



دانشگاه گورنری منابع طبیعی گیلان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵

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

تعیین سطح بهینه قطعه نمونه به منظور بررسی شاخص‌های ساختار مکانی در جنگل‌های راش نوشهر

*زهرا نوری^۱، محمود زبیری^۲، جهانگیر فقهی^۳ و محمدرضا مروی مهاجر^۲

^۱دانش‌آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران،

^۲استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران،

^۳دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴

چکیده

سابقه و هدف: امروزه توصیف کمی ساختار جنگل به‌عنوان یکی از مفیدترین ابزارهای کاری در مدیریت نوین اکوسیستم‌های جنگلی در نظر گرفته می‌شود و به‌منظور مدیریت بهینه این اکوسیستم‌ها، دستیابی به درک صحیحی از ساختار آن‌ها ضروری می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی سطح بهینه قطعه نمونه به‌منظور برآورد صحیح و مؤثر شاخص‌های ساختاری در توده‌های راش می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌این منظور، پارسلی به مساحت ۴۸ هکتار در بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد و گونه و قطر برابرسینه تمام پایه‌های درختی با قطر برابرسینه بیشتر از ۷ سانتی‌متر ثبت شد همچنین به‌منظور تهیه نقشه موقعیت مکانی درختان، موقعیت هر یک از پایه‌های درختی با روش آزیموت و فاصله به‌دست آمد. سپس نمونه‌برداری با قطعات نمونه با سطوح مختلف بر روی نقشه شبیه‌سازی شده منطقه مورد مطالعه پیاده شدند و شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه (شاخص الگوی مکانی کلارک و ایوانز، شاخص آمیختگی، شاخص تمایز قطری و شاخص آمیختگی نسبی) در هر یک از این قطعات نمونه محاسبه گردید. سپس با

*مسئول مکاتبه: znouri9@Gmail.com

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

استفاده از آزمون آماری t یک نمونه‌ای، مقادیر شاخص‌های محاسبه شده در قطعات با سطوح مختلف با مقدار شاخص حاصل از آماربرداری ۱۰۰ درصد مقایسه گردید.

یافته‌ها: مقایسه شاخص‌های مذکور حاصل از طرح‌های نمونه‌برداری با قطعات با سطوح ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰، ۵۰۰۰، ۷۵۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۲۵۰۰ مترمربع با مقدار این شاخص‌ها برای کل منطقه مورد مطالعه نشان داد تنها شاخص‌های حاصل از قطعات با سطح ۱۲۵۰۰ مترمربع با شاخص‌های مذکور در کل منطقه اختلاف ندارند. مقدار سایر شاخص‌های ساختاری که از قطعات نمونه ۱/۲۵ هکتاری برآورد شده نیز، همانند شاخص الگوی پراکنش مکانی، با مقدار شاخص‌هایی که از آماربرداری ۱۰۰ درصد به دست آمد همخوانی دارند یعنی شاخص‌های آمیختگی نشان‌دهنده آمیختگی کم گونه‌های تشکیل‌دهنده منطقه می‌باشند و شاخص‌های تمایز قطری در طبقه متوسط قرار می‌گیرند، شاخص آمیختگی نسبی (S) نیز بزرگ‌تر از یک به دست آمد.

نتیجه‌گیری: از آنجایی که تفسیر شاخص‌های ساختاری محاسبه شده در هر یک از قطعات نمونه با سطح ۱۲۵۰۰ مترمربع با شاخص‌های محاسبه شده برای کل توده اختلافی نشان نمی‌دهند، بنابراین به منظور بررسی شاخص‌های ساختاری نزدیک‌ترین همسایه در منطقه جنگلی مدنظر مادامی که شرایط توپوگرافی، رویشگاهی و پیشینه مدیریتی تغییر نکند می‌توان داده‌های ثبت شده از یک قطعه نمونه با سطح ۱/۲۵ هکتار که در حاشیه پارسل و در نزدیکی جاده قرار نگرفته باشد را به عنوان معرف اطلاعات منطقه مورد مطالعه جهت بررسی و ارزیابی شاخص‌های مکانی به کار گرفت.

واژه‌های کلیدی: ساختار جنگل، آمار مکانی نقطه‌ای، شاخص‌های مکانی، جنگل‌های راش، ایران

مقدمه

ساختار^۱ توده جنگلی یک مؤلفه مهم در شناخت و توصیف اکوسیستم‌های جنگلی بوده (۱۹) که بر ترکیب، پویایی و عملکرد آن تأثیرگذار است (۲۴) و کمیت و پراکنش مکانی درختان و همچنین ترکیب گونه‌ای آن‌ها اغلب با پایداری کارکردهای بوم‌سازگان مرتبط است بنابراین به منظور مدیریت بهینه منابع جنگلی به دست آوردن درک صحیحی از ساختار جنگل‌ها ضروری می‌باشد. بررسی الگوی

1- Forest Structure

مکانی افراد یک گونه از سنین مختلف و نیز اثرات متقابل آنها (اجتماع‌پذیری) به‌منظور درک پویایی مکانی و زمانی جوامع ضروری است (۲۱). ساختار و توزیع مکانی درختان در جنگل‌ها، مؤلفه‌های مهمی برای درک پویایی بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌باشند و پتانسیل آنها برای درک مفاهیم اکولوژیک هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است (۲۲). به‌منظور درک بهتر بوم‌سازگان جنگلی و بررسی روند پویایی آن لازم است ساختار جنگل و نظم و ترتیب اجزای آن به‌صورت کمی مورد بررسی قرار گیرد. در بوم‌سازگان جنگلی واژه "ساختار" به چیدمان فضایی برخی از خصوصیات درختان از جمله سن، ابعاد و گونه می‌پردازد. محققان مختلف ساختار مکانی جنگل را به سه ویژگی تقسیم نموده‌اند: تنوع موقعیت مکانی درختان، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد درختان (۱۸).

از جمله کاربردهای توصیف ساختار جنگل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: (۳۵)
 درک روابط میان گونه‌ای و بین‌گونه‌ای - طراحی روش‌های جنگل‌شناسی که از فرایندهای طبیعی تقلید می‌نمایند - طراحی و برنامه‌ریزی آماربرداری جنگل - بهبود مدل‌های پویایی با لحاظ نمودن معیارهای رقابت بین درختی و بین‌گونه‌ای.

