جنگل و فرآورده‌های چوب. مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵
ص ۱۵-۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰٤/۱۳

بررسی ساختار عمودی و اجتماعات مکانی گونهٔ راش با استفاده از تابع O-ring در جنگل خیرود نوشهر

❖ **زهرا نوری***؛ دانش‌آموختهٔ دکتری جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **محمود زبیری؛** استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **جهانگیر فقهی؛** دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **محمدرضا مروی مهاجر؛** استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

هدف از مطالعهٔ حاضر، بررسی الگوی مکانی گونهٔ راش در طبقات ارتفاعی و اجتماعات مکانی این گونه در طبقات مختلف ارتفاعی در توده‌های دست‌نخورده است. بدین منظور منطقه‌ای به مساحت ۲۵ هکتار با تیپ راش در بخش گرازبن جنگل خیرود انتخاب شد و کلیهٔ پایه‌های راش با قطر برابرسینهٔ بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند و قطر برابرسینه و موقعیت مکانی آنها ثبت شد. با استفاده از رابطهٔ قطر و ارتفاع گونهٔ راش در بخش گرازبن، ارتفاع درختان محاسبه شد؛ سپس درختان به چهار طبقهٔ ارتفاعی شامل کمتر از ۱۵ متر (S)، ۱۵ تا ۲۵ متر (L)، ۲۵ تا ۳۵ متر (M) و بیشتر از ۳۵ متر (U) تقسیم شدند که تعداد آنها در طبقات ارتفاعیS، L، M و U به‌ترتیب ۳۲، ۶۳، ۵۵ و۱۷ پایه در هکتار بود. سپس الگوی مکانی این گونه در هر یک از طبقات ارتفاعی با استفاده از تابع O-ring یک‌متغیره و اجتماعات مکانی میان طبقات ارتفاعی مختلف با استفاده از تابع دومتغیرهٔ O-ring تحلیل شد. نتایج نشان داد الگوی مکانی گونهٔ راش در طبقهٔ ارتفاعی S، کپه‌ای و در طبقهٔ ارتفاعی L تا فاصلهٔ ۲۱ متر کپه‌ای و پس از آن تصادفی؛ در طبقهٔ ارتفاعی M تا فاصلهٔ ۸ متر کپه‌ای و پس از آن تصادفی؛ و در طبقهٔ ارتفاعی U تصادفی است. نتایج آنالیز دومتغیرهٔ O-ring نشان داد رابطهٔ متقابل پایه‌های راش در طبقهٔ ارتفاعی S با دیگر طبقات ارتفاعی تا فاصلهٔ ۳۰ تا ٤۰ متری از نوع جذب است. مطالعهٔ حاضر کاربرد تابع O-ring را در بررسی ساختار عمودی بوم‌سازگان‌های جنگلی نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: اجتماعات مکانی، الگوی مکانی نقطه‌ای، تابع O-ring، خیرود، راش، ساختار عمودی.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۱۵۸۴۳۶۹
Email: znouri9@Gmail.com

مقدمه

روش‌های مدیریت بوم‌سازگان‌های جنگلی در گذشته تنها بر تولید چوب و فاکتورهای غیرمکانی تمرکز داشتند و ترکیب گونه‌ای درختان، ساختار سنی، ارتفاع، قطر برابرسینه، تراکم، سطح مقطع و موجودی سرپا، معیارهای اصلی برای مطالعه و تنظیم توده بودند [۱] و رویکردهای مدیریتی برپایهٔ این معیارها، ساختار مکانی توده‌های جنگلی را مدنظر قرار نمی‌دادند. اما با گذشت زمان و با کسب تجربه‌های عملی و افزایش دانش در زمینهٔ ساختار مکانی جنگل‌ها، رویکردهای مدیریتی از تمرکز بر فقط تولید چوب، به درنظر گرفتن سایر عوامل ازجمله الگوهای مکانی جنگل تغییر یافتند. یکی از آشکارترین و مهم‌ترین جنبه‌های ساختاری یک تودهٔ جنگلی، الگوی مکانی یا نحوهٔ توزیع درختان در آن است [۲]. الگوهای مکانی درختان و روابط متقابل آنها به‌طور معنی‌داری بر زادآوری، رشد، مرگ‌ومیر، استفاده از منابع، ایجاد روشنه، توسعهٔ زیراشکوب و گسترش آشفتگی‌ها و سایر خصوصیت‌های بوم‌شناختی که توسط مدیریت اعمال می‌شوند (مانند تنک کردن، بهره‌برداری، نهالکاری) تأثیرگذار است [۳]. بیشتر مطالعات مکانی ساختار توده بر توصیف پراکنش مکانی افقی درختان تمرکز می‌کنند و ساختار عمودی توده‌های جنگلی را نادیده می‌گیرند. ساختار عمودی، تأثیر مهمی در بوم‌سازگان‌های جنگلی دارد [٤]. الگوهای توزیع گونه‌های درختی در اشکوب‌های مختلف و همچنین توانایی پراکنش بذر درختان نسبت به ارتفاع آنها تغییر می‌یابد. سازوکارهای زادآوری نیز به ساختار عمودی جنگل بستگی دارد [۲]. تحلیل الگوهای مکانی درختان در طبقات ارتفاعی می‌تواند راهنمایی‌های بسیار مهمی در مورد فرایندهای اساسی پدیدآورندهٔ این الگوها فراهم کند [۵]. ساختار عمودی بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌خصوص در زمان استقرار پایه‌ها بسیار مهم است [٦، ۷]. فرایندهای بوم‌شناختی مختلف در جنگل مانند گونه‌های کف جنگل، زادآوری‌ها و نهال‌ها با جنبه‌های مختلف ساختار عمودی یعنی ترکیب گونه‌ای و آرایش مکانی گونه‌ها در اشکوب‌های مختلف ارتباط دارند. از تحلیل الگوی پراکنش مکانی درختان در بررسی اثر متقابل[1] و اجتماع‌پذیری[2] درختان در توده‌های جنگلی نیز استفاده می‌شود. یکی از اهداف بررسی الگوی مکانی، درک رقابت میان درختان و روابط مکانی مرتبط با ساختار توده است. از این اطلاعات می‌توان برای آگاه‌سازی مدیران (به‌عنوان مثال به‌منظور تقلید از الگوهای مکانی طبیعی) و اصلاح مدل‌های پویایی توده استفاده کرد. به‌علاوه، الگوی مکانی کنونی یک گونه، به‌ویژه اثرهای متقابل پایه‌های بالغ و جوان، اطلاعات مفیدی دربارهٔ فرایند تجدید حیات گونه به‌دست خواهد داد [۸]؛ بنابراین بررسی ساختار توده‌های جنگلی و اجتماع‌پذیری بین طبقات قطری یا ارتفاعی در یک جنگل ضروری است و هر گونه شناختی در این زمینه باید به‌هنگام برنامه‌ریزی برای مدیریت و حفاظت آنها مدنظر قرار گیرد.

