



دانشگاه گوار، دانشکده منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2018.14696.1732

## بررسی شاخص‌های پایش ساختار برای گونه‌های چوبی جنگل‌های شمال ایران

سجاد بابایی<sup>۱</sup>، \* محمود بیات<sup>۲</sup>، منوچهر نمیرانیان<sup>۳</sup> و سحر حیدری مستعلی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران،

<sup>۲</sup> استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،

<sup>۳</sup> استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،

<sup>۴</sup> دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** ساختار جنگل به مطالعه توزیع ویژگی‌های درختان در اکوسیستم‌های جنگلی می‌پردازد. به‌طور کلی، واژه ساختار به ترکیب جوامع درختی از نظر ویژگی‌های خاص تأکید می‌کند. پایش ساختار جنگل در درک بسیاری از مسائل در اکولوژی و مدیریت جنگل ضروری است. امروزه به‌منظور ارزیابی موقعیت و تنوع زیستی درختان شاخص‌های بسیاری توسعه یافته‌اند که باعث ساده‌تر شدن تحلیل ساختاری جنگل شده است. به‌کارگیری این شاخص‌ها در قطعات نمونه ثابت باعث تسهیل در مطالعات دینامیک جمعیت در طی زمان می‌شود و امکان پایش تنوع موقعیت مکانی، ابعاد، تنوع اندازه قطر و ارتفاع درختان را ممکن می‌سازد. همچنین به‌علت کمی بودن این شاخص‌ها و امکان مقایسه یک توده در دو زمان مختلف، این شاخص‌ها به‌عنوان ابزار مفیدی در نیل رسیدن به مدیریت پایدار جنگل می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** شاخص‌های آمیختگی، زاویه‌ای یکنواخت، تمایز قطر و ارتفاع از جمله مهمترین شاخص‌ها در تحلیل ساختار مکانی جنگل در مطالعات استاتیک می‌باشند. که این شاخص‌ها به‌علت سادگی در محاسبات و دقت بالا نسبت به سایر روش‌ها ارجح‌تر می‌باشد. در این پژوهش، با استفاده از روش منظم تصادفی در شبکه‌ای مستطیلی به ابعاد ۱۵۰×۲۰۰ متر بخش گرازبن جنگل خیرود واقع در شهرستان نوشهر، مورد آماربرداری قرار گرفت. سپس به منظور بررسی پایش ساختار گونه‌های چوبی جنگل (راش، بلوط، ممرز، توسکا، افراپلت، شیردار، نمدار، ملج، و خرمندی) طی دوره ۹ ساله، از شاخص‌های زاویه‌ای یکنواخت، آمیختگی مینگ لینگ، نزدیک‌ترین همسایه و شاخص تمایز اندازه قطر و ارتفاع درختان استفاده شد. به منظور مقایسه تنوع گونه‌ای، مکانی و اندازه قطر و ارتفاع درختان از آزمون تی جفتی استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج به‌دست آمده میانگین شاخص‌های زاویه‌ای یکنواخت، آمیختگی مینگ لینگ، نزدیک‌ترین همسایه و شاخص تمایز اندازه قطر و ارتفاع درختان در اول دوره و انتهای دوره پایش به‌ترتیب ۰/۵۵۲، ۰/۵۹۱ و ۰/۷۶۲ و

\*مسئول مکاتبه: [mbayat@rifr-ac.ir](mailto:mbayat@rifr-ac.ir)

۰/۷۲۰، ۵/۶۶۵ و ۵/۳۵، ۰/۵۸۲ و ۰/۴۷۲، ۰/۵۹۸ و ۰/۵۲۵ محاسبه شد؛ که به ترتیب نشان‌دهنده الگوی پراکنش تصادفی متمایل به کپه‌ای، تنوع آمیختگی مطلوب، تراکم بالا، و اختلاف متوسط و آشکار بین قطر و ارتفاع درختان مرجع نسبت به درختان همسایه می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج آزمون تی جفتی نشان داد که اختلاف معناداری در سطح احتمال ۹۵ درصد میان این شاخص‌ها قبل و بعد از دوره پایش (یعنی دوره ۹ ساله) وجود ندارد. همچنین نتایج حاصل از آزمون تی جفتی برای تک تک گونه‌ها اثبات نمود، که بین شاخص تمایز قطری درخت ممرز قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری وجود دارد. اما میان سایر گونه‌ها قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری در سطح احتمال ۹۵ درصد، وجود نداشت. که علت آن چیرگی درختان ممرز نسبت به درختان همسایه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پایش، تنوع گونه‌ای، تنوع موقعیت مکانی، ساختار جنگل

### مقدمه

**سابقه و هدف:** ساختار جنگل به مطالعه توزیع ویژگی‌های درختان در اکوسیستم‌های جنگلی می‌پردازد (۱۱). مطالعه پارامترهای درختان باعث ایجاد درک مشترک از ساختار جنگل می‌شود (۲۲). به‌طور کلی، واژه ساختار به ترکیب جوامع درختی از نظر ویژگی‌های خاص تأکید می‌کند. این ویژگی‌ها ممکن است شامل سن درخت، اندازه، گونه یا جنسیت در مورد گونه‌های دوپایه باشد. به‌عبارت دیگر، ساختار جنگل چیدمان ویژگی‌های درختان را در کنار یکدیگر را مورد بررسی قرار می‌دهد (۱۲). الگوی پراکنش گونه‌های درختی به سه دسته تصادفی، خوشه‌ای و کپه‌ای تقسیم‌بندی می‌شود. مطالعه ساختار جنگل از طریق شمارش کل درختان قطعه نمونه با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه انجام می‌گیرد (۱ و ۲). همچنین مطالعه ساختار جنگل با استفاده از انتخاب تصادفی درختان موجود در قطعه نمونه قابل محاسبه است (۷). تشریح ساختار جنگل باید براساس یک تعریف واضح از ساختار پایه‌گذاری شود. پژوهشگران مختلف ساختار جنگل را براساس سه ویژگی مورد مطالعه قرار دادند؛ اولین ویژگی موقعیت مکانی درختان است که در واقع نشان‌دهنده الگوهای

پراکنش منظم، تصادفی، کپه‌ای و یا ترکیبی از آن‌ها است، دومین ویژگی رایج، نحوه آمیختگی گونه‌ای است که چیدمان فضایی گونه‌های مختلف را بررسی می‌کند و آخرین ویژگی نیز ابعاد درختان است که در آن در مورد چیدمان مکانی مشخصه‌هایی نظیر قطر و ارتفاع بحث می‌شود (۱۸، ۲۴ و ۴). امروزه به منظور ارزیابی موقعیت و تنوع زیستی درختان شاخص‌های بسیاری توسعه یافته‌اند که باعث ساده تر شدن تحلیل ساختاری جنگل شده است (۲۰). شررو و همکاران (۲۰۰۲) پس از تخریب و آتش‌سوزی در پوشش جنگلی کانادا (اونتاریو) موقعیت درختان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شرایط خاک، نوع و زمان تخریب نقش بسیار مهمی در تعیین موقعیت درختان دارد. نییوف و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور بررسی موقعیت مکانی درختان، جنگل‌های بارانی جنوب تایوان را مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج تحقیق انجام شده نشان داد که ۸۸/۵ درصد درختان از پراکنش خوشه‌ای و ۹/۱ درصد پراکنش تصادفی تبعیت می‌کنند (۶). مطالعات گسترده‌ای بر روی ساختار جنگل در ده اخیر انجام شده است: از جمله می‌توان به مطالعات پوربابایی و همکاران (۲۰۱۲) و عرفانی راد و همکاران (۲۰۰۷) و همکاران (۲۰۱۳) و