روش‌ها و شاخص‌های بسیاری به‌منظور تفسیر و ارزیابی توزیع مکانی درختان توسعه‌یافته است. این روش‌ها به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

- روش کوادرات (قطعه نمونه) که قطعات نمونه با مساحت ثابت پیاده شده و تعداد نقاط (به‌عنوان مثال درختان یا نهال‌ها) در هر قطعه شمارش می‌شوند. بر اساس داده‌های شمارشی کوادرات، فیشر و همکاران (۱۹۲۲) نسبت واریانس به میانگین قطعه نمونه را به‌عنوان شاخص پراکندگی و مورسیستا (۱۹۵۷) شاخص تصادفی بودن را پیشنهاد داده‌اند. (۳۵)

- روش‌های نزدیک‌ترین فاصله یا همسایه که در آن فاصله میان پدیده‌ها (به‌عنوان مثال درختان) و نزدیک‌ترین همسایه (فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه) اندازه‌گیری می‌گردد (۵) و یا فاصله از یک نقطه تا نزدیک‌ترین همسایه (نقطه تا نزدیک‌ترین همسایه) اندازه‌گیری می‌شود.

- داده‌های نقشه‌برداری شده که موقعیت هر پدیده (به‌عنوان مثال درخت) ثبت می‌گردد و برای نشان دادن الگوی مکانی استفاده می‌شود. توابعی مانند **K-Ripley** می‌توانند به‌منظور بررسی الگوی پراکنش پدیده‌های نقشه‌برداری شده استفاده گردند (۳۱، ۳۲، ۳۳).

تا به امروز مطالعات گوناگونی در زمینه مطالعه و بررسی ساختار و شاخص‌های مکانی در بوم‌سازگان‌های جنگلی مناطق مختلف کشور انجام گرفته است. از آن جمله می‌توان به اسلامی و ثاقب

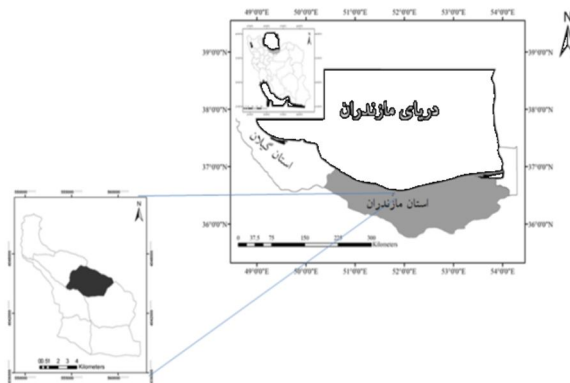
نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

طالبی، ۲۰۰۷؛ پور بابایی و همکاران، ۲۰۰۵؛ علوی و همکاران، ۲۰۰۶؛ حیدری و همکاران، ۲۰۰۷؛ عرفانی فرد و همکاران، ۲۰۰۸، اخوان و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیانی و همکاران، ۲۰۱۲؛ علی جانی و همکاران، ۲۰۱۲؛ نوری و همکاران، ۲۰۱۳ اشاره نمود (۹، ۳۰، ۳، ۱۵، ۸، ۱، ۱۷، ۲، ۲۵).

محاسبه شاخص‌های مکانی به منظور بررسی ساختار توده نیازمند اطلاعاتی در مورد موقعیت مکانی درختان در توده می‌باشد. جمع‌آوری داده‌های مکانی مشخص از کل توده عملی بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر می‌باشد، بنابراین روش‌های نمونه‌برداری مناسب باید استفاده گردند (۲۷). در مرور منابع انجام شده مشخص شد تاکنون مطالعه‌ای در زمینه بررسی سطح مناسب قطعه به منظور بررسی ساختار جنگل در جنگل‌های شمال کشور انجام نشده است. این امر می‌تواند از طریق انجام نمونه‌برداری‌های مجازی در توده‌های کاملاً نقشه‌برداری شده با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نمونه‌برداری انجام شود. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نمونه‌برداری اغلب در جنگلداری به منظور ارزیابی روش‌های نمونه‌برداری به منظور برآورد تراکم توده، حجم، رشد و محصول یا توزیع قطری درختان در طبقات مختلف استفاده می‌شوند (۱۳). بدین منظور می‌توان از آمار مکانی نقطه‌ای استفاده نمود. در فرآیند آمار مکانی نقطه‌ای، هر پایه درختی می‌تواند به‌عنوان یک پدیده با استفاده از موقعیت آن که به صورت مختصات جغرافیایی دوبعدی می‌باشد در پنجره مشاهده تعریف گردد. پنجره مشاهده معمولاً یک منطقه دایره یا مستطیل می‌باشد که اطلاعات آن برداشت شده و به‌عنوان معرف اطلاعات برای کل منطقه جنگلی فرض می‌گردد. ویژگی‌ها^۱ که می‌توانند مجموعه‌ای از متغیرهای کیفی (مانند گونه) یا کمی (مانند قطر برابر سینه) باشند به هر یک از این نقاط ضمیمه می‌گردند. همچنین این ویژگی‌ها می‌توانند شاخص‌هایی باشند که با استفاده از داده‌های برداشت شده محاسبه شده‌اند (۱۶). هدف از انجام مطالعه حاضر تعیین سطح مناسب قطعه‌ای از جنگل می‌باشد که با برداشت داده‌های مورد نیاز در آن قطعه بتوان به‌طور صحیح و مؤثر شاخص‌های ساختاری (نزدیک‌ترین همسایه) را در توده‌های راش جنگل خیرود برآورد نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: مطالعه حاضر در بخش گرازین از جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ۳۶ درجه ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه ۴۳ دقیقه طول شرقی انجام شده است (شکل ۱). گستره کل جنگل خیرود حدود ۸۰۰۰ هکتار می‌باشد که رودخانه خیرود، آبریز اصلی این حوزه به شمار می‌آید. جنگل خیرود شامل هفت بخش می‌باشد که بخش گرازین سومین بخش مدیریتی این جنگل می‌باشد. پارسل ۳۱۹ این بخش به مساحت ۴۸ هکتار که دست‌نخورده بوده و تا زمان آماربرداری در آن هیچ‌گونه عملیات پرورشی، تجدید حیات و بهره‌برداری برنامه‌ریزی شده (در قالب طرح‌های جنگلداری) انجام نگرفته و با ساختار طبیعی و ناهمسال به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. میزان بارندگی منطقه مورد مطالعه ۱۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. طبق نقشه تیپ‌بندی بخش گرازین تیپ عمده در منطقه مورد مطالعه راش می‌باشد (۱۰).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران، شمال ایران.

