفاظت‌شده کاغذکنان قرار دارد که اهمیت اکولوژیک آن‌را دو چندان می‌نماید. متأسفانه ایستگاه هواشناسی در این منطقه وجود ندارد و تنها اطلاعاتی از مرکز باران‌سنجی آن موجود است که میانگین بلندمدت بارندگی ماهانهٔ (دورهٔ ده ساله) آن را ۲۶ میلی‌متر نشان می‌دهد . قطعه‌نمونهٔ انتخاب‌شده ارس در منطقهٔ کاغذکنان در عرض شمالی ″۲۱ ′۱۶ °۳۷ و طول شرقی ″۴۹ ′۱۲ °۴۸ قرار گرفته است. جهت جغرافیایی عمومی آن شمال غربی، ارتفاع از سطح دریا بین ۱۶۹۸-۱۶۳۸ متر و شیب عمومی۵۰ درصد بود. جزیرهٔ اسلامی در شرق دریاچه ارومیه قرار دارد و به‌علت خشک شدن قسمت زیادی از دریاچه، به‌صورت شبه‌جزیره شده است و بزرگترین جزیره در دریاچه به‌شمار می‌آید. این منطقه دارای زمستان‌های سرد تا ملایم که دمای آن تا منهای ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد و دمای تابستان‌های گرم و خشک آن تا حداکثر ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. از گونه‌های گیاهی موجود در منطقه می‌توان به بنه، ارس، تنگرس، زرشک، شیرخشت، ریش‌بز، کاروانکش، گون و کلاه میرحسن اشاره کرد [۲۵]. ایستگاه هواشناسی در این منطقه نیز وجود ندارد و تنها اطلاعاتی از ایستگاه دریاچه ارومیه وجود دارد که میانگین بلندمدت بارندگی ماهانهٔ (دوره پنج ساله) آن را ۱۱ میلی‌متر و میانگین بلندمدت دما (دوره پنج ساله) را ۱۹ درجهٔ سانتی‌گراد نشان می‌دهد. قطعه‌نمونهٔ بنه در منطقهٔ جزیره اسلامی (ایستگاه منابع طبیعی) در عرض شمالی ″۴۷ ′۴۸ °۳۷ و طول شرقی ″۱۶ ′۳۴ °۴۵ واقع شده که از سال ۱۳۷۲ تحت مدیریت قرق قرار دارد. جهت جغرافیایی عمومی این قطعه‌نمونه جنوب شرقی، ارتفاع از سطح دریا بین ۱۴۱۷-۱۳۷۲ متر و شیب عمومی۵۰ درصد بود (شکل ۱). چهار گوشهٔ هر قطعه‌نمونه با GPS ثبت و مرز قطعه‌نمونه‌ها مشخص شدند.



شکل ۱. موقعیت قطعه‌نمونهٔ یک هکتاری ارس (سمت راست) در کاغذکنان و بنه (سمت چپ) در جزیرهٔ اسلامی در استان آذربایجان شرقی

۲-۲. روش پژوهش

برای بررسی ساختار عمودی و افقی توده‌های مورد مطالعه، آماربرداری صددرصد درختان و درختچه‌ها در قطعات نمونه انجام شد. در این پژوهش، گیاهان چوبی با ارتفاع بیشتر از ۰/۵ متر اندازه‌گیری شدند [۲۶]. مشخصه‌های اندازه‌گیری شده شامل گونه، فرم رویشی (درختچه و درخت)، قطر برابر سینه و قطر یقه، ارتفاع کل، قطر بزرگ تاج و قطر عمود بر آن بود. برای تعیین مختصات مکانی درختان نیز از روش فاصله-آزیموت استفاده شد، یعنی اندازه‌گیری فاصلهٔ هر درخت و درختچه تا مبدأ و آزیموت آنها و تبدیل به مختصات دکارتی (x, y) بود. با استفاده از اندازه‌گیری‌های فوق، متغیرهای ساختاری دیگری از قبیل سطح تاج (براساس دو قطر اندازه‌گیری شده و فرض بیضی بودن تاج)، درصد انبوهی (تاج‌پوشش) و تراکم (براساس تعداد و رویهٔ زمینی) محاسبه شد.

برای کمی‌سازی ساختار مکانی توده‌های مورد بررسی از شاخص‌های مبتنی بر تنوع آمیختگی گونه‌ای، ابعاد درختان و موقعیت مکانی آنها براساس روش نزدیکترین چهار همسایه استفاده شد [۱]. یعنی هر گروه ساختاری متشکل از یک درخت مرجع و نزدیک‌ترین چهار درخت همسایهٔ اطراف آن بود. برای جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای و تصحیح درختان مرزی، از روش تصحیح حاشیهٔ نزدیک‌ترین همسایه (NN1) [۲۷] استفاده شد. شاخص‌های اندازه‌گیری شده در جدول یک ارائه شده‌اند.

جدول ۱. شاخص‌های ساختاری مورد استفاده در سنجش تنوع ساختاری توده‌های مورد بررسی
(در کلیهٔ روابط، n: تعداد درختان همسایه، i: درخت مرجع و j: درخت همسایه است)

