پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۹، شماره ۱، صفحه ۱۲۷-۱۱۵، (۱۴۰۲)
DOI: 10.30466/jfrd.2022.54256.1625
DOR: 20.1001.1.24763551.1402.9.1.8.3

مقالهٔ پژوهشی

تحلیل ساختار توده‌های جنگلی بلوط با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه (جنگل‌های چهارزبر و برزه استان کرمانشاه)

حبیب‌اله رحیمی*[۱]، سیدکاظم بردبار[۲]، مهدی پورهاشمی[۳]، معصومه خان‌حسنی[۴]، هوشمند صفری[۵] و نسترن جلیلیان[۶]

۱- کارشناس‌ارشد پژوهش، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. (hrahimi34@gmail.com)

۲- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. (sbordbar86@gmail.com)

۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (pourhashemi@rifr-ac.ir)

۴- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. (mkhanhasani@gmail.com)

۵- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. (hooshmand.safari@gmail.com)

۶- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. (najalilian@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

چکیده

در این پژوهش، ساختار توده‌های جنگلی زاگرس بر اساس شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه در دو قطعه‌نمونه یک هکتاری (حفاظت نشده) در مناطق چهارزبر و برزه بررسی و تحلیل شد. نتایج شاخص کلارک و اوانز با مقدار ۰/۸۷ و ۰/۸۸ به‌ترتیب برای چهارزبر و برزه و زاویه یکنواخت به‌همین ترتیب با مقدار۰/۵۱ و ۰/۵ نشان داد الگوی پراکنش مکانی در هر دو منطقه کپه‌ای و الگوی پراکنش گونه‌ای در چهارزبر تصادفی و در منطقه برزه یکنواخت است. نتایج میانگین شاخص آمیختگی با مقادیر ۰/۱۳ و ۰/۰۰۵ نشان داد که منطقه برزه از آمیختگی گونه‌ای بسیار پایین‌تری از چهارزبر برخوردار است. همچنین میانگین شاخص‌های تمایز قطری با مقادیر ۰/۵۵ و ۰/۳۸ و تمایز ارتفاعی با ۰/۲ و ۰/۱۹ به‌ترتیب برای چهارزبر و برزه محاسبه شد که نشان‌دهنده تمایز ارتفاعی اندک و برتری قطری پایه‌های چهارزبر نسبت به برزه است. در مجموع ساختار جنگل در مناطق مورد بررسی به‌شدت دست‌خوش تغییر شده است.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، زاگرس، ساختار جنگل، شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۸۳۳۸۳۵۸۲۲۶

مقدمه

ساختار جنگل چگونگی توزیع ویژگی‌های مختلف درختان در اکوسیستم‌های جنگلی را مورد بررسی قرار می‌دهد و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای کلیدی در تشریح بوم‌سازگان‌های جنگلی و تنوع زیستی به‌کار می‌رود (Gadow et al., 2012; Kint et al., 2004). ساختار توده جنگلی سه جنبه مهم تنوع موقعیت مکانی درختان (الگوی مکانی)، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد درختان را ارزیابی می‌کند (Aguirre et al., 2003). ساختار جنگل می‌تواند توزیع افقی، موقعیت متقابل گونه‌ها و تمایزهای قطری و ارتفاعی درختان را در یک اکوسیستم جنگلی، نشان دهد (Farhadi et al., 2017). ساختار جنگل نه تنها بر پویایی، رشد و محصول‌دهی توده اثر می‌گذارد، بلکه بر طیف گسترده‌ای از عملکردهای جنگل مانند جنبه‌های حفاظتی و تفرجی تأثیرگذار است (Pretzsch, 2009). بررسی ساختار توده‌های جنگلی با اهداف گوناگونی انجام می‌شود که کسب اطلاعات از وضعیت فعلی، روند تغییرها و برنامه‌ریزی در راستای بهبود شاخص‌های ساختاری توسط مدیران، مهم‌ترین این هدف‌ها است. جنگل‌های زاگرس به‌عنوان رویشگاه اصلی گونه بلوط ایرانی و زیست‌بومی بسیار ارزشمند در حفظ ذخایر ژنتیکی و آب و خاک کشور، به‌دلیل عوامل متعدد تخریبی، دچار تغییرهای نامطلوب و ساختاری زیادی شده است. کمی‌سازی ویژگی‌ها و شاخص‌های ساختاری علاوه بر اینکه درک ملموس‌تری از وضعیت ساختار این جنگل‌ها ارائه می‌دهد، به‌عنوان ابزار مناسبی در بررسی وضعیت موجود و رسیدن به ساختار مطلوب، در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان است. برای تسهیل اندازه‌گیری‌ها، مجموعه‌ای از شاخص‌های تک‌درختی مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه معرفی شده‌اند که اندازه‌گیری آن‌ها نسبت به سایر شاخص‌ها بسیار ساده‌تر است (Motz et al., 2010). این شاخص‌ها که برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط بخش مدیریت جنگل دانشگاه گوتینگن آلمان معرفی شدند، با داشتن عملکردی شبیه ساختار مولکول‌های شیمیایی به بررسی همسایه‌های هر درخت می‌پردازند (Pommerening, 2006). همچنین این شاخص‌ها به‌ترتیب الگوی پراکنش درختان، کمیت و درجه پراکندگی گونه‌های مختلف درختی و وضعیت ابعاد درختان را مورد بررسی قرار داده و با میانگین‌گیری از آن‌ها، جنبه‌های مختلف ساختاری را توصیف می‌کنند (Wang et al., 2016). این شاخص‌ها به‌علت دارا بودن ویژگی‌هایی مانند آسانی اندازه‌گیری، ارزان بودن و صحت زیاد، مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته‌اند (Ruprecht et al., 2010; Pastorella and Paletto, 2013; Wang et al., 2016). در این راستا Aguirre et al. (2003) نیز به مزایای شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه اشاره کرده و ارزیابی ساختار با این شاخص‌ها را دقیق‌تر و ساده‌تر بیان کردند.