Figure 1. The position of the study area in Mazandaran province, North of Iran.

روش‌ها: در این بررسی از روش ثبت موقعیت درختان به‌صورت نقطه با طول و عرض جغرافیایی مشخص استفاده شد. برای ثبت موقعیت درختان موجود در منطقه مورد مطالعه از روش فاصله-آزیموت استفاده گردید و بدین منظور دستگاه فاصله‌یاب لیزری TruPulse 360 (محصول شرکت لیزر تکنولوژی کشور آمریکا) به‌کار گرفته شد. بدین ترتیب که ابتدا مختصات یک نقطه مشخص بر

روی جاده جنگلی مشخص گردید و مختصات آن با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی CSx Garmin 76 ثبت گردید و این نقطه به‌عنوان نقطه شاخص^۱ در نظر گرفته شد. سپس دستگاه فاصله‌یاب لیزری در عرصه در مکان‌های مشخصی (ایستگاه) مستقر شد و فاصله و آزیموت کلیه درختان با قطر برابر سینه بیشتر از هفت سانتی‌متر نسبت به این ایستگاه یادداشت گردید. به‌منظور تولید نقشه از مرکز تنه درختان، نصف قطر برابر سینه درخت به فاصله خوانده شده در همان آزیموت اضافه گردید تا محل دقیق مرکز تنه درختان به‌جای سطح خارجی پوست شبیه‌سازی شود. در مرحله بعد داده‌های فاصله- آزیموت که در طی عملیات زمینی برداشت شده بودند با استفاده از روابط ریاضی ۱ و ۲ تبدیل به موقعیت مکانی آن‌ها برحسب طول و عرض جغرافیایی گردید (۲۶). بدین ترتیب نقشه موقعیت مکانی درختان در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 تهیه گردید.

رابطه ۱- تبدیل فاصله و آزیموت به طول جغرافیایی $X_{calculated} = X_0 + \left[\sin \left(\frac{Az}{180} * \pi \right) * D \right]$

رابطه ۲- تبدیل فاصله و آزیموت به عرض جغرافیایی $Y_{calculated} = Y_0 + \left[\cos \left(\frac{Az}{180} * \pi \right) * D \right]$

به‌منظور دستیابی به یک راهکار اجرایی و قابل استفاده به‌منظور بررسی شاخص‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری با قطعات نمونه مربع با سطوح ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰، ۵۰۰۰، ۷۵۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۲۵۰۰ مترمربع بر روی نقشه شبیه‌سازی شده منطقه مورد مطالعه پیاده شدند. لازم به ذکر است به‌منظور شبیه‌سازی نمونه‌برداری با قطعات نمونه با سطوح مختلف ابتدا شبکه آماربرداری ۱۵۰×۲۰۰ (رایج در آماربرداری جنگل‌های شمال کشور) استفاده شد و با افزایش سطح قطعات نمونه به‌منظور اجتناب از همپوشانی قطعات نمونه ابعاد شبکه نیز تغییر نمود. سپس در هر یک از این قطعات نمونه شاخص‌های ساختاری موردنظر (شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه) محاسبه شدند. تهیه داده‌های نقشه‌برداری شده و انجام نمونه‌برداری مجازی بر روی داده‌ها در نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت. به‌منظور تعیین پیروی داده‌ها از توزیع نرمال از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و به‌منظور مقایسه مقادیر شاخص‌های محاسبه شده با مقدار شاخص برآوردشده از آماربرداری ۱۰۰ درصد، از آزمون t یک نمونه‌ای در نرم‌افزار SPSS 17 استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شده است.

1- Bench-Mark

شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه: در این مطالعه به منظور بررسی ساختار مکانی منطقه مورد مطالعه از رایج‌ترین شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه که در مطالعه‌های ساختار جنگل‌ها به کار می‌روند، استفاده شده است. کلارک و ایوانز، ۱۹۵۴ مقادیر عددی برای توصیف الگوی مکانی درختان در توده‌های جنگلی ارائه دادند که فرمول این شاخص به صورت رابطه ۳ می‌باشد (۲۸).

$$CE = \frac{\bar{r}_A}{\bar{r}_E}, \bar{r}_E = \frac{1}{2\sqrt{N/A}} \quad \text{رابطه ۳}$$

هنگام به کارگیری شاخص نزدیک‌ترین همسایه جهت بررسی الگوی مکانی از آزمون Z نیز استفاده می‌شود. مقدار آماره Z به صورت رابطه‌های ۴ و ۵ محاسبه می‌گردد (۵).

$$\sigma_{rE} = \frac{0.26136}{\sqrt{N \cdot P}} = \frac{0.26136}{\sqrt{N^2/A}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Z = \frac{\bar{r}_A - \bar{r}_E}{\sigma_{rE}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه‌های فوق: \bar{r}_A : میانگین فاصله‌های بین درختان تا نزدیک‌ترین همسایه‌های آن‌ها در یک توده جنگلی معین (متر)، \bar{r}_E : میانگین فاصله‌های بین درختان تا نزدیک‌ترین همسایه‌های آن‌ها در یک توده جنگلی کاملاً تصادفی (متر)، N : تعداد درختان، A : سطح توده جنگلی (مترمربع)، σ_{rE} : انحراف معیار r_E در یک جنگل با توزیع تصادفی اگر مقدار CE بزرگ‌تر، مساوی یا کوچک‌تر از یک باشد الگوی درختان در منطقه مورد مطالعه به ترتیب پراکنده، تصادفی و کپه‌ای می‌باشد. تفسیر مقدار آماره Z محاسبه شده به شرح زیر می‌باشد: $-1.96 < Z < +1.96$: الگوی مکانی تصادفی، $Z > +1.96$: الگوی مکانی پراکنده، $Z < -1.96$: الگوی مکانی کپه‌ای.

