

کاربرد شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه در شاخه‌زاده‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* var. *persica*) جنگل‌های زاگرس

سید یوسف عرفانی فرد^{۱*}، لعیلا زارع^۱ و جهانگیر فقهی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۷)

چکیده

آگاهی از روابط بوم‌شناختی درختان با یکدیگر، در مدیریت پایدار جنگل‌ها اهمیت بسزایی دارد. برای مطالعه این موضوع در بوم‌شناسی مکانی، از شاخص‌های متنوعی استفاده می‌شود که براساس فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه استوار هستند. بنابراین این پژوهش با هدف معرفی و کاربرد شاخص‌های مهم مبتنی بر تحلیل نزدیک‌ترین همسایه در بررسی روابط بوم‌شناختی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس انجام شد. بخشی از این جنگل‌ها در استان کهگیلویه و بویراحمد با مساحت ۹ هکتار انتخاب شده و این بخش به لحاظ شرایط محیطی همگن بود. تمام این محدوده پوشیده از درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی بود که پس از ثبت موقعیت مکانی این درختان، نقشه نقطه‌ای آنها تهیه گردید. سپس پنج شاخص نزدیک‌ترین همسایه $G(r)$ ، $F(r)$ ، $J(r)$ و $GF(r)$ برای بررسی الگوی مکانی این درختان و روابط آنها با یکدیگر استفاده شد. نتایج نشان داد درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در محدوده مورد بررسی که همه شرایط یکسان و همگن بوده، به صورت پراکنده مستقر شده و به لحاظ بوم‌شناختی به یکدیگر وابسته نیستند. این درختان مستقل از یکدیگر بوده و بر نحوه استقرار یکدیگر تأثیر ندارند.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، بلوط ایرانی، بوم‌شناسی کمی، زاگرس، نزدیک‌ترین همسایه

۱. گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

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

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: erfanfard@shirazu.ac.ir

مقدمه

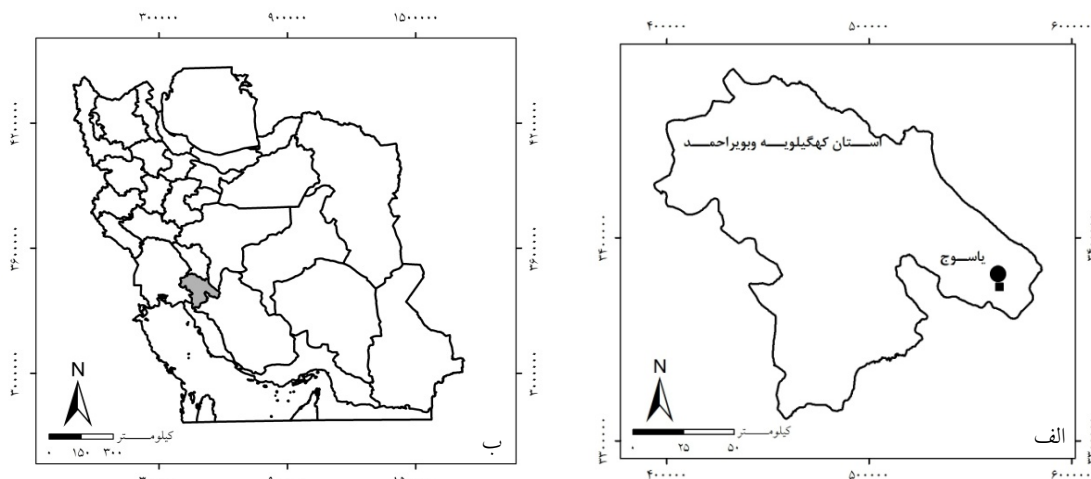
در بوم‌شناسی مکانی (Spatial Ecology) ارتباط بین فرآیندهایی چون رویش، رقابت و یا توالی که در یک توده از درختان رخ می‌دهد با نحوه پراکنش درختان و الگوی مکانی آنها در توده مورد نظر بررسی می‌شود (۶). شاخص‌های متعددی برای مطالعه روابط درختان با یکدیگر در بوم‌شناسی کمی ارائه شده‌اند که بر پایه فاصله درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش استوار هستند. هر کدام از این شاخص‌ها اطلاعات ارزشمندی در مورد الگوی مکانی درختان در یک توده و هم‌چنین روابط بوم‌شناختی درختان با یکدیگر ارائه می‌دهند (۶ و ۱۳). اگرچه این شاخص‌ها مبنای یکسانی دارند ولی کاربرد آنها متفاوت بوده و مقایسه آنها در شرایط مشابه و بررسی کارایی هر کدام از آنها تاکنون انجام نشده است. کاربرد فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در مطالعه روابط بوم‌شناختی و الگوی مکانی درختان یک گونه اهمیت زیادی دارد. از این روش می‌توان در بررسی تجمع (Aggregation) یا پراکندگی (Segregation) درختان نسبت به یکدیگر نیز استفاده کرد (۶). در نظریه نزدیک‌ترین همسایه، فرض بر این است که فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین درخت به آن به نحوه الگوی پراکنش درختان حساس است و بر روابط بوم‌شناختی آنها با یکدیگر تأثیر می‌گذارد. هم‌چنین آن در تشخیص ساختار الگوهای مختلف نیز می‌توان بهره‌برد (۱۳). از طرف دیگر، در جنگل بین درختان روابط متقابل وجود دارد و انتظار می‌رود درختان بر سر نور یا مواد غذایی با یکدیگر در یک محدوده معین رقابت کنند که آثار این رقابت را می‌توان در موقعیت مکانی و ویژگی‌های زیست‌سنجی آنها (مانند مساحت تاج و یا ارتفاع) مشاهده نمود. در چنین شرایطی، تحلیل فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه امکان مطالعه این روابط و نتایج آن بر درختان را فراهم می‌آورد (۷).

