نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم، شماره چهارم، ۱۳۹۲
http://jwfst.gau.ac.ir

کاربرد تابع K رایپلی در آشکارسازی الگوی پراکنش مکانی گونه ملج در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر

*سیدجلیل علوی[۱]، قوام‌الدین زاهدی‌امیری[۲]، زهرا نوری[۳] و محمدرضا مروی‌مهاجر[۴]

[۱]استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، [۲]دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۳]دانش‌آموخته دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۴]استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۹

چکیده

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های ساختاری یک توده جنگلی، الگوی مکانی درختان می‌باشد که در توصیف اکوسیستم‌های جنگلی و مدیریت پایدار آن نقش مهمی ایفا می‌نماید. نظر به این‌که بیماری مرگ نارون و قطع بی‌رویه درختان ملج، موجودیت این گونه را تهدید می‌نماید، این مطالعه سعی دارد تا با بررسی الگوی مکانی به مدیریت حفاظتی این گونه ارزشمند برای جلوگیری از انقراض آن و همچنین احیای آن کمک نماید. این مطالعه در بخش نم‌خانه، جنگل خیرود نوشهر صورت گرفته است. به‌دلیل وسعت منطقه مورد مطالعه (۱۰۳۵ هکتار)، همه پایه‌های ملج با قطر برابر سینه بزرگ‌تر از ۱۰ سانتی‌متر با سیستم موقعیت‌یاب جهانی ثبت و الگوی مکانی درختان با استفاده از تابع K رایپلی بررسی شد. نتایج نشان داد که گونه ملج در فاصله‌های کم‌تر از ۱۰ متر دارای الگوی تجمعی بوده و در فاصله‌های بزرگ‌تر الگو به‌سمت تصادفی بودن تغییر می‌نماید. به‌منظور بررسی این که آیا الگوی کپه‌ای در فواصل کوتاه، متأثر از درختان مادری می‌باشد، درختان براساس قطر برابر سینه به ٤ کلاسه قطری کم‌قطر، میان‌قطر، قطور و خیلی‌قطور تقسیم شدند. استفاده از تابع یک‌متغیره K رایپلی برای هر یک از کلاسه‌ها نشان داد که کلاسه کم‌قطر دارای الگوی تجمعی بوده و با افزایش کلاسه قطری الگوی مکانی گونه ملج تمایل به تصادفی شدن دارد. اجتماع‌پذیری بین کلاسه‌های کم‌قطر با سایر کلاسه‌ها با استفاده از تابع دومتغیره K رایپلی نشان می‌دهد که بین درختان کم‌قطر و سایر کلاسه‌ها، اثر متقابل

* مسئول مکاتبه: j.alavi@modares.ac.ir

منفی وجود دارد و این فرض که درختان قطور عامل تشکیل الگوی کپه‌ای می‌باشد، رد می‌گردد. می‌توان نتیجه‌گیری نمود شرایط رویشگاهی مناسب، تمایل نداشتن قاچاقچیان چوب به قطع درختان کم‌قطر ملج و (احتمالاً وجود) اثر متقابل مثبت بین گونه ملج با سایر گونه‌ها باعث تشکیل الگوی مکانی کپه‌ای گردیده باشد.

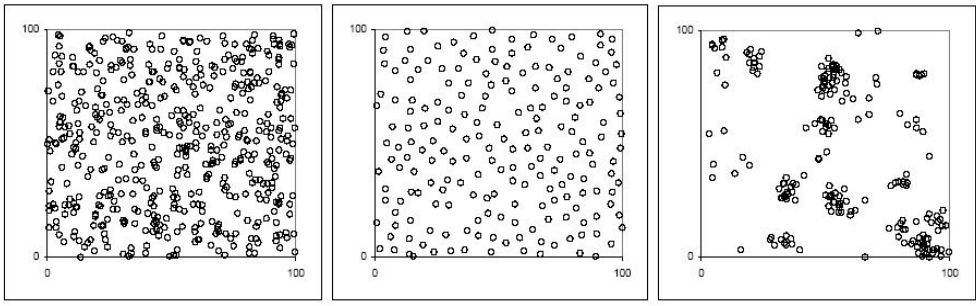
واژه‌های کلیدی: گونه ملج، الگوی پراکنش، بیماری مرگ نارون، تابع K رایپلی، اجتماع‌پذیری

مقدمه

یکی از آشکارترین جنبه‌های ساختاری یک توده جنگلی، الگوی مکانی یا نحوه توزیع درختان در آن است (کینت، ۲۰۰٤). بررسی الگوی پراکنش از نخستین مشاهده‌هایی است که در بررسی هر جامعه‌ای صورت می‌گیرد و نقش بسیار مهمی در ارزیابی یکنواختی و نبود یکنواختی محیطی، نوع تکثیر و تولیدمثل، انتشار، الگوهای رفتاری گیاهان و تعیین روش‌های مناسب و دقیق برای اندازه‌گیری خصوصیات کمی گیاهان مانند پراکنش و تراکم دارد (جنت‌رستمی، ۲۰۰۹). چگونگی استقرار درختان در عرصه در رابطه با دیگر درختان بر موجودی در هکتار توده، رشد تک‌درختان و انتخاب روش آماربرداری و چگونگی اجرای آن تأثیر مستقیم دارد (عرفانی‌فرد و همکاران، ۲۰۰۸). پیش‌بینی برنامه‌های اصلاحی در توده، روش‌های بهره‌برداری، بررسی بر روی رقابت و تعیین مدل رشد با الگوی مکانی درختان در جنگل رابطه مستقیم دارد. ۳ نوع اصلی از الگوهای مکانی در جامعه‌های گیاهی وجود دارند که عبارتند از ۱- کپه‌ای[1]، ۲- منظم[2]، ۳- تصادفی[3] و (گرود و همکاران، ۱۹۹۷) (شکل ۱).

الگوهای تصادفی به همگنی محیطی و یا به الگوهای رفتاری گزینش نشده اشاره می‌کند. از طرف دیگر، الگوهای غیرتصادفی (کپه‌ای و منظم) بیانگر وجود برخی محدودیت‌ها در جمعیت است. الگوی کپه‌ای بیان می‌کند که افراد در قسمت‌های مساعدتر رویشگاه جمع می‌شوند؛ در حالی‌که الگوی منظم از کنش‌های متقابل منفی مانند رقابت برای غذا یا فضا بین افراد به‌دست می‌آید (عرفانی‌فرد و همکاران، ۲۰۰۸).

1- Clumped
2- Regular
3- Random



شکل ۱- انواع مختلف الگوی مکانی در طبیعت (گرود و همکاران، ۱۹۹۷).