شاخص آمیختگی^۱ (DM_i) به منظور بررسی نحوه چیدمان گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر استفاده می‌شود و با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (۱۹).

$$DM_i = 1/4 \sum_{j=1}^4 v_{ij} \quad v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{گونه } j \neq i \\ 0 \rightarrow \text{گونه } j = i \end{cases} \quad \text{رابطه ۶}$$

1- Mingling

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه‌ها نسبت به یکدیگر، این شاخص دارای ارزشی بین صفر تا یک است که هر چه عدد محاسبه شده به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده آمیختگی بالاتر گونه‌ها در منطقه مورد بررسی می‌باشد.

شاخص اختلاف قطر برابر سینه^۱ (T_{ij}) بر اساس اختلاف قطر درختان همسایه محاسبه می‌شود و به بررسی توزیع ابعاد درختان نسبت به یکدیگر می‌پردازد (رابطه ۷) (۲۸):

$$T_{ij} = 1 - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 \frac{\text{Min}(DBH_i, DBH_j)}{\text{Max}(DBH_i, DBH_j)} \quad \text{رابطه ۷}$$

این شاخص بر اساس جفت درخت مرجع با نزدیک‌ترین همسایه اول، دوم، سوم و چهارم می‌باشد و در هر یک از این جفت درختان، مقدار عددی قطر برابر سینه درخت کم قطر در صورت کسر و درخت قطور در مخرج کسر قرار می‌گیرد. مقدار این شاخص می‌تواند بین صفر تا یک متغیر باشد؛ به‌منظور سهولت در تفسیر نتایج، ارزش‌های محاسبه شده بر اساس این شاخص به چهار دسته تقسیم می‌شوند: اختلاف کم ($0/3-0$)، اختلاف متوسط ($0/5-0/3$)، اختلاف آشکار ($0/7-0/5$)، اختلاف زیاد ($0/7-1$) (۳۴).

برای محاسبه شاخص آمیختگی نسبی^۲ (S) یک بررسی به‌منظور تعیین گونه‌های نزدیک‌ترین همسایه برای هر N درخت در سطح منطقه مورد مطالعه لازم می‌باشد تا تعداد درختان گونه‌های یک و دو (m, n)، تعداد درختان با همسایه‌هایی از گونه خودشان (d, a)، تعداد درختان با همسایه‌هایی غیر از گونه خودشان (c, b) را تعیین نمود. این شاخص از رابطه ۸ به‌دست می‌آید:

$$S = 1 - \frac{N(b+c)}{(V.n+W.m)} \quad \text{رابطه ۸}$$

مقدار این شاخص بین $+1$ و -1 متغیر می‌باشد و بر اساس داده‌های جدول ۱ به شکل زیر محاسبه

می‌شود:

1- Diameter Differentiation

2- Relative Mingling

جدول ۱- شاخص آمیختگی نسبی.
Table 1. Relative mingling index.
نزدیک‌ترین همسایه (Nearest neighbor)

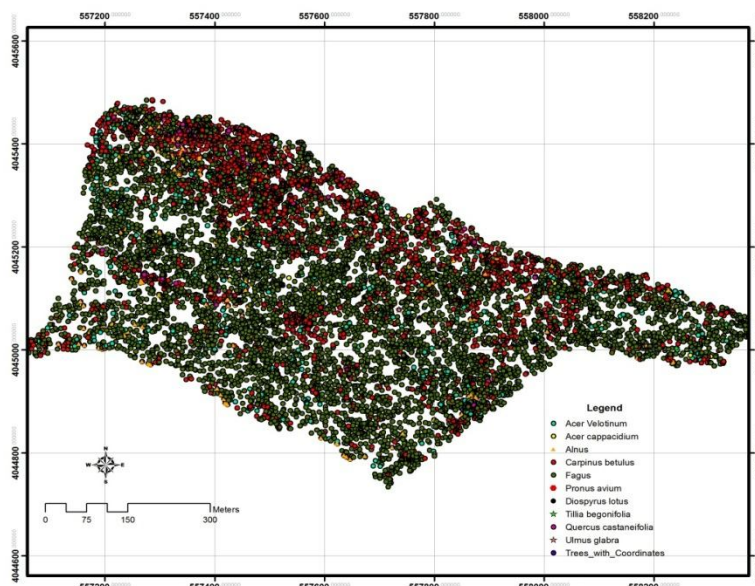
مجموع (Total)	گونه درختی ۲ (Tree species 2)	گونه درختی ۱ (Tree species 1)	
M	b	a	گونه درختی ۱ (Tree species 1)
N	d	c	گونه درختی ۲ (Tree species 2)
N	W	V	مجموع (Total)

اگر تعداد جفت‌های آمیخته مشاهده شده بیشتر از مقدار مورد انتظار باشد، مقدار S کوچک‌تر از صفر می‌شود که نشان‌دهنده تلفیق شدید یا پیوستگی گونه‌ها می‌باشد. برعکس اگر تعداد جفت‌های درختی مشاهده شده کمتر از مقدار مورد انتظار باشد مقدار S بزرگ‌تر از صفر شده و نشان‌دهنده تفکیک گونه‌ها یا به بیانی دیگر جدایی مکانی گونه‌ها می‌باشد. اگر مقدار این شاخص مساوی صفر باشد یعنی تعداد جفت‌های آمیخته مشاهده شده و مورد انتظار برابر می‌باشند و گونه‌ها مستقل از یکدیگر توزیع شده‌اند.

از آنجایی که بر اساس تحقیق‌های پیشین ثابت شده است که به‌کار بردن چهار همسایه در روش‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه دارای بیشترین دقت می‌باشد (۴، ۱۸، ۶، ۱۴). در این مطالعه نیز شاخص‌های ساختاری با استفاده از همین تعداد از نزدیک‌ترین همسایه‌های هر درخت و با استفاده از نرم‌افزار Crancod 1.3 (۲۹) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: در منطقه مورد مطالعه موقعیت مکانی، گونه و قطر برابر سینه ۱۱۳۳۲ پایه درختی از گونه‌های راش، ممرز، پلت، بلوط، توسکای بیلاقی، خرمن‌دی، شیردار، گیلاس وحشی، ملج، ممرز و نم‌دار ثبت گردید (شکل ۲).