جنگل‌های زاگرس که به‌عنوان یکی از منابع بیولوژیک و ذخایر ژنتیک کشور هستند، از جنبه‌های بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت بالایی برخوردار بوده (۱) و آگاهی از روابط بوم‌شناختی درختان آن با یکدیگر و با عوامل محیطی، در

مدیریت پایدار این جنگل‌ها اهمیت بسزایی دارد. در بوم‌شناسی کمی شاخص‌هایی که از تحلیل نزدیک‌ترین همسایه برای مطالعه روابط درختان استفاده می‌کنند بسیار متنوع هستند و آشنایی با آنها و کارایی هر کدام در استفاده بهینه از این شاخص‌ها در مطالعات مختلف بسیار مؤثر است. این در حالی است که استفاده از این شاخص‌ها در مطالعات مربوط به جنگل‌های زاگرس کمتر مشاهده شده است. بنابراین استفاده از بوم‌شناسی مکانی و شاخص‌های آن در مطالعه این جنگل‌ها، به‌ویژه درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii var. persica*) به‌عنوان مهم‌ترین گونه در این جنگل‌ها (۱) ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از شاخص‌های پرکاربرد که از نزدیک‌ترین همسایه بهره می‌گیرد و تاکنون در برخی تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته (۲ و ۸)، شاخص کلارک - ایوانس (CE) است که بر پایه فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش استوار است و میزان تفاوت توزیع مکانی درختان را از حالت تصادفی مورد بررسی قرار می‌دهد (۶). چهار شاخص دیگر که از فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه استفاده می‌کنند، شاخص $G(r)$ (۴، ۵، ۱۲ و ۱۶، ۱۸، ۲۰)، شاخص $F(r)$ (۴، ۵ و ۱۲)، شاخص $J(r)$ (۴، ۱۴) و $GF(r)$ (۱۱) هستند (۱۱) که این شاخص در بررسی توده‌های جنگلی به‌کار نرفته است. با بررسی پیشینه پژوهشی که در بالا اشاره شد، ملاحظه گردید که این شاخص‌ها در مطالعه روابط درختان چندان توسعه نیافته‌اند و بخش عمده‌ای از این تحقیقات بر تئوری‌های آماری شاخص‌های مذکور تمرکز دارد که این موضوع نیز بر ضرورت کاربرد این شاخص‌ها در بررسی جوامع جنگلی دلالت دارد.

بنابراین آشنایی با شاخص‌های مهم نزدیک‌ترین همسایه و استفاده از آنها که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد روابط بوم‌شناختی درختان ارائه کنند، ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش پنج شاخص $G(r)$ ، $F(r)$ ، $J(r)$ ، $GF(r)$ و CE در شرایط یکسان برای مطالعه یک موضوع مورد بررسی قرار خواهند گرفت. بنابراین یکی از اهداف این تحقیق معرفی این



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه در استان کهگیلویه و بویراحمد (الف) و ایران (ب)

بارندگی سالیانه ۴۰۲/۹ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد و طول مدت خشکی پنج ماه در سال است. بنابراین این منطقه به لحاظ اقلیمی، نیمه مرطوب است (۱ و ۳). از آنجایی که بررسی روابط بوم‌شناختی بین درختان باید در محدوده‌ای همگن صورت گیرد (۱۳)، با توجه به نقشه‌های ویژگی‌های فیزیوگرافیک منطقه، یک محدوده با مساحت ۹ هکتار انتخاب شد که از جنبه‌های فیزیوگرافیک (شیب، جهت و ارتفاع) و نوع خاک یکسان بود. در چنین شرایطی تنها عامل تأثیرگذار بر موقعیت مکانی درختان، روابط متقابل آنها با یکدیگر است (۲۰).

نقشه درختان بلوط ایرانی

موقعیت مکانی هر یک از درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه از طریق روش اندازه‌گیری فاصله و آزیموت و با استفاده از متر لیزری و قطب‌نمای سونو ثبت شد. سپس با استفاده از اطلاعات مذکور نقشه نقطه‌ای (Point map) درختان اندازه‌گیری شده تهیه گردید. دسترسی به این نقشه برای محاسبه شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه ضروری است.

