

تحلیل الگوی مکانی و رقابت درون گونه‌ای در تپ خالص بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) با استفاده از آماره *O*-ring (مطالعه موردی: جنگل شاهد نکا)

فریده امیدوارحسینی^۱، رضا اخوان^{۲*}، هادی کیادلیری^۳ و اسدالله متاجی^۴

۱- کارشناس ارشد جنگل‌داری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲* - نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: akhavan@rifr-ac.ir

۳- استادیار گروه جنگل‌داری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۴- دانشیار گروه جنگل‌داری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۹

چکیده

الگوی مکانی درختان در مراحل مختلف زندگی داده‌های مهمی در رابطه با فرآیندهایی که تجدید حیات و توالی جنگل را هدایت می‌کنند، در اختیار قرار می‌دهد. رقابت از عامل‌های تأثیرگذار بر ساختار جنگل است. شناخت رقابت در جنگل به‌ویژه هنگامی اهمیت دارد که هدف از مدیریت جنگل، تقلید از پویایی بوم‌نظام‌های طبیعی باشد. برای این منظور یک پارسل مدیریت‌نشده به مساحت ۲۶ هکتار در منطقه نکا انتخاب شد و کلیه درختان بلندمازو با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر مورد اندازه‌گیری قطر قرار گرفتند و مختصات دکارتی آنها تعیین شد. سپس درختان اندازه‌گیری‌شده براساس قطر برابر سینه به چهار طبقه کم‌قطر، میان‌قطر، قطور و خیلی قطور تقسیم شدند. بررسی الگوی مکانی و رقابت درون‌گونه‌ای بلندمازو به ترتیب با توابع تک‌متغیره و دومتغیره آماره او-رینگ (*O*-ring) انجام شد. نتایج نشان داد که الگوی مکانی درختان به دلیل سنگین بودن بذر بلندمازو و فراوانی زیاد درختان جوان، در فاصله‌های کوتاه خوشه‌ای و سپس با بزرگ شدن مقیاس بررسی تصادفی می‌شود. همچنین مشخص شد که درختان بلندمازو دارای اثرات رقابتی مثبت و منفی متفاوتی در طبقه‌های مختلف قطری نسبت به هم هستند که در فاصله‌های متفاوتی با توجه به اندازه درختان اتفاق می‌افتد که متأثر از نورپسندی، محدودیت پراکنش بذر و رقابت درون‌گونه‌ای این گونه است. با توجه به اینکه پراکنش بلندمازو از الگوی تصادفی پیروی کرده است، بنابراین دخالت‌های جنگل‌شناسی باید علاوه بر ملاحظه سایر عامل‌های مؤثر در نشانه‌گذاری، به گونه‌ای باشد که برداشت فقط به صورت پایه‌ای و تصادفی انجام شود و توده به سمت الگوی تصادفی سوق داده شود.

واژه‌های کلیدی: آماره *O*-ring، الگوی مکانی، بلندمازو، توده دست‌نخورده، رقابت درون‌گونه‌ای.

مقدمه

بوم‌نظام‌های جنگلی است. یکی از اجزاء اصلی ساختار توده

جنگلی الگوی مکانی درختان است. الگوی مکانی به دلیل

ساختار توده جنگل یک عنصر کلیدی در درک

Cressie,) g (Besag, 1977), تابع همبستگی دوجزئی L O -ring Statistic; Wiegand (1993) و آماره او-رینگ (Wiegand *et al.*, 2000) و فرآیندهای پویا که Nishimura *et al.*,) (2002)، از ویژگی خاصی برخوردار است. الگوی مکانی گیاهان از ناهمگنی محیطی (Duncan, 1993)، آشفته‌گی‌های طبیعی و انسانی (Sánchez *et al.*, 2009)، رقابت درون‌گونه‌ای (Intra-specific) و بین‌گونه‌ای (Inter-specific) (Stoll & Bergius, 2005)، زادآوری (Fajardo *et al.*, 2006) و مرگ‌ومیر تأثیر می‌پذیرد (Barot *et al.*, 1999).

از پژوهش‌هایی که در زمینه بررسی الگوی مکانی درختان و توابع K رایلی و g در داخل کشور انجام شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Akhavan و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از تابع K رایلی، الگوی مکانی درختان را در مراحل مختلف تحولی جنگل در توده‌های دست‌نخورده راش در کلاردشت بررسی کردند و به الگوهای خوشه‌ای و تصادفی رسیدند. Sagheb-Talebi و Akhavan (۲۰۱۲) با استفاده از تابع دومتغیره K رایلی، توده‌های دست‌نخورده راش خالص در منطقه کلاردشت را در طبقه‌های قطری کم‌قطر، میان‌قطر، قطور و خیلی قطور بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که درختان راش از طبقه‌های مختلف قطری، اثرات رقابتی مثبت و منفی متفاوتی در مراحل مختلف تحولی نسبت به یکدیگر دارند. Erfanifard و Mahdian (۲۰۱۲) با استفاده از روش‌های تعیین الگوی مکانی مطلق (کوادرات، نزدیکترین همسایه، تابع K و تابع g) در داخل توده‌ای در جنگل پژوهشی بنه استان فارس به این نتیجه رسیدند که الگوی مکانی درختان مورد بررسی کپه‌ای است. در رابطه با آماره او-رینگ تنها می‌توان به مطالعه Karimi و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی مقدماتی کارایی آماره او-رینگ در تعیین کنش متقابل و الگوی مکانی درختان در جنگل‌های زاگرس در مقیاس کوچک اشاره کرد که برای گونه بنه که از تراکم کمتری برخوردار بود، به الگوی تصادفی و برای گونه بلوط ایرانی در فاصله‌های کوتاه به الگوی خوشه‌ای و در فاصله‌های بلند به الگوی تصادفی رسیدند.

از تحلیل الگوی پراکنش مکانی درختان با استفاده از

اهمیتش در کمک به درک درست سازوکارهای محیط زیستی (Wiegand *et al.*, 2000) و فرآیندهای پویا که همزیستی گونه‌ها را حفظ می‌کند (Nishimura *et al.*, 2002)، از ویژگی خاصی برخوردار است. الگوی مکانی گیاهان از ناهمگنی محیطی (Duncan, 1993)، آشفته‌گی‌های طبیعی و انسانی (Sánchez *et al.*, 2009)، رقابت درون‌گونه‌ای (Intra-specific) و بین‌گونه‌ای (Inter-specific) (Stoll & Bergius, 2005)، زادآوری (Fajardo *et al.*, 2006) و مرگ‌ومیر تأثیر می‌پذیرد (Barot *et al.*, 1999). پویایی، زنده‌مانی، رشد و همزیستی گونه‌های یک جمعیت نه‌تنها با استفاده از ویژگی‌های خاص یک گونه بلکه توسط عامل‌های زنده و غیرزنده مانند رقابت بین درختان مجاور و ناهمگنی محیطی مشخص می‌شود. رقابت درختان در جنگل از جمله سازوکارهای حیاتی است که از عامل‌های مؤثر در فرایند توالی در جنگل است و بر ساختار توده جنگلی تأثیر می‌گذارد (Kneeshaw & Bergeron, 1998). از این رو موقعیت مکانی درختان اطلاعات مفیدی را از تأثیر رقابت در شرایط محیطی نشان می‌دهد. توزیع مکانی نقاط متعلق به یکی از حالت‌های تصادفی، کپه‌ای (خوشه‌ای) و منظم (یکنواخت) است (Jayaraman, 2000). الگوهای تصادفی یک جمعیت به همگنی محیطی یا به الگوهای رفتاری غیرانتخابی اشاره دارد. از سوی دیگر، الگوهای غیرتصادفی (خوشه‌ای و یکنواخت) به‌طور تلویحی بیانگر وجود برخی محدودیت‌ها در جمعیت است (Quinn & Dunham, 1983). الگوی خوشه‌ای بیان می‌کند که افراد در قسمت‌های مساعدتر رویشگاه جمع می‌شوند. این امر ممکن است به دلیل رفتار گروهی، ناهمگنی محیطی، شیوه تجدید حیات و غیره باشد. پراکنش یکنواخت از کنش‌های متقابل منفی مانند رقابت برای غذا یا فضا در بین افراد به‌دست می‌آید. البته تعیین یک الگو و تشریح علل ممکن آن دو موضوع جداگانه است (Quinn & Dunham, 1983).