با اینکه بیشتر پژوهش‌ها در زمینهٔ مطالعهٔ ساختار مکانی بوم‌سازگان‌های جنگلی، بر پراکنش مکانی افقی آنها تمرکز دارند، مطالعاتی نیز در زمینهٔ ساختار

1. Interaction
2. Association

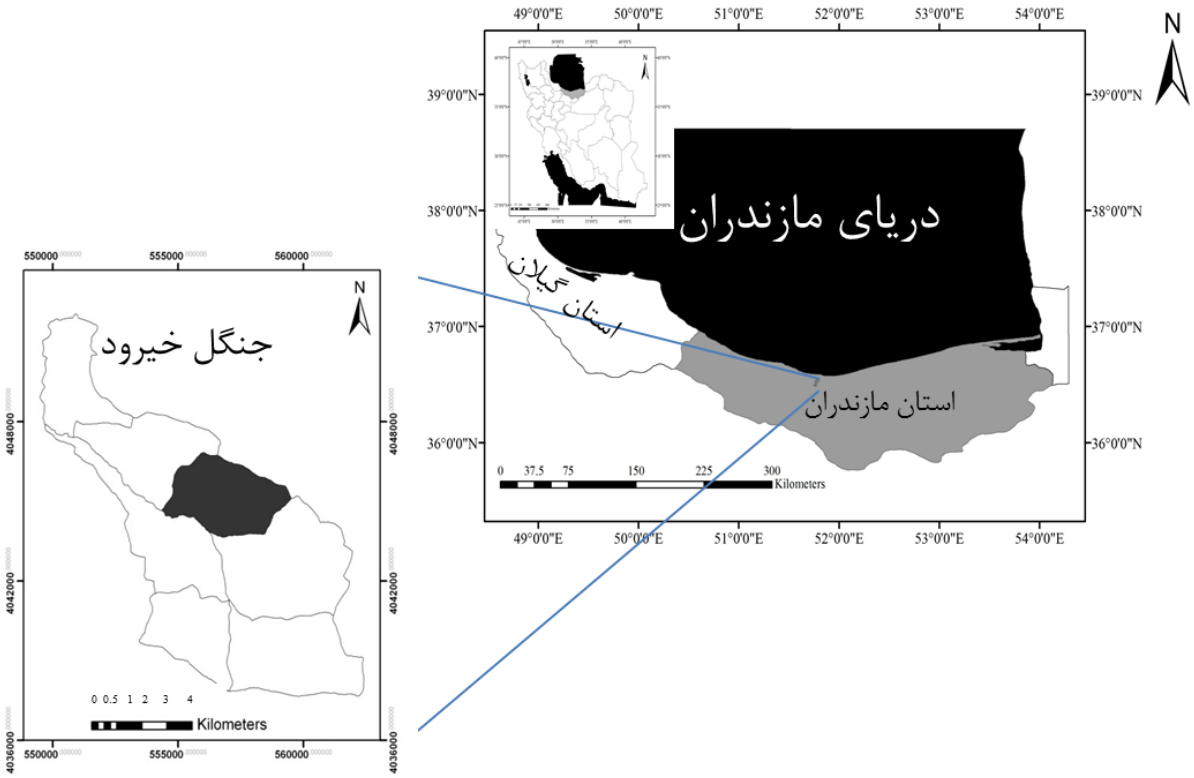
عمودی جنگل‌های مختلف و الگوی پراکنش گونه‌ها و همچنین روابط میان و بین‌گونه‌ای در طبقات ارتفاعی متمایز انجام گرفته است. ناکاشیزوکا (۲۰۰۱) بیان می‌کند که مشارکت ناهمگنی عمودی در همزیستی گونه‌ها در جنگل‌های معتدله بیشتر از روابط متقابل زیستی و آشفتگی‌ها در مراحل نهال و بزرگسالی است. همچنین ناهمگنی عمودی تأثیر مهم‌تری از ناهمگنی افقی در مرحلهٔ بزرگسالی دارد [٦]. کوهیاما (۱۹۹۳) ساختار جنگل‌های بارانی گرم و معتدله را بررسی کرد و نشان داد که رقابت یکجانبه برای نور، تأثیر حیاتی بر الگوهای مکانی این جنگل‌ها دارد [۷]. هارا و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که ناهمگنی زیستگاه و راهبردهای زادآوری مختلف (شیوه‌های مختلف پراکنش بذر و سازوکارهای استقرار نهال) به الگوهای متفاوت در بوم‌سازگان‌های جنگلی منجر می‌شود [۹]. هاو و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای در جنگل‌های آمیختهٔ پهن‌برگ در چین، الگوهای مکانی و اجتماعات مکانی درختان غالب را در طبقات ارتفاعی و روابط میان گونه‌ای و بین‌گونه‌ای در طبقات ارتفاعی را در مقیاس به‌نسبت بزرگ ۲۵ هکتاری در یک جنگل آمیختهٔ پهن‌برگ پیش‌رسته بررسی کردند [۱۰]. سالاس و همکاران (۲۰۰٦) در مطالعه‌ای در جنگل‌های کهنسال نوتوفاگوس (*Notofagus oblique*) الگوی مکانی و اجتماعات مکانی این گونه را در طبقات مختلف ارتفاعی بررسی کردند [۵]. مرور منابع داخلی نشان داد تاکنون مطالعه‌ای در زمینهٔ بررسی ساختار مکانی عمودی جنگل‌های شمال کشور صورت نگرفته و تحقیق حاضر از این منظر کاملاً جدید است. جنگل های شمال کشور به‌عنوان مهم‌ترین و باارزش‌ترین بوم‌سازگان جنگلی کشور [۱۱] و منبع مهم تولید چوب و سایر خدمات جنگلی مطرح است که در آن گونهٔ راش از باارزش‌ترین گونه‌های تولیدکنندهٔ چوب به‌شمار می‌رود. ازآنجا که الگوی پراکنش و تأثیر آن بر پویایی جمعیت و بوم‌سازگان دو موضوع اساسی در علم بوم‌شناسی است و با توجه به وسعت پراکنش توده‌های راش در مناطق مختلف جنگل‌های خزری، بررسی الگوی پراکنش این گونه و بررسی اجتماعات مکانی آن در طبقات ارتفاعی مختلف از اهمیت بسزایی برخوردار است. در مطالعهٔ حاضر، ارتفاع به‌عنوان مؤلفهٔ طبقه‌بندی درختان بررسی شد، زیرا ارتفاع درخت بیش از عوامل دیگر به فرایندهای بوم‌شناختی حساسیت دارد [۳، ۵]. هدف مطالعهٔ حاضر، ارزیابی الگوی مکانی گونهٔ راش و بررسی اجتماعات مکانی میان‌گونه‌ای در طبقات ارتفاعی مختلف درختان با استفاده از تابع O-ring در بخش گرازبن جنگل خیرود است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