روش کار

شاخص $G(r)$

یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های مطالعه الگوی

شاخص‌های مهم و کاربردی است که از فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه استفاده می‌کنند. چنانچه اشاره شد کاربرد شاخص‌های مذکور برای مطالعه یک موضوع امکان مقایسه آنها را فراهم آورده تا در مطالعات آتی متناسب با هدف، یکی از آنها به‌کار رود که این تحقیق هدف مذکور را نیز در بر خواهد داشت. همچنین هدف اصلی این پژوهش، بهره‌گیری از این شاخص‌ها در مطالعه روابط بوم‌شناختی درختان بلوط ایرانی به‌عنوان مهم‌ترین گونه در جنگل‌های زاگرس است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای انجام این پژوهش بخشی از جنگل‌های زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد در فاصله ۲ کیلومتری جنوب شهرستان یاسوج انتخاب شد (شکل ۱). این محدوده پوشیده از درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی (*Quercus brantii* var. *persica*) است که به‌صورت خالص پراکنده شده‌اند. مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳۷° ۵۱' طول شرقی و ۳۷° ۳۰' عرض شمالی می‌باشد. براساس منحنی آمبروترمیک ایستگاه یاسوج، حدود ۸۲ درصد بارندگی در نیمه دوم سال اتفاق می‌افتد که تأثیر به‌سزایی در تشکیل جنگل‌های تنک با تاج پوشش کم داشته است. ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۱۸۸۰ متر، متوسط

نقطه تصادفی تا نزدیک‌ترین درخت به آن (که با شاخص $F(r)$ محاسبه می‌گردد) با فاصله مشاهده شده از هر درخت در جامعه مورد بررسی تا نزدیک‌ترین درخت همسایه‌اش (که با شاخص $G(r)$ محاسبه می‌گردد) مورد مقایسه قرار می‌گیرد. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۳ استفاده می‌شود (۱۴).

$$J(r) = \frac{1-G(r)}{1-F(r)} \quad [3]$$

در رابطه ۳، $G(r)$ تابع توزیع فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (رابطه ۱) و $F(r)$ تابع توزیع فاصله هر نقطه تصادفی تا نزدیک‌ترین درخت (رابطه ۲) است.

آزمون آماری

برای بررسی صحت نتایج حاصل از شاخص‌های $G(r)$ ، $F(r)$ و $J(r)$ از آزمون آماری مونت کارلو استفاده شد. برای این منظور با استفاده از ۱۹۹ بار تکرار یک محدوده تصادفی تعیین شد که الگوی مکانی درختان و در نتیجه روابط بوم‌شناختی آنها با یکدیگر براساس مقایسه روند نمودار هر یک از شاخص‌ها با محدوده مذکور مورد بررسی قرار گرفت (۲۰).

شاخص تابع تراکم نزدیک‌ترین همسایه ($GF(r)$)

این شاخص، تراکم نزدیک‌ترین همسایه را در یک محدوده با مساحت‌های متغییر محاسبه کرده و به صورت یک نمودار حاوی خطوط میزان رسم می‌کند. هدف از محاسبه این شاخص نحوه توزیع فضاهای خالی یا مناطق متراکم و تنگ در یک محدوده معین است. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۴ استفاده می‌شود (۱۱).

$$GF(r) = \sqrt{\frac{a}{(n-1)} * \pi * \sum(j)e(i,j)} \quad [4]$$

در رابطه ۴، a مساحت محدوده که متغییر بوده و حداکثر مساحت آن، به بزرگی مساحت مورد مطالعه است، n تعداد نقاط (درختان)، $e(i,j)$ تصحیح حاشیه‌ای همگن برای شکل مربع (شکل منطقه مورد مطالعه) (۱۳) و r فاصله از نقطه مورد بررسی (برحسب متر) است.

مکانی، $G(r)$ است که به آن تابع توزیع فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه نیز می‌گویند (۲۰). این شاخص اطلاعات ارزشمندی در مورد تغییرات در الگوی نقطه‌ای ارائه می‌کند. در این شاخص توزیع احتمال تجمعی فاصله از هر درخت تا نزدیک‌ترین درخت به آن برآورد می‌گردد (۹ و ۱۰). برای رفع اثر حاشیه‌ای در این شاخص از روش Hanisch استفاده شد که به عنوان مناسب‌ترین روش در بین روش‌های موجود است (۱۹).

$$G(r) = 1 - \exp(-\lambda b_d r^d) \quad [1]$$

در رابطه ۱، λ تراکم درختان، b_d مساحت دایره‌ای که در آن فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه اندازه‌گیری شده و r^d فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش (برحسب متر) است.

