جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴
ص۱۰۷-۱۲۰

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱۲/۲۶

بررسی الگوی مکانی و رقابت درون‌گونه‌ای بلندمازو (*Quercus Castaneifolia* C.A.Mey.) با استفاده از تابع K رایپلی (مطالعهٔ موردی: پارسل شاهد جنگل نکاـ ظالمرود، ساری)

❖ **فریده امیدوار حسینی؛** دانشجوی کارشناسی ارشد رشتهٔ جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
❖ **رضا اخوان*؛** دانشیارپژوهش، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران
❖ **هادی کیادلیری؛** استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
❖ **اسدالله متاجی؛** دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

یکی از جنبه‌های آشکار ساختار یک تودهٔ جنگلی الگوی مکانی درختان است. رقابت از عوامل تأثیرگذار بر ساختار جنگل است. شناخت رقابت در جنگل به‌ویژه هنگامی اهمیت دارد که هدف از مدیریتِ جنگل تقلید از پویایی اکوسیستم‌های طبیعی باشد. به این منظور، یک پارسل مدیریت‌نشده به مساحت ۲۶ هکتار در منطقهٔ نکا انتخاب و کلیهٔ درختان بلندمازو با قطر برابرسینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر مورد اندازه‌گیری قطر قرار گرفته و مختصات دکارتی آن‌ها تعیین شد. سپس درختان اندازه‌گیری‌شده براساس قطر برابرسینه به چهار کلاسهٔ کم‌قطر، میان‌قطر، قطور، و خیلی قطور تقسیم شدند. به‌منظور بررسی الگوی مکانی درختان بلندمازو در کل منطقه و در هر کلاسهٔ قطری از تابع تک‌متغیره K رایپلی و برای بررسی رقابت درون‌گونه‌ای از تابع دومتغیرهٔ K رایپلی استفاده شد. نتایج نشان داد که الگوی مکانی درختان به‌دلیل سنگین‌بودن بذر بلندمازو و فراوانی زیاد درختان جوان در فواصل کوتاه خوشه‌ای و با بزرگ‌شدن مقیاس بررسی تصادفی می‌شود. نتایج بررسی تأثیرات متقابل بین کلاسه‌های مختلف قطری درختان بلندمازو نشان داد که تأثیرات رقابتی مثبت‌ومنفی متفاوتی در کلاسه‌های مختلف قطری‌نسبت‌به هم دارند که در فواصل متفاوتی با توجه به ابعاد درختان اتفاق می‌افتد که متأثر ازنورپسندی، محدودیت پراکنش بذر، و رقابت درون‌گونه ای این‌گونه است. با توجه به اینکه پراکنش بلندمازوها از الگوی تصادفی تبعیت کرده، بنابراین دخالت‌های جنگل‌شناسی باید علاوه بر ملاحظهٔ سایر عوامل مؤثر در نشانه‌گذاری، به گونه‌ای باشد که برداشت فقط به‌صورت پایه‌ای و تصادفی انجام شود و توده به‌سمت الگوی تصادفی سوق‌داده شود.

واژگان کلیدی: الگوی مکانی، بلندمازو، تابع Kرایپلی، تودهٔ دست‌نخورده، رقابت درون‌گونه‌ای.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۴۴۷۸۷۲۸۲ و ۰۹۱۲۳۱۹۸۰۹۲- نمابر: ۶۵۷۵ ۴۴۷۹
Email: akhavan@rifr-ac.ir

مقدمه

یکی از ویژگی‌های اکولوژیک جوامع جنگلی، الگوی مکانیِ درختان است که می‌تواند برآیند ناهمگنی محیطی، آشفتگی‌های طبیعی و انسانی، رقابت درون یا بین‌گونه‌ای و عملکرد پیشینهٔ حیات باشد [۱]. گیاهان در هر منطقهٔ جغرافیایی یا در هر رویشگاهی به‌صورت تصادفی[1] یا غیرتصادفی پراکنده شده‌اند که پراکنش غیرتصادفی به دو شکل منظم[2] و خوشه‌ای[3] تقسیم می‌شود.

رقابت یک فرایند اکولوژیکی اساسی است که پویایی، زنده‌مانی، رشد، و همزیستی گونه‌های یک جمعیت را تنظیم می‌کند [۲]. به‌طور کلی، رقابت درختان را می‌توان به دو دستهٔ درون‌گونه‌ای[4] و بین‌گونه‌ای[5] تقسیم کرد. رقابت درختان در جنگل از جمله سازوکارهای حیاتی است که از عوامل مؤثر در فرایند توالی در جنگل بوده و بر ساختار تودهٔ جنگلی تأثیر می‌گذارد [۳]. الگوی پراکنش درختان در تودهٔ جنگلی نیز یکی از تبعات و تأثیرات رقابت در جنگل است. شناخت رقابت در جنگل به‌ویژه هنگامی مهم است که هدف از مدیریتِ جنگل تقلید از پویایی اکوسیستم‌های طبیعی باشد [۴، ۵]. از آنجا که رقابت فرایندی است که ابتدا بین درختان مجاور اتفاق می‌افتد، موقعیت مکانی درختان اطلاعات مفیدی از تأثیر رقابت در شرایط محیطی را به‌دست می‌دهد.

تاکنون شاخص‌های مختلفی برای بررسی این‌گونه ارتباطات بین دو گروه از گیاهان معرفی شده که یکی از بهترین این شاخص‌ها تابع دومتغیرهٔ K رایپلی است. تابع تک‌متغیرهٔ K رایپلی فقط برای نشان‌دادن وضعیت پراکنش گونه‌ها (تصادفی، خوشه‌ای، و منظم) است. در این روش، مختصات هر نقطه (درخت) ثبت و برای تعیین الگوی مکانی استفاده می‌شود که روش رایپلی [۶، ۷، ۸] از چنین اطلاعاتی استفاده می‌کند؛ مور در سال ۱۹۹۳ پیشگام استفاده از این روش بوده است [۹]. در مقابل تابع دومتغیرهٔ K رایپلی تأثیرات متقابل درختان یا الگوی اجتماع‌پذیری آن‌ها را بررسی می‌کند که می‌توان آن را به دو دسته اثر متقابل یا اجتماع‌پذیری مثبت یا جذب[6] و منفی یا دفع[7] تقسیم کرد.