مدیریت بهینه جنگل مورد توجه قرار گیرند (۲۹). ساختار توده می‌تواند با استفاده از شاخص‌های ریاضی کارا و مؤثر که به‌طور خلاصه شامل اثرات دو یا چند ویژگی ساختاری هستند، مورد ارزیابی قرار گیرد (۲۴). مطالعات اخیر مشخصه‌های مختلف ساختاری توده را با توجه به ارتباط بین گروه‌های درختی مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه بر اساس شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی و تمایز قطر سینه مورد بررسی قرار داده‌اند. این شاخص‌ها به‌ترتیب الگوی پراکنش درختان، کمیت و درجه پراکندگی گونه‌های مختلف درختی و وضعیت ابعاد درختان را مورد بررسی قرار می‌دهند و با میانگین‌گیری از آن‌ها در سطح توده‌های جنگلی می‌توان به توصیف جنبه‌های مختلف ساختاری پرداخت (۴۰). این شاخص‌ها به‌علت دارا بودن ویژگی‌هایی از جمله آسانی اندازه‌گیری، ارزان بودن و صحت زیاد مورد توجه پژوهشگران خارجی قرار گرفته‌اند. همچنین در ایران نیز در برخی پژوهش‌ها این شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان به مطالعات علیجانی و فقهی (۲۰۱۲)؛ علیجانی و همکاران (۲۰۱۲)؛ سفیدی و همکاران (۲۰۱۴) و عرفانی فرد و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد (۱۳).

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** این تحقیق در بخش گرازبن جنگل خیرود دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گردید. بخش گرازبن به وسعت ۹۳۴/۲۴ هکتار، سومین بخش از مجموعه جنگل‌های تحت مدیریت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران می‌باشد که در ۷ کیلومتری شرق نوشهر و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی، قرار دارد. بخش گرازبن در ارتفاع

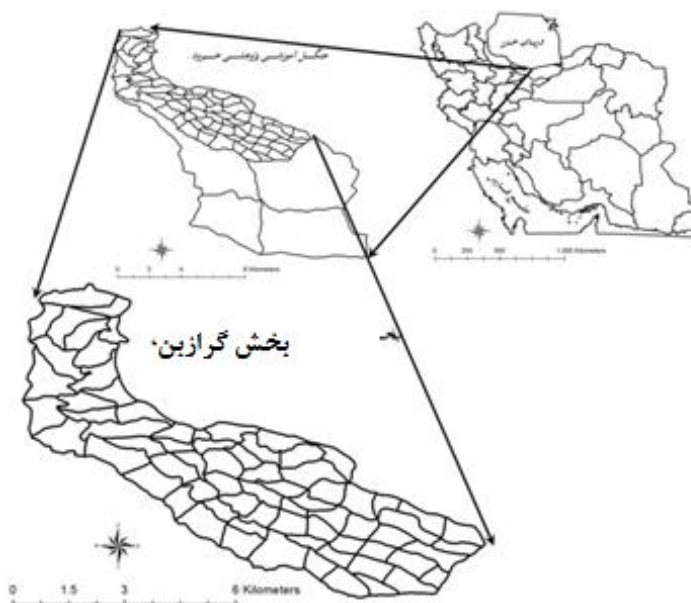
سفری و همکاران (۲۰۱۰) اشاره نمود. پیشینه تحقیق به ویژه در ایران نشان‌دهنده استاتیک بودن مطالعات ساختار در جنگل می‌باشد؛ بدین مفهوم که تنوع موقعیت مکانی، تنوع اندازه و تنوع زیستی درختان در یک زمان ثابت مورد بررسی قرار گرفته است و پویایی آن یا تغییر ساختار در یک دوره زمانی در نظر گرفته نشده است. لذا با توجه اهمیت پایش و بررسی ساختار، هدف این پژوهش، برخلاف مطالعات قبلی پایش ساختاری جنگل در یک دوره ۹ ساله می‌باشد.

در جنگلداری نوین، کمی‌سازی ساختار جنگل با یک دامنه وسیع از اهداف انجام می‌شود (۳۲) که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، حفظ ساختار و تنوع زیستی جنگلی است. به این منظور به شاخص‌هایی نیاز است که بتوانند با صرف کمترین هزینه بیشترین اطلاعات را در رابطه با وضعیت فعلی ساختار جنگل، تکامل طبیعی و تغییرات ناشی از مدیریت جنگل ارائه دهند (۴).

شاخص، یک جنبه از معیار را اندازه‌گیری یا تشریح می‌کند. اگرچه شاخص‌ها عمدتاً کمی هستند ولی می‌توانند کیفی هم باشند و می‌توان آن‌ها را اندازه گرفت یا تشریح کرد. ولی شاخص‌ها را به‌طور دوره‌ای ارزیابی کنیم می‌توانیم یک روند را نشان دهیم. مجموعه معیارها و شاخص‌ها وسیله‌ای را فراهم می‌کند که حرکت و گام برداشتن به سوی جنگلداری پایدار را ارزیابی و تشکیل زیست‌بوم‌های جنگلی را به‌طور مداوم کنترل می‌کند. از این‌رو، برای ارزیابی فعالیت‌ها و بررسی پایداری آن‌ها باید یک رشته معیارها و شاخص‌های مناسب تهیه شود. مهم‌ترین نکته در مدیریت پایدار، استفاده از چارچوب معیارها و شاخص‌هاست که مدیریت پایدار جنگل را در سطح ملی منطقه‌ای و واحد مدیریت پایش می‌کند. بنابراین، ارزیابی تنوع گونه‌ای و ساختار توده می‌تواند به‌عنوان مشخصه‌های مرتبط با تنوع زیستی در راستای

زهکش طبیعی به رودخانه خیرود می‌ریزد و بدین ترتیب اغلب جنگل، مخصوصاً خاک سطحی آن در تابستان دچار کمبود آب و خشکی شده و باعث کندی رویش درختان در این فصل می‌شود. خاک این بخش در تقسیم‌بندی کلی جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است (۱۲). شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بین ۸۴۰-۱۳۵۰ متر قرار دارد و از لحاظ زمین‌شناسی سنگ مادر بخش گرازین، آهکی و طبق نقشه وزارت نفت متعلق به دوران ژوراسیک علیا بوده و در بعضی نقاط از طبقات سخت شکافدار و طبقات نرم و به‌طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. در بعضی از نقاط به‌علت بیرون زدگی سنگ مادر و پدیده‌های کارستیک اکثر آب حاصله از بارندگی در خاک نفوذ و به‌صورت



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه، بخش گرازین جنگل خیرود.