در سال‌های اخیر در ایران نیز از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه در تحلیل ساختار جنگل استفاده شده که به تعدادی از پژوهش‌های انجام‌شده، اشاره می‌شود. در این‌خصوص Alijani et al. (2011) کمی‌سازی ساختار مکانی جنگل را در راستای مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس بررسی کردند و مجموعه‌ای از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه را معرفی و استفاده از این شاخص‌ها را به‌دلیل داشتن مزایایی مانند آسانی محاسبه، ارزان بودن، صحت بالا و انعطاف‌پذیری، برای تحلیل ساختار جنگل‌های زاگرس قابل توصیه دانستند. در همین ارتباط Alijani et al. (2012) ساختار مکانی راش و بلوط را در یک جنگل آمیخته براساس شاخص‌های زاویه یکنواخت، اختلاط گونه‌ای، ابعاد قطر برابرسینه و اختلاف قطر برابرسینه با استفاده از نرم‌افزار Crancod بررسی کردند. نتایج نشان داد که

میانگین شاخص‌های ذکرشده به‌ترتیب برای راش ۰/۵۸ ، ۰/۲۷، ۰/۵۳ و ۰/۴۵ و برای بلوط ۰/۵۷، ۰/۷۴، ۰/۵۶ و ۰/۳۷ است.

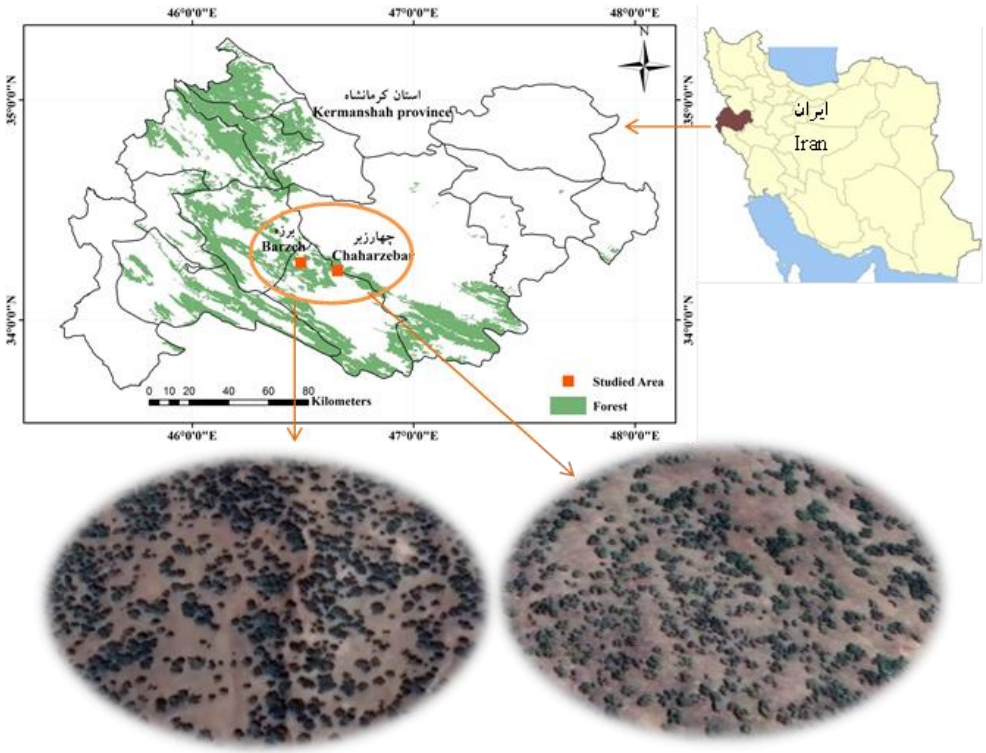
در پژوهش دیگری توسط Farhadi et al. (2014) ساختار جنگل‌های زاگرس با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه در جنگل‌های قلعه‌گل خرم‌آباد بررسی شد. نتایج نشان داد که میانگین شاخص‌های کلارک و اوانز و زاویه یکنواخت به‌ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۴۷ است که نشان‌دهنده توزیع کپه‌ای درختان و میانگین شاخص‌های شانون- وینر و آمیختگی نیز به‌ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۰۶ به‌دست آمد. در همین ارتباط Pilehvar et al. (2015) تعداد ۳۲ پایه زالزالک و کیکم را از نظر شاخص‌های ساختاری در جنگل‌های زاگرس بررسی کردند. در این پژوهش، مقدار شاخص زاویه یکنواخت برای دو گونه زالزالک و کیکم به‌ترتیب ۰/۷۴۴ و ۰/۷۳۳ محاسبه شد که نشان‌دهنده چیدمان کپه‌ای دو گونه مذکور نسبت به درختان همسایه بود. از نظر آمیختگی، دو گونه زالزالک و کیکم با داشتن میانگین شاخص آمیختگی ۰/۸۸۷ و ۰/۹۵۵ اختلاط گونه‌ای زیادی را از خود نشان دادند. همچنین، میانگین دو شاخص اختلاف ابعاد و چیرگی ابعاد به‌ترتیب برای زالزالک ۰/۵۸۲ و ۰/۳۲۲ و برای کیکم ۰/۴۲۰ و ۰/۶۵۶ به‌دست آمد.