از تحقیقات داخلی انجام‌گرفته در زمینهٔ بررسی الگوی مکانی درختان با استفاده از تابع K رایپلی، الگوی مکانی حفره‌های تجدیدحیات در مناطق مدیریت‌شده و مدیریت‌نشدهٔ جنگل خیرود نوشهر بررسی شد که به الگوهای تصادفی و یکنواخت دست یافتند [۱۰]. همچنین، الگوی مکانی درختان در مراحل تحولی جنگل در توده‌های دست‌نخوردهٔ راش در کلاردشت با استفاده از همین روش بررسی شد که به الگوهای خوشه‌ای و تصادفی رسیدند [۱۱]. در تحلیل الگوی مکانی کوچک مقیاس بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس به‌وسیلهٔ تابع K رایپلی به این نتیجه رسیدند که بلوط ایرانی الگوی مختلط داشته که با بزرگ‌شدن مقیاس بررسی، الگوی مکانی آن از کپه‌ای به تصادفی تغییر می‌کند [۱۲]. توده‌های دست‌نخوردهٔ راش خالص در منطقهٔ کلاردشت در چهار کلاسهٔ قطریِ کم‌قطر، میان‌قطر، قطور، و خیلی قطور با استفاده از تابع دومتغیرهٔ K رایپلی بررسی شد

1. random
2. regular
3. cluster
4. intra-specific
5. inter-specific
6. attraction
7. repulsion

و به این نتیجه رسیدند که درختان راش از کلاسه‌های مختلف قطری، تأثیرات رقابتی مثبت و منفی متفاوتی در مراحل مختلف تحولی نسبت به هم دارند [۱۳] .

تحقیقات خارجیِ انجام‌شده با استفاده از توابع تک‌متغیره و دومتغیرهٔ *K* رایپلی بسیار زیاد است که در اینجا فقط به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود. وات از پیشگامان مطالعهٔ الگوی مکانی گیاهان بود که این الگوها را طی مراحل مختلف توالی بررسی کرد [۱۴]. الگوی مکانی گونهٔ *Nothofagus oblique* در جنگل‌های سوزنی‌برگ آمیختهٔ شیلی، تصادفی و خوشه‌ای تعیین شد [۱۵]. در جنگل‌های بهره‌برداری‌شدهٔ شمال غرب اسپانیا نشان داده شد که به‌دلیل رقابت، نوعی اثر متقابل منفی (دفع) بین درختان کم‌قطر و قطور وجود دارد [۱۶]. در جنگل‌های آلپی تبت، تأثیرات متقابل درختان در کلاسه‌های مختلف قطری را بیشتر از نوع مثبت و جذب تشخیص دادند [۱۷].

جنگل‌های بلندمازو، پس از راشستان‌ها، باارزش‌ترین تیپ جنگلی شمال ایران به‌شمار می‌آیند؛ ازاین‌رو، مطالعهٔ ساختار مکانی و بررسی الگوهای اجتماع‌پذیری و تأثیرات متقابل آن‌ها، به‌ویژه بررسی رقابت، بسیار حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق تعیین الگوی مکانی درختان بلندمازو در سنین مختلف به‌منظور بررسی پویایی (دینامیک) جنگل، همچنین بررسی رقابت درون‌گونه‌ای بلندمازو بین کلاسه‌های مختلف قطری (کم‌قطر، میان‌قطر، قطور، و خیلی قطور) است. با بررسی سوابق تحقیق مشخص شد که بررسی الگوی مکانی درختان و تأثیرات متقابل آن‌ها بر گونه بلندمازو تاکنون در کشور انجام نشده و از این منظر این بررسی کاملاً جدید است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

برای انجام‌دادن این تحقیق پارسل شاهد شمارهٔ ۸/۱، سری ۳، بخش ۲ نکاچوب در حوضهٔ آبخیز ۷۵ در منطقهٔ نکا- ظالمرود به مساحت ۲۶ هکتار با جهت عمومی شمال غربی با متوسط ارتفاع ۵۰۰ متر بالاتر از سطح دریا انتخاب شد. این تحقیق در یک توده آمیخته بلوط- ممرز انجام شد که تحت هیچ‌گونه عملیات پرورشی و دخالت نبوده است. میانگین بارندگی سالیانه ۶۱۸/۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه‌آن۱۵/۵درجهٔ سانتی‌گراد است . اقلیم منطقه با استفاده از روش آمبرژه و دومارتن از نوع نیمه‌مرطوب معتدل است. تیپ خاک قهوه‌ای پسدوگلی تا قرمز پدزولیک و pH خاک عموماً خنثی تا اسیدی ضعیف است، ولی در عمق زیرین pH قلیایی دارد. در ناحیهٔ مطالعه‌شده دو تیپ جنگلی عمده قابل تفکیک است که عبارت‌اند از: تیپ بلوط خالص و تیپ بلوط- ممرز همراه با سایر پهن‌برگان [۱۸].

روش اجرای تحقیق

با انتخاب پارسل شاهد، مختصات اولین درخت در گوشهٔ جنوب غربی پارسل ۲۶ هکتاری به‌منزلهٔ نقطهٔ مبنای اول به‌وسیلهٔ دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (جی‌پی‌اس) در سیستم مختصات UTM برداشت و ثبت شد. از آن‌جا که در جنگل‌های هیرکانی شمال کشور فاصلهٔ درختان معمولاً کم و دقت دستگاه موقعیت‌یاب جهانی در بهترین حالت ۵ متر است، برای ثبت مختصات درختان موجود باید از روش فاصله- آزیموت [۹] استفاده می‌شد. به این صورت

که فاصله و آزیموت درخت دوم نسبت به نقطهٔ مبنای اول (درخت اول) با دستگاه ورتکس و قطب‌نمای سونتو اندازه‌گیری و تعیین و سپس با استفاده از روابط مثلثاتی به مختصات دکارتی (x,y) تبدیل شد. سپس مختصات درخت دوم به مختصات درخت اول (نقطهٔ مبنای اول) اضافه و درنتیجه مختصات دومین درخت به‌دست آمد. به‌همین ترتیب، در منطقهٔ بررسی‌شده فاصله و آزیموت هر درخت نسبت به درخت مبنای مربوطه سنجیده و به مختصات UTM تبدیل شد. بدین‌ترتیب، کل پایه‌های بلندمازو در منطقهٔ بررسی‌شده اندازه‌گیری و موقعیت مکانی آن‌ها ثبت شد. علاوه بر فاصله و آزیموت، قطر در ارتفاع برابرسینه نیز برای درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در طبقات قطری یک سانتی‌متری ثبت شد. در مرحلهٔ بعد، درختان اندازه‌گیری‌شده براساس اندازهٔ قطر برابرسینه به چهار کلاسهٔ قطری کم‌قطر (۷/۵ تا ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان‌قطر (۳۲/۶ تا ۵۲/۵ سانتی‌متر)، قطور (۵۲/۶ تا ۷۲/۵ سانتی‌متر)، و خیلی قطور (بیشتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر) [۱۹] تقسیم شدند. سپس تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از تابع K رایپلی به‌منظور تعیین الگوی مکانی درختان بلندمازو در کل منطقه و در هر کلاسهٔ قطری انجام شد. همچنین، آنالیز دومتغیره به‌منظور بررسی تأثیرات متقابل[1] بین کلاسه‌های قطری با تابع K رایپلی انجام شد.