ویژگی	شاخص	رابطه و اجزاء آن	دامنه شاخص	ماخذ
موقعیت درخت	کلارک و ایوانز	$CE = \frac{\bar{r}}{E(r)}$; $\bar{r}$: میانگین فاصلهٔ هر درخت تا همسایه ها ; E(r): میانگین مورد انتظار	تصادفی CE=۱ منظم CE >۱ کپه‌ای CE <۱	Szmyt, 2014
موقعیت درخت	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها	$D = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} s_{ij}$; sij = فاصله تا درختان همسایه	هر چه عدد کوچک‌تر، توده متراکم‌تر	Ruprecht *et al.*, 2010
موقعیت درخت	زاویه یکنواخت	$W = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} wj$; $w_j = \begin{cases} 1, & \alpha_j < \alpha_0 \\ 0, & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$; $\alpha_0 = \frac{360^\circ}{n+1}$	یکنواخت <۰/۵ تصادفی ۰/۵ تا ۰/۶ کپه‌ای >۰/۶	Gadow *et al.*, 1998
گونهٔ درخت	آمیختگی	$M = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} m_j$; $mj = \begin{cases} 1, & \text{گونه}_j \neq \text{گونه}_i \\ 0, & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$	کم <۰/۳ متوسط ۰/۵ تا ۰/۳ زیاد >۰/۵	Pastorella and Paletto, 2013
ابعاد درخت	تمایز سطح تاج درختان	$T_m = 1 - \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{\min(X_i, X_j)}{\max(X_i, X_j)}$; j = درختان همسایه ; X= سطح تاج درخت	کم <۰/۳ متوسط ۰/۵ تا ۰/۳ زیاد ۰/۷ تا ۰/۵ خیلی زیاد >۰/۷	Szmyt, 2016
ابعاد درخت	تمایز ارتفاع درختان	$T_m = 1 - \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{\min(Y_i, Y_j)}{\max(Y_i, Y_j)}$; j = درختان همسایه ; Y= ارتفاع درخت	کم <۰/۳ متوسط ۰/۵ تا ۰/۳ زیاد ۰/۷ تا ۰/۵ خیلی زیاد >۰/۷	Szmyt, 2016
ترکیبی	تنوع ساختاری	$SI = (w_1 \times W) + (w_2 \times M) + (w_3 \times T_m)$; w: وزن‌های مختلف شاخص‌ها	کم <۰/۳ متوسط ۰/۴ تا ۰/۳ زیاد >۰/۴	Szmyt and Dobrowolska, 2016

شاخص کلارک و ایوانز[2] پراکنش مکانی درختان در کل توده را نشان داده و انحراف آن را از یک جنگل نرمال می‌سنجد، اما شاخص زاویهٔ یکنواخت به بررسی منظم بودن موقعیت مکانی درختان مرجع نسبت به درختان همسایه خود (گروه ساختاری)

[2]Clarks & Evans index

می‌پردازد و شاخص فاصله به‌صورت مکمل با آن برای تعیین تراکم توده استفاده می‌شود. بدین‌منظور، پراکنش فاصله‌ای به طبقات ۰/۵ متر تقسیم و رسم شد. هرچه عدد شاخص بزرگ‌تر، توده‌ها تنک‌تر و هر چه کوچک‌تر، توده‌ها متراکم‌تر هستند. این شاخص در حقیقت فشار رقابتی (به‌طور عمده تاجی) را بین درخت مرجع و درختان همسایه نیز مشخص می‌کند. چنانچه مقدار این شاخص بین صفر تا ۲ 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 می‌باشد [۲۸]. شاخص آمیختگی[3]، درجهٔ آمیختگی گونه‌های درختی را در جنگل توصیف می‌کند و به‌صورت کسری از n امین نزدیک‌ترین همسایه که دارای گونه‌های متفاوتی از گونهٔ مرجع هستند، بیان می‌شود. شاخص تمایز ابعاد[4]، مقدار همگنی یا ناهمگنی درختان را از نظر اندازهٔ ابعاد مشخصه‌های مختلف بررسی می‌کند که در این تحقیق و با توجه به گونه‌های مورد مطالعه و شرایط توده‌های موجود در مناطق ایرانی–تورانی (عدم وجود قطر برابر سینه به‌دلیل ارتفاع کم یا کم بودن قطر به‌دلیل چندشاخه شدن بسیاری از درختان)، دو متغیر سطح تاج درختان [۱۸] و ارتفاع کل برای بررسی ابعاد درختان درنظر گرفته شد. درنهایت، شاخص تنوع ساختاری[5] که سه جنبهٔ موقعیت مکانی (زاویهٔ یکنواخت)، آمیختگی گونه و تمایز ابعاد (تمایز سطح تاج) را با وزن‌های مختلف تلفیق می‌کند، محاسبه شد. وزن شاخص زاویهٔ یکنواخت ۰/۳، آمیختگی گونه ۰/۵ و تمایز ابعاد سطح تاج ۰/۲ درنظر گرفته شد [۳]. همچنین، برای ارزیابی کلی دو توده، مقایسه‌ای بین شاخص‌های ساختاری دو توده با استفاده از آزمون تی–تست و پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، انجام شد. با مقایسهٔ کلی این دو توده، می‌توان از ویژگی‌های مشترک و تفاوت‌های کلی ساختار در توده‌های مختلف جنگلی ایرانی–تورانی آگاه شد. محاسبات مربوط به ویژگی‌های ساختاری توده‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS26 و محاسبات مربوط به شاخص‌های ساختاری با استفاده از مجموعه نرم‌افزاری Crancod1.3 انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