ساختار مکانی توده‌های جنگلی ارس هم توسط Sefidi et al. (2018) در منطقهٔ کندرق خلخال مورد بررسی قرار گرفت و از شاخص‌های آمیختگی، فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه ، کلارک و اوانز، زاویه یکنواخت و نیز اختلاف ابعاد درختان به‌منظور کمّی‌سازی ساختار این توده‌ها استفاده شد. میانگین قطر و مساحت پوشش تاجی در منطقه به‌ترتیب ۱۳/۲ سانتی‌متر و ۸/۷ مترمربع محاسبه شد و نتایج شاخص کلارک و اوانز با مقدار متوسط ۱/۰۵ و زاویه یکنواخت با مقدار متوسط ۰/۴۵، نشان‌دهنده پراکنش یکنواخت درختان در بعضی نقاط و پراکنش تصادفی در نقاط دیگری از جنگل بود. همچنین Erfani Fard et al. (2014) از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه در جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در منطقه زاگرس در بررسی روابط بوم شناختی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی استفاده کردند. نتایج نشان داد درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در محدوده مورد بررسی که همه شرایط یکسان و همگن بوده، به‌صورت پراکنده مستقر شده و از نظر بوم‌شناختی به یکدیگر وابسته نیستند و این درختان مستقل از یکدیگر بوده و بر نحوه استقرار یکدیگر تأثیر ندارند. پژوهش حاضر در راستای پروژه ملی سنجش و پایش ساختار توده‌های جنگلی زاگرس و بخشی از قطعه نمونه‌های تعریف شده در پروژه مذکور و با هدف شناخت ساختار موجود، بررسی روند تغییرها و همچنین بهره‌مندی از مزایای شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه در دست‌یابی به اطلاعات کمی در خصوص ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی زاگرس و فراهم ساختن امکان مقایسه راحت‌تر ساختار توده‌های بلوط در جنگل‌های زاگرس استان کرمانشاه، اجراء شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در توده‌های جنگلی بلوط استان کرمانشاه و در محدوده جنگل‌های حفاظت نشده شهرستان اسلام‌آبادغرب، در دو قطعه‌نمونه یک هکتاری در مناطق چهارزبر و برزه به انجام رسید (شکل ۱). قطعه‌نمونه چهارزبر با تراکم ۳۷۰ پایه در هکتار و تاج پوشش ۴۲/۳ درصد، مبداء رویشی غالب شاخه‌زاد (جستی)، دارای تیپ جنگلی بلوط- زالزالک و قطعه‌نمونه برزه نیز با تراکم ۳۷۸ پایه در هکتار و با ۵۰/۲ درصد تاج‌پوشش دارای تیپ غالب بلوط ایرانی است. قطعه‌نمونه چهارزبر

با ۱۷۵۰ متر ارتفاع متوسط از سطح دریا، در دامنه جنوبی و قطعه‌نمونه برزه با ارتفاع از سطح دریای ۱۶۷۰ متر، در دامنه شمالی واقع شده است. همچنین بر اساس داده‌های آب‌وهوائی و اقلیمی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اسلام‌آبادغرب، قطعه‌نمونه چهارزبر در محدوده بارشی ۴۳۶-۳۷۳ میلی‌متر بارش متوسط سالانه، دارای دمای متوسط سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد و قطعه‌نمونه برزه نیز در محدوده بارشی ۴۸۹-۴۳۷ میلی‌متر بارش متوسط سالانه و داری دمای متوسط سالیانه ۱۴ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیائی مناطق مورد بررسی بر روی نقشه استان کرمانشاه

Figure 1. The study regions' geographical location on the Kermanshah provincial map

روش پژوهش

ابتدا با جنگل‌گردشی در توده‌های جنگلی استان کرمانشاه، دو منطقه (به‌عنوان بخشی از مناطق تعریف شده در پروژه ملی سنجش و پایش ساختار و همچنین نمائی از بخش عمده‌ای از جنگل‌های استان کرمانشاه) انتخاب و در هر منطقه محدوده‌ای یک هکتاری به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰ متر) مشخص شد. در ادامه کار، تمام پایه‌ها و جست‌گروه‌های موجود در هر قطعه نمونه، شماره‌گذاری و اطلاعات و مشخصه‌های کمی آن‌ها شامل نوع گونه، تعداد جست، ارتفاع، قطر در ارتفاع نیم‌متری تمامی پایه‌ها و جست‌ها (بالای ۱/۳ متر ارتفاع)، قطر بزرگ و کوچک تاج و همچنین فاصله و آزیموت کلیه پایه‌های درختی موجود در قطعه‌نمونه‌ها، در ابتدا نسبت به یک مبدأ مشخص (مختصات UTM یکی از نقاط چهارچوب قطعه‌نمونه) و سپس نسبت به همدیگر، اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری شد. سپس داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌منظور انجام محاسبه‌های ساختاری، آمادسازی و در قالب فایل‌های مختلف، به نرم‌افزار Crancod (ver 1.3) معرفی شد. پس از آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار، خروجی نتایج به محیط اکسل منتقل و

گروه‌های ساختاری صحیح (از نقطه نظر حاشیه) فیلتر و استخراج شدند. در ادامه با تعداد گروه‌های ساختاری صحیح، مقادیر میانگین شاخص‌های مورد نظر شامل کلارک و اوانز، زاویه یکنواخت، آمیختگی، تنوع ابعاد، تنوع ساختاری ترکیبی و فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه، به‌صورت جداگانه برای مناطق مورد بررسی، محاسبه شدند (جدول ۱).

جدول ۱- تشریح شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه

Table 1. Description of the indicators based on the nearest neighbor

نام شاخص Index name	ویژگی مورد بررسی Studied character	معادله Equarion	منبع Reference
کلارک و اوانز Clark and Evans	تنوع موقعیت مکانی (فاصله بین درختان) Location diversity (Distance between trees)	$CE = \frac{rA}{rE}$	Pommerening (2002)
زاویه یکنواخت Uniform angle index	تنوع موقعیت مکانی (زاویه بین درختان) Location diversity (The angle between trees)	$W_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} V_{ij}$	Corral-Rivas et al. (2010) Szmyt and Korzeniewicz (2014)
آمیختگی Mingling	تنوع گونه‌ای Species diversity	$M_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} V_{ij}$	Pastorella and paletto (2013)
تنوع ابعاد درختان Diversity of trees dimensions	تمایز قطری و ارتفاعی Height and diametrical differentiation	$TD_i \& TH_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} V_{ij}$	Ruprecht et al. (2010) Szmyt and Korzeniewicz (2014)
تنوع ساختاری ترکیبی Diversity of combined structure	سطح تنوع درختی Level of tree diversity	SI= (Ti×w1) + (Mi×w2) + (Wi×w3)	Szmyt and Dobrowolska (2016)
فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه Distance to the nearest neighbor	تراکم درختان Density of trees	$D_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} S_{ij}$	Ruprecht et al. (2010)

