DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2012.6101

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۷۳-۶۲، (۱۳۹۱)

بررسی مقایسه‌ای روشهای تعیین الگوی مکانی مطلق درختان در جنگل (مطالعه موردی: جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس)

سیدیوسف عرفانی‌فرد[1*] و فاطمه مهدیان[2]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، ، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز. پست الکترونیک: erfanifard@shirazu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد بین‌الملل دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۶/۲٤

چکیده

الگوی مکانی به‌عنوان یکی از اولین مفاهیم بوم‌شناسی، معیار مهمی در شناخت تغییرات و پایش جوامع جنگلی به‌شمار می‌آید. روشهای مورد استفاده برای این منظور بر مبنای دو راهکار اصلی، یکی آماربرداری صددرصد و دیگری نمونه‌برداری استوار هستند. استفاده از نقشه درختان بدست آمده از آماربرداری صددرصد، امکان تعیین الگوی مکانی مطلق درختان در جامعه را فراهم می‌آورد. روشهای تعیین الگوی مکانی مطلق به سه گروه کوادرات، نزدیکترین همسایه و تابع K و مشتقات آن (توابع L و g) تقسیم می‌شوند. مقایسه این روشها در شرایط یکسان و مطالعه مزایا و معایب آنها و همچنین کاربرد روشهای آماری مناسب برای بررسی صحت نتایج، هدف این پژوهش بود. برای انجام این تحقیق، در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس یک توده جنگلی بنه با مساحت ٤٥ هکتار انتخاب شد و موقعیت مکانی درختان بوسیله سامانه موقعیت‌یابی جهانی تفاضلی (DGPS) مشخص گردید. نتایج نشان داد که الگوی مکانی درختان مورد بررسی، کپه‌ای هستند. دستاوردهای روشهای مورد مقایسه و آزمون آماری آنها بیانگر توانمندی هر یک از این روشها در تعیین الگوی مکانی مطلق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین مقایسه این روشها نشان داد که در مطالعات آینده، با توجه به هدف و امکانات قابل دسترس از هر کدام می‌توان استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، تابع K، تابع L، تابع g، تجزیه و تحلیل کوادرات، نزدیکترین همسایه.

مقدمه

یکی از ویژگیهای اکولوژیک جوامع جنگلی، الگوی مکانی درختان است که می‌تواند برآیند ناهمگنی محیطی، آشفتگیهای طبیعی و یا انسانی، رقابت درون و یا بین گونه‌ای و عملکرد پیشینه حیات باشد (پوربابایی، ۱۳۸۳؛ Law *et al*., 2009). گاهی فرایندهای کاملاً متفاوت می‌توانند الگوهای یکسان ایجاد کنند، به‌عنوان مثال رقابت برای غذا یا نور، مرگ و میر وابسته به تراکم یا ظهور بعضی آفات و بیماریها می‌توانند الگوی مکانی پراکنده را پدید آورند. در حالی که الگوی مکانی کپه‌ای به سبب راهبردهای تجدید حیات مانند توان رویشی و یا تأثیر پرستار، محدودیت در پراکنده شدن بذر، ناهمگنیهای شکل زمین، شکاف در تاج‌پوشش و عوامل بهم زننده مانند قطع درختان، سیلاب و طوفان حاصل می‌گردد (Pellisier & Goreaud, 2001; Hou *et al*., 2004; Linares-Palomino, 2005). به‌طور کلی، برای تعیین الگوی مکانی درختان از دو راهکار اصلی «داده‌های صددرصد» و «نمونه‌برداری» استفاده می‌گردد. مناسبترین روش برای تعیین الگوی مکانی استفاده از داده‌های صددرصد توده درختان مورد بررسی است. هنگامی که امکان دسترسی به کل جامعه وجود دارد، الگویی که در چنین شرایطی تعیین می‌شود، الگوی مطلق جامعه

(true spatial pattern) خواهد بود، بدین معنی که می‌توان نتایج حاصل از روشهای نمونه‌برداری را با آن سنجید (عرفانی‌فرد، ۱۳۸٦؛ Mitchell, 2005). روشهای تعیین الگوی مکانی مطلق بر حسب داده‌های مورد استفاده (مورد نیاز) به سه نوع روش اصلی شامل تجزیه و تحلیل کوادرات، روشهای نزدیکترین همسایه و تابع K (و مشتقات آن) تقسیم‌بندی می‌شوند (Mitchell, 2005; Wong & Lee, 2005; Salas *et al*., 2006).

محققان مختلف برای تعیین الگوی مکانی مطلق از روشهای متفاوتی استفاده می‌کنند. استفاده از تجزیه و تحلیل‌های وابسته به کوادرات در برخی تحقیقات بکار رفته است (علوی و همکاران، ۱۳۸٤؛ بصیری و همکاران، ۱۳۸۵؛ Hanewinkel, 2004؛ Han *et al*., 2008). در بخشی از مطالعات، روش نزدیکترین همسایه به‌عنوان روشی مناسب در تعیین الگو معرفی شده است (حبشی و همکاران، ۱۳۸٦؛ عرفانی‌فرد و همکاران، ۱۳۸٦؛ Moustakas *et al*., 2008). روش سوم با استفاده از تابع K انجام می‌شود. استفاده از این تابع و فرم خطی آن یعنی تابع L در سالهای اخیر عمومیت بیشتری داشته است (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹؛ Awada *et al*., 2004؛ Hou *et al*., 2004؛ Linares-Palomino, 2005؛ Salas *et al*., 2006؛ Montes *et al*., 2007؛ Dagley, 2008؛ Longuetaud *et al*., 2008؛ Lan *et al*., 2009). تابع دیگری به نام تابع g وجود دارد که مشتق تابع K بوده و در بعضی مطالعات بکار رفته است (Getzin & Wiegand, 2007؛ Strand *et al*., 2007؛ Schiffers *et al*., 2008؛ Zhu *et al*., 2010).

