



الگوی مکانی و رقابت درون گونه‌ای درختان راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در مرحله تحولی انباشت حجم در جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل خیرود، نوشهر)

مرتضی مریدی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، محمدرضا پورمجیدیان^۳ و کیومرث سفیدی^۴

^۱ فارغ‌التحصیل دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۳ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۴ استاد گروه جنگلداری، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰)

چکیده

الگوی مکانی گونه‌های درختی می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد فرایندهای پویایی جنگل و فعل و انفعالات بین و درون گونه‌ای، از جمله استقرار جنگل، رشد درختان، رقابت گونه‌ها و مرگ‌ومیر گیاهان ارائه دهد. این پژوهش با هدف اصلی بررسی الگوی مکانی و ارتباط متقابل درختان راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در مرحله تحولی انباشت حجم، در روند تحول جنگل‌های راش هیرکانی در مرحله نهایی توالی انجام گرفت. به این منظور سه قطعه نمونه یک هکتاری انتخاب شد و آماربرداری صد درصد از مشخصه‌های درختان از جمله نوع گونه و قطر برابر سینه انجام گرفت و موقعیت مکانی تمام درختان ثبت شد. نتایج حاصل از شاخص زاویه یکنواخت نشان‌دهنده الگوی منظم درختان همسایه بود. شاخص آمیختگی به طور متوسط ۰/۰۸ به دست آمد که نشان‌دهنده رقابت شدید درون گونه‌ای و تمایل کم درختان راش به قرار گرفتن در کنار گونه‌های دیگر بود. میانگین شاخص تمایز قطری و ارتفاعی به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۲۸ محاسبه شد که بیانگر اختلاف متوسط درختان همسایه نسبت به هم بود. براساس نتایج تابع تک‌متغیره L_{11} ، در قطعات ۱، ۲ و ۴ به ترتیب درختان تا فاصله بین درختی ۴، ۷ و ۶ متر، درختان الگوی منظم داشتند و در بقیه فواصل در داخل محدوده مونت کارلو قرار گرفتند. براساس نتایج تابع دومتغیره L_{12} ، در هر سه قطعه نمونه درختان کم‌قطر با درختان میان‌قطر و قطور حداقل تا فاصله ۵ متر، اثر متقابل منفی داشتند. هر گونه دخالت براساس برنامه‌های پرورش جنگل مستلزم توجه کافی به حفظ ویژگی‌های ساختاری توده در این مرحله از تحول توده‌های راش است.

واژه‌های کلیدی: تابع تک‌متغیره L_{11} ، شاخص آمیختگی، شاخص زاویه یکنواخت، محدوده مونت کارلو.

مقدمه

که می‌تواند بر همزیستی گونه‌ها و ساختار جوامع تأثیر بگذارد. بررسی الگوی مکانی درختان در تشخیص سازوکارهای آنها، تشریح پایداری اکوسیستم، طراحی طرح‌های مدیریتی مناسب و اقدامات حفاظتی و احیایی مفید است (Getzin et al., 2006). اطلاعات مکانی در مورد ساختار و ترکیب گیاهان جنگل در مقیاس‌های وسیع برای اداره صحیح

موقعیت مکانی گیاهان بر توزیع منابع بین افراد تأثیر می‌گذارد و یکی از عوامل مهم و تعیین‌کننده رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای است (Harms et al., 2001). الگوی مکانی در میان گونه‌های درختی در داخل توده‌های جنگلی، نتیجه تعاملات طولانی مدت بین جوامع درختی و محیط زیست است

