کاربرد شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه در مطالعه ساختار توده‌های دست نخورده راش در جنگل خیرود نوشهر

زهرا نوری[۱*]، محمود زبیری[۱]، جهانگیر فقهی[۱] و محمدرضا مروی مهاجر[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۱۵)

چکیده

امروزه توصیف کمی ساختار جنگل به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین ابزار در مدیریت نوین جنگل درنظر گرفته می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، مطالعه شاخص‌های ساختاری در توده‌های دست نخورده راش با استفاده از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه بود. به این منظور یک پارسل به مساحت ۴۸ هکتار در بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد و گونه و قطر برابر سینه تمام پایه‌های درختی با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر یاداشت و به‌منظور تهیه نقشه موقعیت مکانی درختان، موقعیت هر یک از پایه‌های درختی با روش فاصله- آزیموت ثبت شد. سپس شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه شامل شاخص‌های الگوی مکانی کلارک و ایوانز، شاخص آمیختگی (DMi)، شاخص آمیختگی نسبی (S) و شاخص اختلاف قطر برابر سینه (Tij) با استفاده از نرم‌افزارCrancod 1.3 محاسبه شدند. نتایج حاصل از شاخص کلارک و ایوانز نشان داد الگوی مکانی درختان در منطقه مورد مطالعه از حالت کپه‌ای پیروی می‌کند. مقدار شاخص (DMi) در منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۳۱۳ به‌دست آمد که نشان‌دهنده آمیختگی کم گونه‌های تشکیل‌دهنده است. مقدار شاخص (Tij) برابر با ۰/۴۳ حاکی از اختلاف متوسط درختان از نظر قطر برابر سینه است و مقدار شاخص S که بزرگ‌تر از صفر بود نشان‌دهنده تفکیک گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج این مطالعه کاربرد شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه را در مطالعه مولفه‌های ساختاری جنگل‌های راش نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شاخص پراکنش مکانی کلارک و ایوانز، شاخص آمیختگی، شاخص تمایز قطری، جنگل‌های خزری، خیرود

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: znouri9@gmail.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]

مقدمه

در طی سال‌های اخیر جنگلداری نوین با هدف پایداری اکولوژیکی توسعه‌یافته و در حال حاضر نیز به‌سرعت درحال تکامل می‌باشد (۴۵). در همین راستا توصیف کمی ساختار جنگل به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین ابزارهای کاری در مدیریت نوین جنگل درنظر گرفته می‌شود (۲۹). ساختار و توزیع مکانی درختان (عمودی و افقی) مولفه‌های مهمی برای درک پویایی اکوسیستم‌های جنگلی می‌باشند و پتانسیل آنها برای درک مفاهیم اکولوژیک هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است (۱۶، ۳۰ و ۳۴).

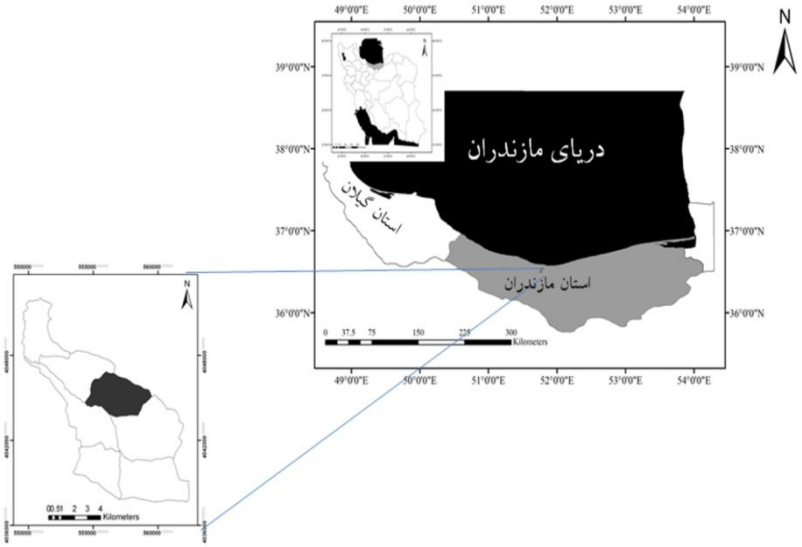
در اکوسیستم‌های جنگلی واژه "ساختار" (Structure) نحوه آرایش مکانی یک‌سری از ویژگی‌های درختان از جمله سن، ابعاد، گونه و جنس (در مورد درختان دو پایه) و مواردی از این دست را مورد توجه قرار می‌دهد (۲۶). محققان مختلف ساختار مکانی جنگل را به سه ویژگی تقسیم نموده‌اند: الف) تنوع موقعیت مکانی درختان که بیان کننده الگوی پراکنش منظم، کپه‌ای، تصادفی و یا ترکیبی از آنهاست. ب) تنوع آمیختگی که نحوه چیدمان گونه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد. ج) تنوع ابعاد درختان که چیدمان مکانی مشخصه‌هایی از قبیل قطر و ارتفاع را نشان می‌دهد (۲۸).