در تحقیقات انجام شده در بیشتر موارد از یک روش برای تعیین الگوی مکانی استفاده شده است. در نتیجه مقایسه‌ای بین روشهای اشاره شده صورت نگرفته و مشخص نشده که کدام یک از آنها در شرایط مشابه ارجحیت دارند. علاوه بر این، در بسیاری از مطالعات، برای بررسی صحت نتایج، آزمون آماری روش مربوطه انجام نشده و یا آزمون انجام شده مناسب روش نبوده است. آزمون آماری در روشهای تعیین الگوی مکانی، اعتبار نتیجه حاصل را از نظر آماری تأیید نموده و انجام نشدن آن قضاوت در مورد معنی‌دار بودن نتیجه بدست آمده را دشوار می‌سازد.

با توجه به بررسی پژوهش‌های گذشته از طرفی و ضرورت مطالعه مقایسه‌ای روشهای متداول در تعیین الگوی مکانی مطلق در جوامع جنگلی و انتخاب روش بهینه از طرف دیگر، بررسی روشهای اشاره شده هدف این تحقیق قرار گرفت. این مطالعه علاوه بر مقایسه روشهای مطلق تعیین الگوی مکانی در شرایط یکسان و معرفی آزمون‌های آماری مناسب در هرکدام، مزایا و معایب آنها را نشان داده تا در مطالعات آتی با توجه به اهداف، روش مناسب تعیین الگوی مکانی درختان انتخاب گردد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

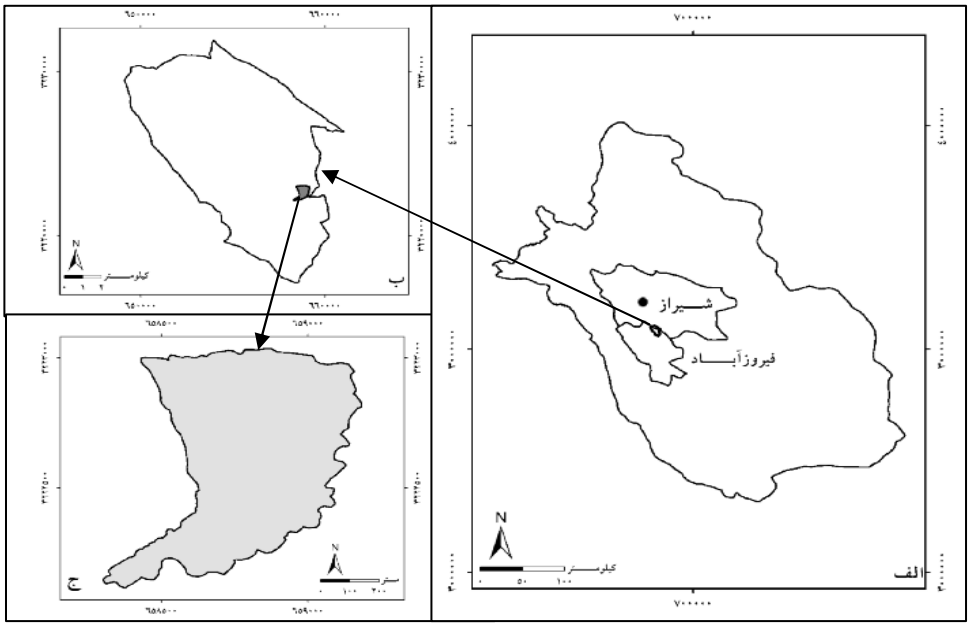
جنگلهای زاگرس به‌طور عمده از گونه‌های بلوط و چند گونه دیگر از قبیل بنه و بادام تشکیل شده‌اند. گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf) از خانواده Anacardiaceae) به‌عنوان یکی از گونه‌های مهم جنگلهای زاگرس پس از بلوط، نقش بسیار مهمی در تثبیت خاک، جلوگیری از فرسایش، تولید و برداشت میوه و تولید سقز دارد (کریمی، ۱۳۸۱؛ جزیره‌ای و ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲؛ حمزه‌پور و همکاران، ۱۳۸۵). برای انجام این مطالعه، در استان فارس، جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد که دارای تراکم قابل قبولی از گونه مورد نظر است، انتخاب شد (شکل ۱). این مجموعه از سال ۱۳۷۵ در قالب یک طرح جامع به‌عنوان ایستگاه تحقیقاتی بنه شناخته شده و بنابراین آشفتگی اکولوژیک در آن نسبت به سایر رویشگاه‌ها حداقل است (اوجی و همکاران، ۱۳۷۵). این

جنگل با مساحتی بالغ بر ٩٣٧٤ هکتار در جنوب غربی استان فارس و شهر شیراز و در محدوده شهرستان فیروزآباد واقع شده است. موقعیت مکانی این عرصه در طول جغرافیائی ´٣٠ °٥٢ تا ´٤٠ °٥٢ شرقی و عرض جغرافیائی °٢٩ تا ´١٥ °٢٩ شمالی قرار دارد. بخشی از این جنگل تحقیقاتی که از جنوب به جاده شیراز- کازرون، از شرق و غرب به اراضی کشاورزی و از شمال به کوه منتهی می‌شد و وسعت آن ٤٥ هکتار بود، انتخاب گردید. در آماربرداری صددرصد انجام شده در منطقه مورد مطالعه، موقعیت مکانی هر یک از درختان بنه با دقت بسیار بالا برای تهیه نقشه آنها، ثبت شد.

سامانه موقعیت‌یابی جهانی تفاضلی (Differential GPS)

مطالعه 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 به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و نتایج قابل استناد نخواهند بود (Mitchell, 2005; Rayburn *et al*., 2011).