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵



شکل ۲- موقعیت مکانی درختان به تفکیک گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. Coordinates of different tree species in study area.

بعد از ثبت موقعیت مکانی درختان شاخص‌های مکانی مورنظر در کل منطقه مورد مطالعه محاسبه شدند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد مقدار شاخص نزدیک‌ترین همسایه برای منطقه مورد مطالعه کوچک‌تر از یک بوده که نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای می‌باشد. همچنین مقدار $P\text{-value} = 0.000$ نیز رد کننده فرض صفر (تصادفی بودن الگوی درختان) می‌باشد و مقدار آماره Z کوچک‌تر از $(-1/96)$ نیز مؤید این مطلب می‌باشد که درختان منطقه از الگوی پراکنش کپه‌ای پیروی می‌کنند.

جدول ۲- نتایج به دست آمده از شاخص نزدیک ترین همسایه Clark and Evans در منطقه مورد مطالعه.

Table 2. Results of nearest neighbor index in study area.

P-value	Z	مقدار شاخص	میانگین فاصله مورد انتظار	میانگین فاصله مشاهده شده
P-value	Z-score	Index value	Mean expected distance	Mean observed distance
0.000	-37.26	0.81	3.57	2.91

مقدار شاخص آمیختگی (DMi) برای درختان موجود در منطقه ۰/۳۱۳ محاسبه شد که نشان دهنده آمیختگی کم گونه های تشکیل دهنده می باشد. مقدار میانگین شاخص اختلاف قطر برابر سینه (T_{ij}) برای درختان موجود در منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۴۳ محاسبه گردید که در طبقه تمایز قطری متوسط قرار می گیرد. همان طور که گفته شد شاخص تفکیک S اختلاف دو گونه درختی را بر اساس روش نزدیک ترین همسایه تعیین می نماید مقدار این شاخص در منطقه مورد مطالعه ۰/۴۴ به دست آمد. مقدار بزرگ تر از صفر این شاخص مؤید این مطلب می باشد که تعداد جفت های درختی مشاهده شده کمتر از مقدار مورد انتظار بوده و نشان دهنده تفکیک گونه ها یا به بیانی دیگر جدایی مکانی گونه ها می باشد. همچنین مقدار بالای صفر شاخص مذکور بیانگر رقابت درون گونه ای می باشد و از آنجایی که تیپ پارسل مورد مطالعه راش می باشد، وجود رقابت درون گونه ای بین پایه های راش محتمل تر از رقابت بین گونه های مختلف به نظر می رسد.

شاخص های مکانی در قطعات نمونه: به منظور بررسی سطح قطعه نمونه مناسب برای مطالعه الگوی پراکنش مکانی پایه های درختی، شاخص کلارک و ایوانز در قطعات نمونه مربعی شکل و با سطوح متفاوت محاسبه گردید. همان طور که در جدول ۳ ملاحظه می گردد، مقدار شاخص کلارک و ایوانز محاسبه شده در تمام طرح های نمونه برداری با قطعات نمونه مربعی و با سطوح مختلف (به جز قطعات نمونه ۱/۲۵ هکتاری)، الگوی پراکنش درختان را به حالت پراکنده یا تصادفی نشان می دهند اما با افزایش سطح قطعات نمونه به ۱/۲۵ هکتار، مقدار محاسبه شده شاخص مذکور بیانگر الگوی پراکنش کپه ای درختان می باشد. نتایج آزمون آماری t تک نمونه ای که در جدول ۳ ارائه شده است نیز نشان می دهد که میانگین شاخص کلارک و ایوانز حاصل از طرح های نمونه برداری با قطعات نمونه به مساحت های کمتر از ۱/۲۵ هکتار با مقدار این شاخص که از آماربرداری ۱۰۰ درصد محاسبه شده است، تفاوت معنی داری دارند (P-value < 0.05). همچنین مقدار سایر شاخص های ساختاری مورد

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

نظر (شاخص‌های آمیختگی، تمایز قطری و آمیختگی نسبی) در قطعات نمونه ۱/۲۵ هکتاری محاسبه گردید که در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۳- میانگین شاخص کلارک و ایوانز، خطای معیار، حداقل و حداکثر مقدار شاخص و P-value حاصل از قطعات نمونه با سطوح گوناگون.

Table 4. Mean, standard error, maximum, and minimum values of Clark and Evans index and P-value resulted from sample plots with different areas.

P-value	حداقل مقدار شاخص	حداکثر مقدار شاخص	خطای معیار ± مقدار میانگین شاخص	سطح قطعه نمونه (مترمربع)
P-value	Minimum value of index	Maximum value of index	Mean±standard error	Sample plot area (m ²)
0.000	0.80	2.05	1.243±0.041	1000
0.000	0.78	2.14	1.127±0.031	1500
0.000	0.78	1.64	1.074±0.019	2000
0.000	0.78	1.30	1.020±0.017	3000
0.000	0.79	1.30	1.004±0.033	4000
0.000	0.79	1.18	0.988±0.014	5000
0.000	0.80	1.14	0.946±0.018	7500
0.000	0.81	1.08	0.947±0.018	10000
0.07	0.80	1.09	0.890±0.041	12500

جدول ۴- مقدار شاخص‌های مکانی در قطعات نمونه ۱۲۵۰۰ مترمربعی.

Table 4. Spatial indices values in sample plots with different areas.

شاخص آمیختگی نسبی	شاخص تمایز قطری	شاخص آمیختگی	شاخص کلارک و ایوانز	شماره قطعه نمونه
Relative mingling index	Diameter differentiation index	Mingling index	Clark and Evans Index	Sample plot number
0.23	0.40	0.31	0.84	1
0.34	0.44	0.52	0.96	2
0.67	0.44	0.34	0.94	3
0.74	0.38	0.37	0.81	4
0.56	0.39	0.35	0.83	5
0.75	0.42	0.33	0.82	6
0.44	0.44	0.23	1.09	7
0.87	0.41	0.34	0.84	8
0.51	0.46	0.36	0.91	9
0.25	0.43	0.37	0.87	10
0.56	0.48	0.16	1.03	11
0.34	0.51	0.59	1.04	12
0.33	0.34	0.29	0.84	13
0.67	0.35	0.31	0.80	14
0.71	0.41	0.32	0.85	15
0.25	0.45	0.36	0.82	16

بحث و نتیجه گیری

توسعه ساختاری در جنگل‌های با منشأ طبیعی متأثر از فرایندهای مختلفی از جمله فرایندهای مرتبط با استقرار، رشد و تکامل تک درختان، روابط متقابل رقابتی و آشفته‌گی‌های کوچک مقیاس می‌باشد (۲۲). همچنین توسعه جنگل‌هایی با ساختار پیچیده نیازمند سال‌های طولانی است به‌خصوص در بوم‌سازگان‌های جنگلی که شامل گونه‌های درختی با دیر زیستی بالا باشند (۱۲). تغییرات در ساختار توده و الگوهای مکانی درختان بر رشد، زادآوری، دیرزیستی و مناسب بودن زیستگاه برای گونه‌های حیات‌وحش تأثیرگذار است (۲۰).