شاخص $F(r)$

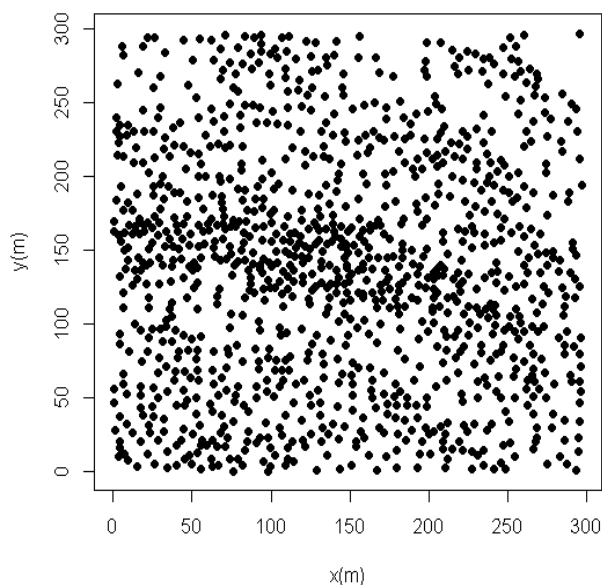
یکی دیگر از شاخص‌هایی که براساس نزدیک‌ترین همسایه طراحی شده، $F(r)$ است که تابع توزیع فاصله هر نقطه تصادفی تا نزدیک‌ترین درخت به آن است. در این شاخص توزیع احتمال تجمعی فاصله از هر نقطه تصادفی در منطقه مورد مطالعه تا نزدیک‌ترین درخت به آن برآورد می‌گردد (۱۰). از آنجایی که این شاخص به فضاهای خالی بین نقاط حساس است در برخی منابع به آن تابع فضای خالی نیز می‌گویند. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۲ استفاده می‌شود (۵).

$$F(r) = 1 - \exp(-\lambda b_d r^d) \quad [2]$$

در رابطه ۲، λ تراکم درختان، b_d مساحت دایره‌ای که در آن فاصله هر نقطه تصادفی تا نزدیک‌ترین همسایه اندازه‌گیری شده و r^d فاصله هر نقطه که به‌طور تصادفی انتخاب شده تا نزدیک‌ترین درخت به آن (برحسب متر) است.

شاخص $J(r)$

با توجه به دو شاخص $G(r)$ و $F(r)$ ، شاخصی طراحی شده که به آن $J(r)$ گویند. در این شاخص، فاصله مشاهده شده از یک



شکل ۲. نقشه نقطه‌ای درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه

نتایج

آماربرداری و تهیه نقشه درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه نشان داد محدوده مذکور دارای ۱۱۱۳ درخت بلوط ایرانی بود که نحوه استقرار آنها در شکل ۲ نشان داده شده است. تراکم درختان بلوط ایرانی در آن نیز حدود ۱۲۴ اصله در هکتار بود.

ابتدا شاخص $G(r)$ برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که شاخص مذکور تا فاصله ۳ متر دارای مقدار صفر بوده و پایین‌تر از محدوده مونت کارلو قرار داشته و بنابراین پراکنش درختان حالت پراکنده دارد. سپس با شیب تند افزایش یافته و پس از فاصله ۷ متر وارد محدوده مونت کارلو شده و توزیع مکانی درختان حالت تصادفی پیدا می‌کند.

سپس شاخص $F(r)$ برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که شاخص مذکور تا فاصله ۳ متر نزدیک به محدوده مونت کارلو قرار داشته و پس از آن تا فاصله ۷ متر بالای محدوده مونت کارلو قرار داشته و سپس به محدوده مونت کارلو نزدیک می‌شود. بنابراین با توجه به موقعیت نمودار نسبت به محدوده مونت کارلو پراکنش درختان حالت پراکنده دارد.

شاخص کلارک - ایوانس (CE)

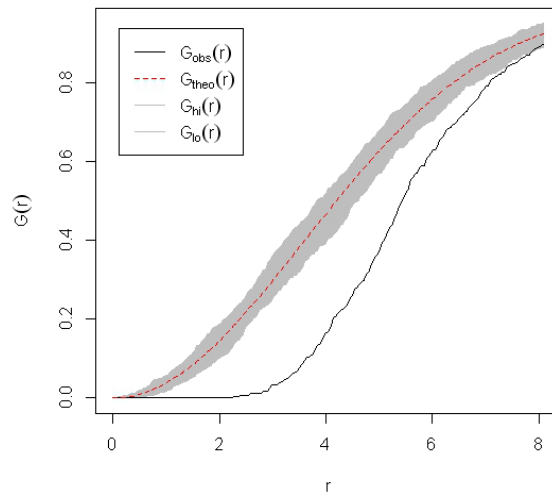
یکی دیگر از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه، شاخص کلارک - ایوانس است. در این شاخص متوسط فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش با متوسط فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در یک توزیع تصادفی مقایسه می‌شود. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۵ استفاده می‌گردد (۶ و ۱۳).