Figure 1. The study area is Gorazbon Forest District of Kheyroud.

دوبازو اندازه‌گیری و مقادیر آن‌ها در طبقات یک‌سانتری در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شدند. فاصله درختان و آزیموت قسمت چپ تنه آن‌ها از مرکز قطعه‌نمونه با متر و قطب‌نما اندازه‌گیری شدند.

شاخص آمیختگی تنوع (مینگ لینگ): شاخص مینگ لینگ یکی از شاخص‌های کیفیت تنوع گونه‌ای است؛ که در مدیریت جنگل اهمیت زیادی دارد. تعدادی از پارامترهای این شاخص توسط گادوو و همکاران (۲۰۱۲) توسعه پیدا کرد است. هدف این شاخص

روش نمونه‌برداری: روش نمونه‌برداری در این تحقیق، همان‌گونه که بیان شد، نمونه‌برداری تصادفی منظم بوده است به‌این ترتیب که در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۱ به کمک یک شبکه آماربرداری مستطیلی ۱۵۰×۲۰۰ متر (الگوی دستگاه اجرایی)، با یک شروع تصادفی تعداد ۲۵۸ قطعه نمونه دائمی دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر، به‌طور سیستماتیک در سطح بخش پراکنده شدند. در داخل قطعه‌نمونه، قطر برابر سینه تمام درختان زنده که در ارتفاع برابر سینه، قطری بزرگتر از ۷/۵ سانتی‌متر داشتند به کمک خط‌کش

قرار گیرد (۳۳). این شاخص با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه به بررسی تعیین الگوی پراکنش درختان می‌پردازد. در این شاخص در ابتدا زاویه بین درختان همسایه ( $\alpha_j$ ) نسبت به یک زاویه استاندارد ( $\alpha_0$ ) سنجیده می‌شود در صورتی که زاویه به دست آمده از درختان همسایه ( $\alpha_j$ ) بزرگتر از زاویه زاویه استاندارد ( $\alpha_0$ ) باشد ارزش صفر و در صورتی که کمتر از این مقدار باشد ارزش ۱ اختصاص داده می‌شود. زاویه استاندارد از نسبت ۳۶۰ به تعداد درختان همسایه به دست می‌آید. سپس با استفاده رابطه ۲ ارزش شاخص زاویه‌ای یکنواخت تعیین می‌شود.

$$W_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 v_{ij} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 1; & \alpha_j > \alpha_0 \\ 0; & \alpha_j < \alpha_0 \end{cases}$$

$W_i$ : ارزش اولیه به دست آمده از شاخص برای تک تک درختان همسایه  
 $v_{ij}$ : نسبت به درخت مرجع؛  
 $W_i$ : ارزش شاخص زاویه‌ای یکنواخت؛

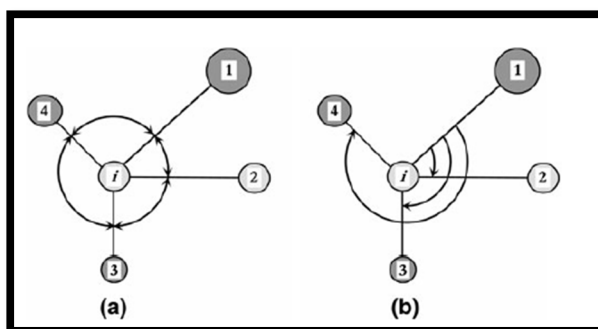
پس از مشخص شدن مقدار  $W_i$  در هر نقطه نمونه‌برداری در مرحله بعد از این مقادیر میانگین‌گیری شده و چنانچه میانگین‌ها برابر صفر باشد بیانگر الگوی یکنواخت، اگر برابر با عدد ۰/۵ باشد الگوی تصادفی و اگر برابر با عدد ۱ باشد، الگو به شکل کپه‌ای خواهد بود (۴۰). در شاخص فوق  $v_{ij}$  ارزش شاخص محاسبه شده برای درختان را نشان می‌دهد. در صورتی که  $j$  بزرگتر از صفر باشد ارزش ۱ در غیر این صورت، ارزش صفر اختصاص داده می‌شود. شکل ۲ نحوه محاسبه اندازه‌گیری شاخص زاویه‌ای یکنواخت و نحوه اندازه‌گیری میانگین را نشان می‌دهد.

ارزیابی تنوع گونه‌ی اطراف درخت مرجع یا یک نقطه می‌باشد. در این روش نوع گونه‌ای درختان همسایه نسبت به درخت مرجع مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورت وجود ترکیب گونه‌ای یکسان ارزش صفر، در غیر این صورت ارزش یک اختصاص داده می‌شود. نحوه محاسبه آن در رابطه ۱ ذکر شده است (۱۵):

$$m_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^k v_j \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه فوق  $m_i$  ارزش شاخص تنوع گونه‌ای میلینگ را نشان می‌دهد. ارزش‌های ۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵، ۱ به ترتیب تنوع گونه‌ای صفر، ضعیف، متوسط، بالا و تنوع گونه‌ای خیلی بالا را نشان می‌دهد. به منظور محاسبه ارزش آمیختگی میلینگ در کل توده نیاز است؛ ارزش  $V_j$  به دست آمده از نوع گونه درختان همسایه نسبت به درخت مرجع را نشان می‌دهد که در محدوده صفر و یک قرار دارد، اگر کل ارزش‌های توده جنگلی جمع نموده و بر تعداد درختان موجود در توده تقسیم شود ارزش تنوع گونه‌ای برای کل توده جنگلی قابل محاسبه است.

در مطالعات مختلفی، از شاخص زاویه یکنواخت در تحلیل الگوی مکانی درختان در جنگل‌ها استفاده شده است که نتایج نشان دادند که در حالت‌های مختلف از نظر تعداد درختان مورد بررسی در هر نقطه نمونه‌برداری شاخص زاویه یکنواخت از دقت کافی برای تعیین الگوی مکانی برای هر سه گونه مورد مطالعه را دارد. نتایج دیگر بیانگر این موضوع است که با توجه به این‌که شاخص زاویه یکنواخت برای تعیین الگوی مکانی از دو رویکرد محاسبه‌ای و ترسیمی استفاده می‌کند، هر دو رویکرد از کارایی مناسب برای تعیین الگوی مکانی برخوردار هستند در نتیجه، شاخص زاویه یکنواخت می‌تواند به عنوان یک روش سریع و کم‌هزینه برای تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان برای ذخیره‌گاه‌های مشابه مورد استفاده



شکل ۲- قسمت (a) نحوه اندازه‌گیری شاخص زاویه یکنواخت و در قسمت (b) نحوه اندازه‌گیری شاخص زاویه‌ای یکنواخت با استفاده از میانگین حسابی.