تابع K رایپلی

تابع یک‌متغیرهٔ K رایپلی براساس تعداد نقاط (درخت) موجود در یک شعاع مشخص (r)، به بررسی الگوهای مکانی می‌پردازد. برخلاف روش نزدیک‌ترین همسایه، که فقط فاصله از یک نقطهٔ معین تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش را در نظر می‌گیرد، در روش رایپلی فواصل بین همهٔ جفت نقاط موجود در سطح بررسی‌شده در نظر گرفته می‌شود [۹]. این تابع برای یک الگوی نقطه‌ای مشخص به‌صورت رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود.

$$K_{(r)} = \frac{\bar{n}_{(r)}}{\rho} \qquad (۱)$$

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. امروزه به‌جای تابع K رایپلی از شکل اصلاح‌شدهٔ آن، یعنی تابع L، استفاده می‌شود [۲۰] که حالت خطی تابع K است و نیز واریانس K را تثبیت می‌کند [۲۱]. ماهیت $L_{(r)}$ به شکل تجمعی بوده و قادر است الگو را تا شعاع‌های مختلف از نقاط مرکزی تعیین کند. همچنین، نمایش و تفسیر تابع L نسبت به تابع K ساده‌تر است که به‌صورت رابطهٔ ۲ تعریف می‌شود.

$$L_{(r)} = \sqrt{\frac{K_{(r)}}{\pi}} - r \qquad (۲)$$

حال اگر مقدار تابع L برابر صفر باشد، نشان‌دهندهٔ الگوی تصادفی است که به‌عنوان فرض صفر در نظر گرفته می‌شود، اما اگر بزرگ‌تر از صفر باشد، نشان‌دهندهٔ الگوی خوشه‌ای و اگر کوچک‌تر از صفر باشد، نشان‌دهندهٔ الگوی منظم است.

به‌منظور بررسی اثر متقابل بین گروه‌های درختی و مطالعهٔ رقابت و اجتماع‌پذیری آن‌ها از تابع دومتغیرهٔ K_{12} رایپلی استفاده می‌شود. این تابع فواصل میان گونه‌های مختلف درختی یا فواصل بین درختان یک گونه با ابعاد مختلف را در یک نقشهٔ توزیع

1. interaction

مکانی درختان[1] در نظر می‌گیرد. مقدار $K_{۱۲}$ بـه تعـداد همسایه‌های مورد انتظار گونه یا گـروه ۲ در دایـره‌ای به شعاع r و به مرکزیت گونه یا گروه ۱ در یک تودهٔ جنگلی بستگی دارد [۲۲]. معمولاً در این حالت نیز از شکل اصلاح‌شدهٔ تـابع $K_{۱۲(r)}$ یعنـی $L_{۱۲(r)}$ اسـتفاده می‌شود که به‌صورت رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود.

$$L_{۱۲(r)} = \left(\sqrt{\frac{K_{۱۲(r)}}{\pi}} - r \right) \qquad (۳$$

مقادیر $L_{۱۲(r)} > ۰$ نشان‌دهندهٔ کشش یا جـذب و مقادیر $L_{۱۲(r)} < ۰$ نشان‌دهندهٔ دفـع بـین دو گـروه تـا فاصلهٔ r است و مقادیر $L_{۱۲(r)} = ۰$ حالت خنثـی بـین دو گروه را نشان می‌دهد که به‌عنوان فـرض صـفر در نظر گرفته می‌شود.

آزمون فرض صفر

ساده‌ترین فرض صفر، که به‌طور گسترده در آنالیزهای تک‌متغیره در نظر گرفته می‌شود، الگوی مکانی کـاملاً تصادفی است [۲۳]. برای آزمون فرض صـفر، نتـایج $L_{(r)}$ در سـطح احتمـال مشـخص بـا شـبیه‌سـازی مونت‌کارلو مقایسه می‌شود.درصورتی‌کـه مقـدار $L_{(r)}$ در داخل محدودهٔ مونت‌کارلو قرار گیرد، فرض صـفر تأیید و اگر خارج از این محدوده قرار بگیـرد، فـرض صـفر رد مـی‌شـود. در ایـن بررسـی، شـبیه‌سـازی مونت‌کـارلو ۹۹ بـار تکـرار شـد. در روش دومتغیـرهٔ رایپلی نیز، برای آزمون معنادار بودن تفاوت اثر متقابل مشاهده‌شده از نوع جذب یـا دفـع بـین گونـه‌هـا یـا گروه‌های مختلـف درختـان، بـا وضـعیت بـدون اثـر متقابل یا مستقل، که بـه‌عنـوان فـرض صـفر در نظـر گرفته می‌شود، حـدود اعتمـاد بـا اسـتفاده از آزمـون مونت‌کارلو محاسبه و ترسیم می‌شود؛ به‌طوری‌که اگر تابع $L_{۱۲}$ در داخل این محـدوده قـرار گیـرد، الگـوی اجتماع‌پذیری مشاهده‌شده با الگـوی مسـتقل تفـاوت آماری معناداری نخواهد داشت، اما اگر تابع $L_{۱۲}$ بالاتر از این محدوده قرار گیرد، نشانهٔ وجود ارتباط مکـانی مثبت از نوع جذب و اگر پـایین‌تـر از ایـن محـدوده واقع شود، نشان‌دهندهٔ ارتباط مکانی منفی از نوع دفع بین گونه‌ها یا گروه‌های مختلف بررسی‌شده است.

در تحقیق حاضر، فاصلهٔ مورد عمل برای محاسبهٔ تابع $L_{(r)}$ تک‌متغیره تا ۱۰۰ متر در نظـر گرفتـه شـد. این فاصله معمولاً برابر با نصف طول ضـلع کوچـک قطعهٔ بررسی‌شده است که در این تحقیق فاصلهٔ بـیش از ۱۰۰ متر نیز بررسی شد، ولـی تغییـری در الگـوی مکانی مشاهده نشد. در تابع دومتغیره نیز، بررسـی تـا فاصلهٔ ۵۰ متری انجام شد، چون اثر متقابـل درختـان در فواصل بیش از ۵۰ متر به حداقل خود می‌رسد [۹، ۱۵]. از آن‌جا که درختان موجـود در طبقـات قطـری بزرگ‌تر بر رویش درختان موجود در طبقـات قطـری کوچک‌تر اثرگذارنـد، ولـی درختـان طبقـات قطـری کوچک‌تر بر رویش درختـان قطـورتر تـأثیر چنـدانی ندارند [۲۴]، در محاسبه‌های انجام‌شده، مکان درختان طبقات قطری بزرگ‌تر ثابت و مکان درختـان طبقـات قطری کوچک‌تر در نرم‌افزار متغیر در نظر گرفته شـد [۲۵]. در این تحقیق، به‌دلیل وجود ناهمگنی در منطقهٔ مطالعـه‌شـده از لحـاظ توپـوگرافی بـرای انجـام‌دادن محاسبه‌ها در دو حالت تک‌متغیره و دومتغیره از گزینهٔ منطقهٔ ناهمگن نرم‌افزار استفاده شد. کلیهٔ محاسـبه‌هـا مربوط به تعیین مقادیر تـابع K رایپلـی بـا اسـتفاده از نرم‌افزار پروگرامیتا[2] انجام شد.