می‌شود. مراحل مختلف تحولی جنگل بیانگر روند طبیعی توده‌های بوم‌سازگان جنگل هستند که البته تحت تأثیر آشفتگی‌های مختلف در مقیاس کوچک یا بزرگ ممکن است دارای ویژگی‌های متفاوت باشند. توزیع مکانی و اجتماع‌پذیری درختان در قالب رقابت تأثیرات بارزی بر پویایی جمعیت، زنده‌مانی و همزیستی بین گونه‌های مختلف درختان دارد (Akhavan et al., 2012). بنابراین در هر یک از مراحل تحولی با توجه به رویدادها و وقایع طبیعی و غیرطبیعی در قالب آشفتگی، پراکنش و رقابت بین درون‌گونه‌ای درختان تغییر می‌یابد که مطالعه این تغییرات در هر مرحله تحولی می‌تواند الگوی مناسبی را برای مدیریت بهینه و توسعه اصولی در اختیار مدیران اجرایی جنگل قرار دهد. از آنجا که در رویشگاه‌های طبیعی با حداقل دست‌خوردگی چرخه طبیعی مراحل تحولی براساس مبانی جنگل‌شناسی نوین دور از انتظار نیست، بررسی و تحلیل توزیع مکانی و اجتماع‌پذیری درختان در قالب رقابت‌های اکولوژیکی در هر یک از مراحل تحولی می‌تواند تغییرات پویایی پراکنش هر یک از گونه‌ها و رقابت بین‌گونه‌ای و تأثیرگذاری آنها بر الگوی پراکنش را به‌وضوح نشان دهد. هدف اصلی این پژوهش بررسی ساختار، الگوی مکانی و ارتباط متقابل درختان راش در مرحله تحولی انباشت حجم در روند تحول جنگل‌های مرحله نهایی توالی به‌منظور ارائه راهکارهای مناسب در کنترل ساختار مکانی توده در برنامه‌ریزی‌های جنگل‌شناسی است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

توده‌های تحت بررسی در بخش گرازبن جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود شرق شهر نوشهر بین ۲۷' ۳۶° تا ۴۰' ۳۶° عرض شمالی و ۳۲' ۵۱° تا ۴۳' ۵۱° طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). با توجه به سابقه مدیریتی، نبود نشانه‌گذاری و بهره‌برداری

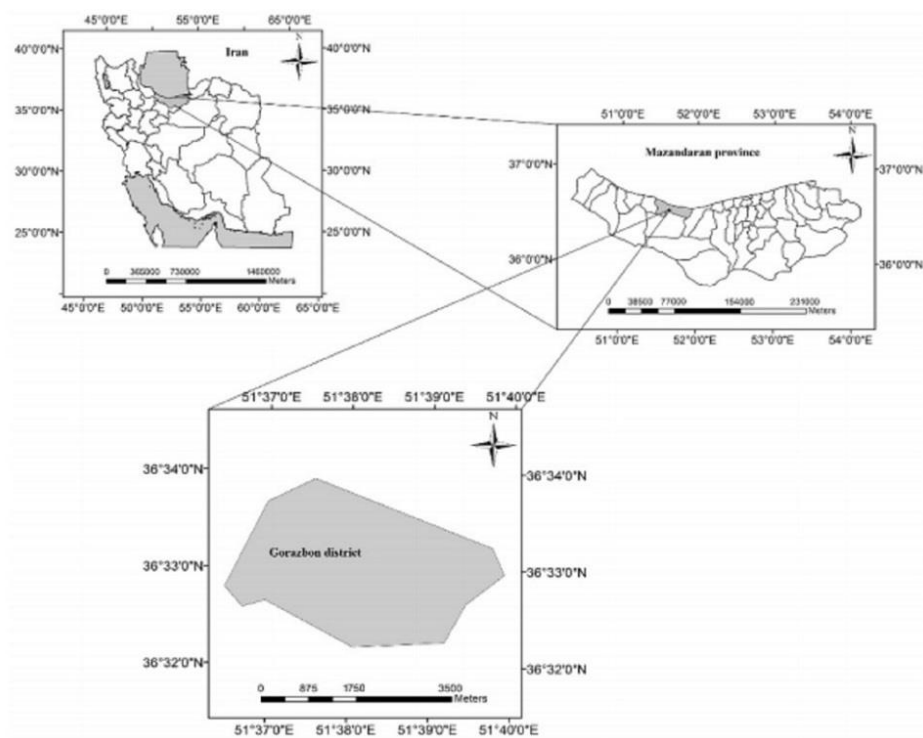
جنگل‌ها و تحقیقات اکولوژیکی لازم است. الگوی مکانی گونه‌های درختی می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد فرایندهای پویایی جنگل و فعل و انفعالات بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای (Cheng et al., 2014)، از جمله استقرار جنگل، رشد درختان، رقابت گونه‌ها، تولید مثل و مرگ‌ومیر گیاهان ارائه دهد (Gray & Szymt, 2012; Hao et al., 2007; He, 2009). درک این فعل و انفعالات می‌تواند بینش مهمی برای پویایی و مدیریت جنگل ارائه دهد (Oliver & Larson, 1996). Szmyt (2012) در بررسی کاربرد شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه بر ساختار مکانی جنگل غالب راش در اروپا، الگوی پراکنش مکانی درختان زنده را منظم گزارش کردند. (Akhavan et al., 2012) در بررسی الگوهای مکانی مراحل مختلف تحولی جنگل دست‌نخورده کهن‌رست راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، تفاوت در الگوی مکانی در بین مراحل تحولی را برپایه پویایی روشن‌ها بیان کردند که احتمالاً رویدادهای مختلف ناشی از آشوب‌های تاج پوشش را که با زادآوری و فرآیندهای رقابتی مرتبط است منعکس می‌کنند.