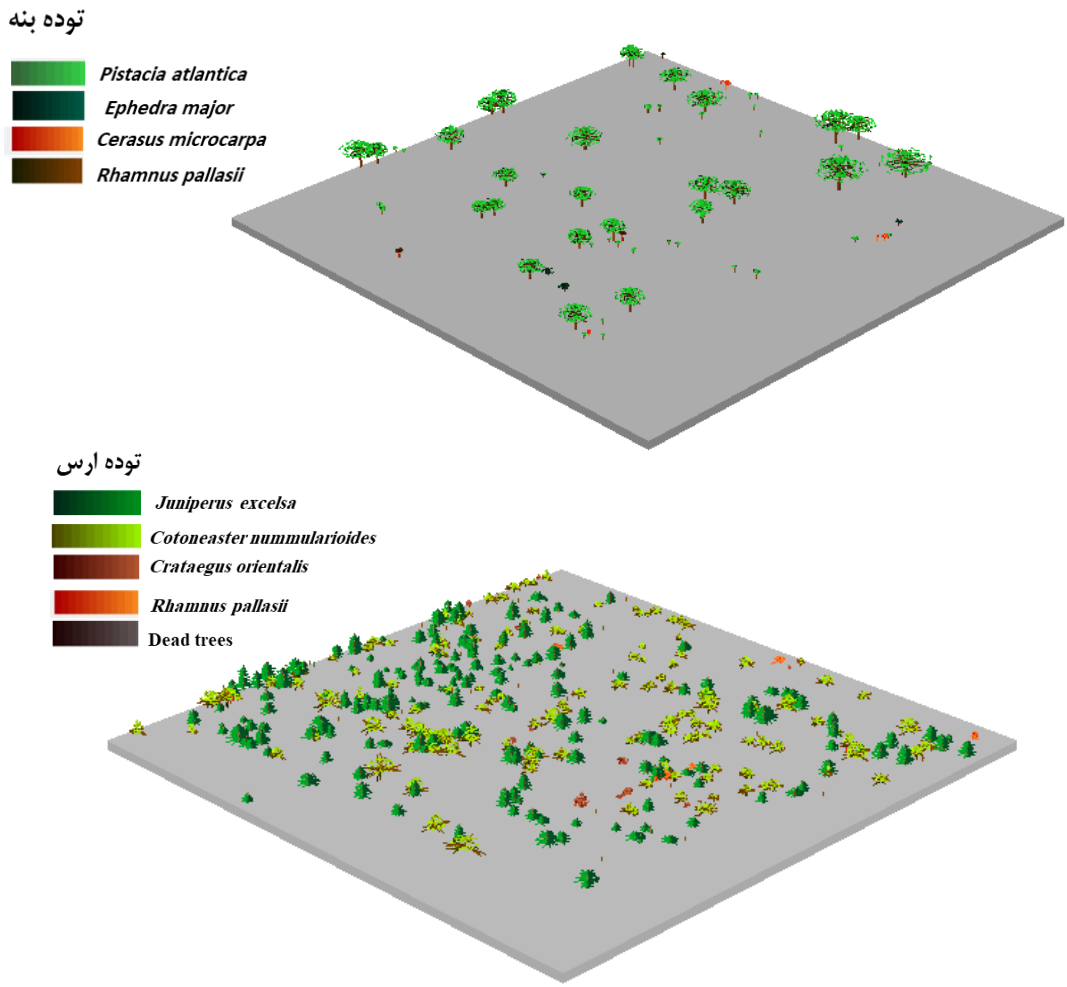
۳–۱. فراوانی گونه‌ای و مشخصه‌های کمی محاسبه شده در توده بنه و ارس

فراوانی و پراکنش گونه‌های مختلف در تودهٔ بنه نشان داد که بیشترین فراوانی مربوط به بنه با ۸۱ درصد و پس از آن افدرا (*Ephedra major*)، راناس (*Cerasus microcarpa*) و سیاه‌تنگرس (*Rhamnus pallasii*) بود. در تودهٔ ارس، بیشترین فراوانی مربوط به ارس با ۴۶/۵ درصد و پس از آن شیرخشت (*Cotoneaster nummularioides*)، زالزالک (*Crataegus orientalis*)، راناس (*Cerasus microcarpa*)، سیاه‌تنگرس (*Rhamnus pallasii*) و نسترن وحشی (*Rosa iberica*) بود (جدول ۲). ترکیب گونه‌ای در دو توده نشان داد که این توده‌ها از نظر غنای گونهٔ درختی کم و بیشترین درصد آمیختگی در توده‌ها مربوط به گونه‌های درختی اصلی (ارس و بنه) بود (شکل ۲). این گونه‌ها معمولاً همراه با گونه‌های مختلف درختچه‌ای هستند که این شرایط به‌طور عمده در مناطق جنگلی ایرانی–تورانی به‌چشم می‌خورد [۱۹، ۲۱].

جدول۲. فراوانی و درصد آمیختگی گونه‌های درختی و درختچه‌ای موجود در تودهٔ بنه و ارس

	گونه	درصد آمیختگی
تودهٔ بنه	*Pistacia atlantica*	۸۱
	Ephedra major	۷
	Cerasus microcarpa	۶
	Rhamnus pallasii	۶
تودهٔ ارس	*Juniperus excelsa*	۴۶/۵
	Cotoneaster nummularioides	۳۷
	Crataegus orientalis	۳/۵
	Cerasus microcarpa	۳
	Rhamnus pallasii	۳
	Rosa iberica	۳