برخلاف روش‌های اولیه و غیرمکانی بررسی الگوهای مکانی، در روش مکانی ارائه‌شده توسط Ripley با عنوان تابع K (Ripley's K -function) و شکل خطی آن یعنی تابع

درون‌گونه‌ای بلندمازو بین طبقه‌های مختلف قطری است که با بررسی پیشینه پژوهش مشخص شد که بررسی الگوی مکانی درختان و اثرات متقابل آنها درمورد گونه بلندمازو با استفاده از آماره او- رینگ تاکنون در کشور انجام نشده است و از این نظر جدید است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

برای انجام این پژوهش پارسل شاهد شماره ۸/۱، سری سه بخش دو نكء چوب در حوضه آبخیز ۷۵ در منطقه نكء- ظالمروود به مساحت ۲۶ هکتار با جهت عمومی شمال غربی با متوسط ارتفاع ۵۰۰ متر بالاتر از سطح دریا انتخاب شد. بخش دو نكء چوب (مشمول بر شش سری) بین $36^{\circ}21'55''$ تا $53^{\circ}20'15''$ طول شرقی و $36^{\circ}28'55''$ تا $36^{\circ}36'55''$ عرض شمالی قرار دارد. این پژوهش در یک توده آمیخته بلوط- ممرز با غالبیت گونه بلندمازو (جدول ۱) انجام شد که تاکنون هیچ‌گونه عملیات پرورشی و دخالت جنگل‌شناسی در آن انجام نشده است. در منطقه مورد مطالعه، میانگین بارندگی سالانه ۶۱۸/۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه با استفاده از روش آمبرژه و دومارتن از نوع نیمه‌مرطوب معتدل است. تیپ خاک قهوه‌ای پسدوگلی تا قرمز پدزولیک و اسیدیته خاک به‌طور عمومی خنثی تا اسیدی ضعیف بوده، اما در عمق زیرین دارای pH قلیائی است (Anonymous, 2008).

توابع K ، g و O -ring در خارج از کشور بسیار استفاده شده که از مهمترین آنها می‌توان به تحقیقات Rozas و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تابع دومتغیره K رایلی در جنگل‌های بهره‌برداری شده شمال غرب اسپانیا، Zhang و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تابع دومتغیره K رایلی در جنگل‌های آلیپ تبت، Zhu و همکاران (۲۰۱۰) در یک جنگل نیمه‌گرمسیری با استفاده از تابع همبستگی دوجزئی g ، Lan و همکاران (۲۰۱۲) در جنگل‌های گرمسیری چین با استفاده از تابع همبستگی دوجزئی g ، Hao و همکاران (۲۰۰۷) در جنگل‌های معتدله چین با استفاده از آماره او- رینگ، Luis و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از آماره او- رینگ در جنگل‌های مدیترانه‌ای اسپانیا، Marin (۲۰۱۱) در یک جنگل حفاظت‌شده واقع در شرق رشته‌کوه‌های آلپ ایتالیا با استفاده از آماره او- رینگ تک‌متغیره و دومتغیره و Cheng و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از آماره او- رینگ تک‌متغیره و دومتغیره در یک جنگل حفاظت‌شده واقع در کوهستان Lingkong چین اشاره کرد. پژوهش دیگر با استفاده از این روش مربوط به Ning و همکاران (۲۰۱۴) در جنگل‌های نراد- توس در ناحیه سیچوان چین است که به بررسی رقابت بین طبقات قطری مختلف پرداخته شده است. جنگل‌های بلندمازو پس از راشستان‌ها، با ارزش‌ترین تیپ جنگلی شمال ایران به‌شمار می‌آیند (Golbabaei et al., 2007)، از این‌رو مطالعه ساختار مکانی و بررسی اجتماع‌پذیری و اثرات متقابل آنها به‌ویژه بررسی رقابت، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هدف از پژوهش پیش‌رو تعیین الگوی مکانی درختان بلندمازو در سنین مختلف به‌منظور بررسی پویایی (دینامیک) جنگل، همچنین بررسی رقابت

جدول ۱- درصد آمیختگی گونه‌ها در منطقه پژوهش

گونه	ممرز	بلندمازو	توسکا	سایر گونه‌های صنعتی	گونه‌های هیزمی
تعداد	۱۹/۶	۵۷/۸	۱	۱	۲۰/۶
حجم (مترمکعب)	۱۸/۱	۷۸/۶	۰/۳	۰/۲	۲/۸

روش اجرای پژوهش

با انتخاب پارسل شاهد، مختصات اولین درخت در گوشه جنوب غربی پارسل ۲۶ هکتاری به عنوان نقطه مبنای اول به وسیله دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) در سیستم مختصات UTM برداشت و ثبت شد. از آنجا که در جنگل‌های هیرکانی شمال کشور، فاصله درختان به طور معمول کم است و دقت دستگاه GPS در بهترین حالت پنج متر می‌باشد، برای ثبت مختصات درختان موجود باید از روش فاصله-آزیموت (Moeur, 1993) استفاده می‌شد. به این صورت که فاصله و آزیموت درخت دوم نسبت به نقطه مبنای اول (درخت اول) با دستگاه VERTEX III و قطب‌نمای سونتو اندازه‌گیری و تعیین شد و سپس با استفاده از روابط مثلثاتی به مختصات دکارتی (x,y) تبدیل شد، سپس مختصات درخت دوم به مختصات درخت اول (نقطه مبنای اول) اضافه شد و در نتیجه مختصات اولین درخت اطراف نقطه مبنای اول (درخت اول) به دست آمد. به همین ترتیب در منطقه مورد بررسی فاصله و آزیموت هر درخت نسبت به درخت مبنای مربوطه سنجیده شد و به مختصات UTM تبدیل شد. بدین ترتیب کل پایه‌های بلندمازو به روش آماربرداری صددرصد در منطقه مورد بررسی اندازه‌گیری شدند و موقعیت مکانی آن‌ها ثبت شد. علاوه بر فاصله و آزیموت، قطر در ارتفاع برابر سینه نیز برای درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در طبقات قطری یک سانتی‌متری ثبت شد. در مرحله بعد، درختان اندازه‌گیری شده براساس اندازه قطر برابر سینه به چهار طبقه قطری کم‌قطر (از قطر ۷/۵ تا ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان‌قطر (از قطر ۳۲/۶ تا ۵۲/۵ سانتی‌متر)، قطور (از قطر ۵۲/۶ تا ۷۲/۵ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیشتر از قطر ۷۲/۵ سانتی‌متر) (Sagheb-Talebi & Schütz, 2002) تقسیم شدند. سپس تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از آماره تک‌متغیره و دو متغیره او-رینگ به ترتیب به منظور بررسی و تعیین الگوی مکانی درختان بلندمازو و اثرات متقابل طبقه‌های مختلف قطری انجام شد.