Figure 2. Part (a) How to measure the uniform angle index in and (b) How to measure the uniform angular index with the use of the arithmetic mean.

این روش از مرز منطقه تأثیر زیادی می‌پذیرد که در صورت نیاز به تصحیح باید روش‌های مناسب انتخاب شود که گاهی حتی با استفاده از روش‌های تصحیح نیز صحت لازم حاصل نمی‌گردد.

همچنین روش نزدیک‌ترین همسایه می‌تواند الگوی مکانی مطلق در کل جامعه را با اطمینان بیشتر (به دلیل نبود اشکالات اساسی روش کوادرات و سایر اشکالات مطرح شده در روش‌های دیگر) تعیین نماید. در حالی که اگر بررسی رفتار درختان در مقیاس‌های مختلف، هدف باشد تنها می‌توان از روش تابع  $g$  و سایر مشتقات تابع  $K$  استفاده نمود. که استفاده از آن هم بسیار دشوار به نظر می‌رسد (۱۱).

$$D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 S_{ij} - \text{رابطه ۳}$$

$S_{ij}$ : فاصله درختان همسایه تا درخت مرجع؛

$D$ : شاخص نزدیک‌ترین همسایه؛

شاخص تمایز قطر و ارتفاع درختان: این شاخص به بررسی تمایز قطر و ارتفاع درختان همسایه نسبت به درختان مرجع می‌پردازد. در صورتی که قطر درختان همسایه نسبت درختان مرجع چیره باشد ارزش شاخص به سمت یک میل می‌کند. دامنه تغییرات این شاخص بین دو دامنه صفر و یک در نوسان است. به منظور تعیین اختلاف قطری و ارتفاعی بین درختان

شاخص نزدیک‌ترین همسایه: به منظور بررسی تراکم درختان در منطقه مورد مطالعه از شاخص نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد؛ در این شاخص، فاصله بین هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه اندازه‌گیری می‌شود، سپس با محاسبه میانگین حسابی از درختان، ارزش شاخص برای هر درخت محاسبه می‌گردد (رابطه ۳). شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه، به منظور برطرف کردن معایب شاخص‌های ساختاری نزدیک‌ترین همسایه که در نظر نگرفتن تراکم توده‌های جنگلی است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. روپرچت و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که میانگین این شاخص به چیدمان درختان و همچنین تراکم جنگل مورد مطالعه بستگی دارد و به سادگی امکان محاسبه میانگین فاصله بین درختان در یک گروه ساختاری و مقایسه آن با سایر مناطق را ممکن می‌سازد (۱۴).

به طور کلی روش‌های تعیین الگوی مکانی مطلق، کارایی لازم را دارا هستند و در مطالعات مختلف نتایج یکسانی را ارائه کردند. البته هر یک از روش‌ها مزایا و معایبی دارند که در استفاده از آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرند. به عنوان مثال تابع  $g$  نسبت به تغییرات الگو حساس‌تر است. و از جمله دیگر ویژگی‌های منفی این روش، محاسبات پیچیده برای تعیین الگوی مکانی درختان است. همچنین نتایج در

در نهایت به منظور مقایسه میانگین هر کدام از پنج شاخص ساختاری مورد مطالعه (شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی مینگ لینگ، نزدیک‌ترین همسایه و شاخص تمایز اندازه قطر و ارتفاع درختان) قبل و بعد از دوره پایش، از آزمون تی جفتی در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد که نتایج میانگین شاخص‌های ذکر شده، در جداول ۳ و ۲ قرار گرفته است. همچنین آزمون تی جفتی برای مقایسه میانگین شاخص‌های ذکر شده برای تک تک گونه‌ها انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ قرار داده شده است.

### نتایج و بحث

**ترکیب داده‌های مورد استفاده و آماره‌های توصیفی**  
**تحقیق:** تعداد کل مشاهدات در دسترس برای مدل رویش قطری ۶۹۷۲ اصله درخت بود که ترکیب گونه‌ای آن به صورت زیر می‌باشد. راش ۲۳۶۰ اصله، ممرز ۳۲۹۶ اصله، بلندمازو ۳۵۶ اصله، پلت ۲۷۷ اصله، شیردار ۲۰۲ اصله، نمدار ۱۰۸ اصله، ملج ۲۴ اصله، و در نهایت سایر گونه‌ها ۴ اصله می‌باشد. سطح مقطع توده و تعداد در هکتار درختان در پلات بسیار متغیر می‌باشد (جدول ۱). دامنه قطری درختان بین ۷-۱۸۸ سانتی‌متر و رویش قطری ۱۰ ساله اکثر درختان بین ۰-۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.

همسایه نسبت به درختان مرجع از پنج طبقه استفاده شده که به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف کم (۰-۰/۲) اختلاف متوسط (۰/۲-۰/۴)، اختلاف آشکار (۰/۴-۰/۶)، اختلاف زیاد (۰/۶-۰/۸) و اختلاف خیلی زیاد (۰/۸-۱) می‌باشد. نحوه محاسبه آن در رابطه ۴ و ۵ نشان داده شده است.

شاخص تمایز قطر برابر سینه مقدار همگنی یا ناهمگنی درختان را از نظر اندازه قطر برابر سینه بررسی می‌کند. مقدار این شاخص بین صفر (بدون اختلاف و همه درختان از نظر ابعاد کاملاً مشابه یکدیگرند) تا یک (ناهمگنی زیاد در میان درختان همسایه) نوسان می‌کند (۳۹) به منظور تفسیر بهتر، نتایج این شاخص به سه طبقه اختلاف قطری کم، اختلاف قطری متوسط و اختلاف قطری زیاد تقسیم‌بندی می‌شود (۲۹).

$$Wi = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - rij) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$rij = \frac{\text{قطر یا ارتفاع درختان کوچکتر}}{\text{قطر یا ارتفاع درختان بزرگتر}} \quad \text{رابطه ۵}$$

$Wi$ : ارزش شاخص تمایز قطری و ارتفاعی درختان را نشان می‌دهد؛

$rij$ : نسبت قطر و ارتفاع کوچک درختان به قطر و ارتفاع بزرگتر می‌باشد؛

داده‌های مورد استفاده، اطلاعات و آماره‌های مربوط به آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های مورد استفاده در تحقیق.

Table 1. Statistical characteristics of the data used in the research.