مراحل تحولی فرایندهای مهم محیط زیستی از جمله زادآوری، رویش و مرگ‌ومیر تعریف شده‌اند که ساختار موزاییکی عمودی و افقی (به‌عنوان مثال، الگوی مکانی) جنگل را در طول چرخه حیات آن شکل می‌دهند، (Korpel, 1995). مراحل تحولی نماینده چند ویژگی ساختاری جنگل هستند و چارچوب زمانی مفیدی به‌منظور بهبود درک ما از چگونگی شکل‌گیری تفاوت ساختاری فرایندهای طبیعی در طول زمان فراهم می‌آورند (Amiri et al., 2013). Sefidi et al. (2014) در جنگل‌های آمیخته راش شمال ایران سه مرحله افزایش حجم، انباشت حجم و دگرگونی حجم را در تحول توده‌ها شناسایی کردند.

با تغییرات مراحل تحولی جنگل همه ویژگی‌های پویایی توده‌های طبیعی و به‌تبع آن الگوی پراکنش و روابط متقابل بین درختان دستخوش تغییراتی

گرازبن، کمتر از ۳۰ درصد و جهت عمومی آن شمالی است. تیپ خاک آلفی سول و pH آن ۴/۸ است. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در این پارسل به ترتیب ۱۱۹۰ و ۱۲۸۰ متر است. اقلیم منطقه براساس فرمول آمبروزه، مرطوب نوع ب است (Moridi et al., 2021).

صنعتی و نیز تشابه در تیپ و شرایط رویشگاهی، سه قطعه نمونه یک هکتاری از جنگل‌های دست‌نخورده پارسل ۳۲۶ که تیپ غالب آن راش است، انتخاب شدند. میانگین بارندگی و دمای سالانه منطقه به ترتیب ۱۵۳۲/۳۵ میلی‌متر و ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد، است. شیب عمومی پارسل ۳۲۶ بخش



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش

Figure 1. The geographical location of the study area

اندازه‌گیری و شماره‌گذاری شد (Akhavan et al., 2012). به منظور کمی‌سازی ساختار افقی جنگل‌های تحت بررسی در مرحله تحولی انباشت حجم، موقعیت مکانی درختان با شاخص زاویه یکنواخت تعیین شد. برای بررسی آمیختگی از شاخص آمیختگی mingling. برای بررسی تنوع ابعاد درختان در این مرحله از شاخص‌های تمایز قطری و تمایز ارتفاعی استفاده شد (جدول ۱). شایان ذکر است که آنالیزهای مربوط به تحلیل آمیختگی، نوع پراکنش و تنوع ابعاد درختان با استفاده از نرم‌افزار Crancod و پس از اجرای عملیات تصحیح حاشیه انجام گرفت.

شیوه اجرای پژوهش

پس از جنگل‌گردشی‌های متعدد در جنگل‌های مدیریت‌نشده راش (*Fagus orientalis* Lipsky) سه قطعه نمونه یک هکتاری با ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ متر براساس شاخص‌ها و معیارهای تعیین مراحل تحولی (Sefidi et al., 2014) در مرحله تحولی انباشت حجم با شرایط به نسبت یکنواخت و همگن از نظر خاک، اقلیم و عوامل توپوگرافی، انتخاب شدند. در هر قطعه، وضعیت درخت (سرپا یا خشک)، نوع گونه و قطر برابر سینه درختان زنده با قطر بزرگ‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر ثبت شد و موقعیت مکانی همه درختان زنده با استخراج عمودی بر دو ضلع قطعه نمونه (محور X و