[3]Mingling index
[4]Size differentiation index
[5]Structural diversity index



شکل ۲. پراکنش گونه‌های مختلف در قطعه‌نمونهٔ یک هکتاری ارس و بنه

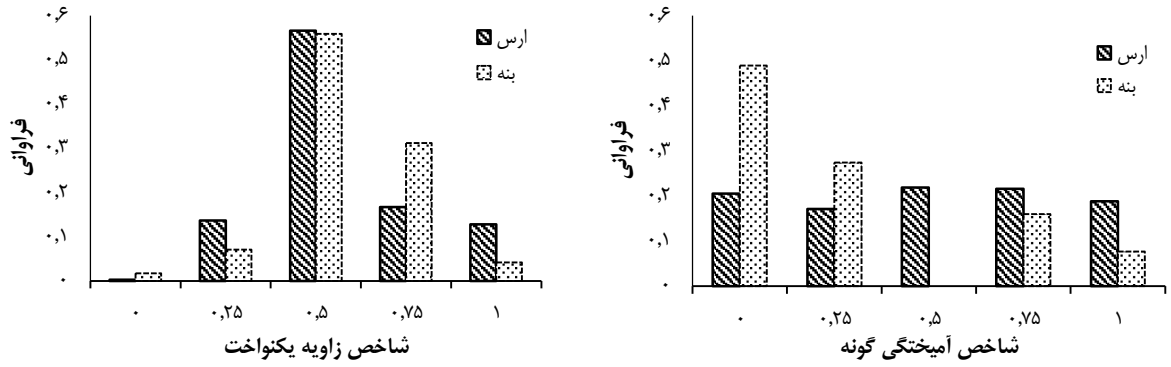
جدول ۳ مشخصه‌های درختان (قطر برابر سینه، قطر یقه و ارتفاع) و مشخصه‌های کلی قطعه‌های نمونه (تراکم، رویهٔ زمینی، مساحت تاج و درصد تاج‌پوشش) محاسبه شده در توده‌های بنه و ارس را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که میانگین مشخصه‌های درختی در قطعه‌نمونهٔ بنه و مشخصه‌های کلی در قطعه‌نمونهٔ ارس (به‌جز رویهٔ زمینی) بیشتر است. میانگین قطری درختان دو تودهٔ بنه و ارس نشان داد که با وجود قدمت زیاد توده‌های جنگلی مورد مطالعه، اما به‌دلیل رشد کند درختان با توجه به شرایط اقلیمی و ادافیکی مناطق ایرانی–تورانی، از قطرهای زیادی برخوردار نیستند. طبق نتایج، تراکم تودهٔ بنه، تنک با پوشش تاجی کم، درختانی با قطر متوسط، رویهٔ زمینی و ارتفاع درختان کم و همچنین اختلاف بین میانگین قطر برابر سینه و قطر یقه کم بود. نتایج Garavand و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که ساختار تودهٔ بنه قرق شده در یزد از نظر درصد تاج‌پوشش و تیپ غالب با پژوهش پیش‌رو همخوانی دارد [۱۹]. همچنین، نتایج Zare و همکاران درصد تاج‌پوشش تودهٔ بنه در زاگرس را ۵ درصد به‌دست آوردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد [۲۰]. در تودهٔ ارس، قطر، ارتفاع و رویهٔ زمینی درختان خیلی کم و اختلاف بین میانگین قطر برابر سینه و قطر یقه نیز کم به‌دست آمد. دلیل آن می‌تواند کندرشد بودن، چندشاخه بودن تنهٔ درختان ارس و تعداد زیاد جست‌گروه‌ها باشد. همچنین، با وجود متراکم بودن تودهٔ ارس، درصد انبوهی و پوشش تاج درختان بسیار کم بود که می‌تواند به‌دلیل وجود درختچه‌های فراوان با تاج کوچک باشد. Rostamikia و Zobeiri (۲۰۱۳) نیز با وجود متراکم بودن تودهٔ ارس در خلخال، رویهٔ زمینی و درصد تاج پوشش آن را کم گزارش کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد [۱۷].

جدول ۳. متغیرهای کمی محاسبه شده در قطعه‌نمونهٔ بنه و ارس

مشخصه	بنه				ارس			
	قطعه نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	قطعه نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین
تراکم (تعداد در هکتار)	۶۹	–	–	–	۴۳۷	–	–	–
رویهٔ زمینی (متر مربع)	۱/۲	–	–	–	۰/۱۵	–	–	–
قطر برابر سینه (سانتی‌متر)		۷/۷	۵۱	۲۲		۱	۹	۴/۱۵
قطر یقه (سانتی‌متر)		۱/۵	۸۳	۲۳/۵		۱/۲	۱۸	۶/۶
ارتفاع (متر)		۰/۵	۶	۲/۱		۰/۵	۴/۲	۱/۶
مساحت تاج (متر مربع)	۵۶۹/۵	–	–	–	۱۱۹۵	–	–	–
انبوهی تاج (درصد)	۵/۷	–	–	–	۱۲	–	–	–