متغیر	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
تعداد درختان در هکتار	1220	20	421	241
سطح مقطع توده ( $m^2 ha^{-1}$ )	113	0	36.8	14
<sup>۱</sup> میانگین قطری (cm)	175	14	30.1	10.9
قطر (cm)	188	7	30.9	24.7
<sup>۲</sup> سطح مقطع قطورترین ( $m^2 ha^{-1}$ )	113	0	29.4	14.5

۱- میانگین قطری برای تک تک قطعات نمونه

۲- سطح مقطع قطورترین درختان در توده برای تک تک قطعات نمونه

ممرز، بلوط، توسکا، افرا، شیردار و نمدار قبل و بعد از پایش به ترتیب ۰/۵۵۲ و ۰/۵۹۱ محاسبه شد. در این پژوهش به منظور بررسی ساختار دینامیکی گونه‌های چوبی (راش، بلوط، ممرز، توسکا، افراپلت، شیردار، نمدار، ملج، و خرمنندی) در بازه زمانی ۹ ساله از مجموعه‌ای از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. نتایج به دست آمده از شاخص‌های زاویه یکنواخت (۰/۵۵۲)، آمیختگی مینگ لینگ (۰/۷۶۲)، نزدیک‌ترین همسایه (۵/۶۴۵) و شاخص تمایز اندازه قطر و ارتفاع درختان (۰/۵۸۲) و (۰/۵۹۸) به ترتیب نشان‌دهنده الگوی پراکنش تصادفی متمایل به کپه‌ای، تنوع آمیختگی مطلوب، تراکم بالا و اختلاف متوسط و آشکار بین قطر و ارتفاع درختان مرجع نسبت به درختان همسایه می‌باشد (جدول ۲، شکل ۱).

پویایی توده جنگلی در طی زمان با تغییر در ترکیب و آمیختگی همراه است (۲۸). در پژوهش پیش‌رو به منظور بررسی تنوع مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد از شاخص‌های نظیر شاخص تنوع آمیختگی شاخص زاویه‌ای یکنواخت و شاخص تنوع اندازه قطر و ارتفاع درختان استفاده شد. سپس به مطالعه‌ای این تغییرات در طی زمان ۹ ساله پرداخته شد. نتایج حاصل از آزمون تی‌جفتی با استفاده از شاخص تنوع آمیختگی نشان داد، که بین تنوع آمیختگی درختان قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری در سطح احتمال ۹۵ درصد (لطفاً در کل متن اصلاح شود) ندارد. علت آن این است که مرحله تحولی و تنوع ذاتی جنگل در قبل و بعد از پایش یکی بوده است. نتایج شاخص تنوع آمیختگی در طول پایش با پژوهش‌های (۱۷) مغایر می‌باشد، علت آن تشریح فازهای تکاملی جنگل در مطالعات استاتیک است. نتایج به دست آمده از شاخص زاویه‌ای یکنواخت برای کل درختان راش،

جدول ۲- نتایج اطلاعات کمی مربوط به مشخصه‌های ساختاری جنگل در اوایل دوره ۹ ساله.

Table 2. Results of quantitative information related to the structural characteristics of the forest in the early 9 years.

شاخص نزدیک‌ترین	شاخص زاویه‌ای یکنواخت	شاخص آمیختگی تنوع	شاخص قطر Diameter index	شاخص ارتفاع غالب	اسم گونه Name of the species
The closest index	Uniform Angle Index	Diversity mixing index		Higher dominant index	
11.33	0.562	0.544	0.632	0.625	راش <i>Fagus orientalis lipsky</i>
2.475	0.561	0.728	0.548	0.653	بلوط <i>Quercus castaneifolia</i>
4.33	0.254	0.571	0.454	0.438	ممرز <i>Carpinus betulus</i>
4.91	0.583	0.681	0.722	0.681	توسکا <i>Alnus subcordata</i>
6.238	0.662	0.8	0.587	0.7	افراپلت <i>Acer velutinum</i>
3.784	0.539	0.784	0.534	0.636	شیردار <i>Acer cappadocicum</i>
4.50	0.565	0.75	0.513	0.656	نمدار <i>Tilia cordata</i>
8.121	0.5	1	0.25	0.5	ملج <i>Ulmus glabra</i>
5.151	0.75	1	1	0.5	خرمنندی <i>Diospyros lotus</i>



درختان (۰/۴۷۲ و ۰/۵۲۵) به ترتیب نشان‌دهنده الگوی پراکنش تصادفی متمایل به کپه‌ای، تنوع آمیختگی مطلوب، تراکم بالا و اختلاف متوسط و آشکار بین قطر و ارتفاع درختان همسایه نسبت به درختان درختان می‌باشد (جدول ۳).

همین‌طور به‌منظور بررسی ساختار دینامیکی جنگل در انتهای دوره پایش از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه همانند دوره اول پایش استفاده شد. نتایج به‌دست از شاخص‌های زاویه یکنواخت (۰/۵۹۱)، آمیختگی مینگ لینگ (۰/۷۲۰)، نزدیک‌ترین همسایه (۵/۳۵) و شاخص تمایز اندازه قطر و ارتفاع

جدول ۳- نتایج اطلاعات کمی مربوط به مشخصه‌های ساختاری جنگل در انتهای دوره ۹ ساله.

Table 3. The results of quantitative information on the structural characteristics of the forest at the end of the ten year period.

شاخص نزدیک‌ترین	شاخص زاویه‌ای	شاخص آمیختگی	شاخص قطر	شاخص ارتفاع غالب	اسم گونه
The closest index	یکنواخت Uniform Angle Index	تنوع Diversity mixing index	Diameter index	Higher dominant index	Name of the species
7.318	0.533	0.580	0.650	0.661	راش <i>Fagus orientalis lipsky</i>
4.235	0.558	0.739	0.534	0.662	بلوط <i>Quercus castaneifolia</i>
4.260	0.564	0.243	0.464	0.453	ممرز <i>Carpinus betulus</i>
4.821	0.724	0.612	0.737	0.702	توسکا <i>Alnus subcordata</i>
6.035	0.646	0.780	0.621	0.664	افراپلت <i>Acer velutinum</i>
3.666	0.515	0.765	0.510	0.563	شیردار <i>Acer cappadocicum</i>
4.535	0.537	0.762	0.487	0.562	نمدار <i>Tilia cordata</i>
8.121	0.5	1	0.25	0.50	ملج <i>Ulmus glabra</i>
5.203	0.75	1	0	0	خرمندی <i>Diospyros lotus</i>

است. نتایج به‌دست آمده از آن نشان داد که توزیع پراکنش درختان از الگوی تصادفی - کپه‌ای تبعیت می‌کند. که علت آن سنگین بودن بذر بعضی از گونه‌ها مثل درخت راش و سایه‌پسند بودن گونه‌های چوبی می‌باشد (۳). نتایج حاصل از این پژوهش از جهت الگوی پراکنش کپه‌ای درختان با تحقیقات (۱۲ و ۱۴) هم‌خوانی دارد. چیدمان تصادفی در داخل توده‌های کپه‌ای حاکی از طبیعی بودن منطقه جنگلی می‌باشد (۲). همچنین نتایج این تحقیق با پژوهش کینت