آماره او-رینگ (*O*-ring statistic)

Wiegand و Moloney (۲۰۰۴) در مورد اهمیت آماره او-رینگ بیان کردند که استفاده از آماره او-رینگ به عنوان یک جز مکمل مفید برای تابع K رایلی که به طور عموم مورد استفاده قرار می‌گیرد، پیشنهاد می‌شود. تابع K ممکن است فقط تا یک فاصله معین کاربرد داشته باشد، در حالی که آماره او-رینگ می‌تواند تراکم و پراکندگی را در یک فاصله فرضی کشف کند. به طور ویژه‌ای تأکید شده است که استفاده از آماره او-رینگ در بررسی الگوی مکانی نسبت به تابع K رایلی و شکل خطی آن یعنی تابع L مفیدتر است، بنابراین تجزیه و تحلیل مکانی نه تنها باید شامل تابع K تراکمی باشد، بلکه باید شامل آماره او-رینگ تکمیلی نیز باشد. با توجه به مزیت آماره او-رینگ که یک تابع توزیع احتمالی با تشریح تراکم همسایه و نقاط مجاور است، قدرت کشف و تحلیل الگو و کنش متقابل نسبت به تابع تجمعی K افزایش می‌یابد (Stoyan & Penttinen, 2000). جایگزینی حلقه‌ها (rings) در $O(r)$ بجای دایره‌ها در تابع K ، این آماره را در کشف الگوی فاصله‌های مختلف توانمند می‌سازد (Illian et al., 2008; Wiegand & Moloney, 2004)، در حالی که تابع K و شکل خطی آن یعنی تابع L از انجام این کار ناتوانند و بیشتر ماهیت تجمعی دارند.

تابع‌های K و L براساس تعداد نقاط (درختان) موجود در داخل دایره‌های با شعاع r در اطراف نقاط مرکزی محاسبه می‌شوند (Illian et al., 2008)، در حالی که در محاسبه $O(r)$ دایره‌های یادشده در تابع K توسط حلقه‌ها جایگزین می‌شوند. بنیان آماره $O(r)$ براساس متوسط تعداد نقاط (درختان) قرار گرفته بر روی حلقه‌ها با شعاع r از نقاط مرکزی (درختان) در داخل قطعه مورد مطالعه است (Luis et al., 2008). همانند تابع K رایلی، از آماره او-رینگ تک‌متغیره برای نشان دادن وضعیت پراکنش گونه‌ها (تصادفی، خوشه‌ای و منظم) و از حالت دو متغیره آن به منظور بررسی اثرات متقابل درختان یا الگوی اجتماع‌پذیری آنها استفاده می‌شود که می‌توان آن را به سه دسته اثر متقابل یا اجتماع‌پذیری مثبت (جذب؛ Attraction)،

شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام شد و فاصله موردعمل برای محاسبه آماره $O_{(r)}$ تک‌متغیره ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. این فاصله به‌طور معمول برابر با نصف طول ضلع کوچک قطعه مورد بررسی است (Woodall & Graham, 2004). در پژوهش پیش‌رو فاصله بیشتر از ۱۰۰ متر نیز بررسی شد، اما چون در الگوی مکانی برای توابع تک‌متغیره تغییری ایجاد نشد، نتایج فقط تا ۱۰۰ متر ارائه شد. همچنین فاصله مورد عمل در بررسی آماره دومتغیره او-رینگ تا فاصله ۵۰ متری بود، به‌دلیل اینکه اثر متقابل درختان در فاصله‌های بیشتر از ۵۰ متر به حداقل خود می‌رسد (Salas et al., 2006). از آن‌جا که درختان موجود در طبقات قطری بزرگتر بر رویش درختان موجود در طبقات قطری کوچکتر اثرگذارند، اما درختان طبقات قطری کوچکتر بر رویش درختان قطورتر تأثیر چندانی ندارند (Nakashizuka, 2001)، در محاسبه‌های انجام‌شده، مکان درختان طبقات قطری بزرگتر ثابت و مکان درختان طبقات قطری کوچکتر متغیر در نظر گرفته شد (Hao et al., 2007). پیش از استفاده از آماره او-رینگ، توزیع آماری درختان بلندمازو در منطقه پژوهش ارزیابی شد و نیکویی برازش توزیع پواسون ناهمگن بر توزیع درختان بلندمازو با استفاده از آزمون کولموگروف-سمیرنوف بررسی شد. در نهایت به‌دلیل وجود ناهمگنی در منطقه مورد مطالعه از نظر توپوگرافی، برای انجام محاسبات در دو حالت تک‌متغیره و دومتغیره از گزینه منطقه ناهمگن نرم‌افزار استفاده شد. کلیه محاسبه‌های مربوط به تعیین مقادیر آماره او-رینگ با استفاده از نرم‌افزار Programita انجام شد.

نتایج

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 طبقه‌های قطری در جدول ۲ ارائه شده است.

منفی (دفع؛ Repulsion) و مستقل (Independence) تقسیم کرد. آماره او-رینگ با تابع K رایبلی و تابع‌های روابط جفتی $g_{(r)}$ ارتباط دارد که به‌صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$O_{(r)} = \lambda g_{(r)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه: $O_{(r)}$ آماره تک‌متغیره او-رینگ، λ تراکم (تعداد در واحد سطح) و $g_{(r)}$ مشتق تابع K رایبلی است. در الگوی تصادفی کامل $O_{(r)} = \lambda$ است، $O_{(r)} > \lambda$ نشان‌دهنده خوشه‌ای بودن الگو در فاصله r و $O_{(r)} < \lambda$ نشان‌دهنده الگوی منظم است.

در آماره او-رینگ دومتغیره $(O_{12(r)})$ ، تعداد مورد انتظار گروه دو در فاصله r از نقطه دلخواه گروه یک است (رابطه ۲). اگر $O_{12(r)} = \lambda_1$ باشد، دو الگو یا دو گروه از درختان مستقل از یکدیگر هستند و بدون اثر متقابل معنی دارند که به‌عنوان فرض صفر در نظر گرفته می‌شود. اگر $O_{12(r)} > \lambda_1$ باشد نشان‌دهنده حالت جذب و در حالت $O_{12(r)} < \lambda_1$ نشان‌دهنده حالت دفع بین دو گروه است.

$$O_{12(r)} = \lambda_1 g_{12(r)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه: $O_{12(r)}$ آماره دومتغیره او-رینگ، λ_1 تراکم (تعداد در واحد سطح) گروه دوم و $g_{12(r)}$ مشتق تابع $K_{12(r)}$ می‌باشد.