روش‌ها و شاخص‌های متعددی برای تفسیر توزیع‌های مکانی ارایه شده است که این روش‌ها براساس نوع داده مورد نیاز به ۳ گروه عمده (روش کوادرات، روش نزدیک‌ترین فاصله و روش داده‌های نقشه‌برداری شده[1]) طبقه‌بندی می‌گردند (اخوان و همکاران، ۲۰۱۰). در این مطالعه از روش داده‌های نقشه‌برداری شده، استفاده گردیده است. در این روش مختصات هر نقطه (درخت) ثبت و برای تعیین الگوی مکانی استفاده می‌گردد که روش Ripley از چنین اطلاعاتی استفاده می‌نماید. در منابع مختلف تابع K رایپلی برای آنالیز الگوی مکانی بسیار توصیه گردیده است؛ زیرا این تابع از اطلاعات زیادی (که مبتنی بر واریانس تمامی فاصله‌های درخت تا درخت می‌باشد) استفاده نموده و می‌تواند مقیاس‌های مختلف الگوی مکانی و وجود حالت تجمعی یا یکنواختی را تشخیص دهد (کامارزو و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین با به‌کارگیری تابع دومتغیره K رایپلی می‌توان به‌خوبی اثرات متقابل مشاهده شده از نوع جذب یا دفع بین گونه‌ها یا گروه‌های مختلف درختان را مورد بررسی قرار داد. مطالعات متعددی در کشور ایران در رابطه با تحلیل الگوی مکانی گونه‌های گیاهی با استفاده از روش‌های بالا صورت گرفته است که به تعدادی از آن‌ها که در راستای این پژوهش می‌باشد، می‌توان اشاره داشت. علوی و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از روش میانگین مربعات، الگوی مکانی گونه ملج را یک الگوی حد واسط بین دو الگوی اصلی تصادفی و کپه‌ای تعیین کردند. اخوان و همکاران (۲۰۱۰) الگوی مکانی درختان را طی مراحل تحولی جنگل در توده‌های دست‌نخورده راش با استفاده از تابع K رایپلی بررسی نمودند. علی‌جانی و فقهی (۲۰۱۱) با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه به بررسی ساختار مکانی گونه ملج در جنگل خیرود نوشهر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که گونه ملج دارای الگوی مکانی تصادفی متمایل به کپه‌ای است. اخوان و ثاقب‌طالبی

1- Mapped Data

(۲۰۱۲) به‌منظور بررسی رقابت درون‌گونه‌ای و اجتماع‌پذیری درختان راش از تابع دومتغیره K رایپلی استفاده نمودند. پوررضا و همکاران (۲۰۱۲) الگوی مکانی درختان بنه را در جنگل‌های کرمانشاه با استفاده از تابع K رایپلی مورد مطالعه قرار دادند. نوری و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تابع K رایپلی و مقایسه آن با شاخص نزدیک‌ترین همسایه نشان دادند که الگوی مکانی گونه‌های راش، ممرز، پلت و توسکا در جنگل خیرود از نوع کپه‌ای است. مطالعات صورت گرفته در خارج از کشور بسیار زیاد بوده و می‌توان به تعدادی از آن‌ها اشاره داشت. سالاس و همکاران (۲۰۰٦) با استفاده از شاخص یک متغیره و دومتغیره رایپلی، الگوهای مکانی درختان زنده و خشکه‌دار را در جنگل‌های سوزنی‌برگ آمیخته شیلی مورد بررسی قرار دادند. لی و ژنگ (۲۰۰۷) الگوهای پراکنش درختان نوئل و نراد را در شمال‌شرق ایالات متحده آمریکا با استفاده از روش‌های نزدیک‌ترین همسایه، تابع K رایپلی و تابع همبستگی جفتی مورد بررسی قرار دادند. گری و هی (۲۰۰۹) با به‌کارگیری تابع دومتغیره K رایپلی به بررسی رقابت گونه‌های درختی در جنگل‌های آلبرتای کانادا پرداختند. روزاس و همکاران (۲۰۰۹) از تابع یک‌متغیره K رایپلی برای بررسی الگوی مکانی درختان در جنگل‌های بهره‌برداری شده شمال‌غرب اسپانیا و از تابع دومتغیره K رایپلی برای مطالعه اجتماع‌پذیری دو کلاسه اندازه‌ای درخت استفاده نمودند. ژنگ و همکاران (۲۰۰۹) الگوی پراکنش درختان سوزنی‌برگ را در جنگل‌های تبت با به‌کارگیری تابع یک‌متغیره و دومتغیره رایپلی بررسی نمودند. مارتینز و همکاران (۲۰۱۰) در جنگل‌های معتدله شمال‌غرب اسپانیا، دوناوی و همکاران (۲۰۱۰) و بورل و نودورف (۲۰۱۱) در جنگل‌های راش آلمان نیز از تابع دومتغیره K رایپلی به‌منظور بررسی اثر متقابل و اجتماع‌پذیری استفاده نمودند. در رابطه با الگوی مکانی *Ulmus* مطالعات بسیار اندکی صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره داشت. لئوپولد و همکاران (۱۹۸۵) با استفاده از ٤ شاخص مکانی (نسبت واریانس به میانگین، شاخص پراکنش موریسیتا، شاخص نزدیک‌ترین همسایه کلارک- ایوانز و شاخص تصادفی نبودن پیلو) الگوی مکانی *Ulmus Americana* و *Ulmus rubra* را به‌ترتیب تصادفی و کپه‌ای تعیین نمودند. ونگ و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از تابع همبستگی زوجی[1] الگوی مکانی و اجتماع‌پذیری ۱۵ گونه درختی را در جنگل‌های پیش‌رسته[2] معتدله در شمال‌شرقی چین، مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تمامی گونه‌های مورد مطالعه (از جمله *Ulmus japonica*) دارای الگوی کپه‌ای می‌باشند. ژن و همکاران (۲۰۱۲) بیان می‌دارند که گونه *Ulmus pumils* در اراضی شنی Otindag در

1- Pair Correlation
2- Old-Growth

شمال چین در مقیاس کم‌تر از ۱۰ متر الگویی کپه‌ای دارد، درختان جوان و میان سال در مقیاس‌های بزرگ‌تر دارای الگوی تصادفی اما درختان بالغ پراکنش کپه‌ای دارند.

یکی از ارزشمندترین گونه‌های بومی جنگل‌های شمال کشور، گونه ملج می‌باشد. در گذشته توده‌های ارزشمند و زیبای ملج در جنگل‌های شمال کشور به چشم می‌خورد اما در چند دهه گذشته در اثر قطع بی‌رویه پایه‌های این گونه و هم‌چنین بیماری مرگ نارون، بسیاری از درختان این گونه از عرصه جنگل حذف شده‌اند. با توجه به این‌که براساس شاخص IUCN، گونه ملج در دنیا در ردیف گونه‌های در معرض خطر قرار دارد (زاهدی‌امیری، ۲۰۰۳)؛ به‌منظور مدیریت حفاظتی صحیح برای جلوگیری از انقراض این گونه ارزشمند و همچنین کمک به احیای آن لازم است مطالعات جامعی در خصوص ساختار مکانی این گونه انجام پذیرد تا بتوان موجودیت این گونه را حفظ نمود. بنابراین این مطالعه به بررسی الگوی مکانی، به‌عنوان یک مؤلفه ساختار، گونه ملج با استفاده از تابع K رایپلی می‌پردازد.