به‌منظور بررسی تحولات دینامیکی جنگل و نشان دادن تغییرات در الگوی پراکنش، تنوع گونه‌ای و تغییر در اندازه قطری و ارتفاع درختان در طول دوره پایش ۹ ساله از مجموعه‌ای از آزمون تی‌جفتی استفاده شد. سپس با استفاده از آزمون تی‌جفتی شاخص‌های تنوع آمیختگی مینگ لینگ، زاویه‌ای یکنواخت و شاخص تمایز قطر و ارتفاع درختان در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد آزمون آماری قرار گرفتند. به‌منظور توضیحات بیشتر اطلاعات آن در جدول ۳ درج شده

(۲۰۰۰) مغایرت دارد که علت فقدان عملیات جنگل‌شناسی (اصلاحی و پرورشی) در منطقه مورد پژوهش بوده است. نوری و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که ساختار کنونی جنگل‌های مدیریت نشده در اثر تقابل فاکتورهای زیستی و غیرزیستی حادث می‌گردد. تجزیه و تحلیل درختان با الگوی مکانی مکانی مختلف می‌تواند در تفسیر مراحل تکاملی جنگل مفید باشد. همین‌طور نتایج این پژوهش از جهت خصوصیات اکولوژیکی و الگوی پراکنش کپه‌ای با پژوهش حسنی و امانی (۲۰۱۰) همخوانی دارد.

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون تی جفتی برای شاخص‌های تنوع آمیختگی، زاویه‌ای یکنواخت، تمایز اندازه قطر و تمایز اندازه ارتفاع.

Table 4. The results of t-test for mixed-density variables, uniform angles, diameters differentiation, and height-differentiation.

سطح اطمینان Confidence Level	t	درجه آزادی Degree of Freedom	بعد از پایش After Monitoring	قبل از پایش Before Monitoring	گونه Speices	شاخص‌های ساختار Structural indexes
٪۹۵	0.0192	68	0.544	0.553	راش	شاخص تنوع آمیختگی مینگ لینگ Ming Ling mixing diversity index
٪۹۵	0.33	644	0.243	0.533	ممرز	
٪۹۵	0.588	94	0.739	0.72	بلوط	
٪۹۵	1.477	58	0.724	0.646	توسکا	
٪۹۵	0	41	0.78	0.78	افرا	
٪۹۵	0.052	47	0.765	0.734	شیردار	
٪۹۵	0.944	20	0.762	0.75	نمدار	
٪۹۵	0.686	68	0.58	0.562	راش	شاخص زاویه‌ای یکنواخت Uniform Angle Index
-	2.12	644	0.564	0.571	ممرز	
٪۹۵	0.0977	94	0.558	0.561	بلوط	
٪۹۵	4.146	58	0.612	0.561	توسکا	
٪۹۵	0	41	0.646	0.662	افرا	
٪۹۵	0	47	0.539	0.539	شیردار	
٪۹۵	0	20	0.537	0.569	نمدار	
٪۹۵	0.0629	68	0.645	0.641	راش	شاخص اندازه قطر غالب Diameter prevailing index
٪۹۵	1.882	644	0.464	0.454	ممرز	
٪۹۵	0.156	94	0.534	0.548	بلوط	
٪۹۵	0.886	58	0.737	0.722	توسکا	
٪۹۵	0.0691	41	0.621	0.587	افرا	
٪۹۵	0.155	47	0.539	0.534	شیردار	
٪۹۵	0	20	0.537	0.513	نمدار	
٪۹۵	0.0629	68	0.661	0.625	راش	شاخص اندازه غالب ارتفاع The dominant height index
٪۹۵	2.187	644	0.453	0.469	ممرز	
٪۹۵	0.474	94	0.652	0.653	بلوط	
٪۹۵	0.554	58	0.702	0.681	توسکا	
٪۹۵	0.268	41	0.664	0.7	افرا	
٪۹۵	0.05	47	0.563	0.636	شیردار	
-	0.162	20	0.562	0.565	نمدار	

وجود دارد. اما میان سایر گونه‌ها اختلاف معناداری مشاهده نشد.

### نتیجه‌گیری

شاخص‌های ساختاری را می‌توان یک معیار مهم و جامع تنوع زیستی و زیستگاه‌ها مورد استفاده قرار داد (۳۸). تنوع زیستی در ارتباط با توده‌های جنگلی به صورت ترکیبی از گونه‌های درختی مختلف، اندازه‌های قطر و ارتفاع و پراکنش مکانی آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد و همان‌گونه که گفته شد، ساختار توده می‌تواند توزیع افقی، موقعیت گونه‌ها و تمایزات قطری و ارتفاعی درختان را در یک اکوسیستم جنگلی مورد بررسی قرار دهد. با توجه به این تعریف، ساختار جنگل سه جنبه مهم تنوع موقعیت مکانی درختان (الگوی مکانی)، تنوع گونه‌ای درختان و تنوع ابعاد درختان را ارزیابی می‌کند (۱). نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص‌های آمیختگی، زاویه‌ای یکنواخت، تمایز قطر و ارتفاع از جمله مهم‌ترین شاخص‌ها در تحلیل ساختار مکانی جنگل در مطالعات استاتیک می‌باشند که این شاخص‌ها به علت سادگی در محاسبات و دقت بالا نسبت به سایر روش‌ها ارجح‌تر می‌باشد (۴ و ۱۷). بنابراین با توجه به ویژگی‌های شاخص‌های نزدیکترین همسایه از جمله آسانی اندازه‌گیری، ارزان بودن و صحت زیاد (۴) و مزایای منحصر به فردی که در تعیین نحوه مدیریت ساختار توده و شبیه‌سازی ساختار دارند (۴۰) رسیدن به یک الگوی مدیریت و شیوه جنگل‌شناسی مناسب در جنگل‌های هیرکانی و همچنین تعیین ساختار و برنامه‌ریزی براساس وضع موجود با استفاده از این شاخص‌ها بسیار ضروری به نظر می‌رسد (۱۴) که مطالعه حاضر تلاشی در جهت انجام این مهم بوده است. همچنین صفری و سهرابی (۱۳۹۳) ارزیابی شاخص زاویه یکنواخت در تعیین الگوی مکانی