1. stem map

2. programita (© Thorsten Wiegand, 2006)

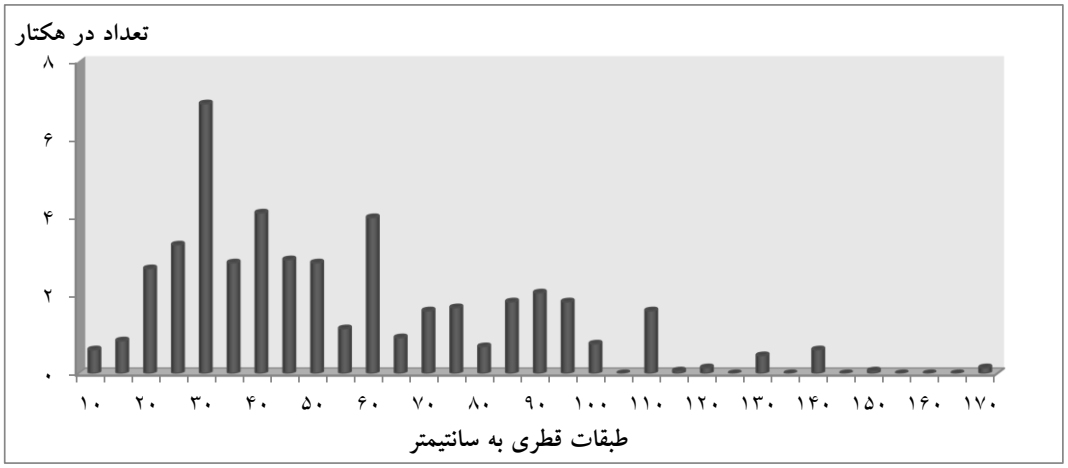
نتایج و بحث

با حذف مناطق عدم حضور بلندمازو و مناطق غیر قابل دسترس از پارسل ۲۶ هکتاری، در مجموع قطر برابر سینه ۶۱۰ درخت در عرصه‌ای به مساحت ۱۳ هکتار اندازه‌گیری و مختصات دکارتی آن‌ها تعیین شد. تراکم درختان به تفکیک کلاسه‌های قطری در جدول ۱ ارائه شده است. نمودار تعداد در هکتار درختان بلندمازو در پارسل شاهد در شکل ۱ ارائه شده است.

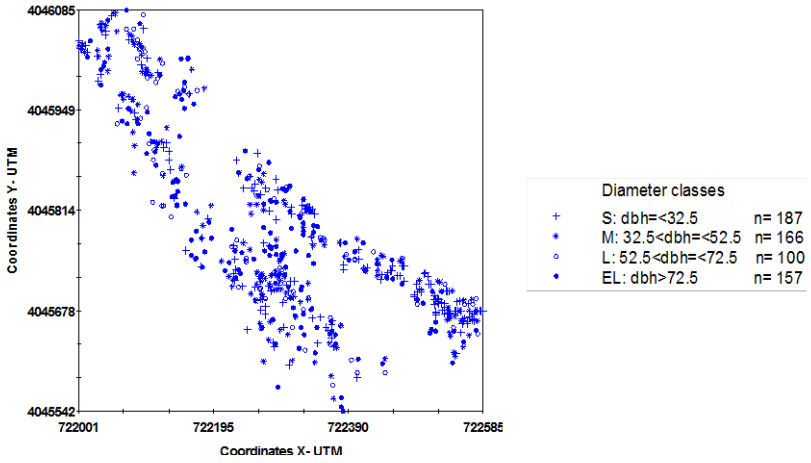
شکل ۲ نقشهٔ توزیع مکانی درختان منطقهٔ بررسی‌شده را به تفکیک کلاسه‌های قطری چهارگانه نشان می‌دهد.

جدول ۱. فراوانی درختان بلندمازو در کلاسه‌های قطری مختلف

کلاسهٔ قطری	کم‌قطر	میان‌قطر	قطور	خیلی قطور	جمع
فراوانی مطلق	۱۸۷	۱۶۶	۱۰۰	۱۵۷	۶۱۰
درصد فراوانی	٪۳۰/۶	٪۲۷/۳	٪۱۶/۴	٪۲۵/۷	٪۱۰۰