جدول ۱- شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه

Table 1. Description of the indicators based on the nearest neighbor (Pommerening & Grabarnik, 2019)

معادله	نام شاخص/تابع	ویژگی مورد بررسی
$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	زاویه یکنواخت Uniform angle index	موقعیت مکانی Location diversity
$DM_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	آمیختگی Mingling	تنوع گونه‌ای Species diversity
$TD_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز قطری Diameter differentiation	ابعاد درختان Diversity of trees dimensions
$HD_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز ارتفاعی Height differentiation	

در شاخص زاویه یکنواخت v_{ij} زاویه بین درخت مرجع i از درخت همسایه j در شاخص آمیختگی v_{ij} تفاوت گونه درخت مرجع i از درخت همسایه j در r_{ij} در شاخص تمایز قطری نسبت بین قطر درخت کم‌قطرتر به قطرتر، r_{ij} در شاخص تمایز ارتفاعی نسبت بین درخت بلندتر به کوتاه‌تر است.

K_{12} ریپلی استفاده شد. این تابع فواصل میان گونه‌های مختلف درختی یا فواصل بین درختان یک گونه با ابعاد مختلف را در یک نقشه توزیع مکانی درختان در نظر می‌گیرد. مقدار K_{12} به تعداد همسایه‌های مورد انتظار گونه یا گروه ۲ در دایره‌ای به شعاع r و به مرکزیت گونه یا گروه ۱ در یک توده جنگلی بستگی دارد. به‌طور معمول در این حالت از شکل اصلاح‌شده تابع $K_{12(r)}$ یعنی $L_{12(r)}$ استفاده می‌شود که به‌صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$L_{12(r)} = \sqrt{\frac{K_{12(r)}}{\pi}} - r \quad \text{رابطه ۲}$$

مقادیر $L_{12(r)} > 0$ نشان‌دهنده حالت جذب یا کشش و مقادیر $L_{12(r)} < 0$ نشان‌دهنده حالت دفع بین دو گروه تا فاصله r است و مقادیر $L_{12(r)} = 0$ حالت خنثی بین دو گروه را نشان می‌دهد که به‌عنوان فرض صفر در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که اثر متقابل درختان در فواصل بیش از ۵۰ متر به حداقل ممکن می‌رسد، فاصله مورد عمل (r) برای محاسبه تابع L از صفر تا ۵۰ متر (برابر با نصف طول قطعه نمونه) در نظر گرفته شد.

در هنگام استفاده از تابع L به‌منظور آزمون معنی‌دار بودن تفاوت الگوی مشاهده‌شده با الگوی تصادفی (فرض صفر)، با استفاده از آزمون مونت کارلو حدود اعتماد محاسبه و ترسیم می‌شود. در صورتی که توابع مذکور در داخل این محدوده قرار گیرند، الگوی پراکنش مشاهده‌شده با الگوی پراکنش تصادفی تفاوت معنی‌داری نخواهد داشت، اما اگر تابع مذکور بالاتر یا

تابع تک‌متغیره K ریپلی براساس تعداد پدیده (درخت) موجود در یک شعاع مشخص r به بررسی الگوهای مکانی می‌پردازد. در این روش که نوعی روش تجمعی است برخلاف روش‌های مرتبه اول از قبیل روش کلارک و ایوانز که فقط فاصله یک نقطه معین تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش را در نظر می‌گیرد، فواصل بین همه جفت نقاط موجود در سطح مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود (Moer, 1993). تابع K ریپلی برای یک الگوی نقطه‌ای مشخص به‌صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$K(r) = \frac{\bar{n}(r)}{\rho} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه بالا $\bar{n}(r)$ میانگین تعداد درختان همسایه‌ای است که به شعاع r از یک درخت قرار گرفته و ρ تراکم (تعداد نقاط در واحد سطح) است. امروزه به‌جای تابع K ریپلی از شکل اصلاح‌شده آن یعنی تابع L استفاده می‌شود که توسط Besag (1977) ارائه شده است. تابع L شکل خطی تابع K است و واریانس K را تثبیت می‌کند (Cressie, 1993). نمایش و تفسیر تابع L نسبت به تابع K ساده‌تر است. صفر بودن مقدار تابع L نشان‌دهنده الگوی تصادفی، بزرگ‌تر بودن آن از صفر نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای و کوچک‌تر بودن آن از صفر نشان‌دهنده الگوی منظم است.

