فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۳، صفحهٔ ۳۹۲-۳۷۹، (۱۳۹۱)

کارآیی شاخص‌های فاصله‌ای و تراکمی در برآورد الگوی مکانی درختان در جنگل (مطالعه موردی: جنگل تحقیقاتی بنه، استان فارس)

سیدیوسف عرفانی‌فرد[1*]، فاطمه مهدیان[2]، سیدرشید فلاح‌شمسی[3] و سیدکاظم بردبار[4]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز. پست الکترونیک: erfanifard@shirazu.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مدیریت مناطق بیابانی، واحد بین الملل دانشگاه شیراز
۳- استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
٤- استادیار پژوهش، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس، شیراز
تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۲۵

چکیده

در مدیریت جنگل، آگاهی از ویژگیهای زیست‌شناختی و بوم‌شناختی درختان در یک توده از اهمیت بالایی برخوردار است. نخستین گام در کسب این آگاهی، شناخت الگوی مکانی درختان است. بنابراین برای برآورد سریع و قابل اطمینان پراکنش مکانی درختان، باید از روشهای مناسب بهره برد. این پژوهش با هدف بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های مهم و پرکاربرد فاصله‌ای و تراکمی در برآورد الگوی مکانی درختان انجام شد. برای این منظور یک توده خالص از درختان بنه در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس آماربرداری صددرصد شد. با استفاده از روش نزدیکترین همسایه، الگوی مکانی مطلق درختان تعیین شد. سپس با برآورد توزیع مکانی درختان با استفاده از شاخص‌های مورد نظر، کارایی هر یک از آنها ارزیابی شد. الگوی مکانی مطلق درختان بنه در توده مورد بررسی، کپه‌ای تعیین شد. نتایج نشان داد از بین شاخص‌های تراکمی مورد بررسی، تنها دو شاخص پراکنش و ضریب ناهمگنی نتوانستند الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه را تشخیص دهند. همچنین تنها دو شاخص ابرهارت و هینز در بین شاخص-های فاصله‌ای بکار رفته توانستند الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه را برآورد نمایند. به‌طور کلی، در این پژوهش شاخص‌های تراکمی به‌مراتب بهتر از شاخص‌های فاصله‌ای عمل کردند که این موضوع باید در مطالعات آینده روی توده‌های خالص بنه مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، بنه، شاخص‌های تراکمی، شاخص‌های فاصله‌ای.

مقدمه

فرایندهای پراکنش درختان در جنگل تأثیر عمیقی بر بقای آنها در محیط‌های با شرایط گوناگون دارد. همچنین الگوهای متفاوت مکانی درختان که از این فرایندها ناشی می‌شود، بیانگر مقدار موفقیت گونه‌های درختی در رقابت‌های درون و بین‌گونه‌ای مراحل مختلف توالی است (Getzin *et al*., 2006; Law *et al*., 2009). شناخت این الگوهای مختلف مهم‌ترین بخش در بررسی نحوه عملکرد بوم‌شناختی یک توده جنگلی محسوب می‌شود (Han *et al*., 2008). بنابراین در بررسی الگوی مکانی درختان در جنگل، تنها درک ساختار مکانی آنها و بیان کمی این مشخصه هدف نیست، بلکه مهم‌تر از این موضوع، آشکار ساختن برخی ویژگیهای زیست‌شناختی و بوم‌شناختی درختان در یک توده جنگلی، روابط بین آنها و تأثیر

Archive of SID
www.SID.ir

عوامل زیست‌محیطی خاص بر رفتار و حیات آنها مورد نظر است (Li & Zhang, 2007; Han *et al*., 2008). در عین حال نتایج حاصل از چنین پژوهشی منجر به ارزیابی مقدار تولید در جنگل و پیش‌بینی روند توسعه در آن می‌شود که در مدیریت جنگل حائز اهمیت است. برای تعیین الگوی مکانی درختان در جنگل، تنها مشاهده عینی کافی نیست و باید با استفاده از روشهای مناسب آماری به آن دست یافت، زیرا توزیع مکانی درختان یک ویژگی کیفی بوده و برای تحلیل آن باید کمی شود (Li & Zhang, 2007; Wang *et al*., 2009). یکی از راهکارهای مناسب در پویایی‌شناسی مکانی درختان، بهره‌گیری از تحلیل الگوی نقطه‌ای (Point Pattern Analysis) نقشه حاوی موقعیت درختان است. کلیه راهکارهای مربوط به تحلیل براساس دو روش اصلی مبتنی بر فاصله و مبتنی بر تراکم استوار است (Krebs, 1999; Pourbabaei, 2004; Han *et al*., 2008). در صورتی که نقشه تمام درختان در یک توده جنگلی در دسترس باشد می‌توان از شاخص‌هایی چون کوادرات، نزدیکترین همسایه و تابع K راپیلی استفاده نمود که در چنین شرایطی الگوی مکانی مطلق درختان تعیین می‌شود (Mitchell, 2005; Wong & Lee, 2005). از آنجایی که با توجه به عوامل محدود کننده‌ای چون زمان و هزینه، دسترسی به چنین نقشه‌ای که حاوی موقعیت تمام درختان در جنگل باشد همیشه ممکن نیست، بوم‌شناسان شاخص‌های متنوعی را پیشنهاد دادند تا امکان برآورد پراکنش مکانی درختان در جنگل با هزینه و زمان مناسب‌تر فراهم شود. این شاخص‌ها برخلاف شاخص‌های مورد استفاده در تعیین الگوی مکانی مطلق گونه‌ها (شاخص‌های کوادرات، نزدیکترین همسایه و تابع K) براساس نمونه‌برداری از جنگل توسعه یافته‌اند (Krebs, 1999; Han *et al*., 2008). از طرف دیگر نحوه نمونه‌برداری از جنگل و مقیاس تجزیه و تحلیل توزیع مکانی درختان سبب شد تا توجه بوم‌شناسان به ارائه شاخص‌های متنوعی متناسب با روشهای مختلف آماربرداری از جنگل جلب شود که در نهایت منجر به تخمین درجه نسبی پراکندگی درختان در یک رویشگاه می‌شود (Han *et al*., 2008). با توجه به آنچه اشاره شد می‌توان شاخص‌های مورد استفاده در برآورد الگوی مکانی درختان را با توجه به ماهیت داده‌های مورد استفاده و نحوه نمونه‌برداری به دو گروه تراکمی و فاصله‌ای تقسیم نمود. هر یک از این شاخص‌ها دارای ویژگیهای مثبت و منفی بوده و این موضوع سبب شد تا نتوان تنها یک شاخص را برای همه توده‌های جنگلی توصیه نمود، زیرا دقت و مقدار کارایی هر کدام از آنها برای توده‌های جنگلی مختلف متفاوت است. گاهی یک شاخص توانایی تشخیص الگوی مکانی برای گروهی از درختان در یک رویشگاه را دارد و ممکن است در توده‌های دیگر از کارایی لازم برخوردار نباشد. مسئله‌ای که همیشه مورد توجه پژوهشگران بوده، انتخاب شاخص مناسب از میان انواع مختلف گزینه‌های موجود است (Pourbabaei, 2004; Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007).