منطقه مورد مطالعه: این مطالعه در بخش نم‌خانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر انجام گرفته است. جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. مساحت کل جنگل خیرود حدود ۸۰۰۰ هکتار می‌باشد که دارای ۷ بخش بوده که بخش نم‌خانه با مساحت حدود ۱۰۳۵ هکتار دومین بخش مدیریتی این جنگل می‌باشد.

شکل ۲- منطقه مورد مطالعه.

جمع‌آوری داده: با توجه به این‌که در بیش‌تر مطالعات اکولوژی، الگوی مکانی در سطوح کوچک مورد بررسی قرار می‌گیرد، مکان‌یابی و نقشه‌برداری درختان با استفاده از تکنیک‌های اندازه‌گیری دستی (استفاده از قطب‌نما و متر) و یا با استفاده از ابزارهای نقشه‌برداری موقعیت درختان که معمولاً لیزری می‌باشند صورت می‌گیرد. در این مطالعه با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، استفاده از این روش‌ها امکان‌پذیر نبوده و از سیستم موقعت‌یاب جهانی برای ثبت پایه‌های ملج با قطر بیش‌تر از ۱۰ سانتی‌متر استفاده گردید.

آنالیز داده‌ها با استفاده از تابع K-Ripely: تابع K-Ripely براساس تعداد درخت موجود در یک شعاع مشخص (r) به بررسی الگوهای مکانی می‌پردازد. بر خلاف روش نزدیک‌ترین همسایه که فقط فاصله از یک نقطه معین تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش را در نظر می‌گیرد، در روش رایپلی فاصله‌های بین تمام جفت نقاط موجود در سطح مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود (اخوان و همکاران، ۲۰۱۰). این تابع برای یک الگوی نقطه‌ای مشخص به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$K_{(r)} = \frac{\bar{n}_{(r)}}{\rho}$$

به‌طوری‌که، $\bar{n}_{(r)}$: میانگین تعداد درختان همسایه‌ای است که به شعاع r از یک درخت قرار گرفته‌اند و ρ: تراکم (تعداد در واحد سطح) است. در یک الگوی کاملاً تصادفی با تراکم ρ، رابطه $K_{(r)} = \pi r^2$ برقرار است. بنابراین در الگوی تجمعی که در آن تعداد همسایه‌ها بیش‌تر از حالت تصادفی می‌باشد،

$$K_{(r)} > \pi r^2$$

امروزه به‌جای تابع K-Ripely از شکل اصلاح شده آن یعنی تابع L که توسط بساگ (۱۹۹۷) ارایه شد، استفاده می‌شود که حالت خطی تابع K بوده و نیز واریانس K را تثبیت می‌نماید (کرسیه، ۱۹۹۳). همچنین نمایش و تفسیر تابع L نسبت به K ساده‌تر است. رابطه این تابع به‌صورت زیر می‌باشد:

$$L(d) = \sqrt{\frac{A\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1, j\neq i}^{N} K(i,j)}{\pi N(N-1)}}$$

که در آن، A: مساحت منطقه مورد مطالعه (مترمربع)، N: تعداد نقاط (درختان)، d: فاصله (متر) و K (I, j): فاکتور وزن است که اگر فاصله بین دو درخت I و J کوچک‌تر یا مساوی d باشد برابر ۱ و اگر بیش‌تر باشد برابر صفر است.

در روش رایپلی برای آزمون معنی‌دار بودن تفاوت الگوی مشاهده شده با الگوی تصادفی (فرض صفر) حدود اعتماد با استفاده از آزمون مونت‌کارلو محاسبه و ترسیم می‌گردد، به‌طوری‌که اگر تابع L در داخل این محدوده قرار گیرد، الگوی پراکنش مشاهده شده با الگوی پراکنش تصادفی تفاوت معنی‌داری نخواهد داشت اما اگر تابع L بالاتر از این محدوده قرار گیرد، نشانه وجود الگوی کپه‌ای و اگر پایین‌تر از این محدوده واقع شود، نشان‌دهنده الگوی منظم است. در این گونه مطالعات، دامنه بررسی بسیار مهم می‌باشد، سالاس و همکاران (۲۰۰۶) اشاره می‌نمایند که اثرات متقابل بین درختان ورای ۵۰ متر حداقل خواهد بود، به همین دلیل در این پژوهش فاصله مورد عمل برای محاسبه تابع L برابر ۵۰ متر در نظر گرفته شده است.

برای بررسی این‌که آیا الگوی مشاهده شده در مقیاس مورد بررسی منتج از گروه‌های درختی است یا غیر از آن مانند شرایط محیطی، آشفتگی و...، از تابع دومتغیره K رایپلی (K_{12}) استفاده شده است. K_{12} به تعداد همسایه‌های مورد انتظار گونه یا گروه ۲ در دایره‌ای به شعاع r و به مرکزیت گونه یا گروه ۱ در یک توده جنگلی بستگی دارد (لوتویک و سیلورمن، ۱۹۸۲؛ اخوان و ثاقب‌طالبی، ۲۰۱۲). همانند تابع یک‌متغیره رایپلی، در حالت دومتغیره نیز از شکل اصلاح شده تابع $K_{12}(r)$ یعنی $L_{12}(r)$ استفاده می‌گردد که به طریق زیر محاسبه می‌شود.

$$L_{12}(r) = \sqrt{\frac{K_{12}(r)}{\pi}} - r$$

تابع دومتغیره K رایپلی یکی از بهترین و جدیدترین شاخص‌ها در بررسی اثرات متقابل می‌باشد. اثرات متقابل[1] درختان یا الگوی اجتماع‌پذیری[2] آن‌ها را می‌توان به اثر متقابل یا اجتماع‌پذیری مثبت (جذب[3]) و منفی (دفع[4]) تقسیم نمود. در حالت جذب، دو گونه گیاهی یا افراد یک گونه با ابعاد متفاوت (از نظر قطر یا ارتفاع و...) در کنار یکدیگر رشد کرده و همدیگر را تحمل می‌نمایند، اما در حالت دفع این دو گروه قادر به تحمل یکدیگر نبوده و تا فاصله مشخصی از یکدیگر دور می‌شوند. تابع دومتغیره رایپلی فاصله‌های میان گونه‌های مختلف درختی یا فاصله‌های بین درختان یک گونه با ابعاد مختلف را در یک نقشه توزیع مکانی درختان در نظر می‌گیرد (اخوان و ثاقب‌طالبی، ۲۰۱۲).