مطالعهٔ حاضر در بخش گرازبن از جنگل آموزشی – پژوهشی خیرود (۳٦°۲۷′ تا ۳٦°٤۰′ عرض شمالی و ۵۱°۳۲′ تا ۵۱°٤۳′ طول شرقی) انجام گرفت. این بخش با مساحت ۹۳٤/٤۲ هکتار، سومین بخش از مجموعه جنگل‌های تحت مدیریت دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران است که در ۷ کیلومتری شرق نوشهر قرار دارد. بخش گرازبنِ جنگل خیرود در محدودهٔ راشستان‌های هیرکانی واقع شده است که به‌علت دخالت‌های بی‌رویه و مستمر گذشته، ممرز در توده‌های راش به‌وفور دیده می‌شود و جوامع طبیعی راش در قسمت‌هایی در حقیقت به یک تیپ گذرای راش – ممرز تغییر یافته

است که چنانچه دخالت انسانی در آن صورت نگیرد، دوباره به‌سمت راشستان متحول خواهد شد [۱۲]. با استفاده از نقشهٔ تیپ‌بندی بخش گرازبن منطقه‌ای به مساحت ۲۵ هکتار با تیپ راش در این بخش انتخاب شد. ارتفاع از سطح دریا در پارسل مورد نظر ۱۱۹۰ تا ۱۲۷۰ متر است و بیشتر قسمت‌های آن جهت جنوبی دارد. منطقهٔ تحقیق دست‌نخورده بود و تا زمان آماربرداری، هیچ‌گونه عملیات پرورشی، تجدید حیات و بهره‌برداریِ برنامه‌ریزی‌شده (در قالب طرح‌های جنگلداری) در آن اجرا نشده بود.



شکل ۱. منطقهٔ تحقیق در ایران، استان مازندران و جنگل خیرود

روش پژوهش

در منطقهٔ تحقیق کلیهٔ پایه‌های راش با قطر برابرسینهٔ بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و قطر برابرسینه و موقعیت مکانی آنها به ثبت رسید. به‌منظور ثبت موقعیت مکانی درختان از روش فاصله – آزیموت استفاده شد؛ بدین ترتیب که با استفاده از دستگاه فاصله‌یاب لیزری (TruPulse 360) فاصله و آزیموت تمام پایه‌های راش منطقه نسبت به ایستگاه‌های مشخص در عرصه اندازه‌گیری و ثبت شد. به‌منظور تولید نقشه از مرکز تنهٔ درختان، نصف قطر برابرسینهٔ درخت به فاصلهٔ خوانده‌شده در همان آزیموت اضافه شد تا محل دقیق مرکز تنهٔ درختان به‌جای سطح خارجی پوست شبیه‌سازی شود. در مرحلهٔ بعد، داده‌های فاصله – آزیموت که در طی عملیات زمینی برداشت شده بود، با استفاده از روابط ریاضی به موقعیت مکانی آنها برحسب طول و عرض جغرافیایی تبدیل شد.

ارتفاع درختان با استفاده از رابطهٔ قطر و ارتفاع گونهٔ راش در بخش گرازبن محاسبه شد [۱۳]؛ سپس

درختان به چهار طبقهٔ ارتفاعی (ارتفاع کمتر از ۱۵ متر، ۱۵ تا ۲۵ متر، ۲۵ تا ۳۵ متر و بیشتر از ۳۵ متر) تقسیم شدند که در این تحقیق به‌ترتیب درختان با ارتفاع کمتر از ۱۵ متر (S)، ۱۵ تا ۲۵ متر (L)، ۲۵ تا ۳۵ متر (M)، و بیشتر از ۳۵ متر (U) نشان داده شده‌اند.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

از روش‌های آماری متعددی برای آنالیز الگوهای مکانی نقطه‌ای استفاده شده است. در میان این روش‌ها، تابع k یا L رایپلی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده است. با وجود این، هنگام استفاده از تابع رایپلی در تجزیه وتحلیل داده‌ها مشکلاتی وجود دارد [۱۴]. تابع K رایپلی براساس تعداد درخت موجود در شعاع مشخص (r) به بررسی الگوهای مکانی می‌پردازد. با افزایش این شعاع، تابع همهٔ اطلاعات موجود در دایره را درنظر می‌گیرد [۱۴]. در مقابل در آمارهٔ O-ring که برپایهٔ تابع K رایپلی و تابع همبستگی جفتی است، دایره‌های مورد استفاده برای محاسبهٔ تابع رایپلی با حلقه‌ها جایگزین می‌شوند. اساس این تابع، متوسط تعداد نقاط (درختان) قرارگرفته بر روی حلقه‌ها با شعاع r از نقاط مرکزی (درختان) داخل منطقهٔ تحقیق است؛ بنابراین طبقات فاصله‌ای معین را مجزا می‌کند. مزیت دیگر تابع O-ring این است که یک تابع توزیع احتمالی با تشریح تراکم همسایه‌ها و نقاط مجاور است و بنابراین قدرت بیشتری در کشف و تحلیل الگو و کنش متقابل نسبت به تابع رایپلی دارد [۱۴].

این آماره شامل تابع‌های یک و دومتغیره است و با تابع K رایپلی و تابع رابطهٔ جفتی $g(r)$ ارتباط دارد. آمارهٔ تک‌متغیرهٔ O-ring به‌صورت رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود:

$$O(r) = \lambda g(r) \qquad (۱)$$

در این رابطه $O(r)$ آمارهٔ تک‌متغیرهٔ O-ring، λ تراکم (تعداد در واحد سطح) و $g(r)$ مشتق تابع K رایپلی است. در الگوی کاملاً تصادفی $O(r) = \lambda$ است،

$O(r) > \lambda$ نشان‌دهندهٔ کپه‌ای بودن الگو در فاصلهٔ r و $O(r) < \lambda$ نشان‌دهندهٔ الگوی پراکنده است.