به‌منظور توصیف کمی ساختار مکانی شاخص‌های آماری متعددی توسعه یافته‌اند از آن جمله می‌توان به شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه اشاره داشت، این شاخص‌ها دارای عملکردی شبیه به ساختار مولکول‌های شیمیایی می‌باشند و به بررسی همسایه‌های هر درخت یا نقطه معین در توده جنگلی می‌پردازند (۴۰). این شاخص‌ها به‌منظور توصیف دقیق و پایش تغییرات ساختاری توده‌های جنگلی و یا شبیه‌سازی ساختار توده‌های پیچیده در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی کامپیوتری به‌کار می‌روند (۱۵، ۲۴ و ۴۱). از مزایای این شاخص‌ها می‌توان به انعطاف‌پذیری بالا در انتخاب تعداد درختان همسایه، عدم نیاز به اندازه‌گیری فاصله بین درختان و در نتیجه آسان و ارزان بودن محاسبه آنها، صحت بالا، توانایی کافی در تشریح ساختار توده‌های جنگلی و بررسی تکامل آنها اشاره کرد (۱۵، ۲۸ و ۳۸). در هنگام محاسبه شاخص‌های ساختاری، تأثیرهای حاشیه‌ای نقش مهمی ایفا می‌نمایند و نادیده گرفتن این تأثیرها معمولاً منجربه برآوردهای آماری اریب می‌شود.

تاکنون مطالعات گوناگونی در زمینه بررسی ساختار و شاخص‌های مکانی در اکوسیستم‌های جنگلی مناطق مختلف کشور انجام گرفته است که بیشتر آنها تنها به بررسی الگوی مکانی گونه‌های درختی با استفاده از توابع و شاخص‌های مختلف پرداخته‌اند که به برخی از آنها در ادامه اشاره می‌گردد. پوربابایی و همکاران (۵) الگوی مکانی گونه کرکف را در جنگل شفارود گیلان با استفاده از شاخص مربع تی، جانسون-زایمر و کلارک و ایوانز کپه‌ای گزارش نمودند. بصیری و همکاران (۴) با استفاده از شاخص‌های گرین و استاندارد شده موری سیتا الگوی مکانی درختان در منطقه قامیشله مریوان را کپه‌ای گزارش نمودند. حبشی و همکاران (۶) با استفاده از آماره کلارک و ایوانز الگوی پراکنش راش، ممرز و انجیلی را در جنگل آمیخته راش شصت کلا گرگان، در تمام لایه‌ها کپه‌ای تعیین نمودند. در مطالعه عرفانی فرد و همکاران (۸) الگوی مکانی درختان با استفاده از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه در جنگل سروک (منطقه زاگرس) پراکنده تعیین شد. اخوان و همکاران (۱) الگوی پراکنش گونه راش را در مراحل مختلف توالی در جنگل‌های کلاردشت مطالعه نمودند. علوی و همکاران (۹) الگوی مکانی گونه ملج را به‌عنوان یک مولفه ساختار در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر با استفاده از تابع K-Ripley مورد بررسی قرار دادند. نوری و همکاران (۱۳) با استفاده از تابع K-Ripley الگوی پراکنش مکانی گونه‌های راش، ممرز، توسکای ییلاقی و پلت را در جنگل خیرود کپه‌ای تعیین کردند. مطالعات دیگری از جمله علیجانی و همکاران (۱۱) هر سه جنبه ساختار مکانی (تنوع موقعیت مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد) را در بررسی ساختار جنگل‌های میان‌بند خیرود به‌کار گرفته‌اند.

مطالعات بسیاری در خارج از کشور انجام شده است که

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

جنبه‌های مختلف ساختار را مورد بررسی قرار داده‌اند که به برخی از مهم‌ترین آنها که در راستای پژوهش حاضر می‌باشد اشاره می‌گردد. کینت و همکاران (۲۷) ضمن تشریح شاخص‌های ساختاری به کمی‌سازی ساختار یک توده متشکل از کاج (*Pinus sylvestris*) و بلوط (*Quercus robur* و *Quercus rubra*) با استفاده از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه در جنگل‌های بلژیک پرداختند. پومرنینگ (۳۸) رویکردهای مختلف کمی‌کردن ساختار جنگل در سه توده جنگلی را با استفاده از توابع گوناگون از جمله شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه مورد بررسی قرار داد. گراز (۲۶) شاخص آمیختگی (M) را در رابطه با پراکنش و غالبیت گونه‌ها در توده‌های شبیه‌سازی شده تصادفی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که این شاخص، ابزار قدرتمندی در توصیف پراکنش مکانی گیاهان می‌باشد. روپرچت و همکاران (۴۴) تنوع ساختاری توده‌های *Taxsus baccata* در اتریش را با استفاده از شاخص‌های آمیختگی، تمایز قطری و ارتفاعی مورد بررسی قرار دادند. جنگل‌های خزری همانند نواری سبز بر روی دامنه شمالی رشته کوه‌های البرز قرار گرفته‌اند و جزو جنگل‌های غنی دنیا محسوب می‌شوند (۵) و به‌عنوان منبع مهم تولید چوب و سایر خدمات جنگلی مطرح می‌باشد که در آن گونه راش یکی از با ارزش‌ترین گونه‌های تولیدکننده چوب می‌باشد (۱۲) که ۱۷/۶ درصد سطح و ۳۰ درصد حجم سرپای این جنگل‌ها را تشکیل می‌دهد و ارتفاع آن به بیش از ۴۰ متر و قطر برابر سینه آن به بیش از ۱/۵ متر هم می‌رسد (۴۳).