نتایج حاصل از آزمون تی جفتی با استفاده از شاخص تنوع آمیختگی نشان داد، که بین تنوع آمیختگی درختان قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری ندارد. همچنین نتایج به دست آمده از آزمون تی جفتی نشان داد که تنوع مکانی گونه‌های درختی راش بلوط افرا شیردار و نمدار قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری ندارند. همین‌طور نشان داد که میان توزیع الگوی مکانی درختان ممرز و توسکا قبل و بعد اختلاف معناداری وجود دارند. که علت آن غالب شدن درخت ممرز نسبت به سایر گونه‌های همسایه دارد. در این پژوهش میانگین به دست آمده از ارزش شاخص اندازه قطر غالب قبل و بعد از پایش به ترتیب ۰/۵۸۲ و ۰/۴۷۲ محاسبه شد. نشان می‌دهد که اختلاف متوسطی بین قطر درختان همسایه نسبت به درختان مرجع وجود دارد، که با پژوهش علی‌جانی و همکاران (۲۰۱۴) هماهنگی دارد. همچنین نتایج حاصل از آزمون تی جفتی برای تک تک گونه‌ها اثبات نمود، که بین شاخص تمایز قطری درخت ممرز قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری وجود دارد. اما میان سایر گونه‌ها قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری وجود نداشت. که علت آن چیرگی درختان ممرز نسبت به درختان همسایه می‌باشد. میانگین به دست آمده از شاخص تمایز ارتفاعی قبل و بعد از پایش به ترتیب ۰/۵۹۸ و ۰/۵۲۵ محاسبه شد. که نشان اختلاف کم بین ارتفاع درختان همسایه نسبت به درختان مرجع می‌باشد. نتایج حاصل از این مطالعه با پژوهش کالوند و همکاران (۲۰۰۳) پژوهش سفیدی و همکاران (۲۰۱۴) و سفیدی و همکاران (۲۰۱۲) مغایرت دارد. که علت آن تفاوت در نوع مطالعه و انتخاب قطعات به صورت دینامیک است. همچنین نتایج حاصل از آزمون تی جفتی نشان می‌دهد که بین ارتفاع درختان ممرز قبل و بعد از پایش اختلاف معناداری

داشته و از نتایج به‌دست آمده می‌توان جهت برنامه‌ریزی به‌منظور احیای ساختار و وضعیت تنوع زیستی جوامع راش ممرزستان تخریب یافته استفاده کرد. بنابراین با توجه به نتایج پژوهش حاضر و سایر مطالعات ذکر شده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که به‌کارگیری این شاخص‌ها در قطعات نمونه ثابت باعث تسهیل در مطالعات دینامیک جمعیت در طی زمان می‌شود و امکان پایش تنوع موقعیت مکانی، ابعاد، تنوع اندازقطر و ارتفاع درختان را ممکن می‌سازد. همچنین به‌علت کمی بودن این شاخص‌ها و امکان مقایسه یک توده در دو زمان مختلف، این شاخص‌ها به‌عنوان ابزار مفیدی در نیل رسیدن به مدیریت پایدار جنگل می‌باشد.

درختان در یک ذخیره‌گاه جنگلی در جنگل‌های هیرکانی را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد که در تمامی حالات مورد بررسی از نظر تعداد درختان همسایه، شاخص زاویه یکنواخت الگوی مکانی را به درستی تعیین کرد. همچنین بنا بر نتایج این پژوهش، شاخص زاویه یکنواخت می‌تواند به‌عنوان یک روش سریع و کم‌هزینه برای تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان برای ذخیره‌گاه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد. فرهادی و همکاران (۱۳۹۶) نیز شاخص‌های نزدیکترین همسایه را در ارزیابی ساختار جامعه راش-ممرزستان در تاحیه رویشی هیرکانی مورد به‌کار بردند و نتیجه گرفتند که شاخص‌های نزدیکترین همسایه در تحلیل مؤلفه‌های ساختاری جوامع راش ممرزستان به خوبی کاربرد

#### منابع

1. Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K.V., and Jimenez, J. 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183: 137-145.
2. Alijani, V., Feghhi, J., Zobeiri, M., and Marvi Mohadjer, M.R. 2012. Quantifying the spatial structure in Hyrcanian submountain forest (Case study: Gorazbon district of Kheirud Forest, Nowshahr-Iran). *Journal of Natural Environmental*, 65: 1. 111-125. (In Persian)
3. Alijani, V., Feghhi, J., and Marvi Mohadjer, M.R. 2012. Investigation on the beech and oak spatial structure in a mixed forest (Case study: Gorazbon district, Kheirud forest). *Wood & Forest Science and Technology*., 19: 3. 21-35. (In Persian)
4. Alijani, V., Feghhi, J., Zobeiri, M., and Marvi Mohajer, M.R. 2013. Investigation of different forest type's structure with applying nearest neighbor indices (Case study: Gorazon district, Kheyrud forest). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2(3): 13-24 (In Persian)
5. Alijani, V., Sagheb-Talebi Kh., and Akhavan, R. 2014. Quantifying structure of intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands at different development stages (Case study: Kelardasht area, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21: 3. 36-50. (In Persian)
6. Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K.V., and Jimenez, J. 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183: 137-145.
7. Basiri, R., Sohrabi, H., and Mozayen, M. 2006. A Statistical Analysis of the Spatial Pattern of Trees Species in Ghamisheleh Marivan Region, Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59: 579-588. (In Persian)
8. Chao, W.C., Wu, Sh.H., and Chao, KJ. 2007. Distribution Patterns of Tree Species in the Lanjenchi Lowland Rain Forest. *Taiwan*, 52: 4. 343-361.
9. Corona, P., D'Orazio, P., Lamonaca, A., and Portoghesi, L. 2005. L'indice Winkelmass per l'inventariazione a fini assestamentali della diversità strutturale di soprassuoli forestali. [The Winkelmass index as a forest management tool for inventorying stand structure]. *Forest*, 2: 225-232.