دستگاه‌های موقعیت‌یابی جهانی دستی که امروزه در مطالعات مختلف بکار می‌روند دارای خطا هستند و دقت این دستگاه‌ها در جنگلهای زاگرس (مطالعه موردی: جنگلهای بلوط، استان کهگیلویه و بویراحمد) ١١± متر گزارش شده است (عرفانی‌فرد، ١٣٨٦). چنین خطایی با توجه به تعریف الگوی مکانی می‌تواند نتایج حاصل را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در این مطالعه جهت تعیین موقعیت مکانی دقیق درختان، از سامانه موقعیت‌یابی جهانی تفاضلی که دقت برداشت موقعیت نقاط آن در حد میلی‌متر و تا شعاع ٤٠ کیلومتر در اطراف هر ایستگاه است استفاده شد (www.leica.com). استفاده از این روش برای تهیه نقشه درختان در جنگل یکی از نوآوریهای این تحقیق محسوب می‌گردد.



شکل ١- منطقه مورد مطالعه در استان فارس (الف)، جنگل تحقیقاتی بنه (ب)، محدوده آماربرداری صددرصد (ج)

روشهای تعیین الگوی مکانی

بهترین راهکار برای تعیین الگوی مکانی، آماربرداری صددرصد است که دسترسی به الگوی مکانی درختان کل جامعه را برای ما فراهم می‌کند. جهت تعیین الگوی مکانی در داده‌های صددرصد روشهایی ارائه شده که به شرح زیر هستند (Mitchell, 2005; Wong & Lee, 2005; Salas *et al*., 2006; Protazio, 2007):

۱) کوادرات (پلات): در این روش تعداد افراد در هر کوادرات شمارش شده و نسبت واریانس به میانگین به‌عنوان معیاری برای تعیین الگو استفاده می‌شود. این روش بر مبنای اینکه چگونه تراکم در سطح تغییر می‌کند استوار است. اندازه کوادرات متفاوت می‌تواند نتایج متفاوتی را در پی داشته باشد (Han *et al*., 2008). در نتیجه با استفاده از تعداد نقاط (n) و مساحت منطقه مورد بررسی (A) مساحت بهینه کوادرات (QS) طبق رابطه ۱ تعیین می شود.

$$QS = \frac{2.A}{n} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

بعد از مشخص شدن مساحت، کوادرات به دو روش روی منطقه قرار می‌گیرد. در روش اول شبکه‌ای از مربع‌های منظم و بدون سطح مشترک، کل منطقه را می‌پوشاند. در روش دوم مربع‌ها به صورت کاملاً تصادفی در منطقه قرار می‌گیرند (Wong & Lee, 2005). در مرحله بعد نسبت واریانس به میانگین تعداد درختان در کوادرات در هر روش محاسبه می‌گردد. اگر این نسبت برابر با ۱ باشد، الگوی مکانی تصادفی است، مقدار نسبت بیشتر از ۱ بیانگر حالت کپه‌ای و کمتر از ۱ حالت پراکنده را نشان می‌دهد (Lutze *et al*., 2004). آزمون کولموگروف- اسمیرنوف (Kolmogorov-Simirnov [K-S test]) روش آماری مناسب برای بررسی وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین الگوی مکانی مشاهده شده و الگوی مکانی تصادفی (توزیع پوآسون) است (Wong & Lee, 2005). در صورت معنی‌دار بودن اختلاف بین الگوی مشاهده شده با حالت تصادفی، اختلاف با الگوی کپه‌ای (توزیع دوجمله‌ای منفی) مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نکته قابل ذکر است که از نظر بوم‌شناختی حالت تصادفی در جوامع طبیعی وجود ندارد، اما در تجزیه و تحلیل آماری، فرض صفر آزمون، در نظر گرفتن الگوی تصادفی برای جمعیت است (پوربابایی، ۱۳۸۳). فرض صفر نبود اختلاف معنی‌دار بین دو الگو و فرض جایگزین معنی‌دار بودن اختلاف بین آنهاست (Wong & Lee, 2005).

۲) روش نزدیکترین فاصله: این روش یک متغیره 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 (رابطه ۲).

$$R = \frac{d_{obs}}{d_{\exp}} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

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 ۳ بدست می‌آید. در این رابطه مخرج کسر خطای استاندارد در حالت تصادفی است.

$$z = \frac{d_{obs} - d_{\exp}}{SEr_{d_{\exp}}} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

در صورتی که مقدار z بین ۱/۹۶± باشد (۱/۹۶+ > z > ۱/۹۶-) تفاوت معنی‌داری بین الگوی مشاهده شده با

حالت تصادفی وجود ندارد. اگر این مقدار بیش از ۱/۹۶+ باشد، الگو پراکنده و اگر کمتر از ۱/۹۶- باشد، الگو کپه‌ای است (Wong & Lee, 2005; Longuetaud *et al*., 2008; Wang *et al*., 2009).

نکته‌ای که در مورد این روش وجود دارد اثر حاشیه‌ای است. در واقع فواصل برای نقاط نزدیک به مرز منطقه مورد مطالعه ممکن است کمتر از حد واقعی تخمین زده شوند و همین مسئله نتیجه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته در مواردی که این مرز، حاشیه «واقعی» جامعه مورد بررسی است نیاز به تصحیح نیست، زیرا رفتار جمعیت در حاشیه می‌تواند کاملاً با مرکز فرق کند (Lancaster & Downes, 2004; Law *et al*., 2009). در منطقه مورد مطالعه با توجه به وجود مرز طبیعی، اثر حاشیه‌ای نیاز به تصحیح نداشته است.