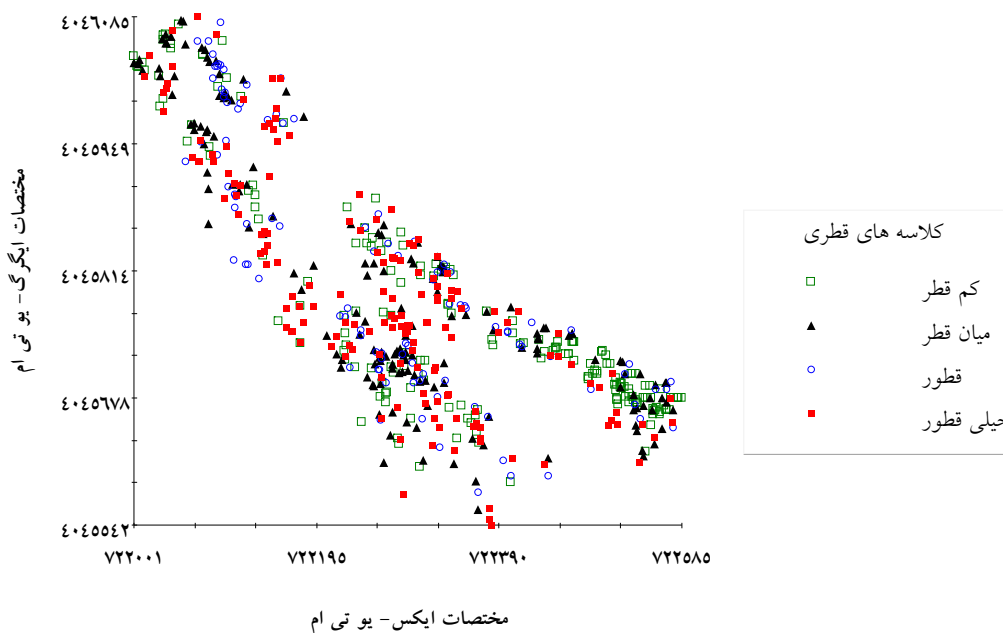
ساده‌ترین فرض صفر که به‌طور گسترده‌ای در تحلیل الگوی مکانی تک‌متغیره مورد استفاده قرار می‌گیرد، الگوی تصادفی کامل است که می‌تواند به‌عنوان یک فرآیند پواسن همگن در نظر گرفته شود (Wiegand & Moloney, 2004). برای تحلیل‌های دومتغیره از فرض صفر مستقل بودن دو گروه نسبت به یکدیگر استفاده می‌شود (Wiegand et al., 2007). برای آزمون فرض صفر و بررسی اختلاف معنی‌داری، نتایج به‌دست‌آمده از $O_{(r)}$ و $O_{12(r)}$ در سطح احتمال مشخص با شبیه‌سازی مونت‌کارلو مقایسه می‌شود. در صورتی که مقادیر $O_{(r)}$ و $O_{12(r)}$ در داخل محدوده مونت‌کارلو قرار گیرند، در آن فاصله فرض صفر تأیید و در صورتی که این مقادیر خارج از محدوده مونت‌کارلو قرار گیرد، فرض صفر رد می‌شود. در پژوهش پیش‌رو، ۹۹ بار

جدول ۲- فراوانی درختان بلندمازو در طبقه‌های قطری مختلف

طبقه قطری	کم قطر	میان قطر	قطر	خیلی قطور	جمع
فراوانی مطلق	۱۸۷	۱۶۶	۱۰۰	۱۵۷	۶۱۰
درصد فراوانی	۳۰/۶٪	۲۷/۳٪	۱۶/۴٪	۲۵/۷٪	۱۰۰٪

کم قطر (از قطر ۷/۵ تا ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان قطر (از قطر ۳۲/۶ تا ۵۲/۵ سانتی‌متر)، قطر (از قطر ۵۲/۶ تا ۷۲/۵ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیشتر از قطر ۷۲/۵ سانتی‌متر)

شکل ۱ نقشه توزیع مکانی درختان منطقه مورد بررسی را به تفکیک طبقه‌های قطری چهارگانه نشان می‌دهد.



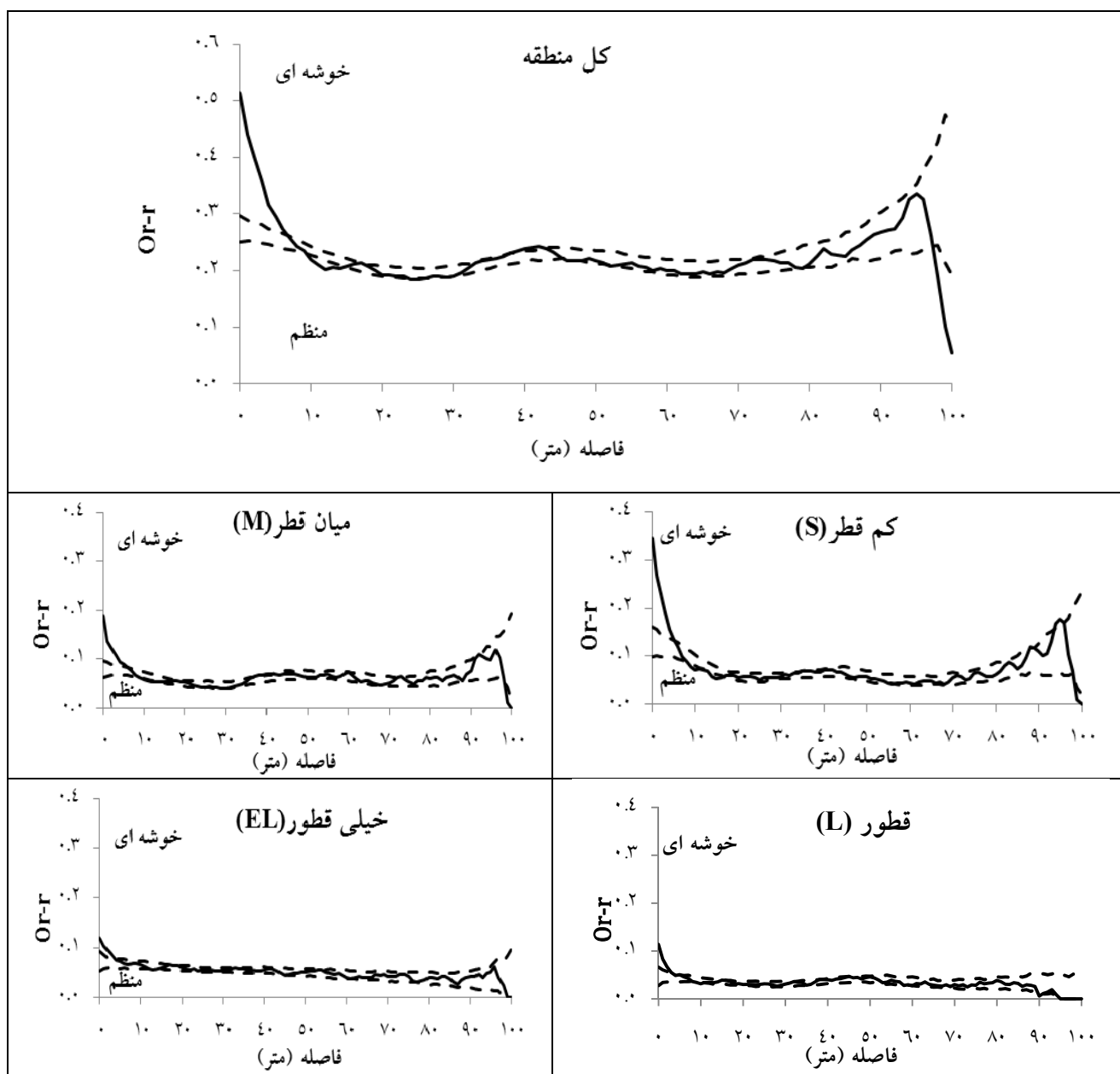
شکل ۱- الگوی مکانی درختان بلندمازو در منطقه مورد بررسی به تفکیک طبقه‌های قطری