1- Interaction
2- Association
3- Attraction
4- Repulsion

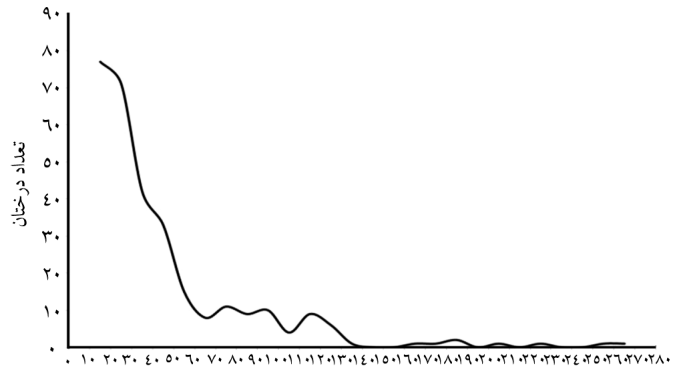
به‌منظور استفاده از تابع دومتغیره K رایپلی، ابتدا درختان ملج براساس قطر برابر سینه اندازه‌گیری شده به ٤ کلاسه قطری کم‌قطر (از قطر ۳۰-۱۰ سانتی‌متر)، میان‌قطر (از قطر ٦۰-۳۰ سانتی‌متر)، قطور (از قطر ۸۰-٦۰ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیش‌تر از قطر ۸۰ سانتی‌متر) تقسیم شدند (مروی‌مهاجر، ۲۰۰٦) و در مرحله بعد، معنی‌دار بودن اثر متقابل بین کلاسه‌های قطری مورد بررسی قرار گرفت. در روش دومتغیره تابع رایپلی، برای آزمون معنی‌دار بودن تفاوت اثر متقابل مشاهده شده از نوع جذب یا دفع بین گونه‌ها یا گروه‌های مختلف درختان، با وضعیت بدون اثر متقابل یا مستقل[1] که به‌عنوان فرض صفر در نظر گرفته می‌شود، حدود اعتماد با استفاده از آزمون مونت‌کارلو محاسبه و ترسیم می‌گردد؛ به‌طوری‌که اگر تابع دومتغیره رایپلی در داخل این محدوده قرار گیرد، الگوی اجتماع‌پذیری مشاهده شده با الگوی مستقل تفاوت آماری معنی‌داری نخواهد داشت، به‌عبارت دیگر گروه‌های مورد بررسی اثر متقابل معنی‌داری بر هم ندارند، اما اگر تابع دومتغیره رایپلی بالاتر از این محدوده قرار گیرد، نشانه وجود ارتباط مکانی مثبت از نوع جذب و اگر پایین‌تر از این محدوده واقع شود، نشان‌دهنده ارتباط مکانی منفی از نوع دفع در بین گونه‌ها با گروه‌های مختلف مورد بررسی است (اخوان و ثاقب‌طالبی، ۲۰۱۲). در هر حال شاخص رایپلی ابزار قدرتمندی است که می‌تواند در تمام مقیاس‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش برای حالت دومتغیره تابع رایپلی فاصله مورد عمل برای محاسبه تابع ۵۰ متر در نظر گرفته شده است. از آن‌جا که درختان موجود در طبقه قطری بزرگ‌تر بر رویش درختان موجود در طبقات قطری کوچک‌تر اثرگذار هستند، ولی درختان طبقات قطری کوچک‌تر بر رویش درختان قطورتر تأثیر چندانی ندارند، در محاسبه‌های انجام شده، مکان درختان طبقه قطری بزرگ‌تر ثابت و مکان درختان طبقه قطری کوچک‌تر، متغیر در نظر گرفته شد (ناکاشی‌زوکا، ۲۰۰۱؛ چیپریوتی و آگوتار، ۲۰۰٤؛ اخوان و ثاقب‌طالبی، ۲۰۱۲). برای انجام محاسبه‌های مربوطه و تفسیر نتایج، در ترکیب‌های طبقات قطری، طبقات میان‌قطر، قطور و خیلی‌قطور ثابت و طبقه قطری کم‌قطر، متغیر در نظر گرفته شد.

کلیات محاسبه‌ها مربوط به تعیین مقادیر تابع یک‌متغیره و دومتغیره رایپلی در این بررسی و حدود مونت‌کارلو با ۹۹ بار شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار Programita 2010 (ویگاند و مولونی، ۲۰۰٤) انجام شد.

1- Independence

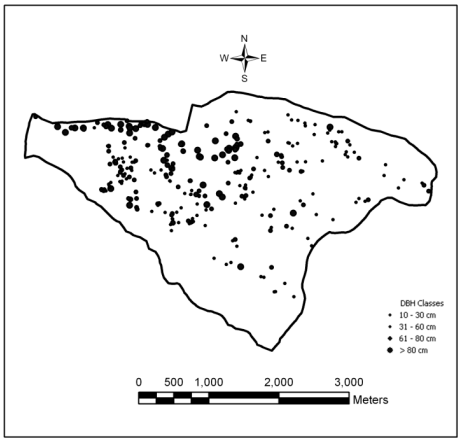
نتایج

در منطقه مورد مطالعه در مجموع ۳۱۳ پایه ثبت و الگوی مکانی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طورکه در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد توزیع پراکنش قطری گونه ملج در منطقه مورد مطالعه به‌صورت کم‌شونده می‌باشد.



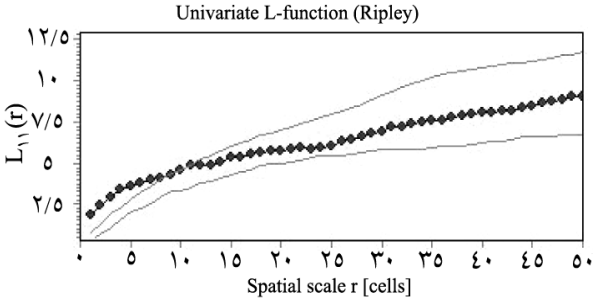
شکل ۳- پراکنش قطری گونه ملج در منطقه مورد مطالعه.

الگوی مکانی پراکنش گونه ملج: در شکل ٤ نقشه موقعیت مکانی گونه ملج با کلاسه‌های قطری مختلف در منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است. همان‌طور که ذکر گردید در تابع K رایپلی چنانچه مقدار تابع محاسبه شده از مقادیر اطمینان مونت‌کارلو بزرگ‌تر، مساوی یا کوچک‌تر باشد الگوی مکانی درختان به ترتیب کپه‌ای، تصادفی یا یکنواخت خواهد بود.