شکل ۱. نمودار پراکنش تعداد در طبقات قطری بلندمازو در پارسل ۳۰۸/۱

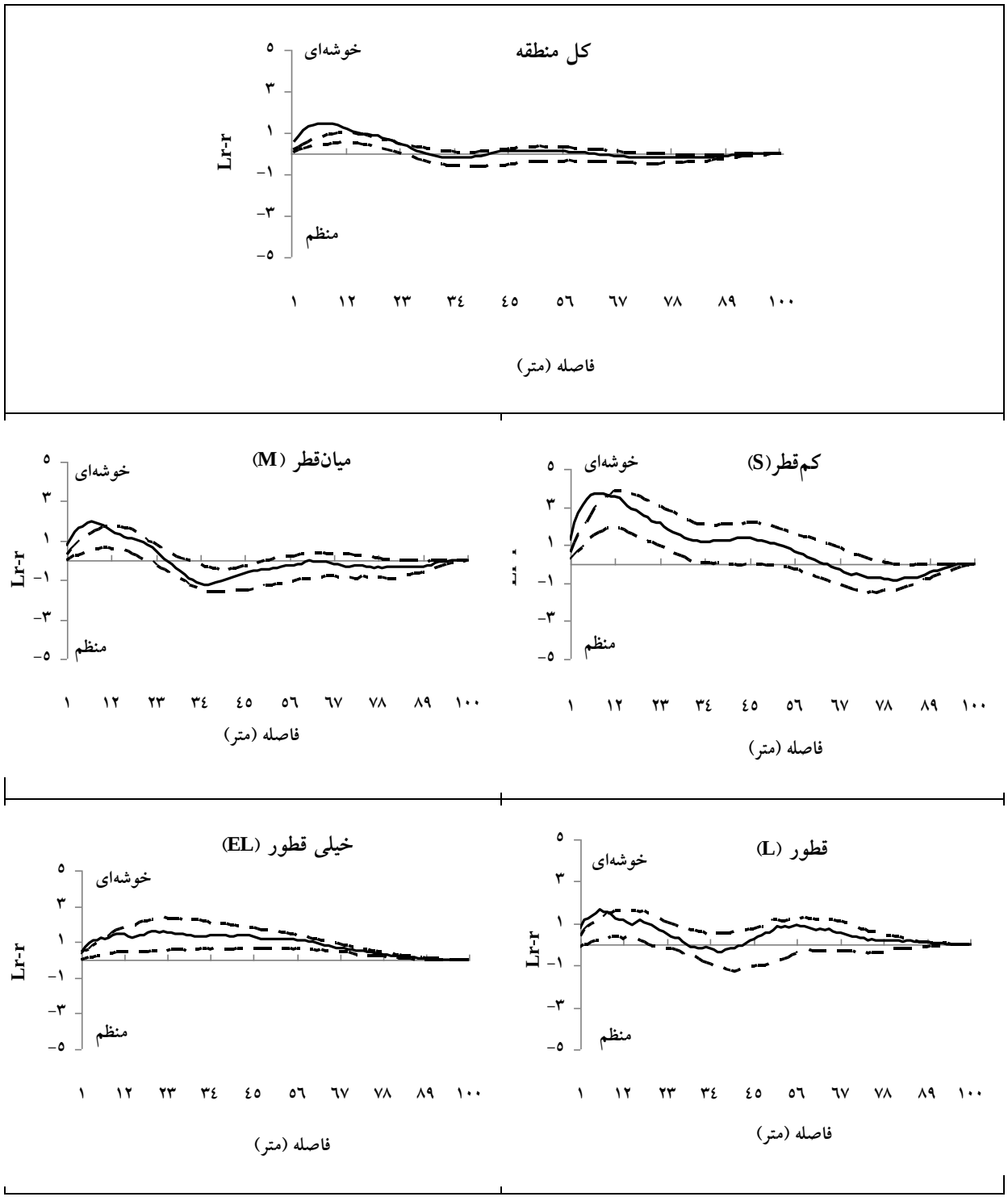


شکل ۲. الگوی مکانی درختان بلندمازو در منطقهٔ بررسی‌شده به تفکیک کلاسه‌های قطری

(**dbh**: قطر برابرسینه به سانتی‌متر؛ **n**: تعداد در کلاسهٔ قطری؛ حروف **S, M, L** و **EL** به‌ترتیب معرف کلاسه‌های قطری کم‌قطر، میان‌قطر، قطور، و خیلی قطورند)

تابع تک‌متغیرهٔ رایپلی

شکل ۳ الگوی پراکنش درختان بلنـدمـازو را در کـل منطقه و به تفکیک کلاسه‌های قطری براساس تـابع L نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار تابع $L_{(r)}$ و حدود مونت‌کارلو (محدودهٔ خط‌چین) در کل منطقه و به تفکیک کلاسه‌های قطری

با توجه به نمودار تابع L در شکل ۳ ملاحظه می‌شود که برای کل منطقهٔ مطالعه‌شده تا فاصلهٔ حدود ۱۳متری مقدار این تابع بالاتر از حدود مونت‌کارلو قرار گرفته و درنتیجه الگوی پراکنش درختان در این فاصله کاملاً خوشه‌ای است، اما پس از فاصلهٔ ۱۳متری تا شعاع ۱۰۰متری تابع L کاملاً در داخل حدود مونت‌کارلو قرار گرفته و به الگوی تصادفی می‌رسد. درختان کلاسه‌های قطری کم‌قطر و میان‌قطر به‌ترتیب تا فاصلهٔ حدود ۱۰متری و ۸متری به‌صورت خوشه‌ای‌اند و پس از این فاصله تا شعاع ۱۰۰متری الگو تصادفی است؛ چون تابع L به داخل حدود مونت‌کارلو نفوذ می‌کند. الگوی پراکنش درختان کلاسهٔ‌های قطور و خیلی قطور تا فاصلهٔ کوتاهی (حدود ۴متر) خوشه‌ای ضعیف است، چون تابع L تقریباً مماس با حدود مونت‌کارلو حرکت کرده و پس از این فاصله تا شعاع ۱۰۰متری مقدار تابع L داخل محدودهٔ مونت‌کارلو قرار گرفته و الگو تصادفی است.