به‌منظور بررسی اثر متقابل بین گروه‌های درختی و بررسی رقابت و اجتماع‌پذیری آنها از تابع دومتغیره

نتایج

بر اساس نتایج این بررسی در مجموع تعداد ۷۴۹ اصله درخت زنده در سه قطعه نمونه یک هکتاری در مرحله تحولی انباشت حجم شناسایی شد که مشخصات کمی اندازه‌گیری شده قطعات به‌منظور شناخت بهتر وضعیت توده‌های تحت بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۳ تعداد گروه‌های ساختاری را قبل و بعد از تصحیح حاشیه به روش نزدیک‌ترین همسایه و همچنین نسبت گروه‌های ساختاری را که راش به‌عنوان درخت شاهد در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد.

پایین‌تر از محدوده مونت کارلو قرار گیرد الگوی تحت بررسی به‌ترتیب کپه‌ای و منظم خواهد بود (Getzin et al., 2006; Szmyt, 2012).

به‌منظور بررسی تأثیر رقابت بین درختان، درختان زنده از نظر قطر برابرسینه در چهار طبقه کم‌قطر (کمتر از ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان‌قطر (۳۲/۵-۵۲/۵ سانتی‌متر)، قطور (۵۲/۵-۷۲/۵ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیشتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر) دسته‌بندی (Sagheb-Talebi & Schuetz, 2002) و رابطه بین هر یک از طبقات مذکور با به‌کارگیری تابع دومتغیره L بررسی شد. همچنین به‌منظور صحت‌سنجی نتایج به‌دست‌آمده از آزمون مونت کارلو (با استفاده از ۹۹ بار شبیه‌سازی الگوی مکانی) از نرم‌افزار Programita نسخه ۲۰۱۴ استفاده شد (Getzin et al., 2006).

جدول ۲- مشخصات کمی قطعات نمونه یک هکتاری در مرحله تحولی انباشت حجم

Table 2. Quantitative characteristics of sample plots in the development stage of volume accumulation

میانگین ارتفاع (متر)	میانگین سطح مقطع در هکتار (متر مربع در هکتار)	میانگین قطر (سانتی‌متر)	حداکثر قطر (سانتی‌متر)	حداقل قطر (سانتی‌متر)	گونه‌های دیگر	تعداد در هکتار	قطعه نمونه
Mean of height (m)	Basal area (m ² /ha)	Mean of DBH (cm)	Maximum of DBH (cm)	Minimum of DBH (cm)	Other species	Beech	Sample plot
27.3	43.6	44.1	119	7.5	7	219	1
29.5	54.5	45	151	7.5	11	237	2
28.4	55.1	44.3	130	7.5	13	262	3

سایر گونه‌ها شامل درختان توسکا بیلاقی، بلندمازو، افرا پلت، شیردار و مرمر هستند.

Other species include *Alnus subcordata* C.A. Mey, *Quercus castaneifolia* C.A. Mey, *Acer velutinum* Boiss, *Acer cappadocicum* Gled and *Carpinus betulus* L.

جدول ۳- فراوانی گروه‌های ساختاری قبل و بعد از تصحیح حاشیه با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه

Table 3. Frequencies of structural groups before and after edge correction using the nearest neighbor method

درصد فراوانی گروه‌های ساختاری راش به کل گروه‌های ساختاری	تعداد گروه‌های ساختاری بعد از تصحیح حاشیه	تعداد گروه‌های ساختاری قبل از تصحیح حاشیه	قطعه نمونه
The frequency of beech structural groups to the total structural groups	Total number of trees after edge correction	Total number of trees before edge correction	Sample plot
96.8 %	191	226	1
95.6 %	204	248	2
95.5 %	225	275	3

بهتر توزیع گروه‌های ساختاری در طبقات مختلف صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱، فراوانی نسبی ارزش‌های این شاخص در طبقات ذکر شده ارائه شده است. شاخص آمیختگی در قطعات نمونه شماره ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۹ و ۰/۰۷ اندازه‌گیری شد و