۳-۲. محاسبهٔ شاخص‌های موقعیت مکانی و آمیختگی گونه‌ای تودهٔ بنه و ارس

بیشترین فراوانی شاخص زاویهٔ یکنواخت در تودهٔ بنه و ارس در طبقه با ارزش ۰/۵ بود و بیش از ۸۰ درصد فراوانی در هر دو توده در طبقهٔ ۰/۵ به بالا بودند. با توجه به ارزش این شاخص برای تودهٔ بنه (۰/۵۸) و تودهٔ ارس (۰/۵۷) مشخص شد که پراکنش مکانی درختان در گروه‌های ساختاری، حالت تصادفی دارد که در بسیاری از مطالعات، پراکنش تصادفی در گروه‌های ساختاری را یکی از ویژگی‌های جنگل‌های طبیعی به‌شمار می‌آورند [۲۹، ۳۰] و از آنجا که قطعات نمونهٔ انتخابی در منطقهٔ حفاظت‌شده قرار داشته و در آنها دخالت و دستخوردگی تقریباً وجود نداشته است، توده‌های طبیعی محسوب می‌شوند و پراکنش تصادفی در گروه‌های ساختاری این توده‌ها منطقی به‌نظر می‌رسد. اما با توجه به مقدار شاخص کلارک و ایوانز تودهٔ ارس (۰/۶۶) و تودهٔ بنه (۰/۷۱) مشخص شد که چیدمان مکانی درختان هر دو توده در کل از الگوی مکانی کپه‌ای پیروی می‌کند (شکل ۳). با توجه به اینکه در توده‌های ایرانی-تورانی، نونهال‌ها و نهال‌ها بیشتر در اطراف پایه‌های مادری رشد کرده و درختان بالغ نقش پرستار برای آنها دارند و همچنین به‌دلیل شرایط سخت محیطی در مناطق توده‌های ایرانی-تورانی، الگوی کپه‌ای در این توده‌ها قابل قبول است. Ghanbari و Sefidi (۲۰۱۸) الگوی پراکنش مکانی تودهٔ ارس در ارسباران را یکنواخت ارزیابی کردند که متفاوت از نتایج این پژوهش است [۲۱]، ولی با توجه به نتایج Askari و همکاران (۲۰۱۴)، پراکنش مکانی ارس بستگی به عوامل زیادی مانند اندازهٔ تاج آنها دارد و عدم قطعیتی در مورد نوع چیدمان مکانی آنها وجود دارد [۳۱]. همچنین، Habashi و همکاران (۲۰۰۷) سنگین بودن بذر درختان را دلیل پراکنش مکانی کپه‌ای دانسته [۳۲] و Sefidi و همکاران (۲۰۱۱) نیز پراکنش کپه‌ای را نتیجهٔ نوع بذر و مکانیسم تجدید حیات دانسته‌اند [۳۳]. در تودهٔ بنه، با توجه به فراوانی ۷۵ درصدی شاخص آمیختگی گونه‌ای در طبقات با ارزش صفر و ۰/۲۵ (تمام فراوانی آنها متعلق به بنه بود) و فراوانی ۲۵ درصدی این شاخص در ارزش‌های بالای ۰/۵، مشخص شد که تنوع آمیختگی گونه‌ای در این توده تقریباً کم (۰/۳۱) است. اما در تودهٔ ارس با توجه به فراوانی تقریباً یکسان درختان در طبقات مختلف و همچنین فراوانی ۶۰ درصدی درختان در طبقات ۰/۵ به بالا مشخص شد توده، تنوع آمیختگی گونه‌ای زیادی دارد (۰/۵۰۲) که ۳۸ درصد آمیختگی مربوط به گونهٔ ارس و ۶۲ درصد مربوط به گونه‌های همراه بود (شکل ۳). توده‌های خالص معمولاً از آمیختگی کمی برخوردارند که در تودهٔ بنه، با حضور ۸۱ درصدی بنه و ۳ گونهٔ همراه، این شاخص تقریباً کم به‌دست آمد. دلیل آن می‌تواند حضور گروهی پایه‌های بنه کنار هم و الگوی مکانی کپه‌ای آن باشد که با نتایج Pommerening (۲۰۰۲) مبنی بر تأثیر موقعیت مکانی درختان بر آمیختگی گونه‌ای همخوانی دارد [۲]. در تودهٔ ارس با کاهش فراوانی گونهٔ غالب ارس و با توجه به عدم وجود زادآوری و پایه‌های جوان ارس (گونهٔ ارس دارای بذر سنگین و تمایل به تشکیل گروه‌گونه دارد) و فراهم شدن شرایط محیطی مناسب برای گونه‌های دیگر، فراوانی گونه‌های همراه آن افزایش یافته که این سبب بالا رفتن شاخص آمیختگی توده شده است. Graz (۲۰۰۴) عنوان کرد که شاخص آمیختگی کم، نشان از تشکیل گروه گونه و زیاد بودن شاخص نشان از حضور انفرادی یک گونه است [۹].

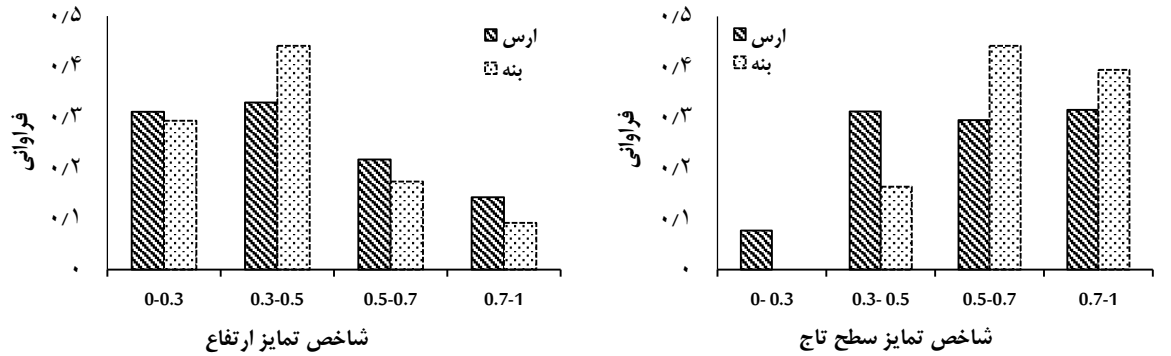


شکل ۳. فراوانی درختان در طبقات مختلف شاخص زاویهٔ یکنواخت و آمیختگی گونه‌ای در تودهٔ بنه و ارس

۳-۳. محاسبهٔ شاخص‌های تمایز ابعاد درختان در تودهٔ بنه و ارس

فراوانی زیاد شاخص تمایز سطح تاج درختان در ارزش‌های بالای ۰/۵ در هر دو توده و مقدار ارزش این شاخص برای تودهٔ بنه (۰/۶۵) و تودهٔ ارس (۰/۵۹)، نشان داد که درختان از نظر مساحت تاج درختان دارای اختلاف ابعاد زیادی هستند. این حالت در تودهٔ ارس می‌تواند به‌دلیل آمیختگی زیاد با گونه‌های مختلف درختچه‌ای و در تودهٔ بنه به‌دلیل وجود درختان جوان و همچنین گونه‌های درختچه‌ای باشد. معمولاً درختچه‌ها دارای تاج‌های کوچک و گونه‌های غالب ارس و بنه تاج‌های گسترده‌ای دارند که باعث تمایز اندازه در سطح تاج شده است. Sadeghi و همکاران (۲۰۱۶) نیز اختلاف ابعاد سطح تاج درختان ارس در دامنهٔ البرز را زیاد ارزیابی کردند که دلیل آن را ناشی از ناهمسال بودن توده عنوان کردند [۱۸].

از نظر اختلاف ابعاد ارتفاع در دو توده، با توجه به بیشترین فراوانی در ارزش‌های کمتر از ۰/۵، و فراوانی کمتر از ۳۵ درصد در ارزش‌های بالای ۰/۵ و همچنین مقدار عددی این شاخص برای تودهٔ بنه (۰/۴۱) و تودهٔ ارس (۰/۴۵)، مشخص شد که درختان از نظر ارتفاع دارای اختلاف متوسطی هستند (شکل ۴) که به‌دلیل شرایط سخت محیطی، کندرشد بودن گونه‌های اصلی در دو منطقه و رقابت بین پایه‌ها قابل انتظار بود. Ghanbari و Sefidi (۲۰۱۸) تمایز ابعاد درختان ارس در ارسباران را کم ارزیابی کردند و دلیل آن را همگنی توده و شرایط نامساعد رویشگاهی عنوان کردند [۲۱].