در تحقیقات ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه که در محیط نرم‌افزار Crancod انجام می‌شود، با تشکیل گروه‌های ساختاری کوچک، به‌گونه‌ای که هر درخت یک‌بار مرجع قرار گرفته و به‌همراه چهار درخت همسایه (با نزدیک‌ترین فاصله) مبنای تشکیل یک گروه ساختاری قرار گرفته و سپس شاخص‌های مختلف ساختاری آن‌ها محاسبه می‌شوند. در این زمینه، به‌منظور برآورد الگوی مکانی درختان، از شاخص کلارک و اوانز استفاده شد. شاخص کلارک و اوانز مقدار انحراف یک توده جنگلی از جنگل پوآسون (جنگلی با توزیع تصادفی پایه‌ها) را نشان می‌دهد (Sefidi et al., 2018). در این شاخص، میانگین فاصله بین یک درخت و نزدیک‌ترین همسایه آن (rA) با میانگین مورد انتظار زمانی که موقعیت درختان به‌طور تصادفی پراکنده شده باشند (rE) مقایسه می‌شود. ارزش CE >1 بیانگر الگوی یکنواخت، CE < 1 بیانگر الگوی کپه‌ای و CE=1 نشان‌دهنده الگوی تصادفی است (Kint et al., 2000). از شاخص زاویه یکنواخت (Uniform angle index)

نیز به‌عنوان روش مکمل شاخص کلارک و اوانز استفاده می‌شود. شاخص زاویه یکنواخت (W_i) با مقایسه زاویه بین درختان همسایه (αj) نسبت به زاویه استاندارد ($\alpha 0$) چیدمان درختان همسایه در اطراف درخت مرجع بررسی می‌شود. در توده‌های با پراکنش گونه‌ای یکنواخت، میانگین این شاخص بین ۰ تا ۰/۵، در توده‌های با پراکنش گونه‌ای تصادفی، این مقدار بین ۰/۵ تا ۰/۶ و در توده‌های با پراکنش گونه‌ای کپه‌ای بین ۰/۶ تا ۱ متغیر است (Pommerning, 2002).

برای بررسی مقدار آمیختگی (Mingling) در توده‌های جنگلی مورد بررسی، از شاخص آمیختگی (DM_i) استفاده شد. این شاخص بیانگر چگونگی آرایش گونه‌های مختلف در کنار همدیگر بوده و ارزشی بین ۱-۰ را دارا است. هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده آمیختگی گونه‌ای زیاد و هر چقدر این شاخص به صفر نزدیکتر باشد، آمیختگی کمتر است (Ruprecht et al., 2010). در خصوص تنوع ابعاد درختان از شاخص‌های تمایز قطری (TD_i) و تمایز ارتفاعی (TH_i) استفاده شد. این شاخص‌ها توزیع ابعاد قطری و ارتفاعی درختان توده‌های مورد بررسی را با همدیگر مقایسه می‌کنند. مقدار این شاخص‌ها بین صفر تا ۱ متغیر است و مقادیر آن به چهاردسته تقسیم می‌شوند. مقادیر (۰/۳-۰) بیانگر اختلاف کم، مقادیر (۰/۵-۰/۳) بیانگر اختلاف متوسط، مقادیر (۰/۷-۰/۵) بیانگر اختلاف آشکار و مقادیر (۱-۰/۷) بیانگر اختلاف زیاد است (Graz, 2006; Ruprecht et al., 2010).

در ادامه کار از شاخص تنوع ترکیبی (Complex Structural Diversity Index) نیز به‌منظور ارزیابی تنوع موجود در ساختار توده‌های جنگلی مورد بررسی استفاده شد. شاخص تنوع ترکیبی (SI) با ترکیب شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی و اختلاف ابعاد و با درنظر گرفتن وزن‌های مختلف (W_3=۰/۳ ، ۰/۵ =W_2و ۰/۲ =W_1) برای هر سه شاخص، به‌صورت یک‌جا به بررسی تنوع ساختاری می‌پردازد (Sznyt and Dobrowolska, 2016; Pastorella and Paletto, 2013). مقادیر کمتر از ۰/۳ این شاخص، نشان‌دهنده سطح تنوع درختی کم، مقدار ۰/۳ تا ۰/۴ بیانگر سطح تنوع درختی متوسط و مقدار بیشتر از ۰/۴ بیانگر سطح تنوع درختی زیاد است (Sznyt and Dobrowolska, 2016). همچنین، در این تحقیق برای رفع مشکل تأثیر حاشیه بر گروه‌های ساختاری تشکیل شده، از روش تصحیح حاشیه نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. در این روش اگر فاصله بین n مین همسایه تا درخت مرجع بیشتر از فاصله آن تا حاشیه قطعه‌نمونه باشد، گروه ساختاری مورد نظر در محاسبه وارد نمی‌شود.

نتایج

بررسی نتایج اولیه از نظر تراکم و ترکیب گونه‌ای نشان داد که قطعه‌نمونه چهارزبر با تراکم ۳۷۰ پایه و جست-گروه (در هکتار) و دو گونه برودار و زالزالک (*Crataegus azarolus* var. *pontica*) و سطح تاج-پوششی برابر با ۴۰/۲ درصد، نسبت به قطعه‌نمونه برزه با گونه اصلی برودار و با تراکم ۳۷۸ پایه و جست‌گروه در هکتار و پوششی معادل ۵۰/۲ درصد، از تراکم و پوشش کمتری برخوردار است (جدول ۲).