10. Erfani Fard, S.Y., Fegghi, J., Zobeiri, M., and Namiranian, M. 2008. Investigation on the Spatial Pattern of Trees in Zagros Forests. *Iranian Journal of Natural Resources*, 60: 13. 19-1328. (In Persian)
11. Erfani Fard, S.Y., and Mahdavian, F. 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests, Case study: Wild pistachio research forest, Fars province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1): 62-73 (in Persian)
12. Etemad, V. 2002. Investigation on quantity and quality of beech seed at forests of Mazandaran province. PhD thesis, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 258p.
13. Farhadi, P., Soosani, J., Adeli, K., and Alijani, V. 2014. Investigation of positioning and species diversity changes caused by local communities in Zagros forests (Case Study: Ghalehbol forest, Zagros, IRAN). *Wood and Forest Science and Technology*, 20: 61-80. (In Persian)
14. Farhadi, P., Soosani, J., and Erfani Fard, Y. 2017. Assessment of tree diversity level of Hircany forest using mixture structural diversity index. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 3: 495-505 (In Persian)
15. Gadow, K.V., Zhang, C.Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., and Myklush, S.V. 2012. Forest Structure and Diversity. In: Pukkala T, Gadow Kv (eds) *Continuous Cover Forestry*. Second edition, Pp: 29-84.
16. Graz., P.F. 2006. Spatial diversity of dry savanna woodlands. *Biodiversity and Conservation*, 15143-1157.
17. Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., and Rahmani, R. 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forest of Iran. *Forest and Poplar Res.*, 15: 1. 55-64. (In Persian)
18. Hassani, M., and Amani, M. 2010. Investigation on structure of oriental beech *Fagus orientalis* Lipsky stand at optimal stege in Sangdeh forest. *Iran. Forest and Poplar Res.*, 18: 2. 163-176. (In Persian)
19. Haji Mirza Aghayee, S., Jalilvand, H., Kooch, Y., and Pormajidian, M.R. 2010. Analysis of important value and spatial pattern of woody species in ecological units (Case study: Sardabrood forests of Chalous). *Iranian Journal of Forest*, 1: 51-60. (In Persian)
20. Hui, G.Y., Kiviste, A., and Zhao, X.H. 2012. *Forest Structure and Diversity*. Springer,
21. Hui, G.Y., and Gadow, K.V. 2002. Das Winkelmaß. Herleitung des optimalen Standardwinkels. [The uniform angle index Derivation of the optimal standard angle]. *Allgemeine forest-und jagdzeitung*, 173: 1-12.
22. Kint, N., Lust, R., Ferris, and Olsthoorn, A.F.M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scote Pine (*Pinus sylvestris* L.) forests, *Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 1: 147-163.
23. Kint, V., Van Meirvenne, M., Nachtergale, L., Geudens, G., and Lust, N. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest neighbor indices and variogram analysis. *Forest Sci.*, 49: 36-49.
24. McElhinny, C. 2002. *Forest and woodland structure as an index of biodiversity: a review*. Published by Department of Forestry, Australian National University, Canberra, 80p.
25. Motz, K., Sterba, H., and Pommerening, A. 2010. Sampling measures of tree diversity. *Forest Ecology and Management*, 260: 1985-1996.
26. Neef, T., Biging, G., Dutra, LV., Freits, CC., and Santos, JRD. 2005. Interferometric forest heghth for modeling spatial tree pattern in Amazonia. *Revista Brasileira de Catographic*, 571: 1621-1628.
27. Nelson, T., Niemann, K.O., and Wulder, M.A. 2002. Spatial statistical techniques for aggregating point objects extracted from high spatial resolution remotely sensed imagery. *Geographic Systems*, 4: 423-433.

28. Nouri, M., Zobeiri, M., Feghhi, J., and Marvi Mohadjer, M.R. 2014. Application criteria nearest neighbor in the study of the structure of the stands Virgin beech forest Noshahr Kheyrud Applied Ecology, fourth / No. XII / Summer 139. (In Persian)
29. Pastorella, F., and 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.
30. Pommerening, A. 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management*, 224: 266-277.
31. Pourbabaie, H., Zandi Navgaran, Sh., and Adel, M.N. 2012. Spatial Pattern of Three Oak Species in Chenareh forest of Marivan, Kordestan. *Natural Environment*. 65: 3. 329 - 339.
32. Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K., and Vacik, H. 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European Journal of Forest Research*, 129: 189-198.
33. Safari, O., and Sohrabi, H. 2015. Implementation of uniform angle index in determination of trees spatial pattern in a forest reserve of Hyrcanian zoneforest in Hircanian forest. *Forest sustainable development*, 1: 45-56 (In Persian)
34. Scheoeder, D. 2002. A Comparison of Large-Scale Spatiotemporal Vegetation Pattern Following Clearcuts and Fire in Ontario Boreal Forest. *Forest Ecology and Management*, 159: 217-230.
35. Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Mosandl, R., and 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. (In Persian)
36. Sefidi, K. 2012. Late Successional stage dynamics in mixed beech stands. Ph.D. thesis Department of Forestry University Tehran. Tehran. 175p. (In Persian)
37. Sefidi, K., Copenheaver, C.A., Keivan Behjou, F., and Kakavand, M. 2014. Structural diversity within mature forests in Northern Iran: a case study from a relic population of Persian ironwood (*Parrotia persica* C.A. Mey.). *Forest Sci.*, 16(2): 258-265.
38. Staudhammer, C.L., and Lemay, V.M. 2001. Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. *Canadian Journal of Forest Research*, 31: 1105-1115.
39. Szmyt, J., and Ceitel, J. 2011. Zróżnicowanie przestrzenne i grubościowe drzew w niepielegnowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym [Spatial and size diversity of trees in untended pine stands of different initial density]. *Sylvan*, 155: 749-759.
40. Wang, H., Zhang, G., Hui, G., Li, Y., Hu, Y., and 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.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 25 (2), 2018

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2018.14696.1732

## Investigating structure monitoring indicators for wooden species of Northern forests of Iran

S. Babaei<sup>1</sup>, \*M. Bayat<sup>2</sup>, M. Namiranian<sup>3</sup> and S. Heidari Masteali<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, <sup>2</sup>Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization, Tehran, Iran, <sup>3</sup>Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, <sup>4</sup>Ph.D. Student of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 02/03/2018; Accepted: 07/09/2018

### Abstract

**Background and objectives:** Monitoring forest structure, to understand many issues in ecology and forest management is essential. In general, the term "structure" emphasizes the combination of tree communities in terms of specific characteristics. Monitoring forest structure is essential for understanding many issues in ecology and forest management. Today, many indicators have been developed for assessing the position and biodiversity of the trees, which simplifies the structural analysis of the forest. The use of these indices in constant sample units facilitates population dynamics studies over time and makes it possible to monitor the diversity of the location, dimensions, diversity of trees and height of the trees. Due to the smallness of these indicators and the possibility of comparing a mass at two different times, these indicators are a useful tool for achieving sustainable forest management.

**Materials and methods:** Combination indexes, uniform angles, diameters and altitudes are among the most important indices in the analysis of forest spatial structure in static studies. These indicators are preferable to other methods because of their simplicity in calculations and balancing accuracy. In this research, using a randomized random method, a rectangular grid of 200 \* 150 \* meters was used to identify the Gorazbon of Kheyroud forest in the city of Noshahr. Then, in order to study the structure of the forest species (beech, oak, hornbeam, alder, apple, lambs, lambs, almonds, and durum wheat) over a period of ten years, the uniform angle index, Ming-Ling blending, close The largest neighbor and the index of differentiation of diameter and height of trees were used.

**Results:** According to The results, Average indexes uniform angle index, mixing Ming Ling, nearest neighbor and the diameter and height dominate the index, in the first period and the end of the monitoring period was calculated) 0/598 and 0/525, 0/582 and 5/645 and 5/35, 0/762 and 0/720, 0/5521 and 0/591 respectively. This represents a cluster random distribution pattern, an optimal mix of diversity of and high density and the average dispute between the diameter and height of neighboring trees then the reference tree. In order to compare species diversity, location, and size, paired t-test was used.

**Conclusion:** Paired t-test results showed that there is no significant difference between these indices before and after the period of monitoring (ie, the ten-year period). Furthermore, the results of t-pair test for each species were proved, that there is a significant difference between the indices of differentiation of the hornbeam trees before and after the observation. However, there was no significant difference between the other species before and after the observation. This is due to the dominance of hornbeam trees in neighboring. trees.

**Keywords:** Forest structure, Diversity of locations, Species diversity, Monitoring

---

\*Corresponding author: [mbayat@rifr-ac.ir](mailto:mbayat@rifr-ac.ir)