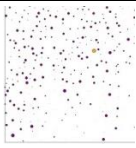
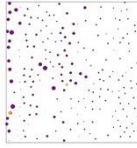

جدول ۴ نتایج کمی‌سازی موقعیت مکانی ساختار جنگل‌های تحت بررسی را در مرحله تحولی انباشت حجم نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شاخص زاویه یکنواخت نشان‌دهنده الگوی منظم درختان همسایه در این مرحله تحولی است. در شکل ۲ به‌منظور درک

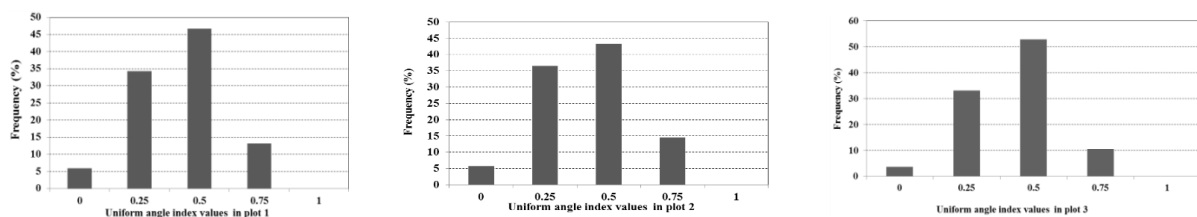
در شکل ۳ نمودار تک‌متغیره تابع L_{11} برای درختان زنده موجود در مرحله تحولی انباشت حجم نشان داده شده است. نمودار تابع L در این مرحله تحولی در قطعات ۱، ۲ و ۳ به ترتیب تا فاصله بین درختی ۷، ۴ و ۶ متر در هر سه قطعه پایین‌تر از حد پایینی مونت کارلو قرار گرفته است که بیانگر وجود الگوی منظم درختان تا فاصله مذکور است و در فواصل دیگر در داخل محدوده مونت کارلو قرار گرفته است که نشان‌دهنده الگوی تصادفی درختان در این مرحله تحولی است.

به‌طور متوسط ۰/۰۸ به‌دست آمد که نشان‌دهنده تمایل کم درختان راش به قرار گرفتن در کنار گونه‌های دیگر در قطعات تحت بررسی است. میانگین شاخص تمایز قطری نشان‌دهنده اختلاف قطری متوسط برای درختان همسایه در هر سه قطعه نمونه است به‌طوری که مقدار متوسط این شاخص در توده‌های تحت بررسی ۰/۳۶ محاسبه شد. همچنین میانگین مقدار عددی شاخص تمایز ارتفاعی در این تحقیق ۰/۲۸ به‌دست آمد که بیانگر اختلاف ارتفاعی متوسط درختان همسایه نسبت به یکدیگر است.

جدول ۴- میانگین شاخص‌های کمی‌سازی ساختار جنگل در مرحله تحولی انباشت حجم

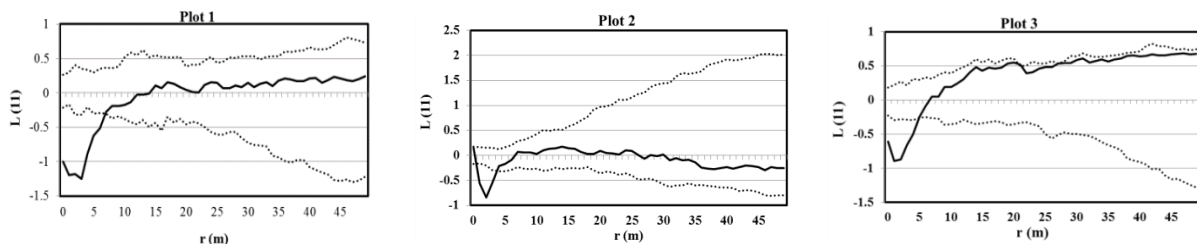
Table 4. The average indicators of forest structure quantification in the development stage of volume accumulation