در این زمینه نیز مطالعات مختلفی انجام شده که در آنها، شاخص‌های فاصله‌ای و تراکمی به‌صورت موردی و پراکنده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. شاخص‌های تراکمی در برخی تحقیقات مربوط به برآورد الگوی مکانی درختان در جنگل بکار رفته‌اند. به‌عنوان مثال می‌توان به شاخص پراکنش (Hanewinkel, 2004; Lutze *et al*., 2004; Basiri *et al*., 2006; Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Han *et al*., 2008)، شاخص خوشه‌بندی (Dale *et al*., 2002; Hanewinkel, 2004)، شاخص کیسی (Saburova *et al*., 1995; Han *et al*., 2008; Williams & Garcia-Sais, 2010)، شاخص گرین (Resende *et al*., 2003; Basiri *et al*., 2006; Safari *et*

Archive of SID

www.SID.ir

al., 2010)، شاخص پراکنش موریسیتا و شاخص موریسیتای استاندارد شده (Bunyavejchewin *et al*., 2003; Basiri *et al*., 2006; Sankey, 2008; Sapkota *et al*., 2009; Safari *et al*., 2010)، شاخص میانگین ازدحام لوید و شاخص کپه‌ای لوید (Hanewinkel, 2004; Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Han *et al*., 2008)، شاخص لکسیس (Mitov, 1997; Malhado & Petrere, 2004) و ضریب ناهمگنی (Lutze *et al*., 2004) اشاره کرد. همچنین شاخص‌های فاصله‌ای نیز کاربرد زیادی داشته‌اند. از بین این شاخص‌ها می‌توان شاخص جانسون و زایمر (Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Erfanifard *et al*., 2008b)، شاخص ابرهارت، هینز و هاپکینز (Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Safari *et al*., 2010)، شاخص مربع تی (Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Erfanifard *et al*., 2008b; Erfanifard *et al*., 2009; Safari *et al*., 2010)، شاخص پولارد اصلاح شده (Liu, 2001; Frazer *et al*., 2005) و شاخص‌های T_N و T_F (Kunstler *et al*., 2004; Safari *et al*., 2010) را نام برد. از بین شاخص‌های مختلف و فراوان تراکمی و فاصله‌ای این موارد در مطالعات ذکر شده به چشم خوردند که هر کدام از آنها در منطقه مورد پژوهش مربوطه کارآیی لازم را داشته و برخی نیز نداشته‌اند.

باید به این نکته توجه داشت که بررسی صحت نتایج حاصل از هر شاخص از طریق مقایسه آن با الگوی مکانی مطلق جامعه امکان‌پذیر است (Han *et al*., 2008; Wang *et al*., 2009). بنابراین تا زمانی که این مقایسه انجام نشود نمی‌توان در مورد کارایی شاخص مذکور اظهار نظر نمود که این موضوع در برخی تحقیقات انجام شده مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین باید اشاره نمود که بهره‌گیری از آزمون‌های آماری مناسب برای ارزیابی نتایج حاصل از هر شاخص اجتناب‌ناپذیر است (Mitchel, 2005; Wong & Lee, 2005) و این در حالیست که در بعضی از پژوهش‌ها آزمون‌های آماری بکار نرفته و یا آزمون مورد استفاده مناسب با روش نبوده است.

با توجه به اینکه در تحقیقاتی که تاکنون انجام شده شاخص‌های فاصله‌ای و تراکمی به‌صورت محدود و جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در این پژوهش ۱۰ شاخص تراکمی و ۱۰ شاخص فاصله‌ای که از مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های موجود در برآورد الگوی مکانی درختان در جنگل می‌باشند، با یکدیگر مقایسه شدند. شاخص‌های مذکور در یک بررسی موردی با شرایط کاملاً یکسان و ثابت بکار رفتند و بدین‌ترتیب با مقایسه نتایج حاصل از آنها و الگوی مکانی مطلق درختان منطقه مورد تحقیق، کارایی هر شاخص و صحت نتایج آن مشخص خواهد شد. همچنین به‌منظور بررسی نتایج شاخص‌های مورد استفاده، آزمون آماری مناسب برای هر کدام معرفی شده و بکار رفت تا اهمیت و ضرورت استفاده از آزمون آماری در ارزیابی نتایج هر شاخص مشخص شود.