به‌منظور مدیریت بهینه این منابع جنگلی با ارزش به‌دست آوردن درک صحیحی از ساختار آنها ضروری می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه ارائه اطلاعات کمی در مورد ساختار اکوسیستم‌های جنگلی و توصیف خصوصیات مکانی به‌منظور مدیریت بهتر و برنامه‌ریزی و ارزیابی برنامه‌های مدیریتی جنگل ضروری می‌باشد (۷). و با توجه به اهمیت توده‌های راش در جنگل‌های خزری این مطالعه به بررسی ویژگی‌های ساختاری در راشستان‌های طبیعی و دست نخورده شمال ایران با استفاده از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این بررسی در بخش گرازبن از جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در شمال ایران انجام گرفته است. جنگل خیرود در ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ′۳۶°۲۷ تا ′۳۶°۴۰ عرض شمالی و ′۵۱°۳۲ تا ′۵۱°۴۳ طول شرقی واقع شده است.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]

پارسل ۳۱۹ بخش گرازبن به مساحت ۴۸ هکتار که دست نخورده بوده و تا زمان آماربرداری در آن هیچ‌گونه عملیات پرورشی، تجدید حیات و بهره‌برداری برنامه‌ریزی شده (در قالب طرح‌های جنگلداری) انجام نگرفته به‌عنوان منطقه مورد مطالعه درنظر گرفته شد. ارتفاع از سطح دریا در پارسل مورد نظر ۱۱۹۰ تا ۱۲۷۰ متر بوده و بیشتر قسمت‌های پارسل جهت جنوبی داشته و دو یال یکی در قسمت میانی و دیگری در مرز شمالی پارسل وجود دارد (۷). طبق نقشه تیپ‌بندی بخش گرازبن تیپ عمده در منطقه مورد مطالعه راش می‌باشد (۲) (شکل ۱).

در این مطالعه از روش ثبت موقعیت مکانی درختان به‌صورت نقطه با طول و عرض جغرافیایی مشخص استفاده شد و موقعیت مکانی درختان با استفاده از روش فاصله- آزیموت (۳۲) ثبت شد. بدین منظور ابتدا مختصات یک نقطه مشخص برروی جاده جنگلی مشخص گردید و مختصات آن با استفاده از دستگاه GPS با دقت بالا ثبت گردید و این نقطه به‌عنوان نقطه شاخص درنظر گرفته شد. سپس دستگاه فاصله‌یاب لیزری (Trupulse 360) (محصول شرکت لیزر تکنولوژی کشور آمریکا) در عرصه در مکان‌های مشخصی مستقر شد و فاصله و آزیموت کلیه پایه‌های درختی موجود در پارسل با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر نسبت به این دستگاه یادداشت و گونه و قطر برابر سینه آنها نیز ثبت شد. 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 تبدیل به موقعیت مکانی آنها برحسب طول و عرض جغرافیایی شد (۱۴).

شاخص‌های بررسی ساختار مکانی

در این مطالعه به‌منظور بررسی ساختار مکانی منطقه مورد مطالعه از رایج‌ترین شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه که در مطالعه‌های ساختار جنگل‌ها به‌کار می‌روند، استفاده شده است. کلارک و ایوانز (۱۸) مقادیر عددی برای توصیف الگوی مکانی (Spatial pattern) درختان در توده‌های جنگلی ارائه دادند که فرمول این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد (۳۸).

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

هنگام به‌کارگیری شاخص نزدیک‌ترین همسایه جهت بررسی الگوی مکانی از آزمون Z نیز استفاده می‌شود. مقدار آماره Z به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (۱۹).

$$\sigma_{r_E}=\frac{0.26136}{\sqrt{N.\rho}}=\frac{0.26136}{\sqrt{N^2/A}}$$

$$Z=\frac{\bar{r}_A-\bar{r}_E}{\sigma_{r_E}}$$

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 (متر مربع)، ±: انحراف معیار $\bar{r}_E$ می‌باشد.

در یک جنگل با توزیع تصادفی اگر مقدار CE بزرگ‌تر، مساوی یا کوچک‌تر از یک باشد الگوی درختان در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب منظم، تصادفی و کپه‌ای می‌باشد. تفسیر مقدار آماره Z محاسبه شده به شرح زیر می‌باشد: $Z > +1.96$: الگوی مکانی منظم، $-1.96 < Z < +1.96$: الگوی مکانی تصادفی، $Z < -1.96$ الگوی مکانی کپه‌ای.

شاخص آمیختگی (Species mingling index) (DM_i) به‌منظور بررسی نحوه چیدمان گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر استفاده می‌شود و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۷).

$$DM_i=1/4\sum_{i=1}^{4}v_{ij} \quad v=\begin{bmatrix}1\rightarrow Species i\neq Species j\\0\rightarrow Species i=Species j\end{bmatrix}$$

با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه‌ها نسبت به یکدیگر، این شاخص دارای ارزشی بین ۱-۰ است. در

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]

هنگام استفاده از چهار همسایه در یک گروه ساختاری، مقدار این شاخص یکی از اعداد زیر می‌باشد: صفر: همه همسایه‌ها از گونه مشابه با درخت مرجع می‌باشند. ۰/۲۵: گونه یک درخت همسایه متفاوت با گونه درخت مرجع باشد. ۰/۵: گونه دو درخت همسایه متفاوت با گونه درخت مرجع باشد. ۰/۷۵: گونه سه درخت همسایه متفاوت با گونه درخت مرجع باشد. ۱: هیچ‌کدام از همسایه‌ها مشابه با گونه درخت مرجع نباشند.

شاخص اختلاف قطر برابر سینه (Diameter differentiation index) (T_{ij}) براساس اختلاف قطر درختان همسایه محاسبه می‌شود و به بررسی توزیع ابعاد درختان نسبت به یکدیگر می‌پردازد (۳۸).