در قطعات نمونه با سطوح ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ مترمربع، میانگین شاخص کلارک و ایوانز بزرگ‌تر از یک بوده که نشان‌دهنده الگوی پراکنش پراکنده درختان می‌باشد در حالی که مقدار محاسبه شده شاخص در کل منطقه و همچنین مقدار آماره Z مرتبط با آن نشان‌دهنده الگوی پراکنش کپه‌ای درختان (جدول ۲) می‌باشد. مقدار این شاخص در قطعات نمونه ۷۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ مترمربعی نیز بیشتر از ۰/۹۵ بوده که نشان‌دهنده تمایل شدید الگوی پراکنش درختان به الگوی تصادفی دارد بنابراین، این قطعات نمونه به‌خوبی نمی‌توانند الگوی پراکنش درختان در منطقه مورد مطالعه را نشان دهند. مقدار محاسبه شده شاخص الگوی پراکنش کلارک و ایوانز در قطعات نمونه ۱/۲۵ هکتاری در جدول ۳ ارائه گردیده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود در تمام قطعات نمونه با این سطح (به‌جز قطعات نمونه‌ای که در حاشیه پارسل و در نزدیکی جاده قرار گرفته‌اند) مقدار شاخص محاسبه شده بیانگر کپه‌ای بودن الگوی پراکنش درختان در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. قطعات نمونه ۲، ۳، ۷، ۱۱، ۱۲ در نزدیکی مرز پارسل یا جاده قرار گرفته‌اند و واضح است که شرایط جنگل و درختان در حاشیه جنگل و مجاورت جاده با قسمت‌های داخلی جنگل متفاوت می‌باشد.

پراکنش مکانی درختان می‌تواند الگوهای متفاوتی را در مقیاس‌های کوچک‌تر نسبت به مقیاس‌های بزرگ‌تر نشان دهد (۲۹). به‌عنوان مثال درختان تمایل به الگوهای پراکنده در مقیاس‌های کوچک‌تر دارند اما در مقیاس‌های بزرگ‌تر الگوی کپه‌ای نشان می‌دهند. بنابراین انتخاب سطح بهینه قطعه به‌منظور ارزیابی ساختار منطقه که به‌درستی نشان‌دهنده الگوی پراکنش درختان باشد بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

نکته قابل توجه این است که مقدار شاخص نزدیک‌ترین همسایه کلارک و ایوانز یک کمیت می‌باشد که از آن برداشت کیفی می‌شود (۸). این استنتاج کیفی در مورد نتیجه به‌دست آمده از هر یک

از قطعات نمونه مربع ۱/۲۵ هکتاری و مقدار شاخص کل مشابه می‌باشد و الگوی مکانی کپه‌ای را بیان می‌کنند. مقدار این شاخص به‌طور توصیفی بیانگر الگوی مکانی می‌باشد یعنی هر چه مقدار شاخص کلارک و ایوانز از یک بیشتر شود، الگوی مکانی پراکنده‌تر خواهد بود و هر چه از یک کمتر شده و به صفر نزدیک‌تر شود، الگوی مکانی کپه‌ای تر خواهد بود اما امکان بیان نوع الگوی مکانی به‌صورت کمی وجود ندارد. مقدار سایر شاخص‌های ساختاری مدنظر در این مطالعه که شامل شاخص‌های آمیختگی، تمایز قطری، آمیختگی نسبی بودند نیز در قطعات نمونه ۱/۲۵ هکتاری محاسبه گردید که مقادیر آن در جدول ۴ مشاهده می‌گردد. همان‌طور که در جدول مذکور ملاحظه می‌گردد مقدار سایر شاخص‌های ساختاری که از قطعات نمونه ۱/۲۵ هکتاری برآورد شده نیز، همانند شاخص الگوی پراکنش مکانی، با مقدار شاخص‌هایی که از آماربرداری ۱۰۰ درصد به‌دست آمد همخوانی دارند یعنی شاخص‌های آمیختگی نشان‌دهنده آمیختگی کم گونه‌های تشکیل‌دهنده منطقه می‌باشند و شاخص‌های تمایز قطری در طبقه متوسط قرار می‌گیرند، شاخص آمیختگی نسبی (S) نیز بزرگ‌تر از یک محاسبه گردید. اسلامی و ثاقب طالبی (۲۰۰۶) و ثاقب طالبی و شوتز (۲۰۰۲) نشان دادند که با یک قطعه ۰/۵ هکتاری در توده‌های آمیخته و یک قطعه یک هکتاری در توده‌های خالص به ساختار ناهمسال جنگل‌ها خواهیم رسید (۹). نکته‌ای که باید به آن توجه نمود این است که در مطالعات قبلی که به‌منظور معرفی سطح بهینه قطعه نمونه در جنگل‌های شمال کشور انجام شده و به برخی از آن‌ها در سطور فوق اشاره گردید، از متغیرهای ساختاری یک‌بعدی برای توصیف ساختار جنگل استفاده شده است؛ متغیرهای ساختاری یک‌بعدی شامل تراکم، سطح مقطع، تاج پوشش، میانگین و تغییرات ابعاد درختان (قطر یا ارتفاع) می‌باشند. چنین توصیف‌کننده‌های رایج ساختار که برخی از آن‌ها در مطالعات اسلامی و ثاقب طالبی (۲۰۰۶) مورد استفاده قرار گرفته‌اند به‌طور مستقیم نظم مکانی گیاهان را در نظر نمی‌گیرند. در حقیقت این توصیف‌کننده‌ها اگرچه دانش ارزشمندی در مورد شرایط ساختاری متوسط توده فراهم می‌نمایند، اما نظم مکانی توده را نادیده می‌گیرند؛ اما شاخص‌های ساختاری که در این تحقیق در نظر گرفته شده‌اند، به سه جنبه مهم ساختار یعنی تنوع موقعیت مکانی (شاخص کلارک و ایوانز)، تنوع آمیختگی (شاخص آمیختگی و آمیختگی نسبی) و تنوع ابعاد درختان (شاخص تمایز قطری) می‌پردازند به بیانی دیگر در مطالعه حاضر نظم و ترتیب‌بندی مکانی درختان نیز در مطالعه ساختار توده در نظر گرفته شده است.