تابع دومتغیرهٔ رایپلی

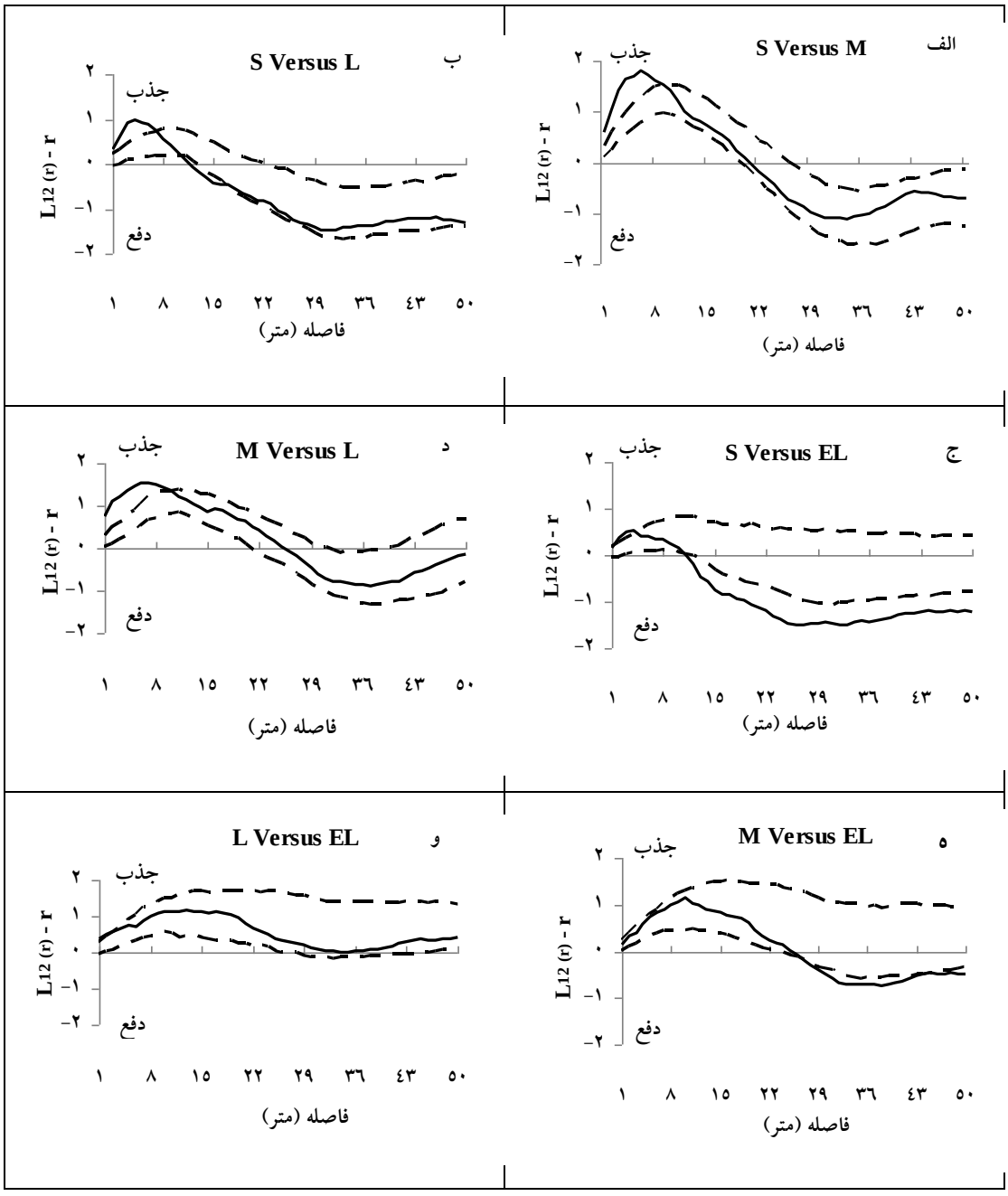
شکل ۴ تأثیرات متقابل متفاوتی بین کلاسه‌های مختلف قطری درختان بلندمازو را در سنین مختلف (جوانی، میانسالی، و مسن) با تابع $L_{12(r)}$ نشان می‌دهد. در سن جوانی، درختان کم‌قطر با درختان میان‌قطر (شکل ۴ـ الف) تا فاصلهٔ بیشتری (شعاع ۸/۵متری) نسبت به درختان قطور و خیلی قطور (شکل ۴ـ ب؛ ج) اثر متقابل مثبت یا جذب دارند (به‌ترتیب ۷ و ۴متر).

در کلاسهٔ کم‌قطر با خیلی قطور (شکل ۴ـ ج) از فاصلهٔ حدود ۱۰متر به بعد اثر متقابل منفی یا دفع وجود دارد. دربارهٔ تأثیرات متقابل درختان کم‌قطر با میان‌قطر (شکل ۴ـ الف) از فاصلهٔ حدود ۸/۵متری تا شعاع ۵۰متری تابع $L_{12(r)}$ در داخل محدودهٔ مونت‌کارلو قرار گرفته و اثر متقابل معناداری بین این دو کلاسهٔ قطری وجود ندارد. در میانسالی، درختان میان‌قطر با درختان قطور (شکل ۴ـ د) تا شعاع حدود ۸متری اثر متقابل مثبت یا جذب دارند و پس از آن، تا شعاع ۵۰متری بدون اثر متقابل معنادارند که حالت مستقل یا خنثی دارند. درختان میان‌قطر با درختان خیلی قطور (شکل ۴ـ ه) تا فواصل زیادی (حدود ۳۰متری) بدون اثر متقابل معنادارند و از این فاصله به بعد حالت دافعه پیدا می‌کنند. در کهنسالی (مسن)، درختان قطور با درختان خیلی قطور (شکل ۴ـ و)، با توجه به قرار گرفتن تابع $L_{12(r)}$ در همهٔ مقیاس‌ها در داخل محدودهٔ مونت‌کارلو، اثر متقابل معناداری ندارند و درواقع از هم مستقل‌اند.

پراکنش خوشه‌ای درختان کلاسهٔ کم‌قطر تا فاصلهٔ ۱۰متر اولیه را می‌توان به تعداد درخت بیشتر یا تراکم بیشتر (۱۸۷ اصله) نسبت به کلاسه‌های قطری بزرگ‌تر (قطور و خیلی قطور) نسبت داد [۲۶]. دلیل دیگر آن سنگین‌بودن بذر درخت بلندمازو است که زادآوری به‌صورت گروهی در زیر درختان مادری شکل می‌گیرد. با توجه به نمودار پراکنش تعداد در طبقات قطری (شکل ۱) مشاهده می‌شود که مثلاً طبقهٔ قطری ۳۰سانتی‌متری بیشترین تراکم را دارد که به‌طور مجزا الگوی به‌دست آمدهٔ آن تا فاصلهٔ ۱۰متری خوشه‌ای و پس از آن تصادفی شده است.

درنتیجه، می‌توان این‌طور برداشت کرد که طبقات قطری پرتعداد و متراکم در فواصل کوتاه (مقیاس کوچک) خوشه‌ای‌اند، ولی وقتی مقیاس بررسی بزرگ می‌شود، این پایه‌ها با درختان اطراف خود تشکیل الگوی تصادفی را می‌دهند که مبنای نتایج این تحقیق

است. طبق نتایج به‌دست‌آمده در شکل۳، الگوی پراکنش درختان کلاسه‌های میان‌قطر، قطور، و خیلی قطور را می‌توان این‌طور تفسیر کرد که زادآوری تا شعاع ۱۰متر انجام شده و نهال‌های جوان به سایهٔ درختان مادری نیاز دارند؛ درنتیجه، دخالت‌های پرورشی در کلاسه‌های میان‌قطر و قطور باید با ملاحظات بیشتری صورت گیرد، زیرا هنوز وابستگی به پایهٔ مادری وجود دارد، ولی پس از آن با افزایش توانایی بردباری نسبت به نور، چیره‌نما شده و در اشکوب بالا قرار می‌گیرند.



شکل ۴. نمودار تابع $L_{12(r)}$ و حدود مونت‌کارلو (محدودهٔ خط‌چین) (حروف S, M, L و EL به‌ترتیب معرف کلاسه‌های قطریِ کم‌قطر، میان‌قطر، قطور، و خیلی قطورند؛ مثلاً S Versus M یعنی اثر متقابل بین درختان کلاسهٔ قطری کم‌قطر با میان‌قطر)

در تفسیر الگوی پراکنش درختان بلندمازو در کل منطقه، که در فواصل کوتاه الگوی خوشه‌ای را نشان داده و سپس به الگوی تصادفی رسیده، باید بیان کرد که چون درصد پایه‌های جوان (کم‌قطر و میان‌قطر) خیلی زیاد است، درنتیجه الگوی کلی پراکنش همهٔ پایه‌ها را تحت‌تأثیر قرار داده و سبب ایجاد الگوی خوشه‌ای در فواصل کوتاه شده است. به‌عبارت دیگر، تراکم درختان به‌دلیل رقابت کاهش یافته، اما این کاهش تعداد در تغییر الگوی خوشه‌ای مؤثر نبوده است. درنهایت نتیجه‌گیری می‌شود که بلندمازو در همهٔ طبقات قطری و در اکثر فاصله‌ها الگوی پراکنش تصادفی دارد، ولی در فواصل کوتاه، به‌دلیل این‌که مقیاس بررسی کوچک می‌شود (که در تعیین نوع الگو یکی از عوامل کلیدی است) و نیز به‌دلیل قرار گرفتن چندین درخت بلندمازو در کنار هم (بلندمازو تاج گسترده‌ای ندارد و فضای کمی را اشغال می‌کند)، الگو خوشه‌ای می‌شود.