$$CE = \sqrt{\lambda} \cdot \bar{d} \quad [5]$$

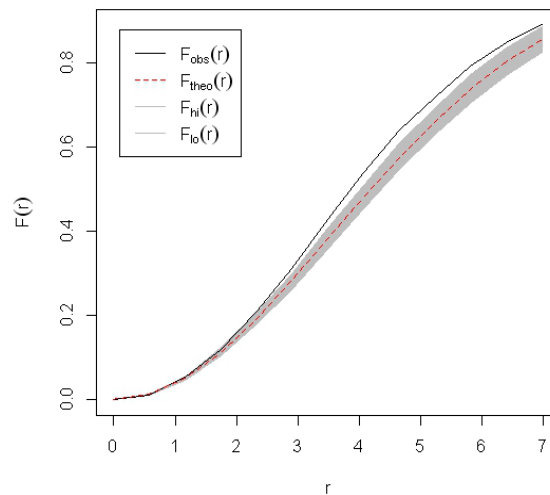
در رابطه ۵، λ تراکم نقاط در محدوده مورد بررسی و \bar{d} میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (برحسب متر) است. برای بررسی صحت نتایج به دست آمده از شاخص CE از آزمون Z استفاده شد. در صورتی که مقدار آماره Z (رابطه ۶) بین $\pm 1/96$ باشد، الگوی مکانی درختان تصادفی است. در حالی که اگر بیش از $+1/96$ باشد، درختان پراکنده بوده و اگر کمتر از $-1/96$ باشد، درختان کپه‌ای هستند (۲۲).

$$Z = \frac{r_{obs} - r_{exp}}{SE_r} \quad [6]$$

در رابطه ۶، r_{obs} میانگین فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه مشاهده شده (برحسب متر)، r_{exp} میانگین فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه مورد انتظار (برحسب متر) و SE_r انحراف معیار فاصله مشاهده شده است.



شکل ۳. شاخص $G(r)$ درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. شاخص $F(r)$ درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه

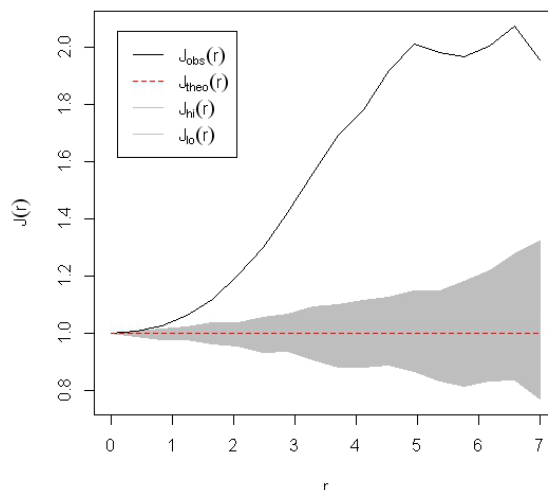
برای مقایسه تمام شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه، شاخص CE نیز محاسبه شد. مقدار این شاخص ۱/۳۱ به دست آمده که بیانگر الگوی مکانی پراکنده درختان بلوط ایرانی است. آزمون آماری Z (۱۹/۷۱+) نیز این موضوع را تأیید نمود (جدول ۱).

بحث و نتیجه‌گیری

نخستین گام در مطالعه بوم‌شناسی مکانی یک جامعه گیاهی، بررسی الگوی پراکنش درختان در یک محدوده همگن است (۷). از طرف دیگر کاربرد فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه و

هم‌چنین شاخص $J(r)$ در منطق مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۴). چنانچه ملاحظه می‌شود مقدار این شاخص به‌طور کامل بالای محدوده مونت کارلو قرار دارد و بیانگر حالت پراکنده درختان بلوط ایرانی است. اگرچه مقدار این شاخص تا فاصله نزدیک ۵ متر با شیب تند افزایش یافته و پس از آن تقریباً حالت یکنواخت پیدا کرده و در فاصله ۷ متر کاهش می‌یابد.

شاخص $GF(r)$ نیز برای درختان بلوط ایرانی به دست آمد (شکل ۵). چنانچه در شکل ۵ نشان داده شده است بیشترین تمرکز نزدیک‌ترین همسایه‌ها در محدوده وسط منطقه مورد مطالعه است و بخش‌های تیره رنگ نحوه توزیع فضاهای کم تراکم را نشان می‌دهد.



شکل ۵. شاخص $J(r)$ درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. شاخص CE درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه

۵/۸۱	متوسط فاصله مشاهده شده (متر)
۴/۴۴	متوسط فاصله با توزیع تصادفی (متر)
۱/۳۱	شاخص CE
+۱۹/۷۱	آماره z

سایر شرایط همگن محیط ارزیابی دقیق‌تر روابط بین این درختان را امکان‌پذیر نمود.