در آمارهٔ O-ring دومتغیره (رابطهٔ ۲) $O_{12}(r)$، $g_{12}(r)$ تعداد مورد انتظار گروه دو در فاصلهٔ r از نقطهٔ دلخواه گروه یک است.

اگر $O_{12}(r) = \lambda_2$ باشد، دو الگو یا دو گروه از درختان از هم مستقل‌اند و اثر متقابل معنی‌دار ندارند که فرض صفر در نظر گرفته می‌شود. اگر $O_{12}(r) > \lambda_2$ باشد، نشان‌دهندهٔ حالت جذب است و $O_{12}(r) < \lambda_2$ حالت دفع بین دو گروه را نشان می‌دهد.

$$O_{12}(r) = \lambda_2 g_{12}(r) \qquad (۲)$$

در این رابطه، $O_{12}(r)$ آمارهٔ دومتغیرهٔ O-ring، λ_2 تراکم (تعداد در واحد سطح) گروه دوم و $g_{12}(r)$ مشتق تابع $K_{12}(r)$ است.

در این تحقیق از تابع O-ring یک‌متغیره به‌منظور بررسی الگوی پراکنش مکانی گونهٔ راش در هر یک از طبقات ارتفاعی، و از تابع دومتغیرهٔ آن به‌منظور بررسی ارتباطات متقابل مکانی درختان در طبقات ارتفاعی استفاده شد. برای آزمون معنی‌دار بودن تفاوت اثر متقابل مشاهده‌شده از نوع جذب[1] یا دفع[2] بین گروه‌های مختلف درختان، با وضعیت بدون اثر متقابل که به‌عنوان فرض صفر در نظر گرفته می‌شود، حدود اعتماد با استفاده از آزمون مونت‌کارلو محاسبه و ترسیم شد؛ به‌طوری که اگر تابع دومتغیرهٔ O-ring

1. Attraction
2. Repulsion

در داخل این محدوده قرار گیرد، الگوی اجتماع‌پذیری مشاهده‌شده با الگوی مستقل تفاوت آماری معنی‌داری ندارد؛ اما اگر تابع دومتغیرهٔ O-ring بالاتر از این محدوده قرار گیرد، بیانگر وجود ارتباط مکانی مثبت از نوع جذب، و اگر پایین‌تر از این محدوده واقع شود، نشان‌دهندهٔ ارتباط مکانی منفی از نوع دفع در بین گونه‌ها یا گروه‌های مختلف تحت بررسی است. در تحقیق حاضر برای حالت دومتغیرهٔ تابع O-ring، به‌منظور کاهش مسائل مربوط به حاشیه و خطای تقریب در اندازه‌گیری موقعیت درختان، رابطهٔ متقابل میان درختان در فاصلهٔ حداکثر ۵۰ متر بررسی شد. همچنین در فاصلهٔ بیشتر از ۵۰ متر انتظار می‌رود روابط متقابل بین درختان به حداقل برسد [۵].

هنگام به‌کارگیری تابع O-ring دومتغیره برای بررسی رابطهٔ متقابل طبقات ارتفاعی مختلف، فرض شد که طبقات ارتفاعی بالاتر بر استقرار و رشد طبقات ارتفاعی پایین تأثیر می‌گذارند، اما طبقات ارتفاعی پایین بر پایه‌های درختی بلندتر تأثیری ندارند؛ بنابراین داده‌ها براساس فرض صفر[1] که موقعیت درختان طبقات ارتفاعی پایین را تصادفی می‌کند و موقعیت درختان طبقات ارتفاعی بالا را ثابت درنظر می‌گیرد، تجزیه‌وتحلیل شده‌اند. حدود اطمینان ۹۹ درصد از ۹۹ بار شبیه‌سازی فرض صفر به‌دست آمد. همهٔ تجزیه‌وتحلیل‌های مکانی با استفاده از بستهٔ نرم‌افزاری Programita انجام گرفت [۱٤].

نتایج و بحث

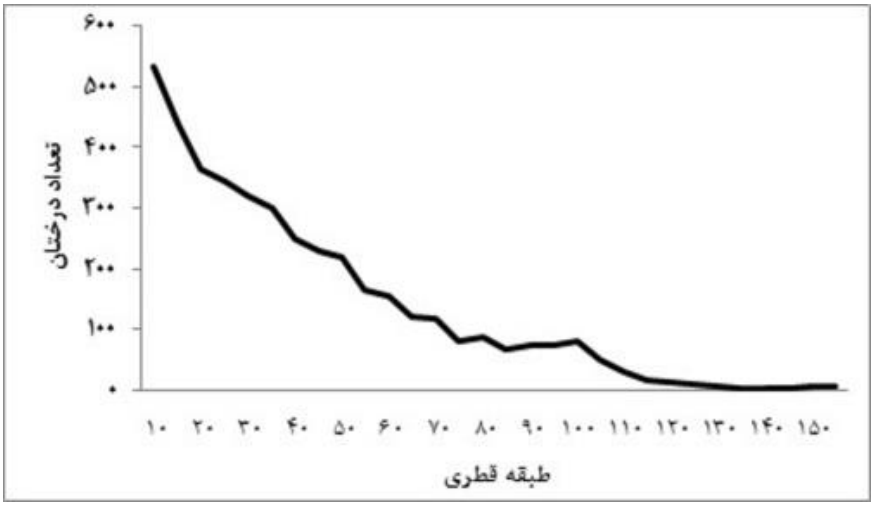
در مجموع ٤۱٦۳ پایه گونهٔ راش در منطقهٔ تحقیق ثبت و الگوی مکانی آنها بررسی شد. تعداد درختان راش در طبقات ارتفاعی S، L، M و U به‌ترتیب ۳۲، ٦۳، ۵۵ و ۱۷ پایه در هکتار بود. مشخصات کمّی این گونه در منطقهٔ تحقیق در جدول ۱ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، توزیع پراکنش قطری گونهٔ راش در منطقهٔ تحقیق به‌صورت کاهشی است. منطقهٔ تحقیق ساختار قطری ناهمگن را که به‌صورت منحنی پراکنش قطری کم‌شونده است، نشان می‌دهد که یکی از خصوصیات جنگل‌های راش شرقی پیش‌رسته و همچنین جنگل‌های راش اروپایی و منعکس‌کنندهٔ تأثیرات رژیم‌های آشفتگی کوچک‌مقیاس است [۱۵]. منحنی پراکنش قطری توده‌های جنگلی ناهمسال همواره حالت کم‌شونده دارد، به این ترتیب که تعداد درختان کم‌قطر به‌مراتب بیشتر از درختان قطور است.