نتایج تأثیرات متقابل کلاسه‌های قطری با تابع دومتغیره Kرایپلی تأکیدی برتفسیرنتایج به‌دست‌آمده ازالگوی پراکنش درختان در کل منطقه وبه تفکیک کلاسه‌های قطری است؛ به طوری‌که کلاسهٔ کم قطر با کلاسهٔ میان قطر تا فاصلهٔ حدود ۸متری حالت جذب دارند؛ یعنی‌می توانند یکدیگررا تحمل کنند و پس از آن تا فواصل بیشتر اثری برروی هم ندارند؛ بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که الگوی خوشه‌ای که در کلاسهٔ‌های کم‌قطر و میان‌قطر شکل گرفته تأییدی است بر این ادعا که این دو کلاسهٔ قطری تا فاصلهٔ معینی به‌راحتی در کنار هم و بدون مشکل رقابتی زندگی می‌کنند و پس از آن اثر رقابتی مثبت و منفی روی هم ندارند (شکل ۴ـ الف). کلاسهٔ‌های کم‌قطر و قطور بعد از فاصلهٔ ۸متر اثر رقابتی خاصی بر روی هم ندارند و بدون مشکل در کنار هم زندگی می‌کنند. این روند کاملاً طبیعی است که با بزرگ‌شدن ابعاد درختان در کلاسهٔ قطور شعاع حالت جذب و تحمل‌پذیری درختان کم‌قطر در کنار درختان قطور کاهش پیدا کند، زیرا درختان کم‌قطر برای رشد به نور و فضای کافی نیاز دارند (شکل ۴ـ ب). کلاسهٔ‌های کم‌قطر با خیلی‌قطور در فواصل کمتر از ۱۰متر اثر خاصی بر روی هم ندارند و سپس تا فاصلهٔ ۵۰متری حالت دافعه دارند (شکل ۴ـ ج)، زیرا هنگامی که نهالی به قطر ۷/۵ سانتی‌متر و بیشتر می‌رسد، احتمالاً درخت مادری (درختان کهنسال) پیر شده یا از بین رفته‌اند که ابعاد آن در این سن بیشتر است؛ درنتیجه، درختان کم‌قطر تحمل زندگی در کنار آن‌ها را ندارند و در فاصلهٔ بیشتری از آن‌ها قرار می‌گیرند. کلاسهٔ میان‌قطر و قطور تا فاصلهٔ حدود ۸متری همدیگر را تحمل می‌کنند و به‌لحاظ رقابتی حذف نمی‌شوند که درواقع یک مرحلهٔ گذار برای رسیدن به مرحله کلیماکس است و پس از آن فاصله دیگراثری بر یکدیگر ندارند(شکل۴-د). اثر متقابل کلاسه‌های میان‌قطر با خیلی قطور و نیز قطور با خیلی قطور تقریباً خنثی است؛ یعنی می‌توانند در کنار یکدیگر زندگی کنند یا این‌که در کنار هم نباشند (شکل ۴ـ ه؛ و). تفسیر کلی دربارهٔ تأثیرات متقابل بین کلاسه‌های قطری مختلف درختان را بدین صورت می‌توان بیان کرد که نهال‌ها و درختان کم‌قطر بلندمازو در سنین جوانی در کنار یکدیگرند و همدیگر را تحمل می‌کنند، سپس از لحاظ ابعاد و سن بزرگ و بر اثر رقابت حذف می‌شوند. رقابت برای نور در درختان بلندمازو به‌دلیل نورپسند بودن بیشتر است و

چون دخالتی در منطقه صورت نگرفته و آشفتگی خاصی در این منطقه رخ نداده، درنتیجه این تغییر الگو احتمالاً فقط تحت‌تأثیر رقابت بوده است. نتایج توابع دومتغیره نشان داد، هنگامی‌که بلندمازو به سن زادآوری (درخت قطور) می‌رسد، فقط نهال‌ها هستند که در منطقه حضور دارند و کلاسه‌های قطری دیگر به‌راحتی مشاهده نمی‌شوند؛ مثلاً، طبقهٔ میان‌قطر دیگر وجود ندارد، بنابراین درخت قطور مجدداً تغییر پیدا می‌کند و از لحاظ قطری بزرگ می‌شود و به درخت خیلی قطور تبدیل می‌شود؛ در همین هنگام است که نهال ایجادشده به درخت کم‌قطر تبدیل می‌شود که علت این روند در جنگل رقابت برای کسب نور و فضاست.

در مقایسهٔ نتایج این مطالعه با نتایج سایر مطالعات انجام‌شده با استفاده از تابع تک‌متغیرهٔ K رایپلی می‌توان به مطالعه‌ای اشاره کرد که به الگوی تصادفی برای درختان قطور و مسن رسیدند که مشابه نتایج تحقیق حاضر برای کلاسه‌های قطور و خیلی قطور است [۱۵]. همچنین، این نتایج با نتیجهٔ مطالعه‌ای که با استفاده از تابع K رایپلی الگوی مکانی درختان را در مرحلهٔ اولیهٔ تحولی جنگل در توده‌های دست‌نخوردهٔ راش خالص در کلاردشت خوشه‌ای تعیین کردند، مشابه است [۱۱]. با استفاده از تابع دومتغیرهٔ K رایپلی در توده‌های دست‌نخوردهٔ راش خالص در منطقهٔ کلاردشت چهار کلاسهٔ کم‌قطر، میان‌قطر، قطور، و خیلی قطور بررسی و مشخص شد که درختان راش از کلاسه‌های مختلف قطری، تأثیرات رقابتی مثبت و منفی متفاوتی در مراحل مختلف تحولی نسبت به هم دارند که در فواصل مختلفی با توجه به ابعاد درختان اتفاق می‌افتد که متأثر از سایه‌پسندی، محدودیت پراکنش بذر، و رقابت درون‌گونه‌ای راش از کلاسه‌های قطری مختلف با یکدیگر است [۱۳] که در مقایسه با درختان بلندمازو در این تحقیق متأثر از نورپسندی بلوط است. اما نتایج تابع دومتغیره در راستای نتایج به‌دست‌آمده در جنگل‌های آلپی تبت است که تأثیرات متقابل درختان در کلاسه‌های مختلف قطری را بیشتر از نوع مثبت و جذب عنوان کردند. آن‌ها علت این رفتار را شرایط سخت محیطی می‌دانند که سبب می‌شود درختان کم‌قطرتر در پناه درختان قطورتر رشد و استقرار یابند [۱۷]. اما نتایج مطالعه‌ای در جنگل‌های بهره‌برداری‌شدهٔ شمال غرب اسپانیا نشان داد که به‌دلیل رقابت، نوعی اثر متقابل منفی (دفع) بین درختان کم‌قطر و قطور وجود دارد [۱۶]. مطالعه‌ای در جنگل‌های بورآل آلبرتای کانادا نیز نشان داد که رقابت درون‌گونه‌ای عامل مهمی در مرگ‌ومیر پایه‌های یک گونه و تشکیل ساختار توده‌هاست [۲].