۳) تابع K: این روش را که تابعی درجه دو در فضای دو بعدی است می‌توان برای تعیین الگوی مکانی پدیده‌هایی بکار برد که موقعیت آنها در یک نقشه ثبت شده است (Salas *et al*., 2006; Schiffers *et al*., 2008). در این روش تعداد نقاط موجود در دایره‌ای به شعاع t و به مرکز هر پدیده (i) محاسبه می‌شوند (رابطه ٤). در این رابطه λ مقدار تراکم و N تعداد پدیده‌ها را نشان می‌دهد (Haase, 1995; Dale & Powell, 2001).

$$K(t) = \frac{1}{\lambda}\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j\neq i} k_{ij} \qquad \text{رابطه (٤)}$$

در یک الگوی مکانی کاملاً تصادفی تعداد نقاط در دایره، از توزیع پواسون تبعیت کرده و رابطه $K(t) = \pi t^2$ برقرار است. بنابراین در حالت کپه‌ای با پیروی از توزیع دوجمله‌ای منفی، تعداد نقاط بیشتر از حالت تصادفی است و رابطه $K(t) \geq \pi t^2$ برقرار است و در حالت پراکنده که تعداد نقاط کمتر از حالت تصادفی است و با توزیع دوجمله‌ای مثبت منطبق است، رابطه $K(t) \leq \pi t^2$ برقرار می‌باشد (Awada *et al*., 2004; Dagley, 2008).

روش آماری مناسب برای بررسی صحت نتایج بدست آمده از روش تابع K، آزمون مونت کارلو (Monte Carlo) است. این آزمون برای الگوی مکانی تصادفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد، یک محدوده ایجاد می‌کند (Perry, 2004). در صورتی که تابع مورد نظر در محدوده مونت کارلو قرارگیرد، الگو تصادفی است. اگر بالاتر باشد کپه‌ای و اگر پایین‌تر باشد، پراکنده است (Schiffers *et al*., 2008). برای تسهیل تفسیر نتایج حاصل از تابع K، تابع L مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۵). این تابع را می‌توان به صورت یک نمودار خطی رسم نمود و در این صورت تفسیر نتایج ساده‌تر می‌گردد (Salas *et al*., 2006; Lan *et al*., 2009).

$$L(t) = \sqrt{\frac{K(t)}{\pi}} - t \qquad \text{رابطه (۵)}$$

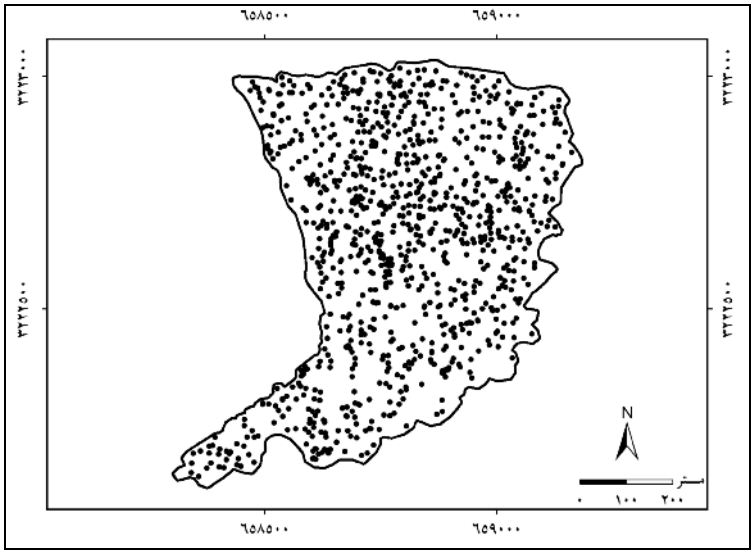
آزمون آماری مورد استفاده برای بررسی صحت نتایج و تفسیر آن در روش تابع L مانند تابع K است (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹؛ Dagley, 2008؛ Longuetaud *et al*., 2008). علاوه بر روشهای تابع K و L، از تابع g نیز برای تجزیه و تحلیل الگو در مقیاس‌های مختلف استفاده می‌گردد. در این روش با توجه به اینکه از تابع K مشتق گرفته می شود (رابطه ٦)، تغییرات در فاصله‌های مکانی مختلف بهتر نشان داده می‌شود. همچنین این روش در مقایسه با روشهای قبلی (تابع K و L) حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات الگوی مکانی در هر نقطه دارد (Getzin & Wiegand, 2007).

$$g(t) = \frac{1}{2\pi t}\frac{dK(t)}{d(t)} \qquad \text{رابطه (٦)}$$

در حالت کاملاً تصادفی g(t)=۱ و مقادیر کمتر از ۱ به الگوی مکانی پراکنده و بیشتر از ۱ به کپه‌ای اشاره دارد. آزمون آماری مناسب نیز مانند روشهای قبلی، مونت کارلو است که مانند موارد قبل تفسیر می گردد (Getzin & Wiegand, 2007; Strand *et al*., 2007; Zhu *et al*., 2010). برای انجام این تحقیق و اجرای روشهای اصلی تعیین الگوی مکانی مطلق درختان از نرم‌افزارهای ArcGIS 9.2، SPSS و MATLAB 2010 استفاده شده است.

نتایج

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۴۵ هکتار آماربرداری صددرصد شد و موقعیت مکانی هر یک از درختان بنه با استفاده از سامانه موقعیت‌یابی جهانی تفاضلی ثبت گردید. نقشه درختان (شکل ۲) نشان داد که در این محدوده ۱۰۰۹ درخت بنه وجود دارد و تراکم آنها ۲۲/۴ پایه در هکتار است.



شکل ۲- نقشه موقعیت مکانی درختان بنه در توده مورد مطالعه

سپس هر یک از روشهای مورد بحث برای تعیین الگوی مکانی مطلق درختان بنه بکار رفتند. در روش کوادرات، قطعه نمونه‌ها به دو شکل شبکه منظم و تصادفی روی نقشه درختان قرار گرفت و محاسبات لازم انجام شد که هر دو روش بیانگر الگوی کپه‌ای بودند (جدول ۱). همچنین برای بررسی صحت نتایج بدست آمده، آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بکار رفت. ابتدا الگوی مشاهده شده در هر دو شکل منظم و تصادفی قرارگیری کوادرات با حالت تصادفی (توزیع پوآسون) مقایسه گردید.