در شکل ۳ موقعیت مکانی گونهٔ راش در طبقات ارتفاعی مختلف در منطقهٔ تحقیق ارائه شده است.

تابع یک‌متغیره O-ring

الگوی مکانی گونهٔ راش در هر یک از طبقه‌های ارتفاعی (S, L, M, U) با استفاده از تابع تک‌متغیرهٔ O-ring بررسی شد. نتایج نشان داد که در طبقهٔ ارتفاعی S با توجه به قرار گرفتن تابع O-ring تا فاصلهٔ ۳۱ متر در بالای حدود اطمینان مونت‌کارلو، پراکنش درختان تا این فاصله کپه‌ای است و در فواصل بیشتر از آن، ابتدا تصادفی و سپس پراکنده می‌شود (شکل ٤ الف). در طبقهٔ ارتفاعی L تا فاصلهٔ ۲۱ متر الگوی پراکنش کپه‌ای مشاهده می‌شود، اما در فاصلهٔ بیشتر از ۱۰ متر با آنکه الگوی پراکنش کپه‌ای است، از درجهٔ کپه‌ای شدن کم می‌شود و الگوی مکانی درختان به‌سمت تصادفی تمایل می‌یابد و در

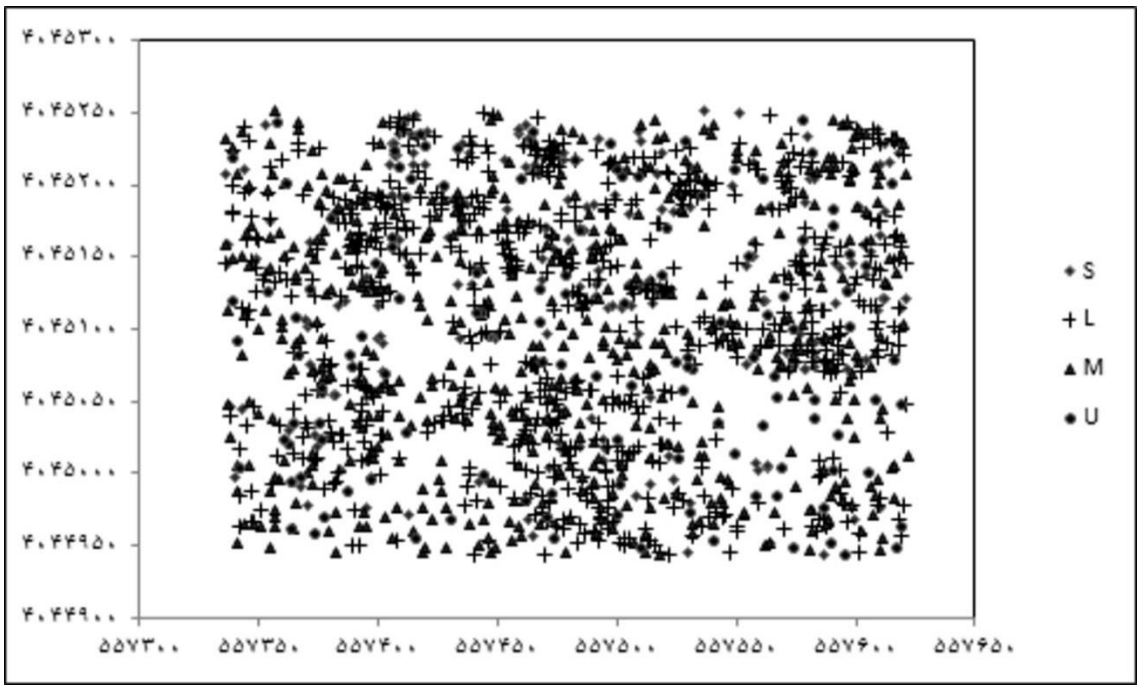
1. Null Model



شکل ۲. پراکنش قطری گونهٔ راش در منطقهٔ تحقیق

جدول ۱. خصوصیات کمّی گونهٔ راش در منطقهٔ تحقیق

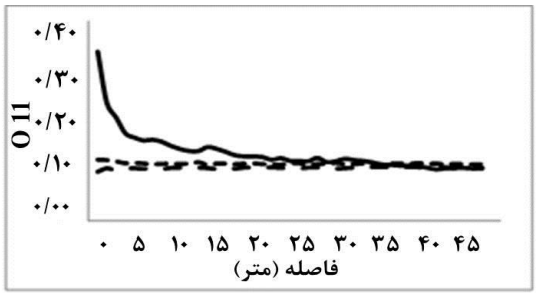
	ارتفاع (متر)	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)
کمینه	۱۰/۵۳	۷/۵
بیشینه	۴۴/۱۷	۱۸۸
میانگین	۲۳/۴۵	۴۱
درصد ضریب تغییرات	۳۴	۶۹



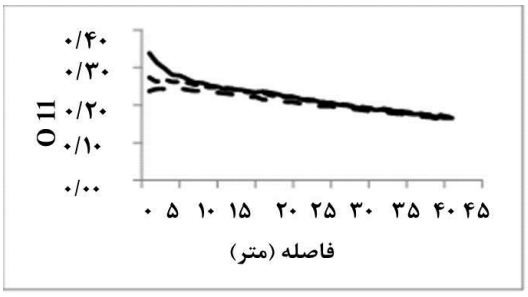
شکل ۳. موقعیت مکانی درختان در طبقات ارتفاعی مختلف در بخشی از منطقهٔ تحقیق (اعداد محورها مربوط به مختصات UTM می‌باشد)

فواصل بیشتر از ۲۱ متر تابع O-ring در داخل حدود مونت‌کارلو قرار می‌گیرد که نشان‌دهندهٔ الگوی پراکنش تصادفی است (شکل ٤ ب). در طبقهٔ ارتفاعی M تا فاصلهٔ ۸ متر تابع O-ring در بالای حدود مونت‌کارلو قرار می‌گیرد که نشان‌دهندهٔ الگوی پراکنش کپه‌ای است و بعد از آن تابع در داخل محدودهٔ مونت‌کارلو قرار می‌گیرد که حاکی از الگوی تصادفی است (شکل ٤ ج). در طبقهٔ ارتفاعی U الگوی پراکنش درختان حتی در فواصل کم نیز تصادفی است (شکل ٤ د). به‌عبارت‌دیگر با بالا رفتن طبقات ارتفاعی، از درجهٔ کپه‌ای شدن الگوی مکانی درختان کاسته شده و به‌سمت الگوی تصادفی متمایل می‌شود تا اینکه در بالاترین طبقهٔ ارتفاعی الگوی پراکنش درختان کاملاً تصادفی می‌شود.