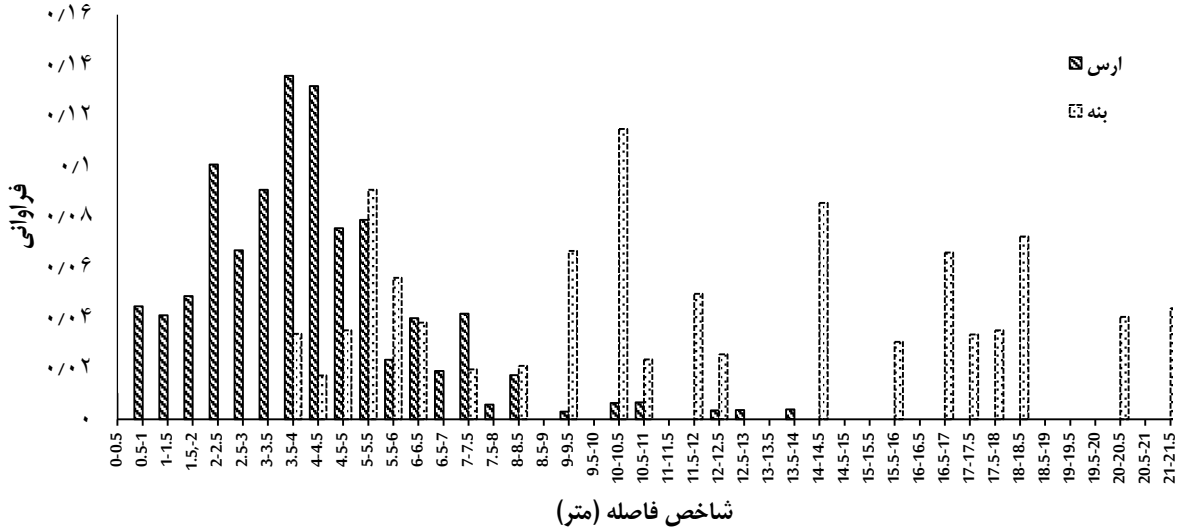


شکل ٤. فراوانی درختان در طبقات مختلف شاخص تمایز ابعاد سطح تاج و ارتفاع در تودهٔ بنه و ارس

۴-۳. محاسبهٔ شاخص فاصله در تودهٔ بنه و ارس

شروع فاصله درختان در تودهٔ بنه از طبقهٔ ۳/۵ تا ۴ متر و بیشترین فراوانی آن در طبقهٔ فاصله‌ای ۱۰ تا ۱۰/۵ متر، نشان داد که فاصلهٔ درختان از هم زیاد و تودهٔ بنه تنک است و میانگین فاصله در تودهٔ بنه ۷/۴ متر به‌دست آمد، اما در تودهٔ ارس، با توجه به فراوانی ۷۵ درصدی این شاخص در طبقات کمتر از ۵ متر و میانگین فاصله ۲/۸ متر، مشخص شد که فاصلهٔ درختان از یکدیگر

کم و تودهٔ ارس متراکم است و با توجه به میانگین فاصله که بین ۲ تا ۴ متر قرار دارد، درختان رقابت زیادی با هم دارند (شکل ۵). با وجود فاصلهٔ بیشتر درختان در تودهٔ بنه و تنک بودن توده، ارزیابی‌ها نشان از رقابت کم در تودهٔ بنه دارد، اما در تودهٔ ارس، فاصلهٔ پایه‌ها کم و توده متراکم است و از آنجا که رقابت درون‌گونه‌ای (عدم وجود زادآوری ارس) در این توده تبدیل به رقابت بین گونه‌ای شده است، افزایش تنوع و آمیختگی گونه‌ها در این توده بیشتر می‌باشد. Sefidi (۲۰۲۳) نیز به این موضوع اشاره کرده است که کاهش رقابت درون گونه‌ای باعث افزایش پیچیدگی در ساختار جنگل می‌شود [۳۴].



شکل ۵. فراوانی درختان در طبقات مختلف شاخص فاصلهٔ درختان در تودهٔ بنه و ارس

۳-۵. ارزیابی و مقایسهٔ شاخص‌های ساختاری در تودهٔ بنه و ارس

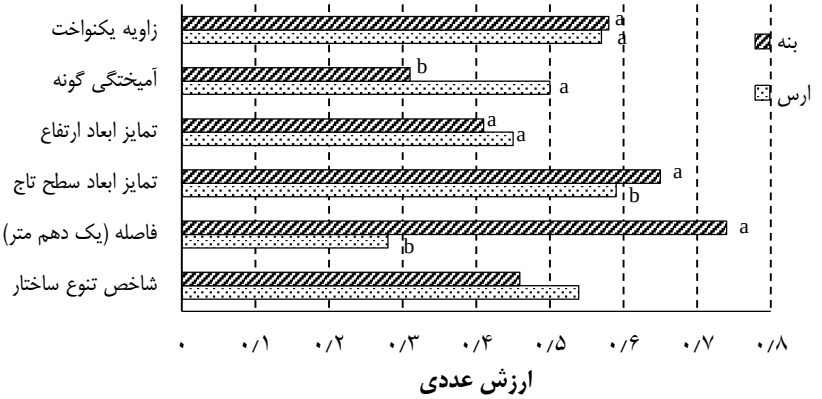
با بررسی شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش مشخص شد که دو توده از نظر تنوع آمیختگی گونه‌ای، اختلاف ابعاد سطح تاج درختان و فاصلهٔ بین درختان با هم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشته و از نظر الگوی مکانی و اختلاف ابعاد ارتفاع درختان تفاوتی بین آنها مشاهده نشد (جدول ۴). Zandebasiri و همکاران (۲۰۲۳) با مقایسهٔ مشخصه‌های ساختاری دو گونه در رویشگاه کره‌بس در استان چهارمحال و بختیاری نشان دادند که گونهٔ *Prunus arabica* نسبت به گونهٔ *Pistacia atlantica* از تنوع ساختاری (۰/۵۵) بیشتری برخوردار است که دلیل آن را بیشتر بودن شاخص آمیختگی (۰/۶) عنوان کردند [۲۳].