اما پس از فاصله هشت متری تا شعاع ۱۰۰ متری آماره $O(r)$ به‌طور کامل در داخل محدوده مونت‌کارلو قرار گرفته و به الگوی تصادفی می‌رسد. درختان طبقه‌های کم قطر (S) و میان قطر (M) به ترتیب تا فاصله حدود هشت متری و هفت متری به‌صورت خوشه‌ای هستند و پس از این فاصله تا شعاع ۱۰۰ متری الگو تصادفی است. الگوی پراکنش درختان طبقه‌های قطر (L) و خیلی قطور (EL) تا فاصله کوتاهی (حدود چهار متر) خوشه‌ای ضعیف است و پس از این فاصله تا شعاع ۱۰۰ متری مقدار آماره $O(r)$ داخل محدوده مونت‌کارلو قرار گرفته است و الگو تصادفی است.

آماره تک‌متغیره او-رینگ

نتایج آزمون کولموگروف-سمیرنف، نیکویی برازش توزیع پواسون ناهمگن بر توزیع درختان بلندمازو در منطقه پژوهش را نشان داد ($p=0/46$). بنابراین در پژوهش پیش‌رو از روش او-رینگ ناهمگن استفاده شد.

شکل ۲ الگوی پراکنش درختان بلندمازو را در کل منطقه و به تفکیک طبقه‌های قطری براساس آماره $O(r)$ نشان می‌دهد. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که برای کل منطقه مورد مطالعه تا فاصله حدود هشت متری مقدار این آماره بالاتر از محدوده مونت‌کارلو قرار گرفته است، در نتیجه الگوی پراکنش درختان در این فاصله به‌طور کامل خوشه‌ای است،



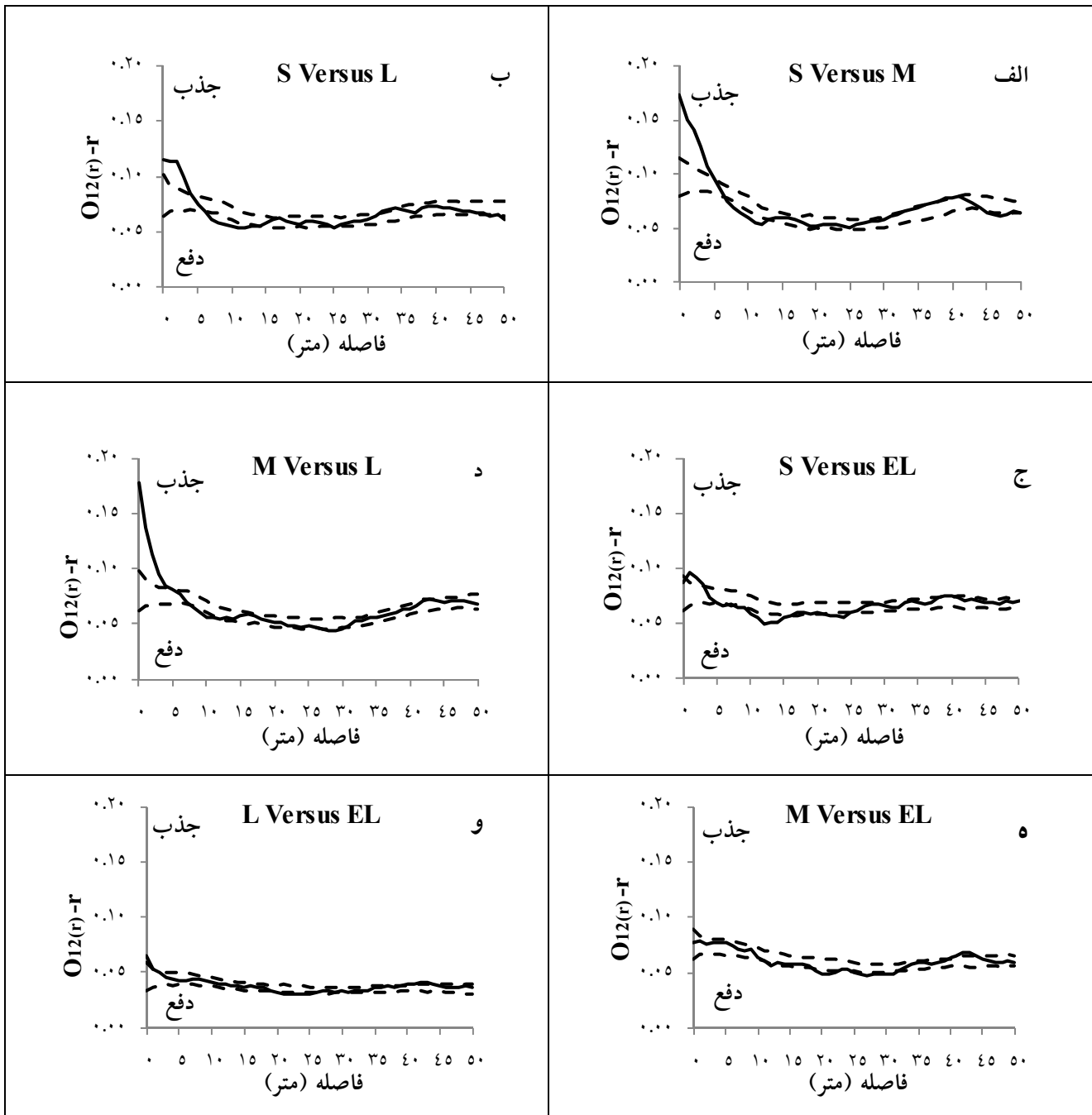
شکل ۲- نمودار آماره $O_{12}(r)$ و حدود مونت کارلو (محدوده خط چین) در کل منطقه به تفکیک طبقه‌های قطری. حدود مونت کارلو محدوده فرض صفر یا الگوی پراکنش تصادفی را نشان می‌دهد.