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، که پراکنش بلندمازوها از الگوی تصادفی تبعیت کرده، دخالت‌های جنگل‌شناسی باید، علاوه بر ملاحظهٔ سایر عوامل مؤثر در نشانه‌گذاری، به گونه‌ای باشد که برداشت فقط به‌صورت پایه‌ای و تصادفی انجام شود و توده به‌سمت الگوی تصادفی سوق داده شود. این نتایج می‌تواند به‌منزلهٔ الگویی برای اعمال مدیریت در سایر توده‌های جنگلی بلندمازو نیز مورد استفادهٔ دست‌اندرکاران امر قرار گیرد.

با توجه به عدم تحمل‌پذیری کلاسه‌های کم‌قطر و میان‌قطر با کلاسهٔ خیلی قطور، این کلاسه‌ها باید در

عملیات احیای جنگل در فواصل دورتری از هم کاشته شوند تا رشد بهتر آن‌ها و استفاده از منابع به‌راحتی امکان‌پذیر باشد. اما نهال‌ها چون به سایه و پناهگاه نیاز دارند و به دلیل سنگینی بذر بلندمازو در زیر درختان مادری به صورت گروهی شکل می‌گیرند، باید در فواصل کوتاه‌تری از درختان مادری قرار گیرند.

پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، تابع دومتغیرهٔ K رایپلی در توده‌های آمیخته نیز به‌کار گرفته شود تا بتوان رقابت بین‌گونه‌ای را نیز مطالعه کرد. همچنین، بهتر است در مطالعات آینده از روش تکمیل‌شدهٔ رایپلی به‌نام O- ring statistics، که معایب و کمبودهای روش رایپلی در آن برطرف شده، استفاده شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری آقایان مهندس فرید اکبری و علی سحرخیز در این تحقیق تشکرو قدردانی می‌شود.

References

[1]. 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.

[2]. 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.

[3]. Kneeshaw, D.D., and Bergeron, Y. (1998). Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest. Ecology, 79: 783-794.

[4]. Attiwill, P.M. (1994). The disturbance of forest ecosystems the ecological basis for conservation management. Forest Ecology and Management, 63: 247-300.

[5]. Harvey, B.D., Leduc, A., Gauthier, S., and Bergeron, Y. (2002). Stand- landscape integration in natural disturbance- based management of the southern boreal forest. Forest Ecology and Management, 155: 369-385.

[6]. Ripley, B.D. (1977). Modeling spatial patterns. Journal of the Royal Statistical Society, B 39(2): 172-212.

[7]. Ripley, B.D. (1979). Test of randomness for spatial point patterns. Journal of the Royal Statistical Society, B 41(3): 368-374.

[8]. Ripley, B.D. (1981). Spatial Statistics. John Wiley and Sons, 252 pp.

[9]. Moeur, M. (1993). Characterizing spatial patterns of tree using stem-mapped data. Forest Science, 39: 756-775.

[10]. Mataji, A., Babaie Kafaki, S., Safaee, H., and Kiadaliri, H. (2008). Spatial pattern of regeneration gaps in managed and unmanaged stands in natural Beech (Fagus orientalis) forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(1): 149-157.

[11]. Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Hasani, M., and Parhizkar, P. (2010). Spatial patterns in untouched beech (Fagus orientalis Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18(2): 322-336.

[12]. Safari, A., Shabanian, N., Heidari, R.H., Erfanifard, S.Y., and Pourreza, M. (2010). Spatial pattern of Manna Oak trees (Quercus brantii Lindl.) in Bayangan forests of Kermanshah. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18(4): 596-608.

[13]. Akhavan, R., and Sagheb-Talebi, Kh. (2011). Application of bivariate Ripley's K- function for studying competition and spatial association of trees (Case study: intact Oriental beech stands in Kelardasht). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(4): 632-644.

[14]. Watt, A.S. (1974). Pattern and process in the plant community. Journal of Ecology, 35: 1-22.

[15]. Salas, C., LeMay, V., Nunez, P., Pacheco, P., and Espinosa, A. (2006). Spatial patterns in an old growth Nothofagus oblique forest in south-central Chile. Forest Ecology and Management, 231: 38-46.

[16]. Rozas, V., Zas, R., and Solla, A. (2009). Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain. European Journal of Forest Research, 128: 273–285.

[17]. 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.

[18]. Anonymous (2008). Forest Management Plan of Neka-Zalemrood, 200 pp.

[19]. Eslami, A.R., Sagheb-Talebi, Kh., and Namiranian, M. (2007). Determining of equilibrium state in uneven – aged oriental beech forests of Northern-Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(4): 39-48.

[20]. Besag, J. (1977). Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. Journal of the Royal Statistical Society, B(39): 193-195.

[21]. Cressie, N.A.C. (1993). Statistics for Spatial Data. Wiley, New York, 900 pp.

[22]. Lotwick, H.W., and Silverman, B.W. (1982). Methods for analyzing spatial processes of several types of points. Journal of the Royal Statistical Society, B 44: 406-413.

[23]. Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., and Stoyan, D. (2008). Statistical Analysis and Modeling of Spatial Point Patterns. John & whiley Sons, 556 pp.

[24]. Cipriotti, P.A., and Aguitar, M.R. (2004). Effects of grazing on patch structure in a semi-arid two-phase vegetation mosaic. Journal Vegetation Science, 16: 57-66.

[25]. Hao, Z., Zhang, J., Song, B., Ye, J., and Li, B. (2007). Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. Forest Ecology and Management, 252: 1-11.

[26]. Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Zenner, E. K., and Safavimanesh, F. (2012). Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. European Journal of Forest Research, 131: 1355-1366.