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

در این فرمول *DBH* قطر برابر سینه به سانتی‌متر می‌باشد. این شاخص براساس 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 ۱- ۰ متغیر باشد؛ به‌منظور سهولت در تفسیر نتایج، ارزش‌های محاسبه شده براساس این شاخص به چهار دسته تقسیم می‌شوند: اختلاف کم (۰/۳-۰)، اختلاف متوسط (۰/۵-۰/۳)، اختلاف آشکار (۰/۷-۰/۵)، اختلاف زیاد (۱-۰/۷) (۴۴).

برای محاسبه شاخص آمیختگی نسبی (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 فرمول زیر به‌دست می‌آید (۳۷).

$$S = 1 - \frac{N(b+C)}{(V.n + W.m)}$$

مقدار این شاخص بین ۱+ و ۱- متغیر می‌باشد و براساس داده‌های یک جدول ۲*۲ به‌شکل زیر محاسبه می‌شود:

	نزدیک‌ترین همسایه		
	گونه درختی ۱	گونه درختی ۲	مجموع
گونه درختی ۱	A	b	M
گونه درختی ۲	c	d	N
مجموع	V	W	N

از آنجایی‌که براساس تحقیق‌های پیشین ثابت شده است که به‌کار بردن چهار همسایه در روش‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه دارای بیشترین دقت می‌باشد (۱۵، ۱۹، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). در این مطالعه نیز شاخص‌های ساختاری با استفاده از همین تعداد از نزدیک‌ترین همسایه‌های هر درخت و با استفاده از نرم‌افزار Crancod 1.3 مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تصحیح اثرات حاشیه‌ای، روش نزدیک‌ترین همسایه به‌کار گرفته شد (۳۹).

نتایج

در منطقه مورد مطالعه موقعیت مکانی، گونه و قطر برابر سینه ۱۱۳۳۲ پایه درختی از گونه‌های راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، بلوط (*Quercus castaneifolia* C.A.M.)، توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.M) خرمندی (*Diospyros lotus* L.)، شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.)، گیلاس وحشی (*Cerasus avium* L)، ملج (*Ulmus glabra* Huds.) و نمدار (*Tilia begonifolia* Stev.) که ۴ گونه راش، ممرز، پلت و توسکای ییلاقی بیش از ۹۷ درصد تراکم پایه‌ها را تشکیل می‌دهند. خصوصیات کمی گونه‌های مذکور در جدول ۱ ارائه شده است.

به‌منظور محاسبه شاخص پراکنش مکانی کلارک و ایوانز، میانگین فاصله مشاهده شده و الگوی پراکنش کل پایه‌های درختی موجود در منطقه محاسبه شد، مقدار این میانگین در منطقه مورد مطالعه، ۲/۹۱ متر به‌دست آمد در حالی‌که مقدار

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]

جدول ۱. خصوصیات کمی درختان در منطقه مورد مطالعه

گونه	تعداد در هکتار	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)			میانگین سطح مقطع برابر سینه (مترمربع در هکتار)
		میانگین ± اشتباه معیار	درصد ضریب تغییرات	کمینه	بیشینه
راش	۱۵۷	۴۰/۲۲±۰/۳۳	۷۱	۷	۱۸۸	۲۹/۸
ممرز	۶۰	۲۲/۳۷±۰/۲۹	۷۰	۷	۱۱۵	۳/۵۳
توسکای ییلاقی	۶	۴۶/۷۲±۱/۶۹	۵۹	۸	۱۵۴	۱/۳۲
پلت	۸	۵۰/۴۹±۱/۵۵	۶۱	۸	۱۸۶	۲/۲۷

جدول ۲. نتایج به‌دست آمده از شاخص نزدیک‌ترین همسایه در منطقه مورد مطالعه

میانگین فاصله مشاهده شده	میانگین فاصله مورد انتظار	مقدار شاخص	Z-score	*P-value*
۲/۹۱	۳/۵۷	۰/۸۱	-۳۷/۲۶	<۰/۰۰۱

میانگین فاصله مورد انتظار برای اینکه درختان موجود در منطقه الگوی پراکنش تصادفی داشته باشند ۳/۵۷ متر می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد مقدار شاخص نزدیک‌ترین همسایه برای منطقه مورد مطالعه کوچک‌تر از یک بوده که نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای است. هم‌چنین مقدار *P-value* <۰/۰۰۱ نیز رد کننده فرض صفر (تصادفی بودن الگوی درختان) می‌باشد و مقدار آماره Z کوچک‌تر از (۱/۹۶-) نیز موید این مطلب بود که درختان منطقه از الگوی پراکنش کپه‌ای پیروی می‌کنند.

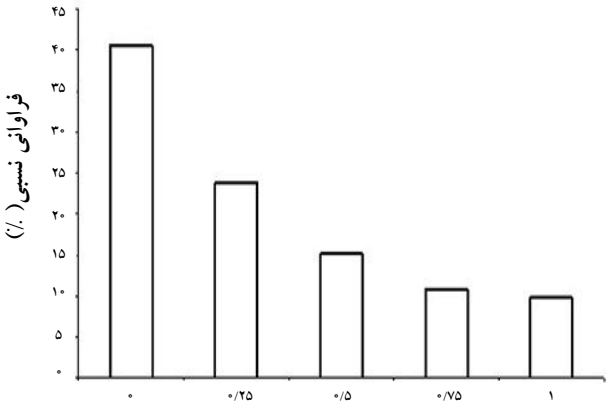
شاخص آمیختگی گونه‌ای به‌خوبی بیانگر نحوه چیدمان گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر می‌باشد.. مقدار شاخص آمیختگی (DMi) درختان در منطقه مورد مطالعه ۰/۳۱۳ می‌باشد که نشان‌دهنده آمیختگی کم گونه‌های تشکیل‌دهنده است.