مواد و روشها

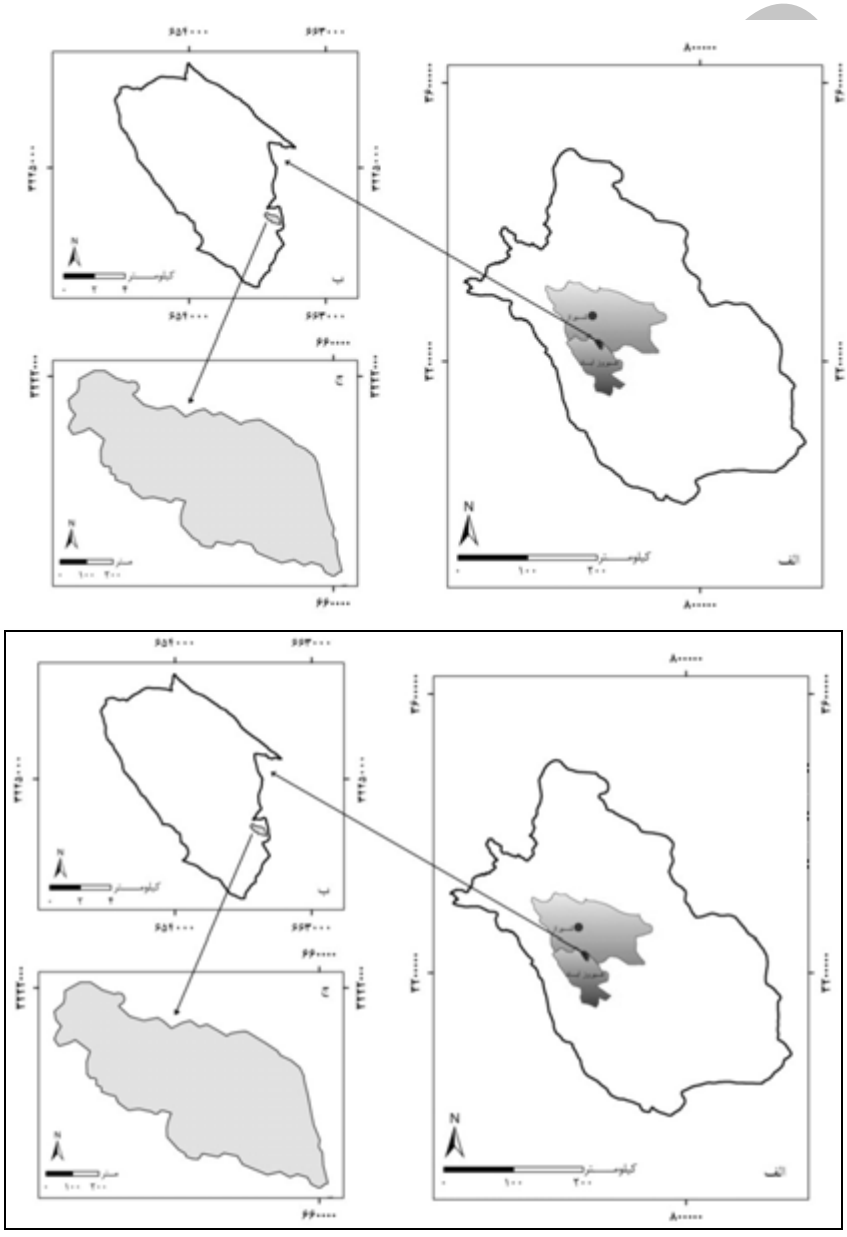
منطقه مورد بررسی

به‌منظور انجام این پژوهش، جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد در استان فارس انتخاب شد (شکل۱). گونه غالب در این جنگل تحقیقاتی، بنه (*Pistacia atlantica* Desf) است و از سال ۱۳۷۵ در قالب یک طرح جامع به‌عنوان ایستگاه تحقیقاتی بنه شناخته شده است. علت انتخاب این جنگل این بوده که با توجه به حفاظت از آن در قالب یک مجموعه تحقیقاتی، در طول سالهای اخیر کمتر دستخوش آشفتگی اکولوژیک نسبت به دیگر رویشگاه‌ها شده (Ouji *et al*., 1996) و بنابراین برای بررسی الگوی مکانی درختان مناسب به نظر می‌رسد. این

Archive of SID

www.SID.ir

جنگل با مساحتی بالغ بر ۹۳۷٤ هکتار در جنوب‌غربی استان فارس و شهر شیراز و در محدوده شهرستان فیروزآباد واقع شده است. موقعیت مکانی این عرصه در طول جغرافیایی ´۳۰ °۵۲ تا ´٤۰ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی °۲۹ تا ´۱۵ °۲۹ شمالی قرار دارد. بخشی از این جنگل تحقیقاتی دارای یک توده خالص از بنه بوده که محدوده‌ای با وسعت ٤۰ هکتار از آن انتخاب شد که از جنوب به جاده شیراز- کازرون، از شرق و غرب به اراضی کشاورزی و از شمال به کوه منتهی می‌شد. در آماربرداری صددرصد انجام شده در منطقه مورد بررسی، موقعیت مکانی هر یک از درختان بنه با استفاده از سامانه موقعیت‌یابی جهانی تفاضلی و با دقت بسیار بالا برای تهیه نقشه نقطه‌ای آنها، ثبت شد.



شکل ۱- منطقه مورد بررسی در استان فارس (الف)، جنگل تحقیقاتی بنه (ب) و محدوده آماربرداری صددرصد (ج).

www.SID.ir

سامانه موقعیت‌یابی جهانی تفاضلی (Differential GPS)

بررسی الگوی مکانی درختان با تعیین موقعیت هر درخت و تهیه نقشه مربوط به آن با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی آغاز می‌شود. نقشه موقعیت مکانی باید دقیقاً محل درختان روی زمین را نشان دهد؛ در غیر این صورت، با جابجایی نقاط، الگوی مکانی به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته و نتایج قابل استناد نخواهند بود (Mitchell, 2005; Rayburn *et al.*, 2011).

دستگاه‌های موقعیت‌یابی جهانی دستی دارای خطا هستند و دقت این دستگاه‌ها در جنگلهای زاگرس (بررسی موردی: جنگلهای بلوط، استان کهگیلویه و بویراحمد) ۱۱± متر گزارش شده است (Erfanifard, 2007). چنین خطایی با توجه به تعریف الگوی مکانی می‌تواند نتایج حاصل را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در این پژوهش برای تعیین موقعیت مکانی دقیق درختان، از سامانه موقعیت‌یابی جهانی تفاضلی که دقت برداشت موقعیت نقاط آن در حد میلی‌متر است استفاده شد.

تعیین الگوی مکانی مطلق درختان

بهترین راهکار برای تعیین الگوی مکانی، آماربرداری صددرصد است که دسترسی به الگوی مکانی مطلق درختان کل جامعه را فراهم می‌کند. به همین منظور منطقه مورد بررسی آماربرداری صددرصد شد و نقشه موقعیت مکانی تمام درختان بنه در سامانه اطلاعات مکانی تهیه گردید. تعیین الگوی مکانی مطلق در داده‌های صددرصد با استفاده از شاخص‌های کوادرات، نزدیک‌ترین همسایه و تابع K انجام می‌گیرد (Mitchell, 2005; Wong & Lee, 2005; Salas *et al.*, 2006; Protazio, 2007). انتخاب روش تعیین الگوی مکانی مطلق درختان با در نظر گرفتن نتایج حاصل از هر یک از سه روش اصلی و سابقه تحقیق مورد بررسی انجام شد. شاخص کوادرات نسبت به مکان قرارگیری درختان در کوادرات‌ها حساسیت ندارد و فقط تعداد درختان در هر کوادرات معیار سنجش الگو است. در شاخص تابع K روند تغییرات الگو در فواصل مکانی مختلف تعیین می‌شود، در حالی که در این پژوهش، تنها الگوی مکانی کل درختان بنه است که حائز اهمیت است (Mitchell, 2005; Wong & Lee, 2005). در نتیجه از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد که به‌علت اندازه‌گیری فواصل بین نقاط مشکلات کوادرات را ندارد و اطلاعات واضح و مشخصی از الگوی مکانی کل درختان ارائه می‌نماید.

روش نزدیک‌ترین همسایه یک روش یک متغیره است و بر مبنای فاصله فرد تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش استوار است. شاخص محاسبه شده در این روش (R) از تقسیم میانگین فواصل بین هر پدیده تا نزدیکترین همسایه‌اش (d_{obs}) به میانگین مورد انتظار در حالت کاملاً تصادفی (d_{exp}) بدست می‌آید (رابطه۱).

$$R = \frac{d_{obs}}{d}$$ رابطه ۱

در صورتی که شاخص محاسبه شده برابر با ۱ باشد الگوی مکانی تصادفی، کوچکتر از ۱، کپه‌ای و بزرگتر از ۱ پراکنده است (Mitchell, 2005). روش آماری مناسب برای بررسی صحت نتایج بدست آمده از روش نزدیک‌ترین همسایه، آزمون z است که آماره آن از رابطه ۲ بدست می‌آید. در این رابطه مخرج کسر(SEr_{dexp}) خطای استاندارد در حالت تصادفی است.

$$z = \frac{d_{obs} - d_{\exp}}{SEr}$$ رابطه ۲

Archive of SID

www.SID.ir

در صورتی که مقدار z بین ۱/۹٦± باشد (۱/۹٦+ > z > ۱/۹٦-) تفاوت معنی‌داری بین الگوی مشاهده شده با حالت تصادفی وجود ندارد. اگر این مقدار بیش از ۱/۹٦+ باشد، الگو پراکنده و اگر کمتر از ۱/۹٦- باشد، الگو کپه‌ای است (Wong & Lee, 2005; Longuetaud *et al*., 2008; Wang *et al*., 2009). لازم به ذکر است که برای تعیین الگوی مکانی مطلق درختان بنه در منطقه مورد بررسی از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 استفاده شد.