۳- ج) به ترتیب تا فاصله پنج و چهار متری اثر متقابل مثبت یا جذب دارند. سپس در فاصله‌های کوتاهی آماره $O_{12}(r)$ پایین‌تر از حدود مونت کارلو قرار می‌گیرد که اثر متقابل منفی دارند و پس از آن تا شعاع ۵۰ متری بدون اثر متقابل معنی‌دار می‌باشند. در میان‌سال، درختان طبقه‌های میان‌قطر با قطور تا شعاع پنج متری اثر متقابل مثبت یا جذب دارند،

آماره دومتغیره او-رینگ
شکل ۳ اثرات متقابل متفاوتی بین طبقه‌های مختلف قطری درختان بلندمازو را در سنین مختلف (جوانی، میان‌سال و مسن) نشان می‌دهد. در سن جوانی، درختان کم‌قطر با درختان میان‌قطر (شکل ۳- الف) تا فاصله پنج متری و با درختان قطور و خیلی قطور (شکل‌های ۳- ب و

توجه به قرار گرفتن آماره $O_{12(r)}$ در داخل محدوده مونت کارلو در تمام فاصله‌ها، اثر متقابل معنی‌داری وجود ندارد و در واقع مستقل از یکدیگر هستند.

سپس آماره $O_{12(r)}$ به داخل محدوده مونت کارلو نفوذ می‌کند و بدون اثر متقابل معنی‌دار می‌باشند (شکل ۳-د). بین درختان میان‌قطر و خیلی‌قطر (شکل ۳-ه) و همچنین در کهنسالی بین درختان قطور و خیلی‌قطر (شکل ۳-و) با



شکل ۳- نمودار آماره $O_{12(r)}$ و حدود مونت کارلو (محدوده خط چین) (حروف S، M، L، و EL به ترتیب معرف طبقه‌های کم‌قطر، میان‌قطر، قطور و

خیلی قطور می‌باشند. به‌عنوان مثال S Versus M یعنی اثر متقابل بین درختان طبقه کم‌قطر با میان‌قطر)

بحث

نتایجی که در پژوهش پیش‌رو ارائه شد، الگوی مکانی درختان بلندمازو و همچنین اثرات متقابل آنها را در طبقه‌های مختلف قطری با استفاده از آماره او-رینگ نشان داد. در این پژوهش تراکم در طبقه‌های کم‌قطر تا قطور روند کاهشی داشت، درحالی‌که از طبقه قطور به خیلی قطور یک روند افزایشی مشاهده می‌شود (شکل ۱) که علت کاهش تعداد درختان در طبقه میان‌قطر از ۱۶۶ اصله به ۱۰۰ اصله در طبقه قطور، حذف پایه‌ها بر اثر رقابت است که منجر به تولید الگوی تصادفی در این طبقه قطری شده است (شکل ۲).

پراکنش خوشه‌ای درختان طبقه کم‌قطر تا فاصله هشت متر را می‌توان به تعداد بیشتر درختان این طبقه (۱۸۷ اصله) نسبت به طبقه‌های قطور و خیلی قطور نسبت داد (Akhavan *et al.*, 2012). دلیل دیگر آن سنگین بودن بذر درخت بلندمازو است که زادآوری آن به صورت گروهی در زیر درختان مادری شکل می‌گیرد. طبقات قطری پرتعداد و متراکم در فاصله‌های کوتاه (مقیاس کوچک) خوشه‌ای هستند، اما وقتی مقیاس بررسی بزرگ می‌شود، این پایه‌ها با درختان اطراف خود تشکیل الگوی تصادفی می‌دهند. الگوی پراکنش درختان طبقه‌های میان‌قطر، قطور و خیلی قطور (شکل ۲) را می‌توان این‌طور تفسیر کرد که زادآوری تا شعاع هشت متر انجام شده است، در حالی‌که نهال‌های جوان نیاز به سایه درختان مادری دارند، در نتیجه دخالت‌های پرورشی در طبقه‌های میان‌قطر و قطور باید با ملاحظه بیشتری انجام شود، زیرا هنوز وابستگی به پایه مادری وجود دارد. پس از آن با افزایش توانایی بردباری نسبت به نور، این درختان چیره‌نما می‌شوند و در اشکوب بالا قرار می‌گیرند. در تفسیر الگوی پراکنش درختان بلندمازو در کل منطقه که در فاصله‌های کوتاه خوشه‌ای و سپس به الگوی تصادفی رسیده است، باید بیان کرد که چون درصد پایه‌های جوان (کم‌قطر و میان‌قطر) خیلی زیاد است، در نتیجه الگوی کلی پراکنش تمام پایه‌ها تحت تأثیر قرار گرفته است و سبب ایجاد الگوی خوشه‌ای در فاصله‌های

کوتاه شده است. به عبارت دیگر، تراکم درختان به دلیل رقابت کاهش یافته است، اما این کاهش تعداد در تغییر الگوی خوشه‌ای اثرگذار نبوده است. در نهایت باید بیان کرد که درختان بلندمازو در تمام طبقات قطری و در بیشتر فاصله‌ها الگوی پراکنش تصادفی دارند، اما در فاصله‌های کوتاه به دلیل اینکه مقیاس بررسی کوچک می‌شود (که در تعیین نوع الگو یکی از عامل‌های کلیدی است) و نیز به دلیل قرار گرفتن چندین درخت بلندمازو در کنار یکدیگر (بلندمازو تاج گسترده‌ای ندارد و فضای کمی را اشغال می‌کند)، الگو خوشه‌ای می‌شود.

نتایج اثرات متقابل طبقه‌های قطری با آماره دومتغیره تأکیدی بر تفسیر نتایج به دست آمده از الگوی پراکنش درختان در کل منطقه و به تفکیک طبقه‌های قطری است، به طوری که طبقه‌های کم‌قطر و میان‌قطر تا فاصله حدود پنج متری حالت جذب دارند، یعنی می‌توانند یکدیگر را تحمل کنند، اما پس از آن تا فاصله‌های بیشتر اثری بر یکدیگر ندارند، بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که الگوی خوشه‌ای که در طبقه‌های کم‌قطر و میان‌قطر شکل گرفته است، تأییدی بر این ادعاست که این دو طبقه قطری تا فاصله معینی به راحتی در کنار یکدیگر و بدون مشکل رقابتی زندگی می‌کنند و پس از آن اثر رقابتی مثبت و منفی معنی‌داری بر یکدیگر ندارند (شکل ۳-الف). طبقه‌های کم‌قطر و قطور پس از فاصله پنج متر اثر رقابتی خاصی بر یکدیگر ندارند و بدون مشکل در کنار هم زندگی می‌کنند. این روند طبیعی است که با بزرگ شدن اندازه درختان در طبقه قطور، شعاع حالت جذب و تحمل‌پذیری درختان کم‌قطر در کنار درختان قطور کاهش پیدا کند، زیرا درختان کم‌قطر برای رشد نیاز به نور و فضای کافی دارند (شکل ۳-ب). طبقه‌های کم‌قطر با خیلی قطور در تمام فاصله‌ها نسبت به یکدیگر بی‌اثرند که این نتیجه با توجه به اینکه این دو طبقه در فاصله‌هایی دور از یکدیگر قرار دارند، صحیح است (شکل ۳-ج)، زیرا هنگامی که نهال به قطر ۷/۵ سانتی‌متر و بیشتر رسیده است، شاید درختان مادری (کهنسال) پیر شده‌اند یا از بین رفته‌اند که ابعاد آنها در این سن بیشتر است؛