پس از تهیه نقشه نقطه‌ای درختان در منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، پنج شاخص مهم نزدیک‌ترین همسایه در بررسی الگوی مکانی درختان و در نهایت مطالعه روابط بوم‌شناختی آنها به‌کار رفتند. شاخص $G(r)$ مقدار احتمال وجود نزدیک‌ترین درخت را به درخت مورد بررسی را اندازه‌گیری می‌کند (۴،۹ و ۱۸). با توجه به شکل ۳، مقدار این شاخص در فاصله‌های مختلف از حالت تصادفی شبیه‌سازی شده با آزمون مونت کارلو کمتر بود. بنابراین نتایج این شاخص نشان داد که درختان بلوط ایرانی در منطقه پژوهش به‌صورت پراکنده قرار گرفته‌اند. پومرنینگ و استویان و استویان (۱۶ و ۱۹) نیز در بررسی روابط بوم‌شناختی درختان مختلف از جمله انواع گونه‌های بلوط در سه درختزار (مانند جنگل‌های زاگرس) لهستان، مجارستان و آلمان از شاخص $G(r)$ استفاده کردند. البته علاوه بر این شاخص از تابع K راپیلی و مشتقات آن نیز

شاخص‌هایی که در این زمینه ارائه شده‌اند در مطالعه الگوی مکانی درختان از اهمیت بالایی برخوردار بوده و در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۰ و ۲۰). بنابراین هدف از این پژوهش معرفی شاخص‌های مهمی بود که بر پایه فاصله درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش استوار هستند و امکان مقایسه آنها در شرایط یکسان فراهم گردید. همچنین این شاخص‌ها در مطالعه روابط بوم‌شناختی درختان بلوط ایرانی با یکدیگر در جنگل‌های زاگرس به‌کار رفتند تا الگوی مکانی این درختان و تأثیر آنها بر یکدیگر مورد بررسی قرار گیرد.

از آنجایی که مطالعه الگوی مکانی درختان در یک توده باید در شرایط همگن انجام گیرد (۲۰)، منطقه مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شد که از جنبه‌های محیطی (عوامل فیزیوگرافیک و خاک) همگن بوده و نتایج آماربرداری نشان داد که همه درختان بلوط ایرانی شاخه زاد بوده و در محدوده مورد بررسی به‌صورت خالص پراکنده شده‌اند. این موضوع در کنار

بهره بردند که از این جنبه با پژوهش حاضر تفاوت دارند.

شاخص $F(r)$ مقدار احتمال فضاهای خالی را بین گروه‌های درختان شناسایی می‌کند (۴ و ۱۷). بنابراین از آنجایی که مقدار این شاخص از حالت تصادفی شبیه‌سازی شده با آزمون مونت کارلو بیشتر است (شکل ۴)، نحوه استقرار درختان در محدوده مورد مطالعه پراکنده است (۵ و ۱۲). از طرف دیگر، نتایج نشان داد که در هر مقدار فاصله، اندازه شاخص $G(r)$ کمتر از شاخص $F(r)$ است (شکل‌های ۳ و ۴)، بنابراین نحوه پراکنش درختان بلوط ایرانی به صورت پراکنده است (Stoyan & Stoyan, 1994).

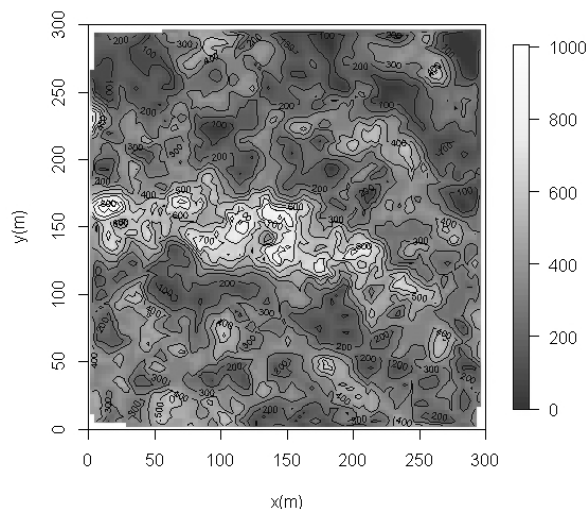
در توزیع همگن پواسون برای فاصله (r) مساوی صفر، مقدار شاخص‌های $G(r)$ و $F(r)$ برابر با صفر است (شکل‌های ۳ و ۴)، بنابراین مقدار شاخص $J(r)$ برابر یک است (رابطه ۳). حال که نمودار مربوط به درختان بلوط ایرانی بیشتر از یک است، بنابراین درختان مذکور در فواصل مختلف به حالت پراکنده در منطقه مورد مطالعه مستقر شده اند (شکل ۵). تفسیر نمودار شاخص $J(r)$ در تحقیقات برخی محققین (۱۴، ۱۵ و ۲۱) نیز به همین شکل است. مالتز مورو و همکاران (۱۵) در مطالعه خود با استفاده از شاخص $J(r)$ نشان دادند که زادآوری درختان بلوط به صورت کپه‌ای هستند و با درختان مادری رابطه متقابل دارند در حالی که در این پژوهش نحوه استقرار درختان بلوط ایرانی پراکنده و مستقل از یکدیگر بود. علت این نتایج متفاوت ممکن است ناشی از ساختار توده‌های بلوط مورد بررسی (شاخه زاد بودن توده در این تحقیق) و بررسی زادآوری طبیعی از طریق بذر در مطالعه مالتز مورو و همکاران (۱۵) و تجمع زادآوری در اطراف درختان مادری به خاطر سنگین بذر بودن جنس بلوط باشد. هرچند مطالعه مذکور در منطقه‌ای (جنگل‌های مدیترانه‌ای بلوط کشور پرتغال) شبیه به جنگل‌های زاگرس انجام شده بود.