جدول ۱- الگوی مکانی درختان بنه در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش کوادرات

استقرار کوادرات	واریانس	میانگین	شاخص	الگوی مکانی
شبکه منظم	۴۴۴/۲	۲۰۱/۱	۲/۲۰۹	کپه‌ای
تصادفی	۱۶۷/۲	۱۳۶/۱	۱/۲۲۸	کپه‌ای

جدول ۲- آزمون آماری کولموگروف- اسمیرنوف برای بررسی صحت نتایج بدست آمده از روش کوادرات

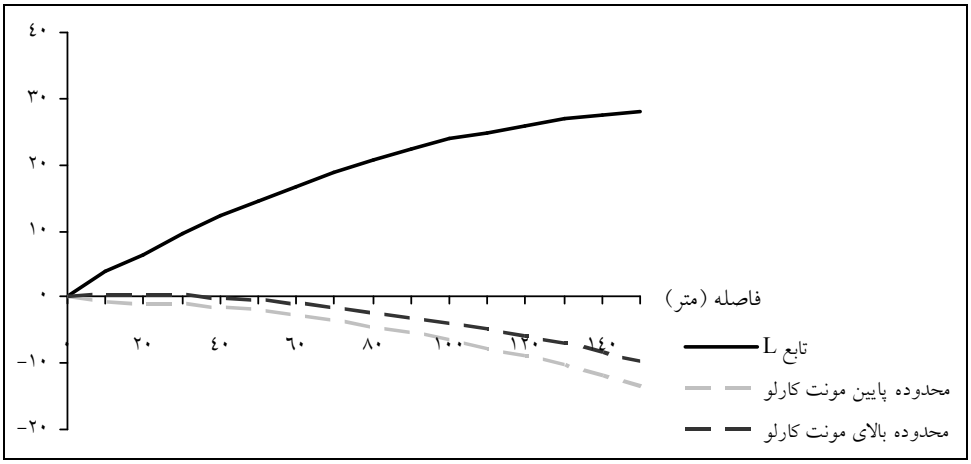
استقرار کوادرات	مقایسه با حالت تصادفی		مقایسه با حالت کپه‌ای	
	آماره	معنی‌داری	آماره	معنی‌داری
منظم	۰/۱۸۸	معنی‌دار	۰/۰۵۵	غیر معنی‌دار
تصادفی	۰/۱۶۸	معنی‌دار	۰/۰۵۹	غیر معنی‌دار

از آنجایی که بین الگوی مکانی منطقه مورد مطالعه و الگوی مکانی تصادفی اختلاف معنی‌دار بود و مفهومش این است که الگوی مکانی درختان بنه تصادفی نیست، در مرحله بعد حالت کپه‌ای (توزیع دوجمله‌ای منفی) بررسی شد که اختلاف بین این دو معنی‌دار نبود و نتایج حاصل از روش مورد استفاده تأیید گردید (جدول ۲). دومین روش تعیین الگوی مکانی مطلق، روش نزدیکترین همسایه است. در این روش ابتدا میانگین فواصل در الگوی مورد مطالعه محاسبه شد و با اندازه‌گیری همین عامل در حالت تصادفی شاخص R تعیین گردید که الگوی کپه‌ای را نشان داد. همچنین برای بررسی صحت نتایج از آزمون z استفاده شد که با توجه به مقدار آن، نتایج روش نزدیکترین همسایه تأیید گردید (جدول ۳).

جدول ۳- الگوی مکانی درختان بنه با استفاده از روش نزدیکترین همسایه و آزمون آماری آن

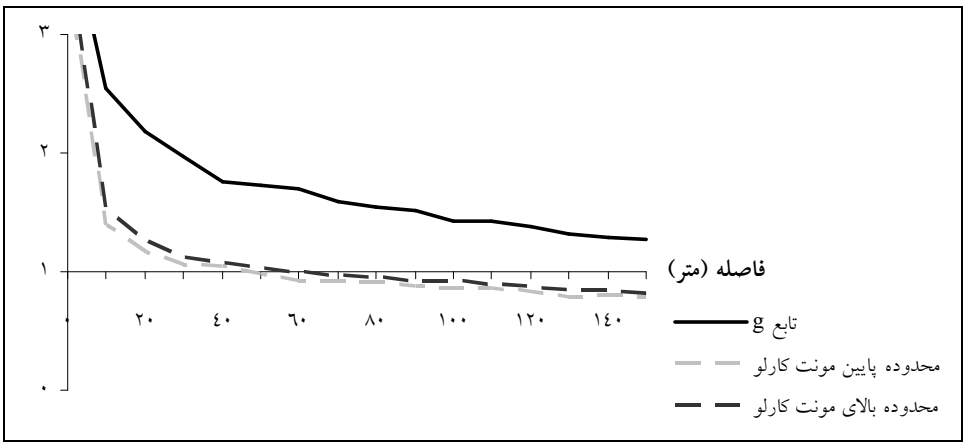
میانگین فواصل مشاهده شده (متر)	۱۰/۶۸۶
میانگین فواصل در حالت تصادفی (متر)	۱۳/۴۳۸
شاخص R	۰/۷۹۵
آماره آزمون z	-۱۲/۳۸

سومین روش مورد استفاده در تعیین الگوی مکانی مطلق درختان، روش تابع K و مشتقات آن (تابع L و تابع g) است. تفسیر نتایج حاصل از روش K به دلیل رفتار هذلولی منحنی دشوار است و به همین علت از شکل خطی آن یعنی تابع L استفاده می‌گردد (Lan *et al.*, 2009). وضعیت تغییرات تابع L در منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. خط این تابع در بالای محدوده مونت کارلو قرار دارد و این موضوع الگوی مکانی کپه‌ای را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۳- منحنی تابع L و وضعیت آن نسبت به محدوده تصادفی (مونت کارلو)

همانطور که اشاره شد، یکی از مشتقات تابع K، تابع g است که نسبت به تغییرات الگوی مکانی جمعیت حساس‌تر است. نتایج تابع مذکور در شکل ٤ نشان داده شده است. از آنجایی که مسیر تابع g در بالای محدوده مونت کارلو قرار دارد، این تابع نیز بیانگر الگوی مکانی کپه‌ای درختان می‌باشد.