جدول٤. نتایج آزمون تی شاخص‌های ساختاری بین دو تودهٔ بنه و ارس

	درجه آزادی	انحراف معیار	مقدار آمارهٔ t	سطح معنی‌داری
زاویه یکنواخت	۴۵۳	۰/۰۳۵۲۱	۰/۲۲۸	۰/۸۲۰^{ns}
آمیختگی	۴۵۳	۰/۰۵۷۶۸	-۳/۳۱۹	۰/۰۰۱
تمایز سطح تاج	۴۵۳	۰/۳۴۱۲۱۶	۱/۹۵۷	۰/۰۵
تمایز ارتفاع	۴۵۳	۰/۳۷۴۸۴۹	-۰/۹۷۰	۰/۳۳۳^{ns}
فاصله	۴۵۳	۰/۳۱۲۲۸	۱۴/۸۲۷	۰/۰۰

همچنین، شاخص تنوع ساختاری دو تودهٔ جنگلی ایران-تورانی بنه و ارس به‌ترتیب ۰/۴۵۹ و ۰/۵۳۹ به‌دست آمد که نشان داد هر دو توده از تنوع زیاد ساختاری برخوردارند، اما با مقایسهٔ آنها مشخص شد که اختلاف معنی‌داری بین شاخص‌های ترکیب‌شده (به‌جز شاخص چیده‌مان مکانی) در دو توده وجود دارد. در تودهٔ ارس با وجود تمایز ابعاد سطح تاج کمتر نسبت به تودهٔ بنه، اما تنوع و آمیختگی گونه‌ای بیشتر، باعث افزایش تنوع ساختاری تودهٔ ارس نسبت به تودهٔ بنه شده است. با توجه به اینکه از

سه شاخص ترکیبی، دو شاخص تفاوت معنی‌دار داشته، می‌توان نتیجه گرفت که دو توده از نظر تنوع ساختاری نیز اختلاف معنی‌داری داشته و تودهٔ ارس، تنوع ساختاری بیشتری نسبت به تودهٔ بنه دارد (شکل ۶). Sadeghi و همکاران (۲۰۱۶) تنوع ساختاری تودهٔ ارس در البرز را کم برآورد کردند که با نتایج این پژوهش متفاوت است و دلیل آن را عدم وجود آمیختگی گونه‌ای درختی در تودهٔ مورد مطالعه عنوان کردند [۱۸]. پژوهش Sefidi و همکاران (۲۰۱۸) در کندرق خلخال نیز تنوع ساختاری تودهٔ ارس را کم نشان داد که پراکنش یکنواخت درختان ارس را یکی از دلایل آن عنوان کردند [۲۲]. Graz (۲۰۰۴) به حساس بودن میزان شاخص آمیختگی گونه و سهم هر گونه در توده، پراکنش آن و تأثیر آن بر تنوع ساختاری اشاره کرده است [۹].



شکل ٦. مقایسهٔ میانگین شاخص‌های ساختاری تودهٔ ارس و بنه

۴. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بررسی و ارزیابی تنوع ساختاری بخشی از توده‌های جنگلی ایرانی–تورانی با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر فاصله نشان داد که کارآیی این شاخص‌ها در برآورد وضعیت ساختار افقی و عمودی جنگل مناسب هستند و می‌توانند اطلاعات مفید و ارزشمندی درمورد توده‌های جنگلی فراهم کنند که در مدیریت و تصمیم‌گیری‌ها ضروری است. Babaei و همکاران (۲۰۱۸) استفاده از شاخص‌های ساختاری را تسهیل در مطالعهٔ دینامیک جمعیت و ابزاری برای رسیدن به مدیریت پایدار بیان کردند [۳۵] و Akhavan و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان دادند که شاخص ساختاری SCI[6] که ناهمگنی توده را براساس مختصات و ابعاد درختان تعیین می‌کند، می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی روش‌های مدیریتی توده باشد [۳۶]. اگرچه اولویت اول، حفاظت و جلوگیری از تخریب بیشتر این توده‌های جنگلی با ارزش است، اما همچنین می‌توان با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده، دخالت‌های پرورشی مانند تنظیم فاصلهٔ درختان، کمک به رشد و زادآوری، بهبود تنوع زیستی و غیره را در توده‌ها انجام داد. در ادامهٔ روند بررسی توده‌ها، با مطالعهٔ تغییرات ساختار در دوره‌های بعدی با استفاده از قطعه‌نمونه‌های ثابت، ابزاری برای کنترل و پایش دائمی توده‌ها و ارزیابی کارامدی مدیریتی فراهم می‌شود. همچنین، نتایج این پژوهش، اهمیت و جایگاه تنوع گونه‌ای و آمیختگی آنها در پیچیدگی و تنوع ساختاری این توده‌ها را آشکار کرد و از آنجا که در توده‌های جنگلی ایرانی–تورانی به‌دلیل شرایط خاص اقلیمی و خاکی، غالباً درختان، ناهمگنی کمی در قطر و ارتفاع دارند و معیار دقیقی برای سنجش کمی این توده‌ها نیستند، پیشنهاد می‌شود تا از مشخصه‌های دیگری مانند سطح تاج درختان برای برآورد مشخصه‌های کمی ساختار استفاده شود.

۵. منابع

[1] Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K.V., & Jimenez, J. (2003). An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183, 137-145.