مطالعه شاخص‌های $G(r)$ ، $F(r)$ و $J(r)$ و همچنین آزمون آماری آنها نشان داد که درختان بلوط ایرانی به لحاظ بوم‌شناختی به یکدیگر وابسته نیستند (۴).

از آنجایی که کلیه ویژگی‌های فیزیوگرافیک و عوامل محدوده ۹ هکتاری مورد بررسی یکسان بودند، نتایج نشان می‌دهد درختان بلوط ایرانی به لحاظ ارتباط متقابل و اثرگذاری بر نحوه استقرار یکدیگر، مستقل از هم بوده و تابع درختان مجاور خود نیستند. البته ساختار شاخه زاد توده مورد مطالعه از طرفی و همچنین متوسط فاصله زیاد درختان از یکدیگر (۵/۸۱ متر) از طرف دیگر، مستقل بودن آنها از یکدیگر را توجیه می‌کند.

باروت و همکاران (۵) که علاوه بر شاخص $G(r)$ از شاخص $F(r)$ نیز برای بررسی الگوی مکانی درختان نخل در ساوانای مرطوب غرب آفریقا استفاده کردند، به این نتیجه رسیدند که بهتر است برای ارزیابی بوم‌شناسی مکانی یک جامعه گیاهی از چند شاخص، به جای یک شاخص، استفاده نمود (۵). در این پژوهش نیز ملاحظه شد که استفاده از سه شاخص $F(r)$ ، $G(r)$ و $J(r)$ به طور همزمان اطلاعات ارزشمندی در مورد نحوه پراکنش درختان بلوط ایرانی نسبت به یکدیگر در فاصله‌های مختلف فراهم آوردند. روند تغییرات هر سه شاخص نشان دادند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) با افزایش فاصله، حالت پراکندگی درختان بلوط ایرانی افزایش یافته و سپس به حالت تصادفی نزدیک می‌شوند. این روش کار یعنی استفاده همزمان سه شاخص $G(r)$ ، $F(r)$ و $J(r)$ برای تحلیل الگوی مکانی درختان با تحقیقات برخی محققین مشابه است (۴، ۱۲، ۱۴، ۱۷ و ۲۱). استفاده از شاخص $GF(r)$ (شکل ۶) نیز اطلاعات ارزشمند دوبعدی به صورت نقشه‌ای همراه با خطوط میزان در مورد نحوه توزیع نزدیک‌ترین همسایه‌ها در محدوده بررسی ارائه نمود. این در حالی است که هیچ یک از شاخص‌های $G(r)$ ، $F(r)$ و $J(r)$ چنین نتایجی ارائه نمی‌دهند (۱۱). بنابراین در صورت نیاز به آگاهی از تجمع نزدیک‌ترین درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه و اقدامات مدیریتی بعدی (مانند جنگل‌کاری) و سایر تحقیقات در مورد روابط درختان بلوط ایرانی می‌توان از این شاخص استفاده نمود.

یکی از شاخص‌های پر کاربرد نزدیک‌ترین همسایه،



شکل ۶. شاخص $GF(r)$ درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه

در بخشی از جنگل‌های زاگرس به‌دست آمد، در محدوده مذکور که همه شرایط یکسان و همگن بوده، درختان بلوط ایرانی به‌صورت پراکنده مستقر شده و ارتباط متقابل بوم‌شناختی بین آنها ضعیف است. این درختان مستقل از یکدیگر بوده و بر نحوه استقرار یکدیگر تأثیر ندارند که ممکن است یکی از دلایل این موضوع شاخه زاد بودن و فاصله زیاد گروه‌های شاخه‌زادی از یکدیگر باشد. استفاده از شاخص $GF(r)$ نیز نشان داد که تراکم همسایگی در بخش‌های میانی قطعه مورد بررسی بیشتر از سایر نقاط است. هم‌چنین این پژوهش نشان داد که شاخص CE در مقایسه با چهار شاخص نزدیک‌ترین همسایه دیگر اطلاعات ناچیزی در مورد منطقه مورد مطالعه ارائه داد. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد عدم وجود وابستگی بوم‌شناختی بین درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه در مدیریت آن لحاظ شود. هم‌چنین با توجه به مطالعات قبلی و نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود از مجموعه‌ای از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه در بررسی بوم‌شناسی مکانی توده‌های جنگل‌های زاگرس استفاده شود.