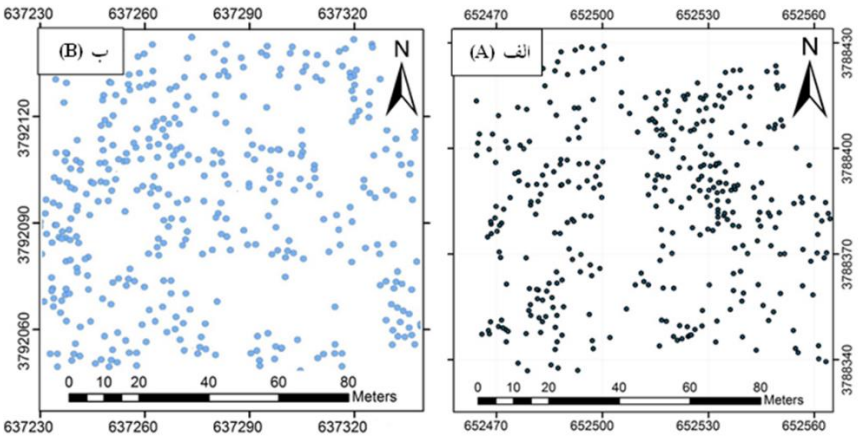
نتایج مقادیر میانگین شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه نشان داد، مقدار شاخص کلارک و اوانز با اختلاف کمی برای دو قطعه‌نمونه چهارزبر و برزه به‌ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۸۸ است که بیانگر کپه‌ای بودن الگوی پراکنش درختان و جست‌گروه‌ها در هر دو قطعه‌نمونه است (شکل ۲). همچنین در تکمیل شاخص کلارک و اوانز، مقدار میانگین شاخص زاویه یکنواخت به‌ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۵ برای چهارزبر و برزه به‌دست آمد

که حاکی از پراکنش گونه‌ای تصادفی در چهارزبر و همچنین پراکنش گونه‌ای یکنواخت در قطعه‌نمونه برزه است. میانگین شاخص آمیختگی برای قطعه‌نمونه چهارزبر ۰/۱۳ و برای قطعه‌نمونه برزه ۰/۰۰۵ به‌دست آمد که نشان‌دهنده آمیختگی بسیار کم قطعه‌نمونه برزه نسبت به چهارزبر است. مقدار شاخص تمایز قطری در قطعه‌نمونه چهارزبر و برزه به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۳۸ به‌دست آمد که بیانگر اختلاف قطری متوسط در چهارزبر و اختلاف قطری کم در برزه است. همچنین، نتایج مقدار شاخص تمایز ارتفاعی در هر دو قطعه‌نمونه چهارزبر و برزه به‌ترتیب ۰/۲ و ۰/۱۹ به‌دست آمد که حاکی از تمایز ارتفاعی کم در هر دو قطعه‌نمونه است. در خصوص شاخص تنوع ترکیبی، نتایج این شاخص برای قطعه‌نمونه چهارزبر ۰/۳ و برای قطعه‌نمونه برزه ۰/۲ به‌دست آمد که بیانگر سطح تنوع درختی کم در هر دو قطعه نمونه است (جدول ۳). نمودار توزیع مقادیر ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت، آمیختگی، تمایز قطری و تمایز ارتفاعی قطعات نمونه مورد بررسی، در شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۲ – تراکم و ترکیب گونه‌ای قطعه نمونه‌های چهارزبر و برزه

Table 2- Density and species composition of Chaharzebar and Barzeh samples

قطعه نمونه Sample	متغیر Variable	تک‌پایه (دانه‌زاد) Single tree (Seedling)		شاخه‌زاد Coppice		مجموع Total
		بلوط برودار Brant`s oak	زالزالک Hawthorn	بلوط برودار Brant`s oak	زالزالک Hawthorn	
چهارزبر Chaharzabar	تراکم در هکتار (پایه) Density per hectare	30	18	302	20	370
	درصد Percent	8.1	4.9	81.6	5.4	100
برزه Barzeh	تراکم در هکتار (پایه) Density per hectare	13	0	364	1	378
	درصد Percent	3.4	0	96.3	0.3	100



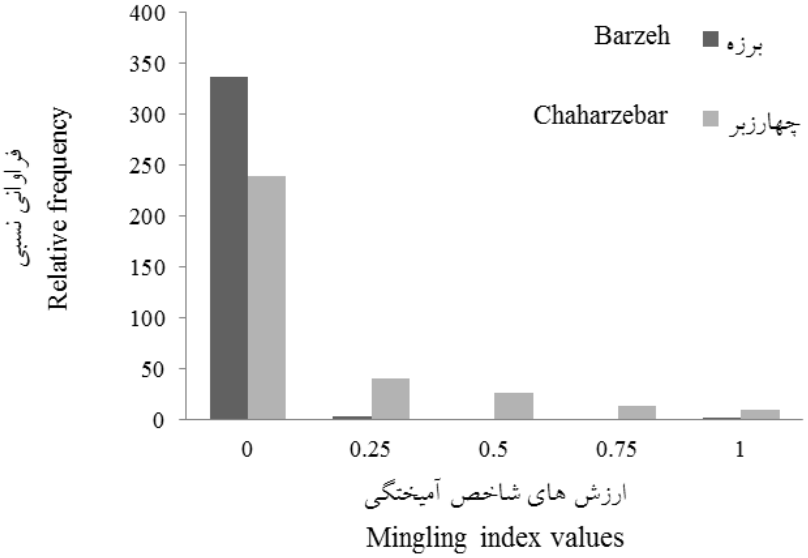
شکل ۲– الگوی پراکنش مکانی پایه‌های درختی در قطعه‌نمونه‌های مورد بررسی، الف: چهارزبر– ب: برزه

Figure 2. The Spatial distribution pattern of trees in studied samples, A: Chaharzebar – B: Barzeh

جدول ۳- میانگین شاخص‌های ساختاری قطعه‌نمونه‌های چهارزبر و برزه

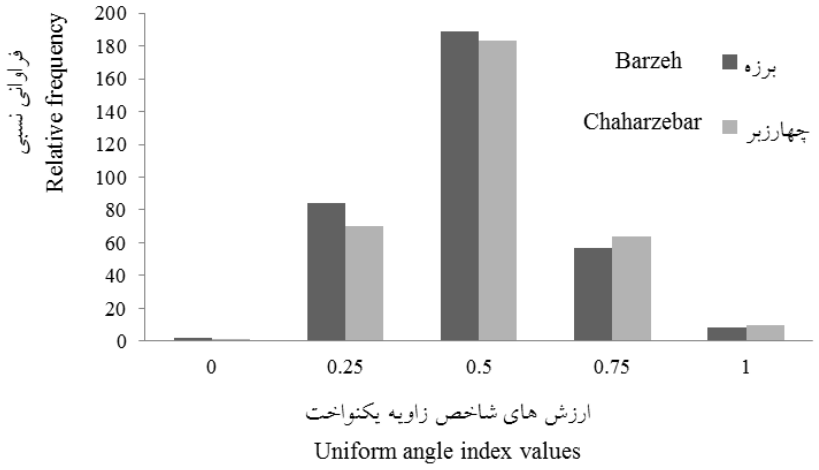
Table 3- The average structural indices of Chaharzebar and Barzeh samples