قطعه نمونه ۳ Sample plot 3	قطعه نمونه ۲ Sample plot 2	قطعه نمونه ۱ Sample plot 1	شاخص
			الگوی پراکنش درختان Tree distribution pattern
0.42	0.41	0.42	زاویه یکنواخت Uniform angle index
0.07	0.09	0.08	آمیختگی Mingling
0.35	0.38	0.35	تمایز قطری Diameter differentiation
0.29	0.25	0.29	تمایز ارتفاعی Height differentiation



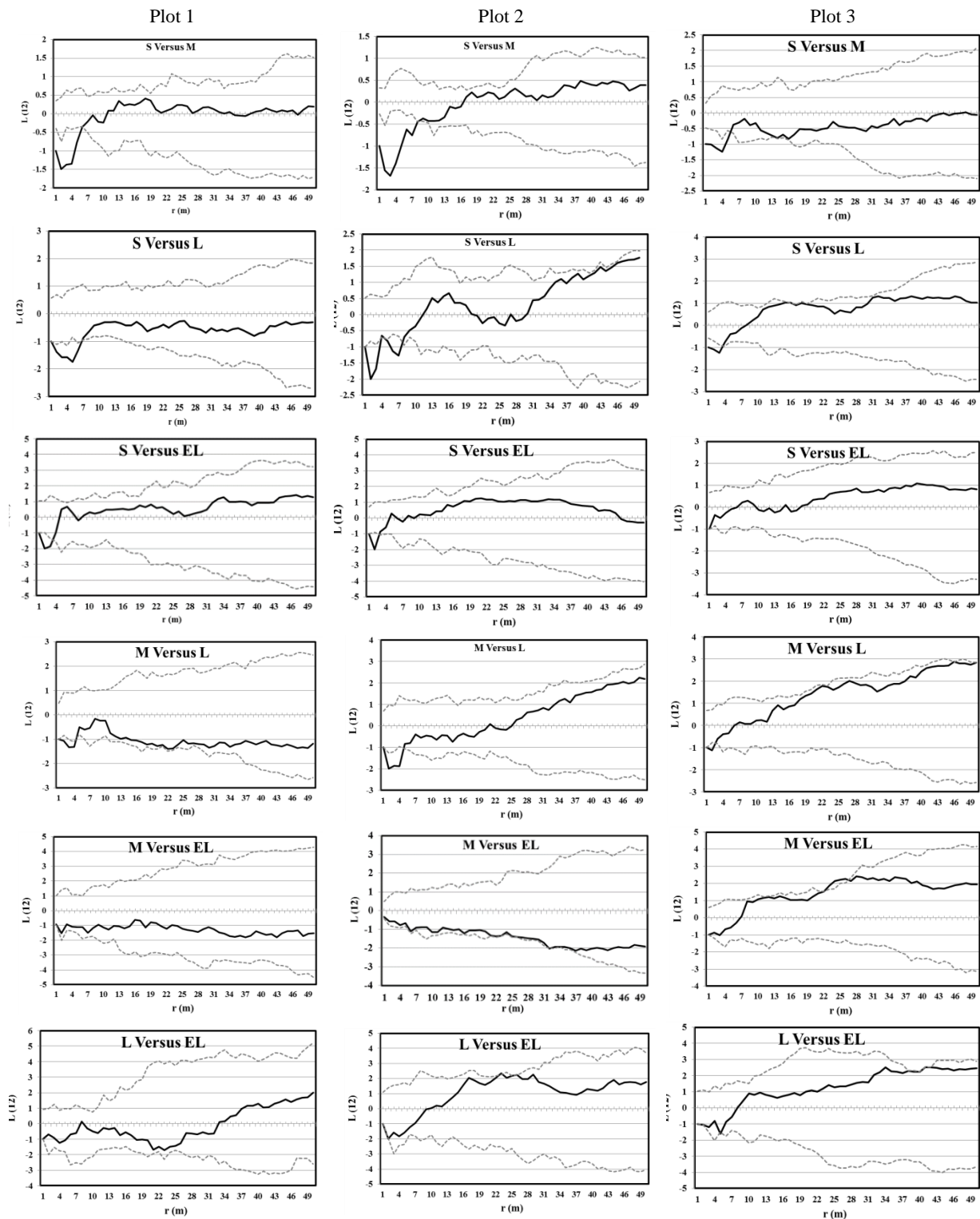
شکل ۲- نمودار توزیع مقادیر شاخص زاویه یکنواخت در قطعات نمونه یک هکتاری