توزیع ارزش‌های این شاخص در طبقات مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود بیشترین فراوانی مربوط به طبقه اول (ارزش صفر) می‌باشد که مربوط به زمانی است که درخت مرجع و چهار همسایه اطراف آن از یک گونه باشند، به‌عبارت دیگر بیش از چهل درصد درختان در منطقه مورد مطالعه در مجاورت چهار درخت از گونه مشابه خودشان قرار دارند و دو طبقه چهارم (گونه سه درخت همسایه متفاوت با گونه درخت مرجع باشد) و پنجم (هیچ کدام از همسایه‌ها مشابه با گونه درخت مرجع نباشند) کمترین درصد فراوانی را به‌خود اختصاص داده‌اند بنابراین می‌توان گفت بیشتر درختان در این پارسل در کنار پایه‌های هم گونه خود هستند.

مقدار میانگین شاخص اختلاف قطر برابر سینه (T_{ij}) برای درختان موجود در منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۴۳ به‌دست آمد. در شکل ۳ فراوانی نسبی ارزش‌های این شاخص در طبقات مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیش از ۴۵ درصد درختان در منطقه مورد مطالعه، اختلاف قطری ۰/۳ تا ۰/۵ نسبت به درختان همسایه دارند. و از نظر قطر برابر سینه ناهمگنی متوسطی نسبت به همسایگان خود دارند.

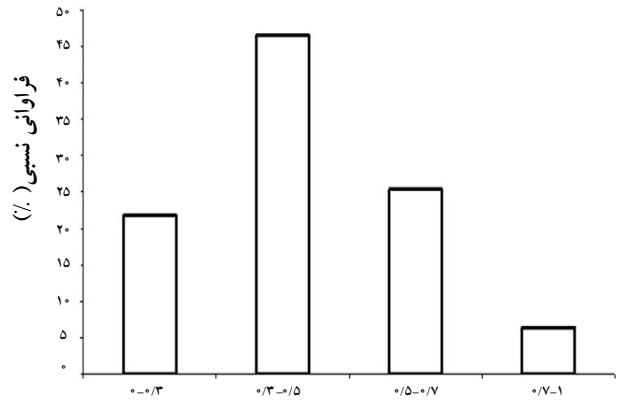
همان‌طور که گفته شد شاخص تفکیک S اختلاط دو گونه درختی را براساس روش نزدیک‌ترین همسایه تعیین می‌نماید. مقدار این شاخص در منطقه مورد مطالعه ۰/۴۴ به‌دست آمد. از آنجایی‌که مقدار این شاخص بزرگتر از صفر می‌باشد نشان‌دهنده این مطلب است که تعداد جفت‌های درختی مشاهده شده کمتر از مقدار مورد انتظار بوده و در نتیجه حاکی از تفکیک گونه‌ها یا به بیانی دیگر جدایی مکانی گونه‌ها می‌باشد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]



ارزش‌های شاخص آمیختگی درختان

شکل ۲. نمودار توزیع ارزش شاخص آمیختگی



ارزش‌های شاخص تمایز قطری کل درختان

شکل ۳. نمودار توزیع ارزش شاخص تمایز قطری درختان در منطقه مورد مطالعه

بحث

توسعه ساختاری در جنگل‌هایی که به‌طور طبیعی شکل یافته‌اند شامل فرایندهای بسیاری از جمله فرایندهای مرتبط با استقرار، رشد و تکامل تک درختان، روابط متقابل رقابتی و آشفتگی‌های کوچک مقیاس می‌باشد (۳۰) و توسعه جنگل‌های با ساختار پیچیده نیازمند سال‌های متمادی می‌باشد به‌خصوص در اکوسیستم‌های جنگلی که شامل گونه‌های درختی با دیرزیستی بالا می‌باشند (۲۳). همان‌طور که محققان بسیاری اشاره نموده‌اند (۲۱، ۳۳، ۴۲ و ۴۸)، الگوهای مکانی که خود به‌وسیله پراکنش درختان و روابط متقابل آنها تعیین می‌شوند بر زادآوری، رشد، دیرزیستی، توسعه زیراشکوب، گسترش آشفتگی‌ها همانند آفات و بیماری‌ها و سایر مولفه‌های اکولوژیک که توسط مدیریت اعمال می‌شوند از قبیل تنک کردن، بهره‌برداری و نهال کاری تأثیر می‌گذارند (۱۷). ماناب و همکاران (۳۱) به این نتیجه دست یافتند که الگوی پراکنش بسیاری از گونه‌ها در جوامع جنگلی به‌صورت کپه‌ای می‌باشد. در حقیقت در توده‌های جنگلی با منشأ طبیعی اغلب درختان به‌صورت کپه‌ای نظم یافته‌اند (۴۴)، نتایج آنالیز الگوی مکانی پایه‌های درختی در این تحقیق نیز نشان داد الگوی پراکنش درختان در منطقه مورد مطالعه به‌صورت کپه‌ای می‌باشد. نتیجه مطالعه حاضر با حبشی و همکاران (۶) که الگوی پراکنش گونه راش را در جنگل راش آمیخته شصت کلا گرگان به‌صورت کپه‌ای گزارش نمودند مطابقت دارد. یکی از علت‌های پراکنش کپه‌ای این گونه در خصوصیات اکولوژیک آن از جمله بذرهای سنگین، سایه پسندی و داشتن زادآوری لکه‌ای می‌باشد (۳ و ۶). نتیجه مطالعه حاضر با پومرنینگ (۳۹) که در مطالعه‌ای که برروی توده متشکل از بلوط و راش انجام داد بیان کرد که راش بیشتر به حالت کپه‌ای متمایل است، مطابقت دارد. گراز (۲۶) نحوه زادآوری درختان را یکی از عوامل موثر بر موقعیت مکانی درختان می‌داند بدین صورت که الگوی مکانی درختان ابتدا با توزیع بذر و تغییرات مکانی تجدید حیات و زنده‌مانی اولیه آنها تعیین می‌شود (۳۵) و سپس تحت تأثیر شرایط محیطی از قبیل خاک، توپوگرافی، رقابت، گذشته توده قرار می‌گیرد. بنابراین، به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود این ارتباط دو سویه است (۱). تجدید حیات راش در طبیعت در یک جنگل دست نخورده به‌صورت لکه‌ای و گروهی است (۵). به‌نظر می‌رسد این نوع الگوی تجدید حیات، عامل اصلی پراکنش کپه‌ای برای این گونه باشد و این الگو در توزیع پایه‌های بزرگسال نیز ادامه دارد (۶). فرلیخ و همکاران (۲۲) سه عامل موثر بر الگوهای مکانی درختان در جنگل را ۱- تاریخچه آشفتگی منطقه ۲- روابط متقابل رقابتی ۳- گونه‌های مهاجم بیان کرده‌اند.

مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه علیجانی (۱۰) که

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]

الگـوی پـراکنش درختـان در تیـپ راش و راش- ممـرز را در جنگل خیرود تصادفی برآورد نمود مغایرت دارد. نکته‌ای که در این زمینه باید به آن توجه نمود این است که تـراکم تـوده‌هـا و مقیاس مطالعه دو متغیر اصلی می‌باشند که بر محاسـبات آمـاری تعیین الگوهای پراکنش تأثیر می‌گذارند (۲۰). بـه‌عبـارت دیگـر پـراکنش مکـانی درختـان مـی‌توانـد الگوهـای متفـاوتی را در مقیاس‌های کوچک‌تر نسبت به مقیاس‌های بزرگ‌تر نشان دهـد. در مطالعه مذکور از قطعات نمونه ده آری رایـج در آمـاربرداری جنگل استفاده شده بود در حالی‌که در مطالعه حاضـر بـه‌منظـور محاسبه شاخص‌های الگـوی مکـانی، آمـاربرداری ۱۰۰ درصـد انجام و موقعیت تمام درختان ثبت شد. به‌نظر می‌رسد اخـتلاف مشاهده شده در الگوی مکـانی درختـان در پـژوهش حاضـر و مطالعه علیجانی (۱۰) به‌دلیل تفاوت در مقیاس مکانی دو مطالعه باشد. هم‌چنین آرایش غیرتصادفی روشـنه‌هـای تـاج پوشـش و پراکنش چوب‌های افتاده نیز می‌توانند دلایل اولیه برای الگوهای تجمعی گونه‌ها باشند (۱۷).

مقـدار شـاخص آمیختگـی منطقـه مـورد مطالعـه (۰/۳۱۳) نشان‌دهنده آمیختگی کم پایه‌های درختی می‌باشد. در توده‌هـای جنگلی خالص یا توده‌های جنگلی که ۶۰ تا ۷۰ درصد از تـوده را یک گونه تشکیل می‌دهد، شاخص آمیختگی کل توده معمولاً کم می‌باشد در مطالعه حاضـر نیـز از آنجـایی‌کـه گونـه اصـلی تشکیل دهنده منطقه مورد مطالعه راش بود، ایـن مسـئله دور از تصور نمی‌باشد. از سویی دیگر آمیختگی گونه‌ای به‌طور مستقیم تحت تاثیر موقعیت مکانی درختان قرار می‌گیـرد (۳۸) و تمایـل گونه راش به داشتن الگوی مکانی کپـه‌ای باعـث مـی‌شـود کـه بیشتر درختان مجاور این گونه از پایه‌های راش باشند. شـاخص اختلاف قطر برابر سینه به‌خوبی بیانگر اختلافات قطری درختان مجاور نسبت به یکدیگر می‌باشد. ایـن شـاخص صـرف‌نظـر از کوچک‌تر یـا بـزرگ‌تـر بـودن درخـت مرجـع بـه کمـی‌سـازی اختلافات موجود بین درختان مجاور یکدیگر می‌پردازد. مقـدار این شاخص در پارسل مورد مطالعه (۰/۴۳) نشان‌دهنده اختلاف متوسط بین درختان از نظر قطـر برابـر سـینه مـی‌باشـد. مقـدار شاخص آمیختگی نسبی (۰/۴۴) که بزرگ‌تر از صـفر مـی‌باشـد نشان‌دهنده این مطلب می‌باشد کـه تعـداد جفـت‌هـای درختـی مشاهده شده کمتر از مقدار مورد انتظـار بـوده کـه نشـان‌دهنـده تفکیک گونه‌ها یا به بیانی دیگر جدایی مکانی گونه‌ها می‌باشـد. مقـادیر بـالای شـاخص مـذکور بیـانگر رقابـت درون گونـه‌ای می‌باشد در حالی‌که مقادیر کم این شاخص دلالت بـر ارتبـاط و پیوستگی گونه‌ای داشته و غالبیت شرایط رقابت بین گونـه‌ای را نشان می‌دهد. از آنجایی‌که گونه غالب در پارسل مـورد مطالعـه راش می‌باشد، وجود رقابت درون گونه‌ای بـین پایـه‌هـای راش محتمل‌تر از رقابت بین گونـه‌هـای مختلـف بـه‌نظـر مـی‌رسـد. داده‌های آماری مطلوب و مناسب از یک جنگـل بایـد توصـیف کامل الگوی مکانی درختان و چگونگی پراکنش اندازه‌های آنهـا را در برداشته باشد (۴۴). ساختار کنـونی جنگـل‌هـای مـدیریت نشده نتیجه تعامل پیچیده بین درختان با عوامل محیطی مختلف از جمله اقلیم و رویشگاه می‌باشـد. تجزیـه و تحلیـل الگوهـای مکانی درختان با ابعاد و شـرایط رقـابتی متفـاوت مـی‌توانـد در بازسازی ساختار گذشته توده و در تفسـیر مراحـل تحـولی کـه الگوی پراکنش کنونی درختان را به‌وجود آورده‌اند، مفید باشد.