شکل ٤- نقشه موقعیت مکانی گونه ملج در منطقه مورد مطالعه.

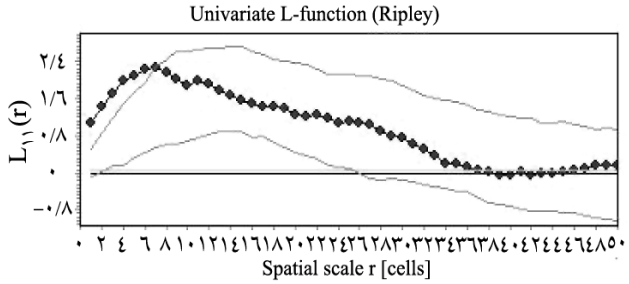
در این پژوهش الگوی پراکنش مکانی گونه ملج تا شعاع ۵۰ متری مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از این تابع نشان داد در مقیاس کم‌تر از ۱۰ متر تابع L(d) بالاتر از حدود مونت‌کارلو قرار دارد و بنابراین می‌توان بیان نمود که الگوی پراکنش این گونه در شعاع کم‌تر از ۱۰ متر، کپه‌ای می‌باشد. در فاصله‌های بیش‌تر از ۱۰ متر، تابع L(d) در داخل محدوده مونت‌کارلو قرار دارد، از این‌رو برای فاصله‌های بیش‌تر از ۱۰ متر، الگوی مکانی گونه ملج با الگوی پراکنش تصادفی اختلاف معنی‌داری ندارد.



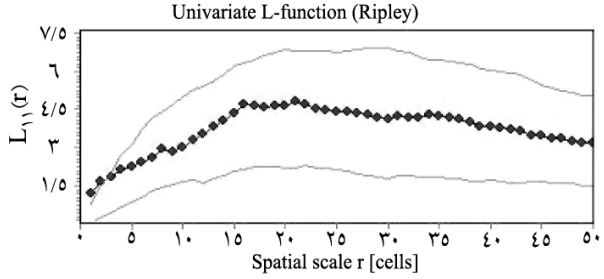
شکل ۵- مقدار تابع L(d) و حدود اطمینان مونت‌کارلو برای گونه ملج.

از آن‌جایی‌که این فرض مطرح بوده است که کپه‌ای بودن الگوی درختان کم‌قطر ممکن است به‌دلیل تأثیر درختان کلاسه‌های دیگر (اثر متقابل) باشد، از تابع دومتغیره K رایپلی به‌منظور بررسی اثر متقابل استفاده گردیده است. ابتدا الگوی مکانی گونه ملج در هر یک از کلاسه‌های قطری (کم‌قطر، میان‌قطر، قطور و خیلی‌قطور) با استفاده از تابع یک‌متغیره K رایپلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در کلاسه قطری کم‌قطر (۳۰-۱۰ سانتی‌متر) با توجه به قرار گرفتن تابع L در بالای حدود مونت‌کارلو در شعاع‌های کم‌تر از ۱۰ متر، این کلاسه دارای الگوی کپه‌ای است (شکل ٦) و با افزایش طبقه قطری و با توجه این‌که تابع L در داخل محدوده مونت‌کارلو قرار دارد، الگوی مکانی ملج به حالت تصادفی بودن تمایل دارد (شکل‌های ۷، ۸ و ۹)؛ به‌عبارتی کپه‌ای بودن تنها در کلاسه‌های قطری کم و آن هم در فاصله‌های کم رخ می‌دهد. با توجه به اثرگذاری درختان طبقه قطری بزرگ‌تر بر رویش درختان طبقات قطری کوچک‌تر، اثر متقابل درختان کلاسه‌های کم‌قطر با سایر کلاسه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج تابع دومتغیره رایپلی بیانگر آن است که اثرات متقابل تقریباً مشابهی بین

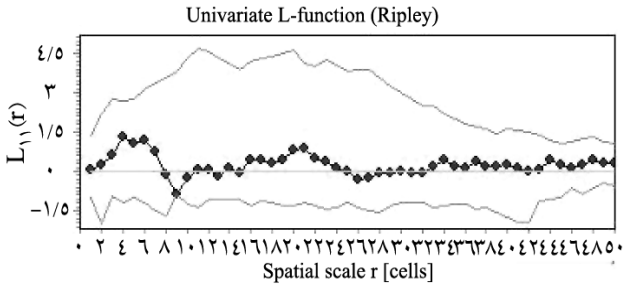
کلاسه‌های قطری کم و طبقات دیگر وجود دارد، به‌طوری‌که این اثر متقابل بیش‌تر از نوع منفی یا دفع می‌باشد (شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲)؛ به بیان دیگر درختان کلاسه کم‌قطر و سایر کلاسه‌ها تمایلی به حضور در کنار یکدیگر ندارند.



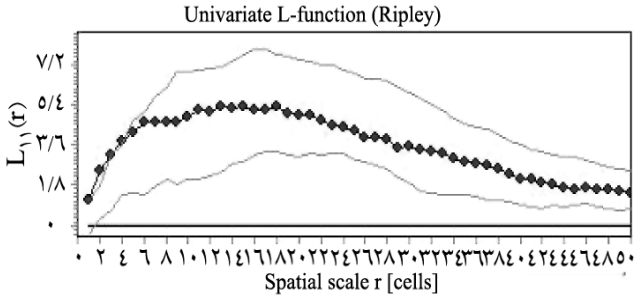
شکل ٦- مقدار تابع L(d) و حدود اطمینان مونت‌کارلو برای کلاسه کم‌قطر گونه ملج.



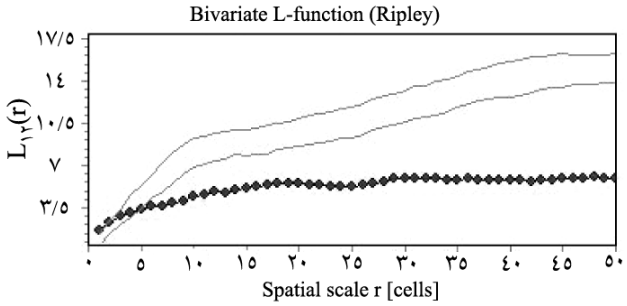
شکل ۷- مقدار تابع L(d) و حدود اطمینان مونت‌کارلو برای کلاسه میان‌قطر گونه ملج.



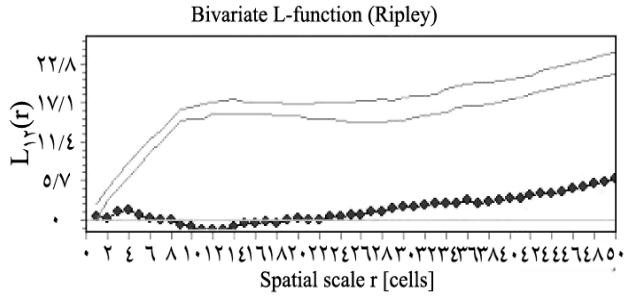
شکل ۸- مقدار تابع L(d) و حدود اطمینان مونت‌کارلو برای کلاسه قطور گونه ملج.