شکل ٤- منحنی تابع g و وضعیت آن نسبت به محدوده تصادفی (مونت کارلو)

بحث

در صورت دسترسی به کل جامعه جنگلی (آماربرداری صددرصد)، آگاهی از روش مناسب، یک گام مهم در تعیین الگوی مکانی درختان محسوب می‌شود و انتخاب روش بر حسب هدف مطالعه و داده‌های موجود صورت می‌گیرد (Salas *et al*., 2006). چنانچه در مقدمه اشاره شد، در تحقیقاتی که تاکنون انجام شده از روشهای مختلفی برای تعیین الگوی مکانی درختان استفاده شده است. با توجه به اینکه توده بنه انتخاب شده برای انجام این مطالعه از سال ۱۳۷۵ در قالب یک طرح تحقیقاتی بوده است، انتظار می‌رود که حداقل دست‌خوردگی را داشته و برای بررسی الگوی مکانی مناسب باشد. پس از آماربرداری صددرصد و تهیه نقشه موقعیت مکانی درختان، روشهای مورد بحث در آن بکار رفت. استفاده از روش کوادرات بیانگر الگوی مکانی کپه‌ای در منطقه بود که از این جنبه، بین روش تصادفی و شبکه منظم اختلافی مشاهده نشد (جدول ۱). همچنین بررسی صحت نتایج به لحاظ آماری با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف به عنوان قویترین و مناسبترین روش آماری (Wong & Lee, 2005) (در مقایسه با کای اسکور مورد استفاده در مطالعه بصیری و همکاران، ۱۳۸۵) نیز نشان داد که روش کوادرات کارایی لازم را در تعیین الگوی مکانی مطلق داراست (جدول ۲). این نتیجه با مطالعاتی که از روش کوادرات استفاده کرده‌اند (علوی و همکاران، ۱۳۸٤؛ بصیری و همکاران، ۱۳۸۵؛ Hanewinkel, 2004؛ Han *et al*., 2008) منطبق است. استفاده از این روش ساده و سریع است و نیاز به محاسبات پیچیده ندارد و به سادگی می‌توان به الگوی مکانی درختان در منطقه پی برد. اگرچه در این تحقیق نتایج روش کوادرات به لحاظ آماری تأیید شده است، اما یک ویژگی منفی مهم در این روش وجود دارد که چون تنها تعداد درخت در کوادرات اساس آن است، نمی‌تواند الگوهای متفاوت را به خوبی از یکدیگر متمایز نماید (Wong & Lee, 2005). از طرفی اگر شکل منطقه مورد بررسی نامنظم باشد، احتمال وجود کوادراتهای خالی از درخت زیاد شده و بر نتیجه روش اثر منفی می‌گذارد. همچنین با استفاده از این روش نمی‌توان

تغییرات الگو را در فاصله‌های مکانی مختلف (بر خلاف تابع K و مشتقات آن) مطالعه نمود (Mitchell, 2005; Wong & Lee, 2005). روش نزدیکترین همسایه نیز نشان داد که الگوی مکانی درختان در توده مورد مطالعه، کپه‌ای است. آزمون آماری z نیز نتایج حاصل از این روش را تأیید نمود (جدول ۳). قابلیت روش نزدیکترین همسایه در تعیین الگوی مکانی در سایر تحقیقات (حبشی و همکاران، ۱۳۸٦؛ عرفانی‌فرد و همکاران، ۱۳۸٦؛ Moustakas *et al*., 2008) نیز مورد تأیید قرار گرفته که با نتایج این مقاله مطابقت دارد. بر خلاف روش کواردات، در این روش فاصله بین درختان مبنای تعیین الگوی مکانی است. بنابراین اشکالات روش کوادرات (تمایز بین الگوهای مختلف، وجود کوادراتهای خالی) در این روش وجود ندارد. یکی از ویژگیهای منفی این روش، زمان طولانی محاسبات (اندازه‌گیری میانگین فاصله درختان) در شرایطی است که تعداد درختان زیاد هستند. همچنین در این روش (مانند روش کوادرات) تغییرات الگوی مکانی مطلق جامعه در مقیاس‌های مختلف قابل بررسی نیست و برای کل جامعه یک الگو تعیین می‌گردد. علاوه بر معایب فوق، روش نزدیکترین همسایه به شدت به مقیاس مطالعاتی (اندازه منطقه مورد مطالعه) وابسته است، به‌نحوی که یک توده در محدوده خودش ممکن است الگویی متفاوت در اندازه محدوده بزرگتر از خودش داشته باشد (Mitchell, 2005; Wong & Lee, 2005). سومین روش مورد استفاده برای تعیین الگوی مکانی مطلق، تابع K و مشتقات آن است که به دلیل توانایی‌های آن، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از روش تابع K، L و g نشان داد که الگوی مکانی درختان از حالت کپه‌ای پیروی می‌کند (شکلهای ۳ و ٤). تأیید کارایی این روش در سایر مطالعات (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹؛ Awada *et al*., 2004؛ Hou *et al*., 2004؛ Linares-Palomino, 2005؛ Salas *et al*., 2006؛ Getzin & Wiegand, 2007؛ Strand *et al*., 2007؛ Montes *et al*., 2007؛ Dagley, 2008؛ Longuetaud *et al*., 2008؛ Schiffers *et al*., 2008؛ Lan *et al*., 2009؛ Zhu *et al*., 2010) نیز صورت گرفته است. بر خلاف روشهای قبلی، در این روش الگوی مکانی مطلق در مقیاسهای مختلف مطالعه می‌شود و می‌توان اظهار نظر نمود که در فاصله‌های مختلف رفتار درختان در جامعه چگونه تغییر می‌نماید. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، در تمام مقیاسهای مورد بررسی (از صفر تا ۱۵۰ متر) حالت کپه‌ای بودن درختان بنه در جامعه کاملاً واضح و قابل تشخیص است. همانطور که قبلاً اشاره گردید، تابع g نسبت به تغییرات الگو حساس‌تر است. با توجه به روند تغییرات منحنی تابع g (شکل ٤)، فراوانی فواصل بین درختان تا کمتر از ۳۰ متر از دو برابر مقدار داده تصادفی در همان فاصله بیشتر بوده و در فاصله ۳۰ متر به دو برابر می‌رسد. با افزایش فاصله، فراوانی فواصل بین درختان در منطقه در مقایسه با متوسط این فواصل در حالت تصادفی کاهش می‌یابد، اما این مقدار هیچگاه به نصف مقدار فراوانی این فواصل در حالت تصادفی نمی‌رسد، زیرا منحنی به عدد ۰/۵ نرسیده است. بنابراین منحنی تابع g نیز بیانگر الگوی مکانی کپه‌ای درختان در تمام مقیاسها در منطقه مورد مطالعه است که نتایج تابع L را تأیید می‌نماید. البته از جمله ویژگیهای منفی روش تابع K و مشتقات آن، محاسبات پیچیده برای تعیین الگوی مکانی درختان است. همچنین نتایج در این روش از مرز منطقه تأثیر زیادی می‌پذیرد که در صورت نیاز به تصحیح (بر خلاف مطالعه حاضر)، باید روش مناسب انتخاب شود که گاهی حتی با استفاده از روشهای تصحیح نیز صحت لازم حاصل نمی‌گردد (Mitchell, 2005; Pommerening & Stoyan, 2006).