در نتیجه درختان کم قطر تحمل زندگی در کنار آنها را ندارند و در فاصله بیشتری از آنها قرار می‌گیرند. طبقه‌های میان قطر و قطور تا فاصله حدود پنج متری همدیگر را تحمل می‌کنند و از نظر رقابتی حذف نمی‌شوند که در واقع یک مرحله گذار برای رسیدن به مرحله کلیماکس است و پس از آن فاصله دیگر اثر معنی‌داری بر یکدیگر ندارند (شکل ۳-د). اثر متقابل طبقه‌های میان قطر با خیلی قطور و نیز قطور با خیلی قطور به تقریب خنثی است، یعنی می‌توانند در کنار یکدیگر زندگی کنند و یا اینکه در کنار هم نباشند (شکل ۳-ه و ۳-و). تفسیر کلی در مورد اثرات متقابل طبقه‌های قطری مختلف درختان بدین صورت قابل بیان است که نهال‌ها و درختان کم قطر بلندمازو در سنین جوانی در کنار یکدیگرند و همدیگر را تحمل می‌کنند، سپس از نظر اندازه و سن بزرگ می‌شوند و در اثر رقابت حذف می‌شوند. رقابت برای نور در درختان بلندمازو به دلیل نورپسند بودن بیشتر است و چون دخالتی در منطقه انجام نشده است و آشفته‌گی خاصی در این منطقه رخ نداده است، در نتیجه این تغییر الگو به طور احتمالی تنها تحت تأثیر رقابت بوده است. نتایج تابع‌های دو متغیره نشان داد که زمانی که بلندمازو به سن زادآوری می‌رسد (مرحله درخت قطور)، فقط نهال‌ها در منطقه حضور دارند و طبقه‌های قطری دیگر به راحتی مشاهده نمی‌شوند. به طور مثال طبقه میان قطر دیگر وجود ندارد، بنابراین درخت قطور دوباره تغییر پیدا می‌کند و قطر آن افزایش می‌یابد و به یک درخت خیلی قطور تبدیل می‌شود. درست در همین هنگام است که نهال ایجاد شده به درخت کم قطر تبدیل می‌شود که علت این روند، رقابت برای کسب نور و فضا در جنگل است.

نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج مطالعه Akhavan و همکاران (۲۰۱۰) که الگوی مکانی درختان را در مرحله اولیه تحول جنگل در توده‌های دست‌نخورده راش خالص در کلاردشت خوشه‌ای تعیین کردند، مشابه است. همچنین در تأیید نتایج تحقیق Akhavan و Sagheb-Talebi (۲۰۱۲) در کلاردشت است که دریافتند درختان راش از طبقه‌های مختلف قطری، اثرات رقابتی مثبت و منفی متفاوتی در

مراحل مختلف تحولی نسبت به یکدیگر دارند که در فاصله‌های مختلفی با توجه به ابعاد درختان اتفاق می‌افتد. این امر متأثر از سایه‌پسندی، محدودیت پراکنش بذر و رقابت درون‌گونه‌ای راش از طبقه‌های مختلف قطری با یکدیگر است که در مقایسه با گونه مورد مطالعه در پژوهش پیش‌رو متأثر از نورپسندی بلندمازو است. نتایج پژوهش پیش‌رو در راستای نتایج مطالعه Rozas و همکاران (۲۰۰۹) در جنگل‌های بهره‌برداری شده شمال غرب اسپانیا است که به دلیل رقابت، نوعی اثر متقابل منفی (دفع) بین درختان کم قطر و قطور را نشان دادند، اما برخلاف نتایج Zhang و همکاران (۲۰۰۹) در جنگل‌های آلی تبت است که اثرات متقابل درختان در طبقه‌های مختلف قطری را بیشتر از نوع جذب عنوان کردند. آنها علت این رفتار را شرایط سخت محیطی دانسته‌اند که سبب می‌شود درختان کم قطرتر در پناه درختان قطورتر رشد و استقرار یابند. در پژوهش Lan و همکاران (۲۰۱۲) در جنگل‌های گرمسیری چین با تجزیه و تحلیل پراکنش مکانی و اجتماع‌پذیری ۲۰ گونه درختی غالب مشخص شد که بیشتر نهال‌ها دارای پراکنش خوشه‌ای در مقیاس کوچک هستند که در مقیاس‌های بزرگتر مشاهده نمی‌شود. نتایج پژوهش اشاره شده با نتایج به دست آمده در الگوی پراکنش درختان کم قطر در پژوهش پیش‌رو مشابه است. Cheng و همکاران (۲۰۱۳) در یک جنگل حفاظت شده واقع در کوهستان Lingkong در چین، در بررسی الگوی مکانی و اجتماع‌پذیری بلوط (*Q. liaotungensis*) در مراحل مختلف زندگی (نهال، نهال، بالغ و مسن) به این نتیجه رسیدند که الگوهای پراکنش این گونه در مراحل مختلف زندگی متفاوت است. این امر در اثر محدودیت پراکنش بذر و ناهمگنی زیستگاه است که به ترتیب در مقیاس‌های بررسی کوچک و بزرگ تأثیرگذارند. اجتماع‌پذیری و رقابت درون‌گونه‌ای در مراحل مختلف زندگی گونه مذکور تحت تأثیر اندازه درختان و مقیاس بررسی بود. نتایج پژوهش مذکور در رابطه با الگوی پراکنش نهال‌ها با نتایج پژوهش پیش‌رو در مورد الگوی پراکنش درختان کم قطر که تا فاصله حدود هشت متر

- old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. *European Journal of Forest Research*, 131: 1355-1366.
- Anonymous, 2008. Forest Management Plan of Neka-Zalemrood. 200p (In Persian).
 - Barot, S., Gignoux, J. and Menaut, J.C., 1999, Demography of a Savanna Palm tree: predictions from comprehensive spatial pattern analyses. *Ecology*, 80: 1987-2005.
 - Besag, J., 1977. Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. *Journal of Royal Statistical Society*, B(39): 193-195.
 - Cheng, X., Han, H., Kang, F., Song, Yali. and Liu, K., 2013. Point pattern analysis of different life stages of *Quercus liaotungensis* in Lingkong Mountain, Shanxi Province, China. *Journal of Plant Interactions*, 8: 1-9.
 - Cressie, N.A.C. 1993. *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York, 900p.
 - Duncan, R.P., 1993. Testing for life historical changes in spatial patterns of four tropical tree species in Westland, New Zealand. *Journal of Ecology*, 81: 403-416.
 - Erfanifard, Y. and Mahdian, F., 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests, Case study: Wild pistachio research forest, Fars province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1): 62-73 (In Persian).
 - Fajardo, A., Goodburn, J.M. and Graham, J., 2006. Spatial patterns of regeneration in managed uneven-aged Ponderosa pine/Douglas-fir forests of Western Montana, USA. *Forest Ecology and Management*, 223: 255-266.
 - Golbabaei, F. Ebrahimi, G. Kargarfard, A. and Fakhryan, A., 2007. Variation in Mechanical properties of oak (*Quercus castanefolia* C.A.Mey) wood grown of Shafarod Forests (Gilan), Iran. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 22(1): 41-50.
 - 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.
 - Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H. and Stoyan, D., 2008. *Statistical Analysis and Modeling of Spatial Point Patterns*. John Wiley & Sons, 556p.
 - Jayaraman, K., 2000. *A Statistical Manual for Forestry Research*. FORSPA-FAO Publication,

خوشه‌ای بود، مشابه است. همچنین نتایج به دست آمده در مورد اثرات متقابل درختان بلوط مبنی بر این که در سنین جوانی تا فاصله‌های کوتاهی اجتماع پذیری مثبت (جذب) دارند، در راستای نتایج پژوهش پیش‌روست.