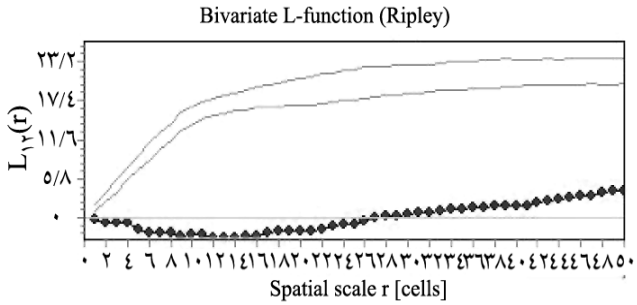
شکل ۹- مقدار تابع L(d) و حدود اطمینان مونت‌کارلو برای کلاسه خیلی‌قطور گونه ملج.



شکل ۱۰- نمودار تابع دومتغیره رایپلی و حدود مونت‌کارلو بین کلاسه قطری کم‌قطر و میان‌قطر.



شکل ۱۱- نمودار تابع دومتغیره رایپلی و حدود مونت‌کارلو بین کلاسه قطری کم‌قطر و قطور.



شکل ۱۲- نمودار تابع دومتغیره رایپلی و حدود مونت‌کارلو بین کلاسه قطری کم‌قطر و خیلی‌قطور.

بحث

در این پژوهش ساختار گونه ملج در منطقه مورد مطالعه به شکل نمودار کم‌شونده به‌دست آمد. در واقع منحنی پراکنش توده‌های جنگلی ناهم‌سال تابع منحنی زنگوله‌ای شکل (پراکنش نرمال) نیست بلکه حالت کم‌شونده دارد به این ترتیب که تعداد درختان کم‌قطر به مراتب بیش‌تر از درختان قطور می‌باشد. در حقیقت ساختار جنگل‌های طبیعی از جمله منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در سطوح وسیع همیشه حالت ناهم‌سالی دارند.

نتایج این مطالعه بیانگر آن است که الگوی مکانی گونه ملج در منطقه مورد مطالعه ترکیبی از الگوی کپه‌ای و تصادفی است؛ که حالت کپه‌ای در مقیاس‌های کم‌تر از ۱۰ متر رخ می‌دهد. علوی و همکاران (۲۰۰٦) الگوی مکانی گونه ملج را با استفاده از روش میانگین مربعات حالت بینابینی بین الگوی تجمعی و تصادفی ذکر نمودند. نویسندگان بیان نمودند که روش میانگین مربعات در آشکارسازی الگوهای بینابینی ناتوان است و الگوی بالا به‌صورت بصری و براساس پراکنش گونه ملج در منطقه مورد مطالعه و نمودار میانگین واریانس و اندازه بلوک تعیین گردیده است، در صورتی که در این پژوهش و براساس روش K رایپلی می‌توان الگوی مکانی یک گونه را به‌صورت دقیق‌تر و عینی‌تر آشکارسازی نمود. علی‌جانی و فقهی (۲۰۱۱) نیز با استفاده از شاخص زاویه یکنواخت، الگوی مکانی گونه ملج را تصادفی با تمایل کم به حالت کپه‌ای تعیین نمودند. همچنین نتایج این پژوهش با مطالعه ژن و همکاران (۲۰۱۲) که دریافتند الگوی مکانی گونه ملج در مقیاس‌های کم‌تر از ۱۰ متر حالت کپه‌ای دارد، مطابقت دارد. تیلور و کویین (۱۹۸۸) و مناب و همکاران (۲۰۰۰) به این نتیجه دست یافتند که الگوی پراکنش بسیاری از گونه‌ها در جوامع جنگلی به‌صورت کپه‌ای یا منظم می‌باشد. نتایج

این مطالعه با مطالعه کینت و همکاران (۲۰۰۰) که بیان می‌دارند توزیع تصادفی در جنگل به‌ندرت اتفاق می‌افتد، تطابق چندانی ندارد.

تجزیه و تحلیل الگوی مکانی گونه ملج در هر یک از کلاسه‌های قطری نشان داد که تنها در کلاسه قطری کم‌قطر، تجمعی بودن پایه‌های ملج مشهود است و سایر کلاسه‌ها تمایلی به الگوی تجمعی نشان نمی‌دهند. می‌توان استنباط نمود، با توجه به این که دو عامل بیماری مرگ نارون و قاچاق چوب، حضور گونه ملج را در جنگل‌های شمال ایران تهدید می‌نمایند، پایه‌های کلاسه قطور و خیلی‌قطور این گونه در اثر این دو عامل و به‌ویژه قاچاق چوب از بین رفته و موجب پراکنده شدن آن در سطح جنگل شده است. این که چرا گونه ملج در کلاسه‌های قطری کم‌قطر، در فاصله‌های کوتاه دارای الگوی کپه‌ای می‌باشد، دلایل زیر را می‌توان مطرح نمود. گراز (۲۰۰۳) اشاره می‌نماید که نحوه زادآوری، موقعیت مکانی یک گونه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بذر گونه ملج از نوع فندقه بالدار بوده و به آسانی توسط باد انتشار می‌یابد؛ از طرف دیگر گونه ملج از نظر اکولوژیکی، پر نیاز بوده و به مکان‌های امن برای استقرار بذرهای خود احتیاج دارد (علی‌جانی و فقهی، ۲۰۱۲)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد در مناطقی که گونه‌های کم‌قطر ملج حضوری تجمعی دارند، شرایط رویشگاهی وضعیت مناسب‌تری نسبت به مناطق دیگر داشته باشد، هر چند با توجه به نیاز نوری گونه ملج، رقابت ایجاد شده پس از استقرار نهال‌های این گونه در زنده‌مانی آن اثرگذار است. دلیل دیگر در خصوص کپه‌ای بودن درختان کم‌قطر این است که درختان کلاسه قطری پایین‌تر معمولاً مورد توجه قاچاقچیان چوب نبوده و به همین دلیل این درختان می‌توانند موجودیت و کپه‌ای بودن خود را حفظ نمایند. البته باید اشاره داشت اثر متقابل گونه ملج با سایر گونه‌ها نیز ممکن است باعث گردیده باشد گونه ملج به الگوی کپه‌ای دست یافته باشد. همان‌طورکه علی‌جانی و فقهی (۲۰۱۲) اشاره می‌نمایند گونه ملج دارای رقابت بین‌گونه‌ای است و تمایل به حضور در کنار سایر گونه‌ها دارد. به‌دلیل این‌که ثبت موقعیت مکانی گونه‌های درختی دیگر به‌علت وسعت منطقه مورد مطالعه (در حدود ۱۰۰۰ هکتار) امکان‌پذیر نبوده است، با قاطعیت نمی‌توان در مورد اثرات متقابل (منفی یا مثبت) گونه ملج و سایر گونه‌ها با به‌کارگیری تابع K رایپلی بیان نمود. به‌طورکلی می‌توان گفت چنان‌چه عامل محدودکننده و مختل‌کننده برای گونه ملج وجود نداشته باشد، این گونه می‌تواند به سرعت خود را در محل مستقر نماید. نتایج تابع دومتغیره رایپلی نشان می‌دهد که رابطه بین کلاسه قطری کم‌قطر و سایر کلاسه‌ها از نوع منفی است؛ با توجه به این که گونه ملج به مقدار زیادی حرارت احتیاج دارد (مصدق، ۱۹۹٦)، شاید بتوان گفت به‌دلیل رقابت برای نور بیش‌تر و