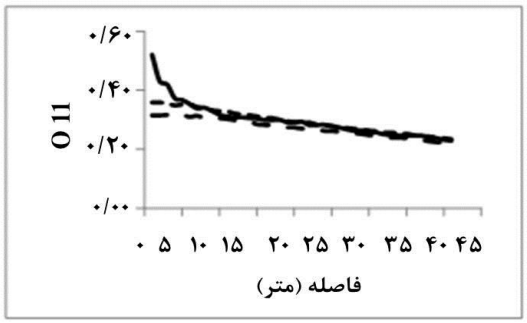
هاو و همکاران (۲۰۰۷) نتایج مشابهی را در جنگل‌های آمیختهٔ پهن‌برگ در چین گزارش کرده‌اند، به‌طوری که بیشتر درختان در طبقات ارتفاعی بالاتر در همهٔ مقیاس‌ها به‌طور تصادفی یا پراکنده توزیع شده بودند و طبقات ارتفاعی پایین‌تر به کپه‌ای شدن در مقیاس‌های کوچک‌تر تمایل داشتند و درجهٔ کپه‌ای شدن با افزایش ارتفاع کاهش یافت [۱۰]. نتایج مشابهی در بسیاری از تحقیق‌ها گزارش شده است [۵، ١٤]. برخی از محققان بیان کرده‌اند که توزیع تصادفی یا پراکنده در طبقات ارتفاعی بالاتر ناشی از رقابت شدید درون و بین‌گونه‌ای برای منابع (نور، آب، منابع غذایی) است. در مقابل، برخی محققان اظهار کرده‌اند که الگوهای تجمعی درختان در طبقات ارتفاعی پایین‌تر ناشی از ناهمگنی زیستگاه‌های مختلف یا پراکنش محدود بذر است [۱۰]، به‌طوری که گونه‌های دارای پراکنش محدود بذر نسبت به گونه‌هایی دارای پراکنش بذر وسیع‌تر، الگوی کپه‌ای شدیدتری دارند.



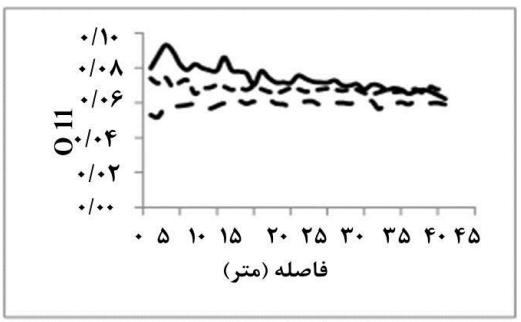
طبقه ارتفاعی S (۴الف)



طبقه ارتفاعی L (۴ب)



طبقه ارتفاعی M (۴ج)



طبقه ارتفاعی U (۴د)

شکل ٤. مقدار تابع O-ring و حدود اطمینان مونت‌کارلو برای طبقه‌های ارتفاعی مختلف گونهٔ راش (S, L, M, U)

یکی از علت‌های پراکنش کپه‌ای این گونه در طبقات ارتفاعی پایین، خصوصیات بوم‌شناختی آن از جمله بذرهای سنگین، سایه‌پسندی و داشتن زادآوری لکه‌ای است. در واقع نحوهٔ زادآوری درختان یکی از عوامل مؤثر بر موقعیت مکانی درختان است، بدین‌صورت که الگوی مکانی درختان ابتدا با توزیع بذر و تغییرات مکانی تجدید حیات و زنده‌مانی اولیهٔ آنها تعیین می‌شود و سپس تحت تأثیر شرایط محیطی از قبیل خاک، توپوگرافی، رقابت، و گذشتهٔ توده قرار می‌گیرد [۱۶]. تغییرات الگوی مکانی درختان در طی زمان براساس چند عامل ازجمله سازوکارهای زادآوری، دسترسی به نور و رطوبت و رقابت میان گونه‌های درختی و رقابت با گیاهان دیگر تعیین می‌شود، به‌طوری که پراکنش اولیهٔ بذر ممکن است به الگوهای کپه‌ای نهال‌ها منجر شود، اما این الگوها ممکن است به‌علت رقابت بین درختان به الگوی تصادفی یا پراکنده تغییر یابد [۱۷].

گونه‌های مختلف در زیستگاه‌های متفاوت، بسته به عواملی مانند خاک، تغییرات توپوگرافی و توزیع ناهمگن نور استقرار می‌یابند و بقا پیدا می‌کنند [۱۸]. الگوی پراکنش مکانی گیاهان ممکن است ناشی از نامتجانس بودن و یکنواخت نبودن در محیط، آشفتگی‌های طبیعی و انسانی، رقابت درون و بین‌گونه‌ای، تجدید حیات و مرگ‌ومیر باشد [۱۹]. برای مثال الگوی پراکنش کپه‌ای، عمومی‌ترین الگوی پراکنش مشاهده‌شده در طبیعت است که از دو عامل عمده نشأت می‌گیرد: ناهمگنی محیطی و محدودیت پراکنش بذر [۱۷].