اشاره به این نکته ضروری است که در بیشتر تحقیقات انجام شده، از یک روش به تنهایی استفاده شده و تمام روشها به صورت مقایسه‌ای در شرایط یکسان (یک منطقه مورد مطالعه واحد) بررسی نشده‌اند. بنابراین نمی‌توان در مورد قابلیتهای آنها اظهار نظر نمود و از این جنبه مطالعه

حاضر حائز اهمیت است. همچنین استفاده از آزمون آماری مربوط به هر روش نکته بسیار مهمی است که به آن اشاره شد. انجام نشدن آزمون آماری یا استفاده از آزمون نامناسب با روش، تأیید صحت نتایج بدست آمده را غیر ممکن می‌نماید. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روشهای تعیین الگوی مکانی مطلق کارایی لازم را دارا هستند و در مورد منطقه مورد مطالعه نتایج یکسانی ارائه کردند که آزمون آماری هر کدام نیز صحت نتایج را تأیید نمود. البته هر یک از روشها معایب و مزایایی دارند که در استفاده از آنها باید مورد توجه قرار گیرند. براساس دستاوردهای این تحقیق می‌توان توصیه نمود که در مطالعات آینده، اگر هدف فقط تعیین الگوی مکانی مطلق به‌طور کلی و در زمان کم بود، از روش کوادرات استفاده گردد. همچنین روش نزدیکترین همسایه می‌تواند الگوی مکانی مطلق در کل جامعه را با اطمینان بیشتر (به دلیل نبود اشکالات اساسی روش کوادرات در این روش) تعیین نماید. در حالی که اگر بررسی تغییرات رفتار درختان در مقیاس‌های مختلف، هدف باشد تنها می‌توان از روش تابع K و مشتقات آن استفاده نمود، اگرچه دشوار به نظر می‌رسد.

منابع مورد استفاده

- اخوان، ر.، ثاقب‌طالبی، خ.، حسنی، م. و پرهیزکار، پ.، ۱۳۸۹. بررسی الگوی مکانی درختان طی مراحل تحولی جنگل در توده‌های دست نخورده راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در کلاردشت. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸ (۲): ۳۳۶-۳۲۲.
- اوجی، م.ق.، بردبار، ک.، حمزه‌پور، م.، حبیبیان، ح.، نجابت م. و آل منصور، ح.، ۱۳۷۵. طرح جامع جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ۱۷ صفحه.
- بصیری، ر.، سهرابی، ه. و مزین، م.، ۱۳۸۵. تحلیل آماری الگوی پراکنش مکانی گونه‌های درختی در منطقه قامیشله مریوان. نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۵۹ (۳): ۵۸۸-۵۷۹.
- پوربابایی، ح.، ۱۳۸۳. کاربرد آمار در بوم‌شناسی (ترجمه). انتشارات دانشگاه گیلان، ٤۲۸ صفحه.
- جزیره‌ای، م. و ابراهیمی رستاقی، م.، ۱۳۸۲. جنگل‌شناسی زاگرس. انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲٦۳۳، ٥٦۰ صفحه.
- حبشی، ه.، حسینی، م.، محمدی، ج. و رحمانی، ر.، ۱۳۸٦. تعیین الگوی پراکنش و ساختار در جنگل آمیخته راش شصت‌کلاته گرگان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵ (۱): ٦٤-٥٥.
- حمزه‌پور، م.، بردبار، ک.، جوکار، ل. و عباسی، ع.، ۱۳۸۵. بررسی امکان احیای جنگلهای بنه از طریق کاشت مستقیم بذر و نهال. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ١٤ (۳): ۲۲۰-۲۰۷.
- عرفانی‌فرد، ی.، ۱۳۸٦. بررسی توان کاربرد عکسهای هوایی در جمع‌آوری اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی در جنگلهای زاگرس. رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ١٤٤ صفحه.
- عرفانی‌فرد، ی.، فقهی، ج.، زبیری، م. و نمیرانیان، م.، ۱۳۸٦. بررسی الگوی مکانی درختان در جنگلهای زاگرس. نشریه دانشکده منابع طبیعی، ٦۰ (٤): ۱۳۲۸-۱۳۱۹.
- علوی، س.ج.، زاهدی امیری، ق. و مروی مهاجر، م.ر.، ۱۳۸٤. تعیین الگوی پراکنش مکانی گونه ملج در جنگلهای شمال ایران (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرودکنار، نوشهر). نشریه دانشکده منابع طبیعی، ٤ (٥۸): ۸۰٤-۷۹۳.
- کریمی، ه.، ۱۳۸۱. فرهنگ رستنیهای (گیاهان) ایران. انتشارات پرچم، تهران، ۱۲۰۰ صفحه.
- Awada, B., Henebry, G.M., Redmann R.E. and Sulistiyowati, H., 2004. *Picea glauca* dynamics and spatial pattern of seedlings regeneration along chronosequence in the mixedwood section of the boreal forest. Annals of Forest Science, 61: 789-794.
- Dagley, C.M., 2008. Spatial Pattern of Coast Redwood in Three Alluvial Flat Old-Growth Forests in Northern California. Journal of Forest Science, 54 (3): 294-302.
- Dale, M.R.T. and Powell, R.D., 2001. A new method for characterizing point patterns in plant ecology. Journal of Vegetation Science, 12: 597-608.
- Getzin, S. and Wiegand, K., 2007. A symmetric tree growth at the stand level: Random crown patterns