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

[6] Structural Complexity Index

[3] 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.

[4] Oliver, C.D., & Larson, B.C. (1996). Forest Stand Dynamics, John Wiley, New York.

[5] Chen, L., Comita, L.S., Wright, S.J., Swenson, N.G., Zimmerman, J.K., Mi, X., Hao, Z., Ye, W., Hubbell, S.P., Kress, W.J., Uriarte, M., Thompson, J., Nytch, C.J., Wang, X., Lian, J., & Ma, K. (2018). Forest tree neighborhoods are structured more by negative conspecific density dependence than by interactions among closely related species. *Ecography*, 41(7), 1114-1123.

[6] Churchill, D.J., Larson, A.J., Dahlgreen, M.C., Franklin, J.F., Hessburg, P.F., & Lutz, J.A. (2013). Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. *Forest Ecology and Management*, 291, 442-457.

[7] 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.

[8] Yue, Q., Geng, Y., Gadow, K., Fan, C., Zhang, C., & Zhao, X. (2022). Effects of neighborhood interaction on tree growth in a temperate forest following selection harvesting. *Ecological Indicators*, 136, 1-9.

[9] Graz, F.P. (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.

[10] Pommerening, A. (2006). Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management*, 224(3), 266-277.

[11] Wang, H., Zhang, G., Hui, G., Li, Y., Hu, Y., & Zhao, Zh. (2016). The influence of sampling unit size and spatial arrangement pattern on neighborhood-based spatial structure analyses of forest stands. *Forest Systems*, 25(1), 1-9.

[12] Dong, L., Bettinger, P., & Liu, Z. (2022). Optimizing neighborhood-based stand spatial structure: Four cases of boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 506 (119965), 1-10.

[13] Zohary, M. (1973). Geobotanical foundation of the Middle East. G. Fischer, Stuttgart.

[14] Fattahi, M. (1995). Pistacia ecology, Proceedings of the First National Seminar of pistacia, Natural Resources and Animal Science Research Center of Ilam, Ilam, pp. 92-113.

[15] Barzegar Ghazi, A., & Abdi Ghazi Jahani, A. (2001).Pistachio as a compatible species in semi-arid region of Tabriz. Second National Seminar of pistacia, Natural Resources and Animal Science Research Center of Fars.

[16] Khoshnevis, M., Matinizadeh, M., Shirvany, A., & Teimouri, M. (2017). Iranian long-lived Junipers. *Iran Nature*, 2(5), 20-35.

[17] 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)

[18] 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)

[19] 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)

[20] Zare, L., Erfanifard, S.Y., Taghvai, M., & Kariminejad, N. (2016). Efficiency of distance sampling methods in estimation of biometric characteristics of wild pistachio (*pistachio atlantica* subsp. *mutica*) open stands in Zagros. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23(3), 144-125. (In Persian)

[21] Ghanbari, S., & Sefidi, K. (2018). Structure and spatial distribution pattern of tree communities of Juniper (*Juniperus foetidissima* Willd) in Arasbaran region. *Plant Research*, 31(4), 910-921. (In Persian)

[22] Sefidi1, 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)

[23] Zandebasiri, M., Sagheb- Talebi, Kh., Jahanbazi Goujani, h., Talebi, M., Iranmanesh, Y., Mokhtarpour, T., Pezdevšek Malovrh, Š., & Grošelj, P. (2023). Evaluating structural indices of *Pistacia atlantica* Desf. and *Prunus arabica* (Olivier) Meikle stands: Iranian forest lands Case Study. *Arabian Journal of Geosciences,* 16(263), 1-14.

[24] Thimonier, A., Kull, P., Keller, W., Moser, B., & Wohlgemuth, T. (2011). Ground vegetation monitoring in Swiss forests: comparison of survey methods and implications for trend assessments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174(1-4), 47-63.

[25] Ali-Ahmad-Korouri, S., & Khoshnevis, M. (2001). Ecological and Environmental Studies of Iranian Juniper Habitats, Research Institute of Forests and Rangelands press, Number 229.

[26] 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(1-4), 649-676.

[27] Pommerening, A., & Stoyan, D. (2008). Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbor summary statistics measured in small subwindows. *Canadian journal of forest research*, 38(5), 1110-1122.

[28] Pommerening, A., & Grabarnik, P. (2019). Individual-based Methods in Forest Ecology and Management. Springer Nature, Switzerland.

[29] Petritan, AM., Biris, IA., Merce, O., Turcu, D., & Petritan, IC. (2012). Structure and diversity of a natural temperate sessile oak (*Quercus petraea* L.)-European Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management*, 280, 140-149.

[30] Dong, L., Liu, Z., Li, F., & Jiang, L. (2014). Quantitative analysis of forest spatial structure and optimal species composition for the main forest types in Daxing'anling, Northeast China. *Forest Research*, 27(6), 734-740.

[31] Askari, Y., Soltani, A., & Sohrabi, H. (2014). Evaluation of Spatial distribution pattern of tree and shrub species in a central Zagros (Case study: Chahartagh forest reserve). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2), 175-187. (In Persian)

[32] 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)

[33] Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Mosandl, R., & Copenheaver, C.A. (2011). Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, northern Iran. *Forest Ecology and Management*, 262(6), 1094-1099.

[34] Sefidi, K. (2023). Rare species impacts on structural complexity index (SCI) in the Hyrcanian beech forests. *Forest Research and Development*, 9(2), 205-219. (In Persian)

[35] Babaei, S., Bayat, M., Namiranian, M., & Heidari Masteali, S. (2018). Investigating structure monitoring indicators for wooden species of Northern forests of Iran. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 25(2), 65- 79. (In Persian)

[36] Akhavan, R., Hassani, M., & Sadeghzadeh Halaj, M.H. (2023). The comparison of pure beech stands using SCI index in the Hyrcanian forests of Iran (Mazandaran province). *Iranian Journal of Forest*, 14(4), 445-456. (In Persian)