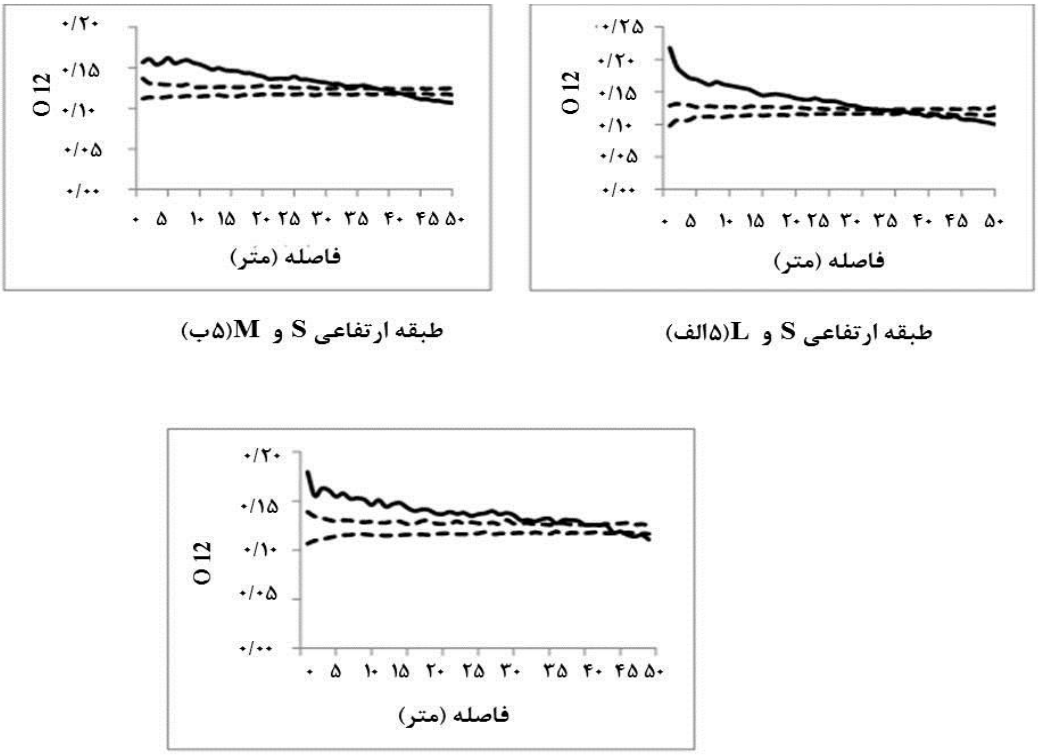
درختان مرتفع‌تر در قسمت‌های بالای تاج‌پوشش در نتیجهٔ فرایندهای بوم‌شناختی طولانی‌مدت با قابلیت رقابتی فزاینده، بیشتر به پراکنش تصادفی تمایل دارند؛ در مقابل درختان کوتاه‌تر، به‌دلیل افتادن درختان بلندتر و اغلب کهنسال‌تر و قطورتر، به الگوی کپه‌ای در روشنه‌ها و سطوح اطراف روشنه‌ها متمایل‌اند [۱۰].

تابع دومتغیرهٔ O-ring

نتایج تابع دومتغیرهٔ O-ring حاکی از آن است که اثرهای متقابل تقریباً مشابهی بین درختان با ارتفاع پایین (S) و سایر طبقه‌های ارتفاعی وجود دارد، به‌طوری که این اثر متقابل بیشتر از نوع جذب است (شکل‌های ۵ الف، ب، ج)؛ به‌بیان دیگر، درختان طبقهٔ ارتفاعی پایین، به حضور در اطراف درختان در طبقات ارتفاعی بالاتر تمایل دارند. به‌طوری که درختان طبقهٔ ارتفاعی S تا فاصلهٔ ۳۱ متری در اطراف درختان طبقهٔ ارتفاعی L تجمع یافته‌اند و سپس تا فاصلهٔ ۳۸ متری بدون رابطهٔ متقابل معنی‌داری در کنار یکدیگر حضور دارند و بعد از آن تا فاصلهٔ ۵۰ متر رابطهٔ متقابل دفع را نشان می‌دهند. همچنین بین درختان طبقهٔ ارتفاعی S و M تا فاصلهٔ ۳۷ متر رابطهٔ جذب دیده می‌شود. پایه‌های کم‌ارتفاع گونهٔ راش نیز رابطهٔ متقابل مثبتی با مرتفع‌ترین درختان (U) تا فاصلهٔ ٤٠ متر دارند.

نتایج این تحقیق با یافته‌های هاو و همکاران (۲۰۰۷) همسوست؛ در تحقیق آنان، گونه‌های *Pinus Koraiensis* و *Tilia amurensis* در طبقات ارتفاعی پایین، به‌شدت در اطراف درختان مادری تجمع یافته بودند [۱۰]. این مسئله را می‌توان با نوع زادآوری گونهٔ راش که در طبیعت در یک جنگل دست‌نخورده به‌صورت لکه‌ای و گروهی است مربوط دانست. از سوی دیگر خصوصیت سایه‌پسندی نهال‌ها و نونهال‌های برخی از

گونه‌ها ازجمله راش سبب می‌شود که پایه‌های موجود در طبقات ارتفاعی پایین به‌خوبی بتوانند در زیر تاج پوشش درختان مادری رشد کنند. در مقابل تجمع مکانی منفی برخی از گونه‌ها در طبقات ارتفاعی پایین‌تر نسبت به درختان مادری نشان‌دهندهٔ رقابت یا اثرهای وابسته به تراکم گزارش شده است که بین پایه‌های جوان و بزرگسال رخ می‌دهد. برخی از محققان، رابطهٔ مکانی مثبت نهال‌های برخی از گونه‌ها ازجمله نمدار و کاج با درختان مادری یا پایه‌های مرتفع گونه‌های دیگر را ناشی از آشیان اکولوژیک وسیع این گونه‌ها می‌دانند که می‌توانند به‌خوبی در زیر تاج‌پوشش سایر گونه‌ها رشد کنند [۱۰].



طبقه ارتفاعی S و L(۵الف)　　طبقه ارتفاعی S و M(۵ب)

طبقه ارتفاعی S و U(۵ج)

شکل ۵. نمودار تابع دومتغیره O-ring و حدود مونت‌کارلو بین طبقات ارتفاعی مختلف گونهٔ راش

با مقایسهٔ اجتماعات مکانی طبقات ارتفاعی متفاوت می‌توان نتیجه گرفت که گونه‌های مختلف نیازمندی‌های زیستگاهی مختلف برای بقا و استقرار دارند. ناهمگنی توزیع نور که توسط تاج‌پوشش پیچیده ایجاد می‌شود، به تجمع گونه‌های نورپسند در مکان‌های پرنورتر می‌انجامد (مانند روشنه‌ها)؛ درحالی که گونه‌های سایه‌پسند مانند راش در زیر تاج‌پوشش بسته پراکنش می‌یابند. دیگر فاکتورهای زیستگاهی ازجمله رطوبت خاک و شرایط توپوگرافی نیز بر ایجاد الگوهای مکانی تأثیرگذارند؛ به‌طوری که زادآوری در رویشگاه‌های دارای رطوبت محدود ممکن است در مجاورت درختان بزرگ‌تر که خاک‌ها مرطوب‌ترند رخ دهد که به کپه‌ای شدن درختان کوچک و الگوی جذب بین درختان کوچک و بزرگ

منجر می‌شود [۱]. برعکس در رویشگاه‌های با رطوبت کافی که نور، عامل محدودکننده است، زادآوری در روشنه‌ها رخ می‌دهد که باز هم به الگوی کپه‌ای درختان کوچک منجر می‌شود، اما گاهی با الگوی دفع میان درختان بزرگ و کوچک در طول زمان، مرگ‌ومیر ناهمسان درختان کوچک‌تر این الگوها تغییر می‌یابد [۱۷].