برآورد الگوی مکانی درختان

شاخص‌های مهم برآورد الگوی مکانی درختان برحسب نوع نمونه‌برداری به دو دسته تراکمی و فاصله‌ای تقسیم می‌شوند. شاخص‌های تراکمی براساس تعداد درختان در قطعه نمونه برداشت شده در منطقه مورد بررسی عمل می‌کنند، در حالی که اساس شاخص‌های فاصله‌ای، فاصله اندازه‌گیری شده بین درختان است (Pourbabaei, 2004, Krebs, 1999). به‌منظور بررسی توزیع مکانی درختان به‌وسیله شاخص‌های تراکمی و فاصله‌ای، یک شبکه آماربرداری منظم با نقطه شروع تصادفی و به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر در منطقه مورد بررسی بکار رفت (Heidari *et al*., 2007; Keivan Behjo *et al*., 2007; Erfanifard *et al*., 2009). برای محاسبه شاخص‌های تراکمی مورد نظر (جدول۱)، روش نمونه‌برداری قطعهٔ نمونه با مساحت ثابت بکار رفت. با توجه به مطالعات انجام گرفته (Erfanifard *et al*., 2007)، از قطعه نمونه دایره‌ای با مساحت ۸ آر استفاده شد که در محل تقاطع اضلاع شبکه مستقر روی منطقه مورد بررسی، تعداد ٤۱ قطعه نمونه قرار گرفته و اطلاعات مورد نیاز در محاسبه شاخص‌های تراکمی جمع‌آوری شد.

جدول۱- شاخص‌های تراکمی مورد استفاده در این پژوهش برای برآورد الگوی مکانی درختان بنه

ردیف	شاخص	رابطه	آزمون آماری	منبع
۱	پراکنش	$ID = \frac{\delta^2}{\bar{x}}$	مربع کای	Basiri *et al*., 2006
۲	خوشه‌بندی	$IC = (\delta^2 / \bar{x}) - 1 = ID - 1$	آزمون z	Hanewinkel, 2004
۳	گرین	$GI = \frac{\left(\delta^2 / \bar{x}\right) - 1}{\sum x - 1}$	مربع کای	Schexnayder *et al*., 2001
٤	پراکنش موریسیتا	$I_d = n[\frac{\sum x^2 - \sum x}{(\sum x)^2 - \sum x}]$	مربع کای	Bunyavejchewin *et al*., 2003
۵	موریسیتای استاندارد شده	$I_p = 0/5[\frac{I_d - 1}{M_C - 1}]$	مربع کای	Sapkota *et al*., 2009
٦	میانگین ازدحام لوید	$\overset{*}{X} = \bar{x} + (\frac{\delta^2}{\bar{x}} - 1)$	مربع کای	Han *et al*., 2008
۷	کپه‌ای لوید	$IP = \frac{\bar{x} + \frac{\delta^2}{\bar{x}} - 1}{\bar{x}}$	مربع کای	Hanewinkel, 2004
۸	کیسی	$C_A = (\delta^2 - \bar{x}) / \bar{x}^2$	مربع کای	Han *et al*., 2008
۹	لکسیس	$\lambda = \frac{\delta}{\sqrt{\bar{x}}}$	مربع کای	Malhado & Petrere, 2004 Mitov, 1997
۱۰	ضریب ناهمگنی	$HF = \frac{(d_o - d_m)}{(d_r - d_m)}$	مربع کای	Lutze *et al*., 2004

Archive of SID

www.SID.ir

برای محاسبه شاخص‌های فاصله‌ای (جدول۲)، در محل تقاطع اضلاع شبکه فواصل مورد نیاز اندازه‌گیری شد. در بخشی از اندازه‌گیری فواصل از روش مربع تی نیز استفاده شد (Pourbabaei, 2004; Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Heidari, 2008).

جدول۲- شاخص‌های فاصله‌ای مورد استفاده در این پژوهش برای برآورد الگوی مکانی درختان بنه

ردیف	شاخص	رابطه	آزمون آماری	منبع
۱	جانسون و زایمر	$I=\frac{[(n+1)(\sum_{i=1}^{n}(r_{P_i}{}^2)^2)}{[\sum(r_{P_i}{}^2)]}$	آزمون z	Erfanifard *et al.*, 2008b
۲	ابرهارت	$I_e=(\frac{\delta}{\bar{x}})^2+1$	جدول هینز	Hanewinkel, 2004
۳	هاپکینز	$I_h=\frac{\sum(r_{p_i})^2}{\sum(r_{p_i})^2+\sum(r_{n_i})^2}$	آزمون F	Heidari *et al.*, 2007
٤	هینز	$h_t=\frac{2n[2\sum(r_{pi}{}^2)+\sum(r_{ni}{}^2)]}{[\sqrt{2\sum r_{pi}}+\sum r_{ni}]^2}$	جدول هینز	- Safari *et al.*, 2010
٥	مربع تی	$C=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[x_i^2/\left(x_i^2+\frac{1}{2}y_i^2\right)\right]}{n}$	آزمون z	Erfanifard *et al.*, 2009
٦	پایلو	$P_i=\pi\lambda\sum_{i=1}^{n}x_{ij}/(jn)$	آزمون z	Liu, 2001
۷	هولگیت	$A=\frac{\sum_{i=1}^{N}\frac{d_i^2}{d_i'^2}}{N}-0/5$	آزمون t	Moosaei Sanjarei and Basiri, 2007
۸	پولارد اصلاح شده	$P_e\frac{12j^2n[n\ln(\sum_{i=1}^{n}x_{ij}{}^2/n)-\sum_{i=1}^{n}\ln(x_{ij}{}^2)]}{[(6jn+n+1)(n-1)]}$	مربع کای	Liu, 2001
۹	T_N	$T_N=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{u_i}{u+1/2t_i}$	آزمون z	Kunstler *et al.*, 2004
۱۰	T_F	$T_F=\frac{\sum_{i=1}^{m}u_i}{\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{2}t_i}$	آزمون z	Kunstler *et al.*, 2004

از آنجایی که نقشه موقعیت مکانی هر یک از درختان با استفاده از آماربرداری صددرصد در سامانه اطلاعات مکانی تهیه شده بود، عوامل مورد نیاز برای کاربرد شاخص‌های تراکمی و فاصله‌ای اشاره شده که شامل تراکم درختان و فاصله آنها از یکدیگر بود در این سامانه اطلاعات مکانی برداشت شده و محاسبات براساس روابط ارائه شده (جدول‌های۱ و ۲) انجام شد.