باید توجه نمود که ساختار جنگل، فاکتور مهمی در تحلیل و مدیریت بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌باشد و خصوصیات ساختاری برای تعریف نیازمندی‌های آشیان اکولوژیک گونه‌های حیات‌وحش، بررسی تنوع ساختاری و پویایی زمانی پوشش گیاهی زیراشکوب، و همچنین بررسی الگوهای زادآوری به‌منظور تخمین تولید الوار موردنیاز می‌باشند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به‌نظر می‌رسد از آنجایی که شاخص‌های مکانی محاسبه شده در هر یک از قطعات نمونه ۱/۲۵ هکتاری با شاخص‌های محاسبه شده برای کل توده مطابقت دارند به‌منظور بررسی شاخص‌های ساختاری در منطقه جنگلی مدنظر مادامی که شرایط توپوگرافی، رویشگاهی و پیشینه مدیریتی تغییر نکند می‌توان داده‌های ثبت شده از یک قطعه نمونه با سطح ۱/۲۵ هکتار که در حاشیه پارسل و در نزدیکی جاده قرار نگرفته باشد را به‌عنوان معرف اطلاعات منطقه مورد مطالعه جهت بررسی و ارزیابی شاخص‌های مکانی به‌کار گرفت. نکته مهمی که در رابطه با ساختار باید به آن توجه نمود این است که در سال‌های اخیر در جنگل‌هایی با هدف تولید چوب نیز، ساختار مکانی توده به‌عنوان یک فاکتور مهم در تعیین تنوع زیستگاه و گونه در نظر گرفته می‌شود. مطالعات انجام گرفته در این زمینه نشان می‌دهند که افزایش ناهمگنی در ساختار توده، همراه با تعداد بیشتر گونه‌ها و پایداری اکولوژیکی می‌باشد (۲۰، ۳۴) و درک کامل و درست ساختار مکانی بوم‌سازگان‌های جنگلی یکی از کلیدهای مدیریت پایدار جنگل‌های آمیخته و ناهمسال است. به بیانی دیگر ساختار مکانی یکی از مشخصه‌های توصیفی جنگل است که برگرفته از رویش جنگل و فرایندهای مرتبط با آن بوده و بر ترکیب جنگل تأثیرگذار است، بنابراین شایسته است توصیف کمی ساختار جنگل به‌عنوان یکی از مفیدترین ابزارهای کاری در مدیریت نوین جنگل در نظر گرفته شود.

منابع

1. Akhavan, R., and Sagheb Talebi, Kh. 2012. Application of bivariate Ripley's Kfunction for studying competition and spatial association of trees (Case Study: intact Oriental beech stands in Kelardasht). Iranian Journal of Forest and Poplar research. 19: 4. 632-644. (In Persian)
- 2- Alijani, V., Fegghi, 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). Journal of Wood and Forest Science and Technology, 19: 3.175-188. (In Persian)

3. Alavi, S.J., Zahedi Amiri, G.H., and Marvie Mohadjer, M.R. 2006. An Investigation of spatial pattern in Wych elm (*Ulmus glabra*) in Hyrcanian forests, case study: Kheyrodkenar forest, Noshahr, Iran. Iranian journal of natural resources, 58: 4.793-804. (In Persian)
4. Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K.V., and Jimenez, J. 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecol. Manag.* 183: 137-145.
5. Clark, P., and Evans, E. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35: 4. 445-453.
6. Corral, J.J., Wehenkel, C., Castelanos, H.A., Vargas, B., and Dieguez, U. 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. *J. Forest Res.* 15: 218-225.
7. Dale, M.R.T. 1999. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. Cambridge University Press, UK, 1999, 326p.
8. Erfanifard, S.Y., Fegghi, J., Zobeiri, M., and Namiranian, M. 2008. Investigation on the spatial pattern of trees in Zagros forests. *Journal of the Iranian Natural Resource*, 60: 4. 1319-1328. (In Persian)
9. Eslami, A.R., and Sagheb Talebi, K.H. 2007. Investigation on the structure of pure and mixed beech forests in north of Iran. (Neka- Zalemrud region), *Pajouhesh and Sazandegi*, 77: 39-46. (In Persian)
10. Etemad, V. 2009. Optimal management of kheirud forest: Forest typology map. Iran national science foundation, 120p. (In Persian)
11. Franklin, J.F., Spies, T.A., Van Pelt, R., Carey, A.B., Thornburgh, D.A., Raeberg, D., Lindenmayer, D.B., Harmon, M.E., Keeton, W.S., Shaw, D.C., Bible, K., and Chen, J. 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglasfir forests as an example. *Forest Ecol. Manag.*, 155: 1. 399-423.
12. Freund, J.A., Franklin, J.F., and Lutz, J.A. 2015. Structure of early old-growth Douglas-fir forests in the Pacific Northwest. *Forest Ecol. Manag.* 335: 11-25.
13. Green, E.J., and Clutter, M. 2002. Estimating tree diameter class frequencies. *Ecol. Model.*, 147: 1-9.
14. Gadow, K.V. 2006. *Forsteinrichtung, Adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip*, University of Gottingen, Gottingen, 163p.
15. Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., and Sohrabi, H. 2007. Application of T-square sampling method in zagros forests (case study: Kermanshah province). *Iranian journal of forest and poplar research*, 15: 1. 32-42. (In Persian)
16. Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., and Stoyan, D. 2008. *Statistical Analysis and Modeling of Spatial Point Patterns*. John Wiley and Sons, Chichester, 527p.
17. Kiani, B., Tabari, M., Fallah, A., Hosseini, S.M., and Iran-nejad Parizi M.H. 2012. The se of nearest neighbor, mean sqare and k-function to determine