در نتیجه حرارت بیش‌تر، بین درختان کلاسه کم‌قطر با سایر کلاسه‌ها، اجتماع‌پذیری از نوع دفع وجود دارد؛ چرا که با افزایش قطر درخت و گستردگی تاج آن‌ها، رقابت به‌دلیل سایه‌اندازی تاج درخت، افزایش می‌یابد (اخوان و ثاقب‌طالبی، ۲۰۱۲) نتایج مطالعه رزاس و همکاران (۲۰۰۹) در جنگل‌های بهره‌برداری شده شمال‌غرب اسپانیا نیز نشان داد که به‌دلیل رقابت، نوعی اثر متقابل منفی و دفع، بین درختان کم‌قطر و قطور وجود دارد. نتایج این مطالعه، کارایی مناسب تابع تک‌متغیره و دومتغیره K رایپلی را در تجزیه و تحلیل الگوی مکانی و همچنین بررسی اجتماع‌پذیری و رقابت درون‌گونه‌ای درختان ملج نشان می‌دهد. همان‌طورکه دل (۱۹۹۸) بیان می‌دارد عوامل مورفولوژیکی، عوامل جامعه‌شناسی گیاهی (اثر متقابل بین‌گونه‌ای) و عوامل محیطی از جمله عوامل مؤثر در ایجاد الگوی یک گونه می‌باشند، که در این مطالعه تنها به استفاده از تابع K رایپلی در آشکارسازی الگوی مکانی گونه ملج بدون در نظر گرفتن اطلاعات سایر گونه‌ها پرداخته شده است. بدیهی است چنان‌چه اطلاعات سایر گونه‌ها و متغیرهای محیطی در بررسی الگوی مکانی یک گونه به‌کار گرفته شود، با اطمینان بیش‌تری می‌توان الگوی به‌دست آمده را تجزیه و تحلیل نمود.

ساختار توده جنگلی (الگوی مکانی) نقش مهمی در شناخت و توصیف اکوسیستم‌های جنگلی، توسعه و تحول جنگل و تنوع زیستی مناطق جنگلی، ایفا می‌نماید (نوری و همکاران، ۲۰۱۲). آگاهی از ساختار مکانی گونه‌ها به مدیران جنگل در تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار جنگل در عملیات پرورشی، جنگل‌کاری و نشانه‌گذاری نیز کمک می‌نماید، به‌طوری‌که با مشاهده الگوهای ساختاری موجود در طبیعت، جنگل‌شناس شناختی از ویژگی‌های اکولوژیکی گونه‌های مختلف به‌دست آورده و با استفاده از عملیات نشانه‌گذاری می‌تواند به تنظیم موقعیت مکانی درختان بپردازد، همچنین به‌منظور جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف می‌توان از ساختار طبیعی الگوبرداری کرد (علی‌جانی و فقهی، ۲۰۱۲). نظر به این‌که گونه ملج یکی از با ارزش‌ترین گونه‌های بومی جنگل‌های شمال کشور می‌باشد و با توجه به این‌که این گونه به‌دلیل قطع بی‌رویه پایه‌ها و هم‌چنین بیماری مرگ نارون در معرض خطر قرار دارد، اهمیت مطالعات بیش‌تر در زمینه ساختار و الگوی مکانی این گونه در توده‌های جنگلی و دخالت دادن آن در مطالعات بوم‌شناختی مرتبط با مناطق جنگلی را بیش از پیش آشکار می‌نماید.

منابع

1.Akhavan, R. and Sagheb Talebi, Kh. 2012. Application of bivariate Ripley's K-function for studying competition and spatial association of trees (Case Study: intact Oriental beech stands in Kelardasht). Iran. J. For. Pop. Res. 19: 4. 632-644. (In Persian)

2.Akhavan, R., Sagheb Talebi, Kh., Hassani, M. and Parhizkar, P. 2010. Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. Iran. J. For. Pop. Res. 18: 2. 322-336. (In Persian)

3.Alavi, S.J., Zahedi Amiri, Gh. and Marvie Mohadjer, M.R. 2006. An investigation of spatial pattern in Wych Elm (Ulmus glabra) in Hyrcanian forests. Iran. J. Natur. Resour. 58: 793-804. (In Persian)

4.Alijani, V. and Feghhi, J. 2011. Investigation on the Elm (*Ulmus glabra* Hudson) Spatial Structure to Apply for Sustainable Management (Case Study: Gorazbon district, Kheirud Forest). J. Environ. Stud. 60: 35-44.

5.Besag, J. 1977. Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. J. R. Stat. Soc. 39: 2. 193-195.

6.Bauerle, H. and Nothdurft, A. 2011. Spatial modeling of habitat trees based on line transect sampling and point pattern. Can. J. For. Res. 41: 715-727.

7.Camarero, J.J., Gutierrez, E. and Fortin, M.J. 2000. Spatial pattern of sub-alpine grassland ecotones in the Spanish central Pyrenees, Forest Ecology and Management, 134: 1-16.

8.Cipriotti, P.A. and Aguitar, M.R. 2004. Effects of grazing on patch structure in a semi-arid two-phase vegetation mosaic. J. Veg. Sci. 16: 57-66.

9.Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for spatial data. Wiley, New York, 900p.

10.Dale, M.R.T. 1999. Spatial pattern analysis in plant ecology. Cambridge University Press, UK, 326p.

11.Dounavi, A., Koutsias, N., Ziehe, H. and Hattemer, H. 2010. Spatial patterns and genetic structures within beech populations (*Fagus sylvatica* L.) of forked and non-forked individuals. Europ. J. For. Res. 129: 1191-1202.

12.Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Namiranian, M. 2008. Investigation on spatial pattern of trees in Zagros forest. J. Iran. Natur. Resour. 60: 4. 1319-1328. (In Persian)

13.Goreaud, F., Courbaud, B. and Collinet, F. 1997. Spatial structure analysis applied to modeling forest dynamics. IUFRO workshop: Empirical and process based models for forest tree and stand growth simulation. Novas Technologies, Oerias, Portugal, Pp: 155-172.