قطعه نمونه Sample		شاخص‌های ساختاری Structural indices
برزه Barzeh	چهارزبر Chaharzebar	
0.88	0.87	کلارک و اوانز Clark and Evans
0.5	0.51	زاویه یکنواخت Uniform angle index
0.005	0.13	آمیختگی Mingling
0.38	0.55	تمایز قطری Diameter differentiation
0.19	0.2	تمایز ارتفاعی Height differentiation
3.4	3.5	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (متر) Distance to the nearest neighbor (m)
0.2	0.3	تنوع ساختاری ترکیبی Diversity of combined structure



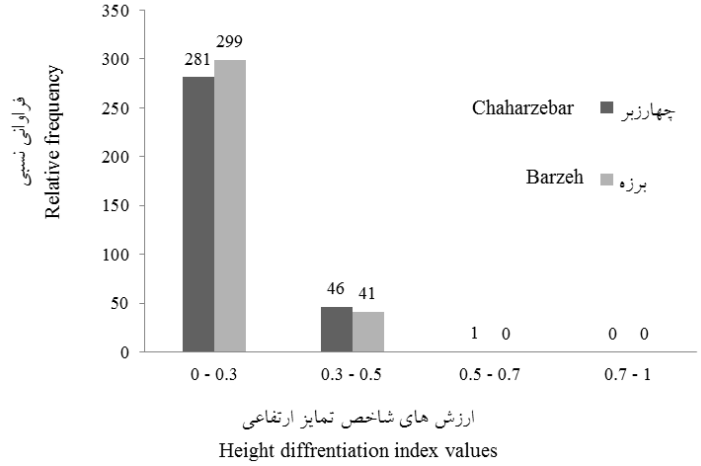
شکل ۳- نمودار توزیع ارزش‌های شاخص آمیختگی قطعه‌نمونه‌های چهارزبر و برزه

Figure 3. The distribution chart of the Mingling index values of Chaharzebar and Barzeh samples



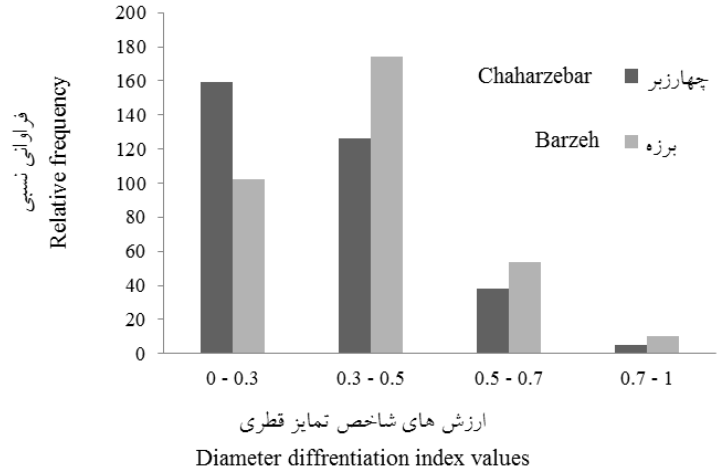
شکل ۴- نمودار توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت قطعه‌نمونه‌های چهارزبر و برزه

Figure 4. The distribution chart of the uniform angle index values of Chaharzebar and Barzeh samples



شکل ۵- نمودار توزیع ارزش‌های شاخص تمایز ارتفاعی قطعه‌نمونه‌های چهارزبر و برزه

Figure 5. The distribution chart of the Height index values of Chaharzebar and Barzeh samples



شکل ۶- نمودار توزیع ارزش‌های شاخص تمایز قطری قطعه‌نمونه‌های چهارزبر و برزه

Figure 6. The distribution chart of the Diameter index values of Chaharzebar and Barzeh samples

بحث

بررسی و آگاهی از شاخص‌های ساختاری توده‌های جنگلی زیربنای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در حوزه جنگل‌داری است. شدت و تداوم عوامل تخریبی متعدد در جنگل‌های زاگرس و به‌تبع آن در مناطق مورد بررسی، سبب شده، شاخص‌های ساختاری در دامنه‌های زمانی کوتاه‌تری دست‌خوش تغییر شده و نیازمند بررسی و سنجش باشند. بررسی و تشریح شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه، نشان داده است که این شاخص‌ها، توانایی لازم برای تعیین ساختار جنگل، تشریح اختلاف ساختار بین جنگل‌ها در زمان و مکان‌های مختلف و همچنین تعیین اختلاف ساختار مشاهده شده و مورد انتظار و بیان تغییرهای ایجاد شده در اثر عملیات بهره‌برداری را دارا هستند (Pommereninig., 2002).

در این پژوهش در ابتدا به بررسی الگوی مکانی درختان که از اهمیت بالائی در تعاملات گیاهان با یکدیگر و همچنین بهبود درک ما از وضعیت رقابت، عملکردها و پتانسیل آینده یک اکوسیتم جنگلی برخوردار است (Dong et al., 2020) پرداخته شد. بر اساس نتایج شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه و تحلیل نتایج شاخص کلارک و اوانز، الگوی پراکنش درختان در هر دو قطعه‌نمونه، کپه‌ای است که این نتایج با وضعیت توده‌های جنگلی زاگرس (جست‌زا بودن و داشتن بذر سنگین) و نتایج پژوهش Farhadi et al. (2014) و Sefidi et al. (2020) با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه در جنگل‌های استان لرستان، پژوهش Basiri et al. (2006) و Safari et al. (2014) با استفاده شاخص‌های گرین و موریسیتا در جنگل‌های بلوط ایرانی و همچنین بررسی شاخص‌های فاصله‌ای ابرهارت، هینز، C و هاپکینز توسط Mirzaei et al. (2016) در جنگل‌های زاگرس، که همگی الگوی پراکنش را کپه‌ای بیان کردند، هم‌خوانی دارد.