- spatial pattern of saxual (*Haloxylon ammodenderon* C.A. Mey) in Siahkooch protected area, Yazd province, Iranian journal of forest and poplar research, 19: 3.356-369. (In Persian)
18. Kint, V., Lust, N., Ferris, R., and Olsthoorn, A.F.M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. *Invest. Agric.*, 1: 147-163.
 19. Kint, V., Robert, D.W., and Noel, L. 2004. Evaluation of sampling methods for estimation of structural indices in forest stands, *Ecol. Model.*, 180: 461-476.
 20. LeMay, V., Maedel, J., and Coops, N. 2008. Estimating stand structural details using variable-space nearest neighbor analyses to link ground data, forest cover maps, and Landsat imagery, *Remote Sens. Environ.*, 112: 2578-2591.
 21. Li, L., Wei, S.G., Huang, Z.L., Ye, W.H., and Cao, H.L. 2008. Spatial patterns and interspecific associations of three canopy species at different life stages in a subtropical forest, China. *J. Integ. Plant Biol.*, 50: 9. 1140-1150.
 22. Lutz, J.A., Larson, A.J., Furniss, T.J., Freund, J.A., Swanson, M.E., Donato, D.C., Bible, K.J., Chen, J., and Franklin, J.F. 2014. Spatially nonrandom tree mortality and ingrowth maintain equilibrium pattern in an old-growth *Pseudotsuga-Tsuga* forest. *Ecology*, 95: 8.2047-2054.
 23. Morisita, M. 1957. A new method for the estimation of the spacing method applicable to non-randomly distributed population. *Physiol. Ecol.*, 7: 4.215-235.
 24. Nadkarni, N.M., McIntosh, A.C.S., and Cushing, J.B. 2008. A framework to categorize forest structure concepts. *Forest Ecol. Manag.* 256: 5. 872-882.
 25. Nouri, Z., Zobeiri, M., Fegghi, J., and Marvie Mohadjer, M.R. 2013. Investigation on the forest structure and trees spatial pattern in *Fagus orientalis* stands of Hyrcanian forests of Iran (case study: Gorazbon district of Kheyroud forest), *Journal of Natural Environment*, 66: 1.113-125. (In Persian)
 26. Nouri, Z., fegghi, J., and Marvie Mohadjer, M.R. 2014. Spatial distribution and volume of dead trees in *Fagus orientalis* stands of Iran (case study: Gorazbon district of Kheyroud forest). *Natural Ecosystems of Iran*, 5: 1. 1-14. (In Persian)
 27. Pommerening, A., and VonGadow, K. 2000. Zuden Möglichkeiten und Grenzender Strukturierung mit Waldinventuren. *Forst und Holz*, 55: 622-631.
 28. Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 75: 3. 305-324.
 29. Pommerening, A. 2006. Crancod 1.3 Manual. University of Wales, Bangor. 24p.
 30. Pourbabaee, H., Ahani, H., and Bonyad, A.E. 2005. Spatial pattern of Maple trees (*Acer platanoides* L.) in Guilan province. *Journal of Environment*, 1: 24-30.
 31. Ripley, B.D. 1977. Modeling spatial patterns. *Journal of the royal statistical society*, 39(2): 172-212.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

32. Ripley, B.D. 1979. Test of randomness for spatial point patterns. *J.R. Stat. Soc.*, 41(3): 368–374.
33. Ripley, B.D. 1981. *Spatial statistics*. John Wiley and Sons, Chichester 252p.
34. Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K., and Vacik, H. 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus bacata* L.) populations. *Eur. J. For. Res.*, 129: 189-198.
35. Salas, C., LeMay, V., Nuñez, P., Pacheco, P., and Espinosa, A. 2006. Spatial patterns in an old-growth *Nothofagus obliqua* forest in south-central Chile. *Forest Ecol. Manag.*, 23: 38–46.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (4), 2016

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

Determination of optimal plot area for studying spatial structural indices in beech forests of kheyrod, Nowshahr

***Z. Nouri¹, M. Zobeiri², J. Fegghi³ and M.R. Marvie Mohajer²**

¹Ph.D. Graduate in Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran,

²Professor, Dept., of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, ³Associate Prof., Dept., of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: 01/03/2015 ; Accepted: 02/03/2016

Abstract

Background and objectives: The quantitative description of forest structure is considered as one of the most useful working tools in modern forest management and in order to manage these ecosystems optimally, obtaining accurate insight of their structures is necessary. This study aims at evaluating the optimal area of the sample plot for correct and effective estimation of structural parameters of beech stands.

Materials and methods: For this purpose, a compartment with an area about 48 hectares in Gorazbon district in research forest of Kheirod, Nowshahr, Iran was selected in which tree species and DBH of all trees with DBH > 7 cm were recorded. In addition, for stem mapping of trees, the location of each tree was obtained using azimuth and distance method. The square sample plots with different areas were laid out on the simulated map of study area and nearest neighbor of spatial indices (spatial pattern index of Clark and Evans, mingling index, diameter differentiation index, relative mingling index) were then calculated in each sample plot. The calculated indices in each sample plot with different areas were then compared with full inventory data using one-sample t-test. Results: The comparison of resulted spatial indices in each of sampling schemes (1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 7500, 10000 and 12500 m² sample plots) with calculated spatial indices for the whole of study area indicated that only spatial indices in sample plots with area of 12500 m² did not show any significant difference with the spatial indices for the whole of study area. Values of other spatial indices i.e. mingling index, diameter differentiation index, and relative

*Corresponding author: znouri9@Gmail.com

mingling index obtained from 1.25 ha sample plots are in agreement with full inventory data; that is, mingling index represented low species mixtures in the study area and diameter differentiation index was in mid-class, and relative mingling index was greater than one.

Conclusion: As long as the topographic and forest site conditions as well as the management system does not change, horizontal structural indices could be investigated with one 1.25 ha sample plot, provided that this sample plot is not established in the margin of compartment and the forest road vicinity.

Keywords: Forest Structure, Spatial Point statistics, Spatial Indices, Beech Forests, Iran