توجه به این نکته ضروری است که به‌منظور مدیریت بهینـه منابع جنگلی به‌دست آوردن درک صحیحی از ساختار جنگل‌هـا ضروری می‌باشـد و آگـاهی از وضـعیت سـاختاری تـوده‌هـای جنگلی و تکامل آنها از نظـر تئـوری و عملـی و نیـز الگوهـای تغییرات ساختار جنگل در زمان و مکان به‌عنـوان مبنـایی بـرای راهکارهای مدیریت جنگـل در جنگلـداری نـوین اهمیـت دارد (۲۸، ۳۶ و ۴۶). شـاخص‌هـای اسـتفاده شـده در ایـن تحقیـق به‌خوبی نشان‌دهنده وضعیت ساختار مکانی تـوده‌هـای جنگلـی می‌باشند و دارای توانایی لازم در تشریح اختلاف بین جنگل‌هـا در زمان و مکان‌هـای مختلـف، تعیـین سـاختار جنگـل، تعیـین اختلاف ساختار مشاهده شده و مورد انتظـار و هـم‌چنـین بیـان تغییرات ایجاد شده بر اثـر عملیـات بهـره‌بـرداری مـی‌باشـند و می‌توانند به مدیران جنگل در برنامه‌ریزی‌ها و اتخاذ تصمیم‌های مناسب و مهم کمک نماید.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]

منابع مورد استفاده

۱. اخوان، ر.، خ. ثاقب طالبی، م. حسنی و پ. پرهیزکار. ۱۳۸۹. بررسی الگوی مکانی درختان طی مراحل تحولی جنگل در توده‌های دست نخورده راش در کلاردشت. *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۸ (۲): ۳۳۶-۳۲۲.

۲. اعتماد، و. ۱۳۸۸. مدیریت بهینه جنگل خیرود: نقشه تیپولوژی جنگل. پروژه صندوق پژوهشگران جوان، ۱۲۰ ص.

۳. امانی، م و م. حسنی. ۱۳۸۸. بررسی خصوصیات کمی و کیفی توده‌های طبیعی راش در مرحله توالی اپتیمال (مطالعه موردی: جنگل مرسسی، بخش دو سنگده). *فصلنامهٔ علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۷ (۱): ۱۴۸-۱۳۴.

۴. بصیری، ر.، ه. سهرابی و م. مزین. ۱۳۸۵. تحلیل آماری الگوی پراکنش مکانی گونه‌های درختی در منطقهٔ قامیشله مریوان، *نشریه دانشکده منابع طبیعی*، ۵۹ (۳): ۵۸۸-۵۷۹.

۵. پوربابایی، ح.، ح. آهنی، ب. ا. اسلام. ۱۳۸۳. بررسی الگوی مکانی درختان کرکف در جنگل‌های شفارود، رضوانشهر، گیلان. *مجله محیط زیست*، ۱: ۳۰-۲۴.

۶. حبشی، ه.، م. حسینی، ج. محمدی و ر. رحمانی. ۱۳۸۶. تعیین الگوی پراکنش و ساختار در جنگل آمیخته راش شصت کلاته گرگان. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۵ (۱): ۶۴-۵۵.

۷. طرح جنگلداری بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود. ۱۳۸۹. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشگاه تهران. ۲۹۷ ص.

۸. عرفانی فرد، ی.، ج. فقهی، م. زبیری و م. نمیرانیان. ۱۳۸۶. بررسی الگوی مکانی درختان در جنگل‌های زاگرس، *مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۰ (۴): ۱۹-۱۳.

۹. علوی، س. ج.، ق. زاهدی امیری، ز. نوری، م. ر. مروی مهاجر. ۱۳۹۲.کاربرد تابع K رایپلی در آشکارسازی الگوی پراکنش مکانی گونه ملج در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر. *مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۰ (۴): ۳۹-۲۱.

۱۰. علیجانی، و. ۱۳۹۰. کمی سازی ساختار مکانی جنگل (مطالعه موردی: جنگل آموزشی پژوهشی خیرود)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۱. علیجانی، و.، م. زبیری، ج. فقهی و م. ر. مروی مهاجر. ۱۳۹۱. کمی سازی ساختار مکانی جنگل‌های میان‌بند شمال ایران (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود)، *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۶۵ (۱): ۱۲۵-۱۱۱.

۱۲. مروی مهاجر، م. ۱۳۸۴. جنگل شناسی و پرورش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۸۷ ص.

۱۳. نوری، ز، م. زبیری، ج. فقهی و م. ر. مروی مهاجر. ۱۳۹۲.بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان و ساختار در راشستان‌های طبیعی شمال ایران(مطالعه موردی :بخش گرازبن جنگل خیرود). *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۶۶ (۱): ۱۲۵-۱۱۳.