شاخص CE است (۲ و ۶) که برای مقایسه با سایر شاخص‌ها در این پژوهش استفاده شد. نتایج نشان داد که براساس این شاخص درختان بلوط ایرانی حالت پراکنده داشته و آزمون آماری نیز این موضوع را تأیید نمود (جدول ۱). این نتیجه با مطالعه عرفانی فرد و همکاران (۸) در جنگل‌های زاگرس مطابقت دارد. درحالی‌که این شاخص بر خلاف شاخص‌های $G(r)$ ، $F(r)$ و $J(r)$ هیچ اطلاعاتی از نحوه پراکندگی درختان بلوط ایرانی در فواصل مختلف (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) و میزان همبستگی بوم‌شناختی آنها به یکدیگر نمی‌دهد. هم‌چنین بر خلاف شاخص $GF(r)$ (شکل ۶) نحوه توزیع همسایگی در محدوده مطالعه را نیز بیان نمی‌کند (Dale, 2004). علاوه بر این، یکی دیگر از مشکلات روش CE این است که الگوهای مکانی متفاوت از درختان در یک توده ممکن است با استفاده از این روش دارای الگوی مکانی یکسانی بشوند. به همین علت استفاده از این گونه شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه در مطالعه الگوی مکانی درختان باید در کنار سایر شاخص‌ها انجام شود (۶ و ۲۲).

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت با توجه به اطلاعاتی که از کاربرد سه شاخص $G(r)$ ، $F(r)$ و $J(r)$ برای درختان بلوط ایرانی

منابع مورد استفاده

- جزیره‌ای، م.ح. و م. ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲. جنگل‌شناسی زاگرس. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۰ ص.

۲. حبشی، ه.، م. حسینی، ج. محمدی و ر. رحمانی. ۱۳۸۶. تعیین الگوی پراکنش و ساختار در جنگل آمیخته راش شصت کلا گرگان. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۵(۱): ۵۵-۶۴.
۳. قاسمی، الف. ر.، م. ج. ناظم السادات و الف. حسینی. ۱۳۸۶. نوسانات بارش زمستانه استان کهگیلویه و بویراحمد و ارتباط آن با دمای سطح آب خلیج فارس. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، شیراز، ایران، ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۳، ۳۶۲-۳۷۱.
4. Aryal, N. R. 2011. Point Pattern Analysis. MSc. Thesis, The University of York, UK, 61 p.
5. Barot, S., J. Gignoux and J. C. Menaut. 1999. Demography of a savanna palm tree: predictions from comprehensive spatial pattern analysis. *Ecology* 80(6): 1987-2005.
6. Dale, M. R. T. 2004. Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology. Cambridge University Press, UK, 338 p.
7. Diggle, P. J., 2003. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Arnold Pub., UK, 159 p.
8. Erfanifard, Y., J. Fegghi, M. Zobeiri and M. Namiranian. 2009. Spatial pattern analysis in Persian oak forests on B&W aerial photographs. *Environmental Monitoring & Assessment* 150: 251-259.
9. Floresroux, E. M. and M. L. Stein. 1994. A New Method of Edge Correction for Estimating the Nearest Neighbour Distribution. The University of Chicago, USA, 26 p.
10. Fortin, M. J and M. R. T. Dale. 2005. Spatial Analysis, A Guide for Ecologists. Cambridge University Press, UK, 380 p.
11. Getis, A. and J. Franklin. 1987. Second-order neighbourhood analysis of mapped point patterns. *Ecology* 68: 473-477.
12. Gignoux, J., C. Duby and S. Barot. 1999. Comparing the performances of Diggle's tests of spatial randomness for small samples with and without edge-effect correction: application to ecological data. *Biometrics* 55: 156-164.
13. Illian, J., A. Penttinen, H. Stoyan and D. Stoyan. 2008. Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns. John Wiley & Sons Pub., UK, 557 p.
14. Lieshout, M. N. M. V. 2006. A J-function for marked point patterns. *AISM* 58:235-259.
15. Maltez-Mouro, S., L. V. Garcia, T. Maranon and H. Freitas. 2007. Recruitment patterns in a Mediterranean oak forest: a case study showing the importance of the spatial component. *Forest Science* 53(6): 645-652.
16. Pommerening, A. and D. Stoyan. 2008. Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbor summary statistics measured in small subwindows. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 1110-1122.
17. Scalon, J. D. and F. M. Silva. 2004. Power of tests for spatial randomness in patterns with small number of events. *Revista De Ciencia & Tecnologia* 12(24): 7-14.
18. Shen, G., M. Yu, X. S. Hu, X. Mi, H. Ren, I. F. Sun and K. Ma. 2009. Species-area relationships explained by the joint effects of dispersal limitations and habitat heterogeneity. *Ecology* 90(11): 3033-3041.
19. Stoyan, D. 2006. On estimators of the nearest neighbor distance distribution function for stationary point process. *Metrika* 64: 139-150.
20. Stoyan, D. and H. Stoyan. 1994. Fractals, Random Shapes and Point Fields. John Wiley & Sons, UK, 399 p.
21. Thonnes, E. and M. N. M. V. Lieshout. 1999. A comparative study on the power of van Lieshout and Baddeley's J-function. *Biometrical Journal* 41(6): 721-734.
22. Wong, D. W. S. and J. Lee. 2005. Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView GIS and ArcGIS. John Wiley & Sons Pub., USA, 450 p.