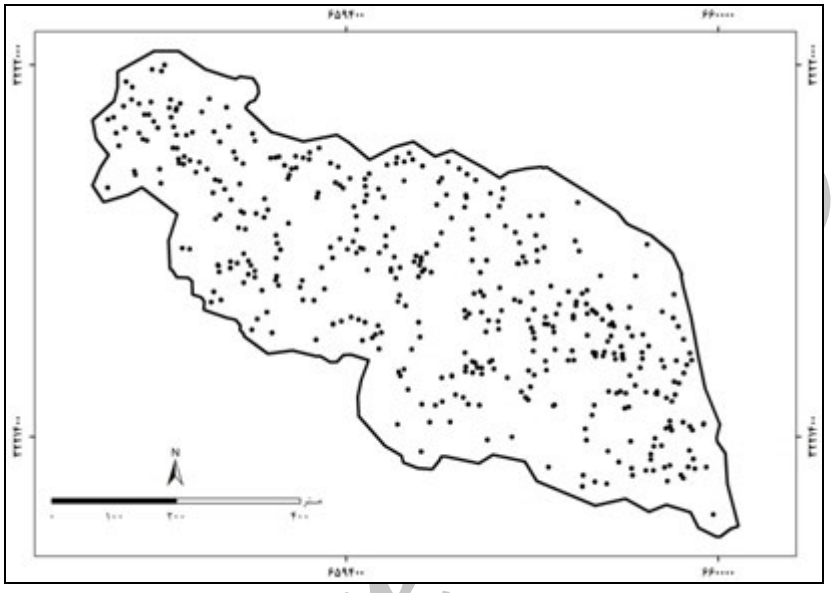
نتایج

نقشه نقطه‌ای درختان (شکل۲) نشان داد که در این محدوده ٤۳۱ درخت بنه وجود دارد و تراکم آنها ۱۰/۸ پایه در هکتار است. سپس روش نزدیک‌ترین همسایه

Archive of SID

www.SID.ir

برای تعیین الگوی مکانی مطلق درختان بنه بکار رفت. در این روش ابتدا میانگین فواصل در الگوی مورد بررسی محاسبه شد و با اندازه‌گیری همین عامل در حالت تصادفی شاخص R تعیین شد که الگوی کپه‌ای را نشان داد. همچنین برای بررسی صحت نتایج از آزمون z استفاده شد که با توجه به مقدار آن، نتایج روش نزدیک-ترین همسایه تائید شد (جدول۳). نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های تراکمی و آزمون آماری آنها در جدول٤ و شاخص‌های فاصله‌ای و آزمون‌های آماری آنها در جدول۵ ارائه شده است.



شکل۲- نقشه موقعیت مکانی درختان بنه در توده مورد بررسی

جدول۳- الگوی مکانی مطلق درختان بنه با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه و آزمون آماری آن

میانگین فواصل مشاهده شده (متر)	۱۳/۸۱۹
میانگین فواصل در حالت تصادفی (متر)	۲۰/۳۱۸
شاخص R	۰/٦۸۰
آماره آزمون z (در سطح ۵٪)	-۱۲/٦۷

جدول٤- الگوی مکانی درختان بنه در منطقه مورد بررسی با استفاده از شاخص‌های تراکمی

شاخص	آماره	نتیجه	آزمون آماری (در سطح ۵٪)
پراکنش	۱/٤۰۳	کپه‌ای	غیرمعنی‌دار
خوشه‌بندی	۰/٤۰۳	کپه‌ای	معنی‌دار
گرین	۰/۰۱۰	کپه‌ای	معنی‌دار
پراکنش موریسیتا	۱/۳٦٦	کپه‌ای	معنی‌دار
موریسیتای استاندارد شده	۰/٤۱۷	کپه‌ای	معنی‌دار
میانگین ازدحام لوید	۱/۵	کپه‌ای	معنی‌دار
کپه‌ای لوید	۱/۳٦۷	کپه‌ای	معنی‌دار
کیسی	۰/۳٦۷	کپه‌ای	معنی‌دار
لکسیس	۱/۱۸٤	کپه‌ای	معنی‌دار
ضریب ناهمگنی	۰/۹٦۷	پراکنده	معنی‌دار

Archive

www.SID.ir

جدول۵- الگوی مکانی درختان بنه در منطقه مورد بررسی با استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای

شاخص	آماره	نتیجه	آزمون آماری (در سطح ۵٪)
جانسون و زایمر	۲/۹٤٥	کپه‌ای	غیرمعنی‌دار
ابرهارت	۱/٤٤۰	کپه‌ای	معنی‌دار
هاپکینز	۰/۱۸۷	پراکنده	معنی‌دار
هینز	۱/۹۲۰	کپه‌ای	معنی‌دار
مربع تی	۰/٤۸۹	پراکنده	غیرمعنی‌دار
پایلو	۱/۰۱۸	کپه‌ای	غیرمعنی‌دار
هولگیت	-۰/۰٤۲	پراکنده	غیرمعنی‌دار
پولارد اصلاح شده	۱/۳۷۱	کپه‌ای	غیرمعنی‌دار
T_F	۰/٤٦۰	تصادفی	معنی‌دار
T_N	۰/٤۸۹	تصادفی	معنی‌دار

بحث

یکی از ویژگیهای مهم بوم‌شناسی جوامع جنگلی، توزیع مکانی درختان است که بررسی دقیق آن درک صحیح از بوم‌سازگان جنگل را ممکن می‌سازد (Pourbabaei, 2004; Basiri *et al.*, 2006). در صورت دسترسی اطلاعات مربوط به کل جامعه جنگلی (آماربرداری صددرصد)، امکان تعیین الگوی مکانی مطلق درختان وجود خواهد داشت. همچنین مقایسه روشهای نمونه‌برداری و کارایی هر یک از شاخص‌های مربوط به آنها در برآورد پراکنش مکانی درختان فراهم می‌شود (Wang *et al.*, 2009). به‌منظور بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های متنوع برآورد الگوی مکانی درختان در جنگل، در این پژوهش پس از آماربرداری صددرصد از یک توده خالص بنه با مساحت ٤۰ هکتار و تهیه نقشه موقعیت مکانی درختان، مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های تراکمی و فاصله‌ای در آن بکار رفت.

شاخص نزدیک‌ترین همسایه نشان داد که الگوی مکانی مطلق درختان در توده مورد بررسی، کپه‌ای است و آزمون آماری z نیز نتایج حاصل از روش را تائید نمود (جدول۳). قابلیت روش نزدیک‌ترین همسایه در تعیین الگوی مکانی در دیگر تحقیقات (Erfanifard *et al.*, 2008a; Habashi *et al.*, 2007; Moustakas *et al.*, 2008) نیز مورد تائید قرار گرفته است. در این شاخص برای کل جامعه مورد بررسی یک الگوی مکانی مطلق تعیین می‌شود و به همین علت در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت تا امکان مقایسه نتایج حاصل از شاخص‌های فاصله‌ای و تراکمی با الگوی مکانی مطلق درختان بنه در منطقه مورد بررسی فراهم شود.