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق، بهبود دانش در زمینهٔ الگوها و اجتماعات مکانی گونهٔ راش بود که از باارزش‌ترین گونه‌های درختی جنگل‌های هیرکانی به‌شمار می‌رود. بدین منظور تابع O-ring به‌کار گرفته شد. نتایج پژوهش به‌وضوح نشان داد که ساختار عمودی تأثیر مهمی در زادآوری جمعیت‌ها و پویایی توده‌های راش دارد.

در دهه‌های اخیر، مقیاس‌های مطالعهٔ بوم‌سازگان‌های جنگلی در نتیجهٔ همگرایی نظریه‌های بوم‌شناختی نوین ازجمله بوم‌شناسی سیمای سرزمین و دسترسی به فناوری‌های کسب داده (مانند سامانه‌های اطلاعات مکانی و آمار مکانی) به‌سمت مطالعاتی با مقیاس‌های چندگانه تغییر یافته‌اند و مشارکت اطلاعات مکانی در تجزیه‌وتحلیل‌های بوم‌سازگان، چالش اصلی در زمینه‌های جنگلداری، بوم‌شناسی و مدیریت جنگل است؛ در حقیقت درحالی که تصویرهای ماهواره‌ای و سامانه‌های اطلاعات مکانی چشم‌اندازی بزرگ‌مقیاس از الگوهای سیمای سرزمین جنگل فراهم می‌کنند، بیشتر اطلاعات بوم‌شناختی از مقیاس‌های کوچک‌تر به‌دست می‌آیند. در مدیریت جنگل، الگوهای کوچک‌مقیاس، اغلب به ترکیب و آرایش مکانی درختان (برای مثال توزیع قطری و الگوی مکانی) می‌پردازند، درحالی که پویایی‌های بزرگ‌مقیاس‌تر به ساختار عمودی جنگل و کارکردهایی در سطح توده مانند تیپ جنگل و بیوماس اشاره دارند [۳]. در کل باید گفت ساختار تودهٔ جنگلی (الگوی مکانی) تأثیر مهمی در شناخت و توصیف بوم‌سازگان‌های جنگلی، توسعه و تحول جنگل و تنوع زیستی مناطق جنگلی دارد. آگاهی از ساختار مکانی گونه‌ها به مدیران جنگل در تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار جنگل در عملیات پرورشی، جنگلکاری و نشانه‌گذاری نیز کمک می‌کند، به‌طوری که جنگل‌شناس با مشاهدهٔ الگوهای ساختاری طبیعت، شناختی از ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه‌های مختلف به‌دست می‌آورد 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 [۲۰].

References

[1]. Yuanfa, L., Shaoming, Y., Gangying, H., Yanbo, H., and Zhonghua, Z.H. (2014). Spatial structure of timber harvested according to structure-based forest management. Forest Ecology and Management, 332: 106-116.

[2]. 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.

[3]. Chen, J., and Bradshaw, G.A. (1999). Forest structure in space: a case study of an old growth spruce forest in Changbaishan Natural Reserve, PR China. Forest Ecology and Management, 120: 219-233.

[4]. Fonseca, M.G., Martini, A.M.Z., and dos Santos, F.A.M. (2004). Spatial structure of Aspidosperma polyneuron in two semi-deciduous forests in southeast Brazil. Journal of Vegetation Science, 15 (1): 41–48.

[5]. 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.

[6]. Nakashizuka, T. (2001). Species coexistence in temperate, mixed deciduous forests. Trends in Ecology and Evolution, 16: 205–210**.**

[7]. Kohyama, T. (1993). Size-structured tree populations in gap dynamics forest: the forest architecture hypothesis for the stable coexistence of species. Journal of Ecology, 81:131–143.

[8]. Lemay, V., Pommerening, A., and Marshall, P. (2009). Spatio-temporal structure of multi-storied, multi-aged interior Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*) stands. Journal of Ecology, 97: 1062-1074.

[9]. Hara, T., Nishimura, N., and Yamamoto, S. (1995). Tree competition and species coexistence in a cool-temperate old-growth forest in southwestern Japan. Journal of Vegetation Science, 6:565–574.

[10]. Hao, Z., Zhang, J.B., Song, 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.

[11]. Marvie Mohadjer, M.R. (2005). Silviculture. University of Tehran Press, Tehran .387 p.

[12]. Marvie Mohadjer, M.R., Zobeiri, M., Etemad, V., and Jour Gholami, M. (2009). Performing the single selection method at compartment level and necessity for full inventory of tree species (Case study: Gorazbon district in Kheyroud Forest). Journal of Iranian Natural Resources, 61(4): 889-908.

[13]. Bayat, M., Namiranian, M., and Zobeiri, M. (2014). Volume, Height and Wood Production Modeling using the Changes in a Nine Years Rotation (Case Study: Gorazbon District in Kheyroud Forest, North of Iran) Journal of Forests and Wood Products, 67(3):423-435.

[14]. Wiegand, T., and Moloney, K.A. (2004). Rings, circles, and null-models for points pattern analysis in ecology. Oikos, 104:209–229.

[15]. Zenner, E.K., Sagheb-Talebi, Kh., Akhavan, R., and Peck, J.E. (2015). Integration of small-scale canopy dynamics smoothes live-tree structural complexity across development stages in old-growth Oriental beech (*fagus orientalis* Lipsky) forests at the multi-gap scale. Forest Ecology and Management, 335:26-36.

[16]. Graz, P.F. (2004). The behavior of the species mingling index M_{sp} in relation to species dominance and dispersion. European Journal of Forest Research, 123:87-92.

[17]. 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. Canadian Journal of Forest Research, 40:1011-1019.

[18]. Freund, J.A., Franklin, J.F., and Lutz, J.A. (2015). Structure of early old-growth Douglas-fir forests in the Pacific Northwest. Forest Ecology and Management, 335 :11–25.

[19]. Cheng, X., Han, H., Kang, F. Song, Y., 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.

[20]. 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). Journal of Environmental Studies, 60: 35-44.