۱۴. نوری، ز. ج. فقهی، م. ر. مروی مهاجر، ۱۳۹۳. الگوی مکانی و حجم خشکه دارها در توده‌های راش (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، ۵ (۱): ۱۴-۱.

15. Aguirre, O., G. Hui, K. V. Gadow and J. Jimenez. 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
16. Alhamad, M. N. 2006. Ecological and species diversity of arid mediterranean grazing land vegetation. *Journal of Arid Environments* 66: 715-898.
17. Chen, J. and G. A. Bradshaw. 1999. Forest structure in space: a case study of an old growth spruce forest in Changbaishan Natural Reserve, PR China. *Forest Ecology and Management* 120: 219-233.
18. Clark, P., and E. Evans. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35(4): 445-453.
19. Corral, J. J., C. Wehenkel, H. A. Castelanos, B. Vargas and U. Dieguez. 2010. A permutation test of spatial

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]

randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. *Journal of Forest Research* 15: 218-225.
20. Cressie, N. A. 1993. Statistics for Spatial Data. John Wiley and Sons, New York, 928p.
21. Ford, E. D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures. *Journal of Ecology* 63: 311-333.
22. Frelich, L. E., R. L. Calcote, M. B. Davis and J. Pastor. 1993. Patch formation and maintenance in an old-growth hemlock-hardwood forest. *Journal of Ecology* 72(2): 513-527.
23. Freund, J. A., J. F. Franklin and J. A. Lutz. 2015. Structure of early old-growth Douglas-fir forests in the Pacific Northwest. *Forest Ecology and Management* 335: 11-25.
24. Gadow, K. V. 1997. Strukturentwicklung eines Buchen-Fichten- Mischbestandes. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 168:103-106.
25. Gadow, K. V. 2006. Forsteinrichtung, Adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip, University of Gottingen, Gottingen, 171p.
26. Graz, P. F. 2004. The behavior of the species mingling index M_{sp} in relation to species dominance and dispersion. *European Journal of Forest Research* 123:87-92.
27. Kint, V., N. Lust, R. Ferris and A. F. M. Olsthoorn. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.) Forests. *Forest Systems* 1: 147-163.
28. Kint, V., D. W. Robert and L. Noel. 2004. Evaluation of sampling methods for estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modeling* 180: 461-476.
29. Kint, V. 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands, *Forest Ecology and Management* 214: 237-250.
30. Lutz, J. A., A. J. Larson, T. J. Furniss, J. A. Freund, M. E. Swanson, D. C. Donato, K. J. Bible, J. Chen and J. F. Franklin. 2014. Spatially nonrandom tree mortality and ingrowth maintain equilibrium pattern in an old-growth Pseudotsuga-Tsuga forest. *Ecology* 95(8): 2047-2054.
31. Manabe, T., N. Nishimura, M. Miura and S. Yamamoto. 2000. Population structure and spatial patterns for trees in temperate old-growth evergreen broad-leaved forests in Japan. *Journal of Plant Ecology* 151: 181-197.
32. Moeur, M. 1993. Characterizing spatial patterns of trees using stem- mapped data. *Forest science* 39 (4): 756-775.
33. Mou, P. and T. J. Fahey. 1988. REGROW: a computer model simulating the early successional process of a disturbed reserve, Sichuam, China. *Journal of Applied Ecology* 76:1204-1218.
34. Nadkarni, N. M., A. C. S. McIntosh and J. B. Cushing. 2008. A framework to categorize forest structure concepts. *Forest Ecology and Management* 256(5):872-882.
35. Nathan, R. and H. C. Muller-Landua. 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends of Ecology and Evolution* 15: 278-285.
36. Newton A. C. 2007. Forest Ecology and Conservation, a Handbook of Techniques. Oxford University Press, Oxford, 472p.
37. Pielou, E. C. 1977. Mathematical Ecology. John Wiley and Sons, New York, 385p.
38. Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Journal of Forestry* 75(3): 305-324.
39. Pommerening, A. 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224: 266-277.
40. Pommerening, A. and D. Stoyan. 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1723-1739.
41. Pretzsch, H. 1997. Analysis and modeling of spatial stand structures: Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony. *Forest Ecology and Management* 97: 237-253.
42. Reed, D. D. and H. E. Burkhart. 1985. Spatial autocorrelation of individual tree characteristics in loblolly pine stands. *Forest Science* 31(3): 575-587.
43. Resaneh, Y., M. H. Moshtagh and P. Salehi. 2001. National Seminar of Management and Sustainable Development of North forests, Quantitative study of North forests, Forest and Range Organization Press, Ramsar, Iran.
44. Ruprecht, H., A. Dhar, B. Aigner, G. Oitzinger, K. Raphael and H. Vacik. 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus bacata* L.) populations. *European Journal of Forest Research* 129: 189-198.
45. Spence, J. R. 2001. The new boreal forestry: adjusting timber management to accommodate biodiversity. *Trends in ecology and Evolution* 16(11): 591-593.
46. Spies, T. A. 1998. Forest structure: a key to the ecosystem, *Northwest Science* 72(2): 34-39.
47. Szwagrzyk, J. 1990. Small-scale spatial patterns of trees in a mixed *Pinus sylvestris-Fagus sylvatica* forest. *Forest Ecology and Management* 51: 301-315.
48. Taylor, A. H and Z. Quin. 1988. Regeneration patterns in old-growth *Abies-Betula* forests in the Wolong natural reserve, Sichuam, China. *Journal of Ecology* 76:1204-1218.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1394.4.12.2.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.4.12.11]