کپه‌ای بودن درختان بنه در توده مورد بررسی به دلایل مختلف رخ داده است. برای گونه‌هایی که عمده زادآوری آنها توسط بذر انجام می‌شود، الگوی مکانی با نحوهٔ پراکنش بذر ارتباط دارد. ریزش بذر به‌صورت خوشه‌ای در زیر تاج درختان بنه، می‌تواند عامل شکل‌گیری الگوی پراکنش کپه‌ای برای این گونه باشد (Safari *et al.*, 2010). دلیل مهمی که می‌توان به آن اشاره کرد و از جنبه بوم‌شناسی اهمیت بالایی دارد، دو پایه بودن درختان بنه است. این ویژگی گیاه‌شناسی سبب می‌شود که درختان بنه هر قدر هم که تعدادشان کم باشد در کنار هم قرار گرفته

Archive of SID

www.SID.ir

و ایجاد توزیع مکانی کپه‌ای را بنمایند. همچنین این ویژگی سبب می‌شود که درختان بنه به‌صورت پراکنده در توده‌های جنگلی مشاهده نشوند. همچنین تجمع نسبی و رشد درختان بنه در کنار هم سبب ایجاد یک خرد اقلیم که در آن مقدار رطوبت خاک به نسبت بیش از اطراف است شده و در نتیجه بقا یافتن زادآوری درختان بنه نیز معمولاً در همین خرد اقلیم که شرایط مساعدتری دارد اتفاق می‌افتد. آخرین دلیل توزیع مکانی کپه‌ای درختان بنه این است که برداشت بی‌رویه از درختان بنه به‌عنوان سوخت و یا میوه و سقز آن توسط مردم محلی و چرای بیش از حد دام در مناطق سبب ایجاد فضاهای باز و خالی شده و الگوی مکانی کپه‌ای را در توده مورد بررسی ایجاد کرده است (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003; Zahedipour *et al.*, 2007).

تحقیق در مورد الگوی مکانی مطلق درختان در جنگل و تعیین آن همیشه امکان‌پذیر نیست. از این رو تاکنون شاخص‌های مختلفی برای برآورد الگوی مکانی درختان با استفاده از انواع روشهای نمونه‌برداری، ایجاد شده و توسعه یافته‌اند. این شاخص‌ها بر حسب نوع نمونه‌برداری به دو گروه اصلی تراکمی و فاصله‌ای تقسیم می‌شوند. در بررسی حاضر، تعداد ۱۰ شاخص تراکمی و ۱۰ شاخص فاصله‌ای مهم و پرکاربرد در شرایط کاملاً یکسان با یکدیگر مقایسه شدند تا راهکاری برای مطالعات آینده در توده‌های خالص بنه فراهم شود. نتایج نشان داد که به‌طور کلی شاخص‌های تراکمی به‌خوبی الگوی کپه‌ای بنه را برآورد کردند. از بین شاخص‌های بررسی شده تنها شاخص «پراکنش» و «ضریب ناهمگنی» با اختلاف بسیار ناچیزی نتوانستند الگوی مکانی را به‌طور معنی‌داری تشخیص دهند. در مورد شاخص پراکنش، اگرچه نتیجه با واقعیت مطابقت دارد، ولی آزمون آماری این نتیجه را تأیید نکرده است. این موضوع ضرورت کاربرد آزمون آماری مناسب در ارزیابی نتایج حاصل از هر شاخص را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان اظهار کرد که شاخص‌های تراکمی مورد استفاده کارآیی قابل قبولی در برآورد الگوی مکانی درختان بنه در منطقه مورد بررسی از خود نشان داده‌اند. البته کارایی شاخص‌های تراکمی در مطالعاتی که تاکنون انجام گرفته و در مقدمه به آنها اشاره شد مورد تأیید قرار گرفته است. همچنین باید اذعان داشت که استفاده از شاخص‌های تراکمی نیاز به تعیین اندازه بهینه قطعه نمونه در هر منطقه مورد بررسی دارد و از طرف دیگر هزینه و زمان آماربرداری آن بر دشواری استفاده از این شاخص‌ها می‌افزاید. یکی از دلایل مهم ارائه روش‌های فاصله‌ای توسط بوم‌شناسان وجود مشکلات اشاره شده در روشهای تراکمی بود تا با هزینه و زمان کمتر، الگوی مکانی درختان در یک توده برآورد شود (Pourbabaei, 2004).

از بین شاخص‌های فاصله‌ای مورد بررسی، تنها شاخص «ابرهارت» و «هنیز» به‌عنوان شاخص‌های قابل توصیه به‌حساب می‌آیند و دیگر شاخص‌ها قادر به برآورد صحیح الگوی مکانی درختان بنه در منطقه مورد بررسی نبودند. شاخص «ابرهارت» تک‌فاصله‌ای بوده و محاسبه ساده‌ای دارد و شاخص «هینز» نیز دو فاصله‌ای است که در آن از روش مربع تی برای اندازه‌گیری فواصل استفاده شده است. این شاخص اطلاعات محتوی فواصل نقطه تا نزدیک‌ترین درخت و درخت تا نزدیک‌ترین همسایه را ترکیب می‌کند و در نتیجه مشکلات شاخص‌های تک‌فاصله‌ای یعنی عدم توانایی تشخیص الگوی نقاط انفرادی و کپه‌های متراکم از هم را ندارد (Pourbabaei, 2004). اگرچه برخی از شاخص‌ها قادر به تشخیص الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه بودند (جانسون و زایمر، پایلو و پولارد اصلاح شده) ولی آزمون آماری مربوطه این نتایج را تأیید نکرد و به همین دلیل نمی‌توان آنها را بکار برد (جدول۵). در تحقیقات انجام شده بر روی شاخص‌های فاصله‌ای که در مقدمه آمده است، توانمندی آنها در برآورد الگوی مکانی درختان تأیید شده است. یکی از دلایل اختلاف

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج دیگر مطالعات با این پژوهش این است که توده‌های مورد بررسی در آنها با این تحقیق متفاوت بوده است (Erfanifard *et al*., 2008b). همچنین در برخی از آنها نتایج برآورد الگوی مکانی با الگوی مکانی مطلق مقایسه نشده است (Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Safari *et al*., 2010)، کارایی شاخص‌های تراکمی به‌تنهایی بررسی شده و با شاخص‌های فاصله‌ای مقایسه نشده‌اند (Hanewinkel, 2004; Sankey, 2008; Sapkota *et al*., 2009) و آزمون آماری مناسب نیز بکار نرفته است (Basiri *et al*., 2006; Moosaei Sanjarei & Basiri, 2007; Safari *et al*., 2010). در نهایت اینکه با توجه به عملکرد شاخص‌های فاصله‌ای براساس فاصله درختان از یکدیگر، این شاخص‌ها به‌شدت به ساختار توده مورد بررسی از نظر تراکم وابسته هستند (Krebs, 1999). به همین دلیل، برخی شاخص‌های فاصله‌ای که در یک منطقه مطالعاتی قادر به برآورد الگوی مکانی درختان هستند، در محدوده دیگر از کارایی لازم برخوردار نیستند.