14.Gray, H. and He, L. 2009. Spatial point pattern analysis for detecting density dependent competition in a boreal chronosequence of Alberta. Forest Ecology and Management, 259: 98-106.

15.Graz, P.F. 2006. Spatial diversity of dry savanna woodlands, assessing the spatial diversity of a dry savanna woodland stand in northern Namibia using neighbourhood-based measures. Biodiversity and Conservation, 15: 1143-1157.
16.Jannat Rostami, M., Zare Chahoki, M.A., Azarnivand, H. and Ebrahimi Dorcheh, Kh. 2009. Survey and analysis of spatial pattern of plant species in marginal rangelands Hoz-e-Soltan Qom. Watershed Management Researches (Pajouhesh and Sazandegi). 84: 72-80.
17.Kint, V., Lust, N., Ferris, R. and Olsthoorn, A.F.M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scote Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Forests. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, Fuera de serie. 1: 147-163.
18.Kint, V., Robert, D.W. and Noel, L. 2004. Evaluation of sampling methods for estimation of structural indices in forest stands. Ecological Modeling, 180: 461-476.
19.Leopold, D.J., Parker, G.R. and Ward, J.S. 1985. Tree spatial patterns in an old-growth forest in east-central Indiana. In: Dawson, J.O., Majerus, K.A. (Eds.), Proceedings of the Fifth Central Hardwood Forest Conference, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL, Pp: 151-164.
20.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. Forestry, 80: 3. 337-349.
21.Lotwick, H.W. and Silverman, B.W. 1982. Methods for analyzing spatial processes of several types of points. J. R. Stat. Soc. 44: 406-413.
22.Manabe, T., Nishimura, N., Miura, M. and Yamamoto, S. 2000. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. Plant Ecology, 151: 181-197.
23.Martinez, I., Wiegand, T., Gonzalez-Taboada, F. and Obesco, J.R. 2010. Spatial associations among tree species in a temperate forest community in North-western Spain. Forest Ecology and Management, 260: 456-465.
24.Marvie Mohadjer, M.R. 2005. Silviculture. University of Tehran Press, 387p. (In Persian)
25.Mosaddegh, A. 1996. Silviculture. University of Tehran Press, 481p. (In Persian)
26.Nakashizuka, T. 2001. Species coexistence in temperate, mixed deciduous forests. Trends in Ecology and Evolution, 16: 205-210.
27.Pourreza, M., Hosseini, S.M. and Zohrevandi, A.A. 2012. Spatial variations of diameter of Pistacia atlantica (Desf.) trees in Zagros area (Case Study: Pirkashan, Kermanshah). J. Wood For. Sci. Technol. 19: 3. 1-19. (In Persian)
28.Nouri, Z., Zobeiri, M., Feghhi, J. and Marvi Mohajer, M.R. 2012. Investigationn on the forest structure and trees spatial pattern in *Fagus orientalis* stands of Hyrcanian forests of Iran (Case Study: Gorazbon district of Kheyrud forest). J. Natur. Environ. In Press. (In Persian)

29.Rozas, V., Zas, R. and Solla, A. 2009.Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain. Europ. J. For. Res. 128: 273-285.
30.Salas, C., Le May, V., Nunez, P., Pacheco, P. and Espinosa, A. 2006. Spatial patterns in an old-growth *Nothofagus obliqua* forest in south-central Chile. Forest ecology and management, 231: 38-46.
31.Taylor, A.H. and Quin, Z. 1988. Regeneration patterns in old-growth *Abies-Betula* forests in the Wolong natural reserve, Sichuam, China. J. Ecol. 76: 1204-1218.
32.Wang, X., Ye, J., Li, B., Zhang, J., Lin, F. and Hao, Z. 2010. Spatial distributions of species in an old- growth temperate forest, northeastern China. Can. J. For. Res. 40: 1011-1019.
33.Wiegand, T. and Moloney, K.A. 2004. Rings, circles, and null-models for points pattern analysis in ecology. Oikos, 104: 209-229.
34.Zahedi Amiri, Gh. 2003. Determining Criteria and Indicators of Forest Sustainability and their quantification. Internal Report. Faculty of Natural Resources. University of Tehran.
35.Zhang, Q., Zhang, Y., Peng, S., Yirdaw, E. and Wu, N. 2009. Spatial structure of Alpine trees in Mountain Baima Xueshan on the southeast Tibetan plateau. Silva Fennica, 43: 2. 197-208.
36.Zhen, L., Li, H., Dong, Z., Li, G., Wan, L. and Yue, Y. 2012. The Spatial Point Pattern of *Ulmus pumila* Population in Two Habitats in the Otindag Sandy Land. Scientia Silvae Sinicae, 48: 1. 29-34. (In Chinese)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 20 (4), 2014
http://jwfst.gau.ac.ir

Application of Ripley's K-Function in Detecting Spatial Pattern of Wych Elm Species in Khayroud Forests, North of Iran

***S.J. Alavi[1], Gh. Zahedi Amiri[2], Z. Nouri[3] and M.R. Marvi Mohajer[4]**
[1]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Sea Science, University of Tarbiat Modares, I.R. Iran, [2]Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran, [3]Ph.D. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran, [4]Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran
Received: 08/26/2012; Accepted: 12/10/2013

Abstract

One of the most important characteristics of plant communities is spatial pattern of trees. Spatial pattern of trees are important structural characteristics of forests that their studies have extensive applications in sustainable forest management. Quantifying the spatial structure is an important component in describing natural ecosystems. Because of its importance as threatened but valuable species, spatial pattern of Wych elm has been studied in order to help its management and restoration. The current research was done in Namkhaneh District, Khayroud Forests belonging to University of Tehran. Due to the extent of study area and being dispersed in the area, the location of Wych elm trees larger than 10 cm in DBH was recorded by Global Positioning System. Spatial pattern of elm trees has been analyzed using univariate K-Ripley function. The results showed both whole population and small size trees had clumped distribution at the scales <10 m and this species tend to have random pattern at greater scales. In order to investigate if clumped pattern at small scales is due to seed trees or not, all of measured trees were assigned into four diameter size classes as small, medium, large and extra-large timbers. Spatial association among small size class and other classes were analyzed using bivariate Ripley's K-function. Results showed there exists repulsion between small size classes and other classes and it seems suitable site conditions, reluctancy of illegal cutters to small-diameter Wych elm trees and interactions with other species are responsible for clumped pattern at smaller scales.

Keywords: Wych elm, Spatial pattern, Dutch elm disease, K-Ripley function, Association

* Corresponding Author; Email: j.alavi@modares.ac.ir