شاخص دیگری که در تکمیل شاخص کلارک و اوانز به بررسی موقعیت مکانی درختان از نظر چیدمان گونه‌ای در اطراف درخت مرجع می‌پردازد، شاخص زاویه یکنواخت است. Gangying et al. (2007) در پژوهش خود بیان کردند که شاخص زاویه یکنواخت دارای یک مزیت اضافی است که می‌تواند تجزیه و تحلیل‌های کمی و کیفی را با استفاده از نمودار توزیع شاخص زاویه یکنواخت و مقدار متوسط ترکیب کند و نسبت به دیگر شاخص‌های تنوع موقعیت مکانی از توانایی بیشتری برخوردار است. در این‌خصوص نتایج این پژوهش نشان داد در قطعه‌نمونه چهارزبر، پراکنش گونه‌ای تصادفی و در قطعه‌نمونه برزه، پراکنش گونه‌ای یکنواخت است و این نتایج با بررسی Farhadi et al. (2014) (درجنگل‌های منطقه قلعه‌گل خرم‌آباد) که الگوی پراکنش گونه‌ای را تصادفی متمایل به منظم را بیان، کردند، مطابقت دارد.

شاخص دیگر در این پژوهش که بیانگر وضعیت تنوع گونه‌ای است، شاخص آمیختگی است. تحلیل نتایج این شاخص در پژوهش حاضر، حاکی از آمیختگی کم در هر دو قطعه‌نمونه مورد بررسی و به نسبت بیشتر در قطعه‌نمونه برزه نسبت به چهارزبر است. همچنان که Pommerening (2002) اشاره کرد، آمیختگی گونه‌ای تحت تأثیر موقعیت مکانی درختان قرار دارد و گونه‌هایی که الگوی مکانی کپه‌ای دارند، دارای آمیختگی کمی هستند. در این راستا می‌توان اشاره کرد که تخریب بستر زادآوری جنگل‌های زاگرس، چرای شدید دام و کمبود بارش، عرصه را بر تجدید حیات و زادآوری طبیعی گونه‌های جنگلی تنگ و مشکل کرده و از این‌رو گونه بلوط ایرانی با برخورداری از توان تولید جست و تکثیر غیرجنسی، به‌عنوان گونه غالب در توده‌های جنگلی زاگرس نمود پیدا کرده و مقدار آمیختگی

و تنوع گونه‌ای در این مناطق را تحت تأثیر خود قرار داده است.

شاخص‌های بعدی در زمینه تنوع ابعاد درختان، شاخص‌های تمایز قطری و تمایز ارتفاعی بودند که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از تمایز قطری متوسط در قطعه‌نمونه چهارزبر و تمایز کم در قطعه‌نمونه برزه بود و از نظر تمایز ارتفاعی هر دو قطعه نمونه از تمایز کمی برخوردار بودند. این نتایج را می‌توان به وجود عوامل متعدد تخریبی در جنگل‌های زاگرس و مناطق مورد بررسی، مربوط دانست که سبب شده توده‌های جنگلی توان و زمان کافی برای رسیدن به مراحل تکاملی را نداشته باشند و تمامی درختان و جست‌گروه‌های موجود، به‌طور مداوم تحت تأثیر تنش‌های تخریبی، از تمایز قطری و ارتفاعی زیادی برخوردار نباشند. در واقع چنانکه نتایج پژوهش Sefidi et al. (2020) در جنگل‌های لرستان نیز نشان داد، می‌توان دلیل کاهش تمایز قطری و ارتفاعی درختان را تکامل یافته نبودن توده‌های جنگلی دانست.

در پایان و در جمع‌بندی شاخص‌ها، بایستی خاطر نشان کرد که ساختار جنگل در مناطق مورد بررسی به‌شدت دست‌خوش تغییر شده و با شرایط مطلوب و کلیماکس فاصله زیادی پیدا کرده است. نتایج شاخص تنوع ترکیبی، نشان داد که سطح تنوع زیستی، گونه‌ای و ابعادی کمی در هر دو توده جنگلی مورد بررسی وجود دارد و این نتایج، متأثر از عوامل محیطی و محاطی مؤثر در شرایط رویشگاهی این جنگل‌ها است. در این راستا لازم است ضمن بررسی و پایش کلیه شاخص‌های زیستی و غیرزیستی، با اولویت بخشیدن به برنامه‌های حفاظتی و کنترل و ذخیره بارش‌های جوی، زمینه افزایش رطوبت خاک و بازسازی دوباره این مناطق فراهم شده و سرعت روند تخریبی کاهش یابد.

References

Aguirre, O.; Hui, G.; von Gadow, K.; Jiménez, J., An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest ecology and management* **2003,** *183* (1-3), 137-145.

Alijani, V.; Feghhi, J.; MirAzadi, Z.; Soosani, J., Quantification of forest spatial structure, a suitable tool for sustainable management of Zagros forests. National Conference on Central Zagros Forests (Capabilities and bottlenecks), November 23, **2011**. (In persian)

Alijani, V.; Feghhi, J.; Zobeiri, M.; Marvi Mohajer, M.R., 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*) **2012**, *65* (1), 111-125. (In Persian).

Anonymous, 2021. Climatic data of Eslamabad Gharb station. Meteorological site of Kermanshah Province, http://www.kermanshahmet.ir. (In persian)

Basiri, R.; Sohrabi, H.; Mozayen, M., A Statistical Analysis of the Spatial Pattern of Trees Species in Ghamisheleh Marivan Region, Iran. *Journal of the Iranian Natural resources* **2006**, *59* (3),579-588. (In Persian).

Corral-Rivas, J. J.; Wehenkel, C.; Castellanos-Bocaz, H. A.; Vargas-Larreta, B.; Diéguez-Aranda, U., A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbour indices in forest stands. *Journal of forest research* **2010,** *15* (4), 218-225.

Dong, L.; Wei, H.; Liu, Z., Optimizing forest spatial structure with neighborhood-based indices: Four case studies from northeast China. *Forests* **2020,** *11* (4), 413.