در مورد الگوی مکانی بنه تاکنون مطالعات اندکی انجام شده است. تنها تحقیق در دسترس، پژوهش Safari *et al*. (2010) است. نتیجه‌ای که در مورد شاخص‌های «هینز» و «ابرهارت» در تحقیق مذکور بدست آمده با نتایج این پژوهش در توده خالص بنه سازگار است. بنابراین می‌توان توصیه نمود در مطالعات آینده روی توده‌های درختان بنه در جنگلهای زاگرس، در صورتی که استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای مد نظر بود شاخص‌های «ابرهارت» و «هینز» برای برآورد الگوی مکانی درختان بنه در اولویت قرار گیرند.

به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت شاخص‌های تراکمی نسبت به شاخص‌های فاصله‌ای کارایی بالاتری در برآورد الگوی مکانی درختان بنه در منطقه مورد بررسی داشته‌اند. این نتیجه‌گیری با آنچه Pourbabaei (2004) نقل کرده کاملاً منطبق است. آنها بیان کردند که روشهای تراکمی اطلاعات بیشتری از الگوی مکانی ارائه می‌دهند. در حالی که در صورت نیاز به ارزیابی سریع و آسان الگوی مکانی درختان در یک جامعه، روشهای فاصله‌ای برای تجزیه و تحلیل الگوی مکانی اولیه درختان روشهای ارزشمندی محسوب می‌شوند (Krebs, 1999). در اینجا نیز همین نتیجه کلی حاصل شده است و شاخص‌های تراکمی بر شاخص‌های فاصله‌ای اولویت دارند. به بیان دیگر، شاخص‌های فاصله‌ای در صورتی استفاده می‌شوند که به‌دلیل مشکلات استفاده از قطعه نمونه و هزینه و زمان آماربرداری، امکان استفاده از شاخص‌های تراکمی وجود نداشته باشد (Pourbabaei, 2004; Protazio, 2007). همچنین در صورت ضرورت استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای، باید مشخص شود که از بین آنها کدام یک در توده جنگلی مورد بررسی قابل توصیه است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده بر روی الگوی مکانی درختان بنه در توده‌های خالص جنگلهای زاگرس از شاخص‌های پیشنهادی با توجه به شرایط استفاده شود.

منابع مورد استفاده

References

- Basiri, R., Sohrabi, H. and Mozayen, M., 2006. A statistical analysis of the spatial pattern of trees species in Ghamisheleh Marivan region, Iran. Journal of the Iranian Natural Resources, 59(2): 579-588.
- Bunyavejchewin, S., LaFrankie, J.V., Baker, P.J., Kanzaki, M., Ashton, P.S. and Yamakura, T., 2003. Spatial distribution patterns of the dominant canopy dipterocarp species in a seasonal dry evergreen forest in western Thailand. Forest Ecology and Management, 175: 87-101.
- Dale, M.R.T., Dixon, P., Fortin, M.J., Legendre, P., Myers, D.E. and Rosenberg, M.S., 2002. Conceptual and mathematical relationships among Methods for spatial analysis. Journal of Ecography, 25: 558-577.
- Erfanifard, Y., 2007. Investigation on the applicability of aerial photographs in data collection for management in Zagros forests. Ph.D. thesis, University of Tehran, 146 p.

Archive of SID

www.SID.ir

- Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Namiranian, M., 2007. Determining proper area and shape of sample plot for crown cover estimation using forest simulation in Zagros region. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 14(4): 360-370.
- Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Namiranian, M., 2008a. Investigation on the spatial pattern of trees in Zagros forests. Journal of the Iranian Natural Resources, 60(4): 1319-1328.
- Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Namiranian, M., 2008b. Comparison of Two Distance Methods for Forest Spatial Pattern Analysis (case study: Zagros forest Iran). Journal of Applied Sciences, 8(1): 152-157.
- Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Namiranaian, M., 2009. Spatial pattern analysis in Persian oak (*Quercus brantii* var. *Persica*) forests on B & W aerial photographs. Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 150: 251-259.
- Frazer, G.W., Wulder, M.A. and Niemann, K.O., 2005. Simulation and quantification of the fine-scale spatial pattern and heterogeneity of forest canopy structure: A lacunarity-based method designed for analysis of continuous canopy heights. Journal of Forest Ecology and Management, 214: 65-90.
- Getzin, S., Dean, C., He, F., Trofymow, J.A., Wiegand, K. and Wiegand, T., 2006. Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. Journal of Ecography, 29: 671-682.
- Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J. and Rahmani, R., 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian beech forests of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(1): 55-64.
- Han, L., Wang, H., Zhou, Z. and Li., Z., 2008. Spatial distribution pattern and dynamics of the primary population in a natural *Populus euphratica* forest in Tarim Basin, Xinjiang. Frontiers of Forestry in China, 3(4): 456-461.
- Hanewinkel, M., 2004. Spatial patterns in mixed coniferous even-aged, uneven-aged and conversion stands. European Journal of Forest Research, 2: 139-155.
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M. and Sobhani, 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.
- Heidari, R.H., 2008, Distance Sampling Methods in forest Inventory. Razi University Press, 119 p.
- Jazirehi, M.H. and Ebrahimi Rostaghi, M., 2003. Silviculture in Zagros. University of Tehran Press, 560 p.
- Keivan Behjo, F., Sobhani, H. and Zobeiri, M., 2007. Volume and weight assessment of residuals by line intersect sampling (Case study: Chafroud watershed). Journal of the Iranian Natural Resources, 60(1): 103-114.
- Krebs, C.J., 1999. Ecological Methodology. Second Edition, Addison Welsey Educational Publisher Inc., Benjamin/Cummings imprint, 581 p.
- Kunstler, G., Curt, T. and Lepart, J., 2004. Spatial pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus pubescens* Mill.) seedling in natural pine (*Pinus sylvestris* L.) woodland. European Journal of Forestry, 123: 331-337.
- Law, R., Llian, J., Burslem, D.F.R.P., Gratzer, G., Gunatilleke, C.V.S. and Gunatilleke, I.A.U.N., 2009. Ecological information from spatial patterns of plants: insights from point process theory (Essay Review). Journal of Ecology, 97: 616-628.
- Li, F. and Zhang, L., 2007. Comparison of point pattern analysis methods for classifying the spatial distributions of spruce-fir stands in the north-east USA. Journal of Forestry, 3: 337-349.
- Liu, C., 2001. A comparison of five distance-based methods for spatial pattern analysis. Journal of Vegetation Science, 12: 411-416.
- Longuetaud, F., Thomas, S., Leban, J.M. and Pretzsch, H., 2008. Analysis of long-term dynamics of crowns of sessile oaks at the stand level by means of spatial statistics. Journal of Forest Ecology and Management, 255: 2007-2019.
- Lutze, M., Ades, P. and Campbell, R., 2004. Spatial distribution of regeneration in mixed-species forests of Victoria. Journal of Australian Forestry, 3: 172-183.
- Malhado, A.C.M. and Petrere, J.M., 2004. Behavior of dispersion indices in pattern detection of a population of angico, Anadenanthera peregrine (Leguminosae). Brazilian Journal of Biology, 64(2): 243-249.
- Mitchell, A., 2005. The ESRI guide to GIS analysis, vol. 2. ESRI Press, USA, 240 p.
- Mitov, P., 1997. Preliminary in investigations on the spatial distribution of the harvestmen (Opiliones, Arachnida) from Vitosha Mt. (SW Bulgaria). Proceeding of 16_{th} European Colloquium of Arachnology: 249-258.
- Moosaei Sanjarei, M. and Basiri, M., 2007. Comparison of the efficiency of spatial pattern indices in Artemisia communities in Yazd province. Iranian Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences and Techniques, 40(B): 483-494.
- Moustakas, A., Wiegand, K., Getzin, S., Ward, D., Meyer, K.M., Guenther, M. and Mueller, K.H., 2008. Spacing patterns of an *Acacia* tree in the Kalahari over a 61-year period: How clumped