- 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 becomes regular and vice versa. Acta Oecologica, 33: 355-364.
- Pelissier, R. and Goreaud, F., 2001. A practical approach to the study of spatial structure in simple case of heterogeneous vegetation. Journal of Vegetation Science, 12: 99-108.
- Perry, G.L.W., 2004. SpPack: spatial point pattern analysis in Excel using visual basic for applications (VBA). Environmental Modelling and Software, 19: 559-569.
- Pommerening, A. and Stoyan, D., 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. Canadian Journal of Forest Research, 36: 1723-1739.
- Protazio, J.M.B., 2007. Spatial pattern analysis applied to plant ecology. PhD 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.
- 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.
- Schiffers, K., Schurr, F.M., Tielborger, K., Urbach, C., Moloney, K. and Jeltsch, F., 2008. Dealing with virtual aggregation- a new index for analyzing heterogeneous point patterns. Journal of Ecography, 31: 545-555.
- Strand, E.K., Robinson, A.P. and Bunting, S.C., 2007. Spatial patterns on the sagebrush steppe/Western juniper ecotone. Journal of Plant Ecology, 190: 159-173.
- 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.
- Wong, D.W.S. and Lee, J., 2005. Statistical analysis with Arcview GIS. John Wiley and Sons, USA, 450 p.
- Zhu, Y., Xiangcheng, X., Ren, H. and Ma, K., 2010. Density dependence is prevalent in a heterogeneous subtropical forest. Oikos, 119: 109-119.
- www.leica.com

and the response to slope. Forest Ecology and Management, 242: 165-174.
- Haase, P., 1995. Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K-function: Introduction and methods of edge correction. Journal of Vegetation Science, 6: 575-582.
- 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.
- Hou, J.H., Mi, X.C., Liu, C.R. and Ma., K.P., 2004. Spatial patterns and associations in a *Quercus-Betula* forest in northern China. Journal of Vegetation Science, 15: 407-414.
- Lan, G., Zhu, H., Cao, M., Hu, Y., Wang, H., Deng, X., Zhou, S., Cui, J., Huang, J., He, Y., Liu, L., Xu, H. and Song, J., 2009. Spatial dispersion patterns of trees in a tropical rainforest in Xishuangbanna, southwest China. Journal of Ecological Research, 24: 1117-1124.
- Lancaster, J. and Downes, B.J., 2004. Spatial point pattern analysis of available and exploited resources. Journal of Ecograghy, 27: 94-102.
- Law, R., Lllian, 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.
- Linares-Palomino, R., 2005. Spatial distribution patterns of trees in a seasonally dry forest in the Cerros de Amotape National Park, northwestern Peru, Peruvian Journal of Biology, 12 (2): 317-326.
- 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.
- Mitchell, A., 2005. The ESRI guide to GIS analysis, vol. 2. ESRI Press, USA, 240 p.
- Montes, F., Pardos, M. and Canellas, I., 2007. The effect of stand structure on the regeneration of scots pine stands. FBMIS, 1: 1-9.

Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests, Case study: Wild pistachio research forest, Fars province, Iran

Y. Erfanifard [1*] and Fatemeh Mahdian [2]

1*- Corresponding Author, Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran.
E-mail: erfanifard@shirazu.ac.ir
2- M.Sc. student of Desert Region Management, International unit, Shiraz University, Iran
Received: 30.05.2011 Accepted: 14.09.2011

Abstract

Spatial pattern as one of the primary ecological concepts is an important criterion to understand changes in forest communities and monitor them. The applied methods in this respect are based upon two main strategies, full callipering and sampling. Using point map of trees obtained by full callipering method gives the opportunity to determine the true spatial pattern of trees in a community. The methods of true spatial pattern determination are classified as Quadrat, Nearest Neighbor and K-function and its derivatives (L- and g functions). The aim of this research was to compare these methods in similar conditions and to study their advantages and disadvantages and also to utilize suitable statistical methods to evaluate the accuracy of the results. A 45 ha wild pistachio stand was chosen and the spatial positions of all trees were recorded by Differential GPS. The results showed that the spatial pattern of trees is aggregated. The outcomes of the methods and their statistical tests proved their ability to determine the true spatial pattern of trees in the study area. Also the comparison of the methods showed that each one can be applied, regarding the goal and available circumstances of future studies.

Keywords: spatial pattern, K-function, L-function, g function, quadrat analysis, nearest neighbor