Erfanifard, S.Y.; Zare, L.; Feghhi, J., Application of nearest neighbor indices in Persian oak (*Quercus brantii* var. *persica*) coppice stands of Zagros forests. *Iranian Journal of Applied Ecology* **2014**, *2* (5), 15-25. (In Persian).

Farhadi, P.; Soosani, J.; Adeli, K.; Alijani, V., Analysis of Zagros forest structure using neighborhood-based indices (Case study: Ghalehgol forest, Khorramabad). *Iranian*

Journal of Forest and Poplar Research **2014**, *22* (2), 294-305. (In Persian).

Farhadi, P.; Soosani, J.; Erfanifard Farhadi, S.Y., Evaluation level of tree diversity in the Hyrcanian forests using complex structural diversity index (Case study: beech-hornbeam type, Nav-e Asalem, Gilan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2017**, *25* (3), 495-505. (In Persian).

Gadow, K.V.; Zhang, C.Y.; Wehenkel, C.; Pommerening, A.; Corral-Rivas, J., Korol, M.; Myklush, S.; Hui, G.Y.; Kiviste, A.; Zhao, X.H., *Forest Structure and Diversity*, Springer: **2012**, 29-83.

Gangying, H.; Li, L.; Zhonghua, Z.; Puxing, D., Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. *Acta Ecologica Sinica* **2007,** *27* (11), 4717-4728.

Graz, P.F., Spatial diversity of dry savanna woodlands. *Biodiversity and Conservation* **2006**, *15*, 1143-1157.

Kint, V.; Lust, N.; Ferris, R.; Olsthoorn, A., Quantification of forest stand structure applied to Scots pine (Pinus sylvestris L.) forests. *Forest Systems* **2000,** *9*, 147-163.

Kint, V.; Noël, L., Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modelling* **2004,** *180* (4), 461-476.

Mirzaei, M.; Bonyad, A.E.; Azizi, J., Investigation comparison of K-Ripley and distance indices in order to determinate of spatial pattern of *Quercus brantii* Lindl. in Zagros forests. *Forest Research and Development* **2016**, *1*(3), 231-240. (In Persian).

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

Pastorella, F.; Palleto, A., Stand structure indices as tools to support forest management: an application in Trentino forest (Ttaly). *Journal of Forest Science* **2013**, *59* (4), 159-168.

Pilehvar, B.; Mirazadi, Z.; Alijani, V.; Jafari Sarabi, H., Investigation of Hawthorn and Maple's stands structures of Zagros forest using nearest neighbors indices. *Journal of Zagros Forests Research* **2015,** *1* (2), 1-14.

Pommerening, A., Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* **2002**, 3, 305-324.

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

Pretzsch, H., Forest Dynamics. Growth and Yield, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, p 664.

Ruprecht, H.; Dhar, A.; Aigner, B.; Oitzinger, G.; Klumpp, R.; Vacik, H., Structural diversity of English yew (Taxus baccata L.) populations. *European Journal of Forest Research* **2010,** *129*, 189-198.

Safari, A.; Shabanian, N.; Heidari, R. H.; Erfanifard, S. Y.; Pourreza, M., Spatial pattern of Manna Oak trees (Quercus brantii Lindl.) in Bayangan forests of Kermanshah. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2010,** *18* (4), 596-608.

Sefidi, K.; Heidari, Z.; Soltani, A.; Maleknia, R., Structural characteristics of oak communities (Quercus infectoria) in Shineh Galayie Forest, Lorestan province. *Forest Research and Development* **2020,** *6* (1), 153-164.

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

Szmyt, J.; Dobrowolska, D., Spatial diversity of forest regeneration after catastrophic wind in northeastern Poland. *iForest-Biogeosciences and Forestry* **2016,** *9* (3), 414.

Szmyt, J.; Korzeniewicz, R., Do natural processes at the juvenile stage of stand development differentiate the spatial structure of trees in artificially established Forest Stands. *Forest Research Papers* **2014**, *75* (2), 171–179.

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

Structure analysis of oak forest stands using neighborhood-based indices (case study: Chaharzebar and Barzeh forests, Kermanshah Province)

H. Rahimi[*1], S.K. Bordbar [2], M. Pourhashemi [3], M. Khanhasani [4], H. Safari[5] and N. Jalilian[6]

1- Research Expert, Forest and Rangeland Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, I. R. Iran. (hrahimi34@gmail.com)
2- Assistant Professor, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, I. R. Iran. (sbordbar86@gmail.com)
3- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (pourhashemi@rifr-ac.ir)
4- Assistant Professor, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, I. R. Iran. (mkhanhasani@gmail.com)
5- Assistant Professor, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, I. R. Iran. (hooshmand.safari@gmail.com)
6- Associate Prof, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, I. R. Iran. (najalilian@gmail.com)

Received: 29.08.2022 Accepted: 07.12.2022

Abstract

In this study, the structure of Zagros forest stands was analyzed using neighborhood-based indices such as Clark and Evans, uniform angle, mingling, diversity of dimensions, diversity of combined structure, and distance to the nearest neighbor in two one-hectare (unprotected) sample plots in Chaharzebar and Barzeh forest areas (as a sample of the majority of Kermanshah province's forests). Clark and Evans index values of 0.87 and 0.88 for quadrupeds and ridges, respectively, and uniform angles of 0.51 and 0.5, respectively, revealed a spatial distribution pattern in both hilly areas and a species distribution pattern in random quadrants and the Barzeh region. The average mingling index values of 0.13 and 0.005 revealed that the Barzeh region had substantially lower species mixing than the Chaharzebar region. In addition, the mean diameters of differentiation indices with values of 0.55 and 0.38, and height differentiation with values of 0.2 and 0.19, were determined for Chaharzebar and Barzeh, respectively, indicating a minor height difference and the diametric superiority of Chaharzebar trees over Barzeh. In general, the structure of the forest in the analyzed regions has been significantly altered, and the findings of the hybrid diversity index revealed a low level of biological, species, and dimensional variety in the two studied forest stands.

Keywords: Iranian oak, Zagros forests, Forest structure, Neighborhood-based indices.

[*] Corresponding author Tel: +988338358226