با توجه به نتایج پژوهش پیش‌رو که نشان می‌دهد پراکنش بلندمازوها از الگوی تصادفی تبعیت کرده است، دخالت‌های جنگل‌شناسی باید علاوه بر ملاحظه سایر عامل‌های مؤثر در نشانه‌گذاری، به گونه‌ای باشد که برداشت فقط به صورت پایه‌ای و تصادفی انجام شود و توده به سمت الگوی تصادفی سوق داده شود. این نتایج می‌تواند به عنوان الگویی برای اعمال مدیریت در سایر توده‌های جنگلی بلندمازو نیز مورد استفاده دست‌اندرکاران قرار گیرد. با توجه به عدم تحمل‌پذیری طبقه‌های کم‌قطر و میان‌قطر با طبقه خیلی‌قطر، این طبقه‌ها باید در عملیات احیای جنگل در فاصله‌های دورتری نسبت به هم کاشته شوند تا رشد بهتر آنها و استفاده از منابع به راحتی امکان‌پذیر باشد، اما چون نهال‌ها نیاز به سایه و پناه دارند و نیز به دلیل سنگینی بذر بلندمازو، استقرار نهال‌ها در زیر درختان مادری به صورت گروهی شکل می‌گیرند، باید در فاصله‌های کوتاه‌تری نسبت به درختان مادری قرار گیرند.

References

- 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). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(4): 632-644 (In Persian).
- 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. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(2): 322-336 (In Persian).
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Zenner, E.K. and Safavimanesh, F., 2012. Spatial patterns in different forest development stages of an intact

- Sagheb-Talebi, Kh. and Schütz, J-Ph., 2002. The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry*, 75(4): 465-472.
- Salas, C., LeMay, 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.
- Sánchez, M., Moore, M.M., Bakker, J.D. and Parysow, P.F. 2009. 108 years of change in spatial pattern following selective harvest of a *Pinus ponderosa* stand in northern Arizona, USA. *Journal of Vegetation Science*, 20: 1-12.
- Stoll, P. and Bergius, E., 2005. Pattern and process: competition causes regular spacing of individuals within plant populations. *Journal of Ecology*, 93: 395-403.
- Stoyan, D. and Penttinen, A., 2000. Recent application of point process methods in forest statistics. *Statistical Science*, 15: 61-78.
- Wiegand, T., Moloney, K.A., Naves, J. and Knauer, F., 1999. Finding the missing link between landscape structure and population dynamics: a spatially explicit perspective. *American Naturalist*, 154: 605-627
- Wiegand, K., Jeltsch, F. and Ward, D., 2000. Do spatial effects play a role in the spatial distribution of desert-dwelling *Acacia raddiana*? *Journal of Vegetation Science*, 11: 473-484.
- Wiegand, T. and Moloney, K.A., 2004. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *OIKOS*, 104: 209-229.
- Wiegand, T., Gunatilleke, S. and Okuda, T., 2007. Analyzing the structure of a SriLankan trees species with multiple scales of clustering. *Ecology*, 88(12): 3088-3102.
- Woodall, C.W. and Graham, J.M., 2004. A technique for conducting point pattern analysis of cluster plot stem- maps. *Forest Ecology and Management*, 198: 31-37.
- 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.
- Zhu, Y., Xiangcheng, X., Ren, H. and Ma, K., 2010. Density dependence is prevalent in a heterogeneous subtropical forest. *Oikos*, 119: 109-119.
- 240p.
- Karimi, M., Pormajidian, M.R., Jalilvand, H. and Safari, A., 2012. Preliminary study for application of *O*-ring function in determination of small-scale spatial pattern and interaction species (Case study: Bayangan forests, Kermanshah). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(4): 608-621 (In Persian).
- Kneeshaw, D.D. and Bergeron, Y., 1998. Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest. *Ecology*, 79: 783-794.
- Lan, G., Getzin, S., Wiegand, T., Hu, Y., Xie, G., Zhu, H. and Cao, M., 2012. Spatial distribution and interspecific associations of tree species in a tropical seasonal rain forest of China. *Journal PLOS ONE*, 9: 1-9.
- Luis, M.D., Raventos, J., Wiegand, T. and Hidalgo, C.H., 2008. Temporal and spatial differentiation in seedling emergence may promote species coexistence in Mediterranean fire-prone ecosystems. *Ecography*, 31: 620-629.
- Marin, A., 2011. Spatial analysis of a mixed beech, spruce and fir stand in the eastern Alps. M.Sc. thesis, College of Agricultural Sciences, University of Padua, 71p.
- Moeur, M. 1993. Characterizing spatial patterns of tree using stem-mapped data. *Forest Science*, 39: 756-775.
- Nakashizuka, T., 2001. Species coexistence in temperate, mixed deciduous forests. *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 205-210.
- Ning, M., Shirong, L., Hoang, Y., Zuomin, S., Timothy, M. and Yu, L., 2014. Spatial analysis of remnant tree effects in a secondary Abies-Betula forest on the eastern edge of the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Forest Ecology and Management*, 313: 104-111.
- Nishimura, N., Hara, T., Miura, M., Manabe, T. and Yamamoto, S., 2002. Tree competition and species coexistence in a warm-temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology*, 164: 235-248.
- Quinn, J.F. and Dunham, A.E., 1983. On hypothesis testing in ecology and evolution. *American Naturalist*, 122: 602-617.
- 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.

Spatial patterns and intra-specific competition of Chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.) using *O*- ring statistic (Case study: Neka Forest, Iran)

F. Omidvar Hosseini¹, R. Akhavan^{2*}, H. Kia-Daliri³ and A. Mataji⁴

1- M.Sc. Forestry, Forestry Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2* - Corresponding author, Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E- mail: akhavan@rifr-ac.ir

3- Assistant Prof., Forestry Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Associate Prof., Forestry Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 02.18.2014

Accepted: 12.10.2014

Abstract

The spatial patterns of trees in different stages of their life provide important information related to forest regeneration and succession processes. Since competition affects forest structure, understanding competition is important when forest management aims to imitate the dynamics of natural ecosystems. For this purpose, an unmanaged control forest was selected with 26 hectares area. All Chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia*) trees with a diameter at breast height (DBH) greater than 7.5 cm were measured, and their Cartesian coordinates were recorded. Based on their DBH, the measured trees were then divided into four classes of small timber, medium timber, large timber and extra-large timber. The univariate and bivariate *O*- ring statistic were used to investigate the spatial patterns and to examine the intra-specific competition, respectively. Results showed cluster spatial pattern in short distances due to heavy seed and high regeneration frequency, which was later changed to random distribution as distance increased. Moreover, interactions between diameter size classes showed that oak trees with different sizes had different positive (attraction) and negative (repulsion) interactions which occurred at different scales based on the size of trees, influenced by light-demanding, limited seed dispersal and intra-specific competition of oak trees. Since the Chestnut-leaved oak trees showed random distribution, the silvicultural interventions should thus be based on individuals and random single selection to create random spatial patterns in the stand.

Keywords: *O*- ring statistic, spatial patterns, chestnut-leaved oak, untouched stand, intra-specific competition.