Archive of SID

www.SID.ir

becomes regular and vice versa. Acta Oecologica, 33: 355-364.
- Ouji, M.Gh., Bordbar, K., Hamzepour, M., Habibian, H., Nejabat, M. and Al-Mansour, H., 1996. General plan of Firoozabad wild Pistachio research forest. Fars Forests and Rangelands Research Center, 17 p.
- Pourbabaei, H., 2004. Statistical Ecology. Guilan University Press, 428 p.
- Protazio, J.M.B., 2007. Spatial Pattern Analysis Applied to Plant Ecology. Ph.D. Thesis, University of Bremen, 152 p.
- Rayburn, P.R., Schiffers, K. and Schupp, E.W., 2011. Use of precise spatial pattern data for describing spatial patterns and plant interactions in a diverse Great Basin shrub community. Journal of Plant Ecology, 212: 585-594.
- Resende, J.C.F., Klink, C.A. and Schiavini, I., 2003. Spatial heterogeneity and its influence on *Copaifera langsdorffii* Dest.(Caesalpiniaceae). Brazilian Archives of Biology and Technology, 46: 405-414.
- Saburova, M.A., Polikarpov, I.G. and Burkovsky, I.V., 1995. Spatial structure of an intertidal sandflat microphytobenthic community as related to different spatial scales. Marine Ecology Progress Series, 129: 229-239.
- Safari, A., Shabanian, N., Erfanifard, S.Y., Heidari, R.H. and Purreza, M., 2010. Investigation of spatial pattern of wild pistachio (Case study: Bayangan forests, Kirmanshah). Iranian Journal of Forest, 2(2):177-185.
- Salas, C., LeMay, V., Nunez, P., Pacheco, P. and Espinosa, A., 2006. Spatial pattern in an old-growth *Nothofagus oblique* forest in south-central Chili. Journal of Forest Ecology and Management, 231: 38-46.
- Sankey, T.T., 2008. Spatial patterns of Douglas-fir and aspen forest expansion. Journal of New Forests, 35: 45-55.
- Sapkota, I.P., Tigabu, M. and Oden, P.C., 2009. Spatial distribution, advanced regeneration and stand structure of Nepalese (*Shorea robusta*) forest subject to disturbances of different intensities. Journal of Forest Ecology and Management, 257: 1966-1975.
- Schexnayder, H.P. Jr., Reagan, T.E. and Ring. D.R., 2001. Sampling for the Sugarcane borer (*Lepidoptera Crambidae*) on sugarcane in Louisiana. Journal of Economic Entomology, 94(3): 766-771.
- Wang, J., Sharma, B.D., Li, Y. and Miller, G.W., 2009. Modeling and validating spatial patterns of a 3D stand generator for central Appalachian hardwood forests. Journal of Computers and Electronics in Agriculture, 68: 141-149.
- Williams, S.M. and Garcia-Sais, J., 2010. Temporal and spatial distribution patterns of Echinoderm larvae in La Parguera, Puerto Rico. Revista de Biologia Tropical. 58: 81-88.
- Wong, D.W.S. and Lee, J., 2005. Statistical analysis with ARCVIEW GIS. John Wiley & Sons, USA, 450 p.
- Zahedipour, H., Fatahi, M. and Mirdavoodi, H., 2007. Study of distribution and habitats characteristics of Wild Pistachio in Markazi Province: Area of Saghez mountain of Tafresh township. Iranian Journal of Biology, 20(2): 191-199.

Archive of SID

www.SID.ir

The efficiency of distance- and density-based indices in estimating the spatial pattern of trees in forests (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars province, Iran)

Y. Erfanifard [1*], F. Mahdian [2], R. Fallah Shamsi [3] and K. Bordbar [4]

[1*]- Corresponding Author, Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Shiraz University, I.R. Iran.
E-mail: erfanifard@shirazu.ac.ir
[2]- M.Sc. student, Dept. of Desert Management, International Unit, Shiraz University, I.R. Iran
[3]- Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Shiraz University, I.R. Iran
[4]- Assistant Prof., General Office of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province, Shiraz, I.R. Iran
Received: 12.12.2011 Accepted: 15.03.2012

Abstract

It is so important to know about biological and ecological characteristics of trees of a stand, in forest management. The first step to achieve this knowledge is to recognize the spatial pattern of trees. So it is necessary to apply suitable methods to have a reliable and quick estimation of the spatial distribution of trees. This research was aimed to compare the important and mostly applied distance- and density-based indices, utilized to estimate the spatial pattern of trees. For this purpose, a pure wild pistachio stand was full-callipered in Fars Wild Pistachio Research Forest, Iran. The true spatial pattern of the trees was determined by nearest neighbor method. The efficiency of each index was then evaluated by estimating the spatial distribution of the trees, utilizing the indices. The true spatial pattern of the wild pistachio trees in the studied stand was clumped. The results showed that only the two density-based indices of "dispersion" and "heterogeneity factor" could not detect the clumped pattern of wild pistachio trees among the investigated indices. The two distance-based indices of "Eberhardt" and "Hines" could estimate the clumped pattern of the wild pistachio trees among the applied indices as well. In general, the density-based indices performed much better than the distance-based indices in this research and this conclusion should be considered in the future studies on pure wild pistachio stands.

Key words: Spatial pattern, wild pistachio, density-based indices, distance-based indices.

Archive of SID

www.SID.ir