Figure 2. The distribution chart of the uniform angle index values in the samples plots



شکل ۳- نمودار تک‌متغیره تابع L برای درختان زنده موجود در مرحله تحولی انباشت حجم

Figure 3. Univariate diagram of L function for living trees in the development stage of volume accumulation



شکل ۴- نمودار تابع L_{12} و حدود مونت کارلو در قطعات نمونهٔ یک هکتاری در مرحلهٔ تحولی انباشت حجم (حروف S, M, L و L به ترتیب معرف طبقات قطری کم‌قطر، میان‌قطر، قطور و خیلی قطورند؛ مثلاً M Versus L یعنی اثر متقابل بین درختان طبقهٔ قطری میان‌قطر با قطور)

Figure 4. Diagram of L_{12} function in the development stage of volume accumulation (letters S, M, L and EL represent small, medium, large and extra-large diameter classes respectively; for example, M Versus L means the interaction effect between medium and large diameter trees)

منظم زمانی ایجاد می‌شود که رقابت درون‌گونه‌ای شدید باشد که متعاقباً سبب افزایش مرگ‌ومیر درختان هم‌گونه می‌شود (Gray & He, 2009).
 Oliver & Larson (1996) و نیز Getzin et al. (2006) به این نتیجه رسیدند که خالص بودن جنگل و در نتیجه افزایش رقابت درون‌گونه‌ای سبب یکنواخت شدن الگوی مکانی درختان می‌شود.
 Alipour et al. (2018) در بررسی ساختار مکانی اجتماعات گونه‌ای در توده‌های آمیخته کیکم (*Acer monspessulanum* L.) در فیروزآباد دلیل الگوی مکانی منظم درختان را رقابت عنوان کردند. در یک قاعده کلی، الگوهای مکانی کپه‌ای و منظم که در آن افراد به صورت غیر تصادفی پراکنش پیدا کرده‌اند بیانگر وجود عوامل محدودکننده در اکوسیستم حیاتی هستند. در حالی که الگوی تصادفی در جمعیت موجودات زنده به همگنی محیط یا به الگوهای رفتاری غیرانتخابی اشاره دارد (Ludwig et al., 1988). از عوامل محدودکننده و در نتیجه تحمیل نوع الگو می‌توان رقابت شدید درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای برای دریافت و جذب منابع (نور، آب و مواد غذایی)، ناپکنواختی رویشگاه یا محدودیت انتشار بذرها را نام برد (Hao et al., 2007).

نتایج شاخص آمیختگی نشان از آمیختگی کم توده‌های بررسی‌شده داشت. در توده‌های راش کهن‌رست آمیختگی کم کاملاً طبیعی است، زیرا گونه‌ی راش سایه قوی در زیر تاج‌پوشش خود ایجاد می‌کند تا مانع رشد گونه‌های دیگر به خصوص گونه‌های نورپسند در زیر تاج‌پوشش جنگل شود. بقیه گونه‌ها ممکن است در روشنیه‌های حاصل از آشفته‌گی‌های طبیعی کوچک‌مقیاس یا آشفته‌گی‌های غیرطبیعی ناشی از مداخلات انسانی مستقر شوند که دلیل آمیختگی کم در این مرحله تحولی می‌تواند کم بودن تعداد روشنیه‌ها و بسته بودن تاج‌پوشش در این مرحله باشد. در توده‌های جنگلی خالص یا توده‌های جنگلی که بیش از ۷۰ درصد توده را یک گونه تشکیل

شکل ۴ تأثیرات متقابل متفاوت بین طبقات مختلف قطری درختان راش را نسبت به یکدیگر در مرحله تحولی انباشت حجم نشان می‌دهد. در هر سه قطعه نمونه درختان کم‌قطر با درختان میان‌قطر و قطور حداقل تا فاصله ۵ متر و نیز درختان کم‌قطر با درختان خیلی قطور تا فاصله ۳ متر اثر متقابل منفی یا دفع داشتند. همچنین براساس نتایج درختان میان‌قطر با درختان قطور در قطعات ۱، ۲ و ۳ به ترتیب تا فاصله ۴، ۵ و ۲ متر اثر متقابل منفی یا دفع داشتند. درختان میان‌قطر با درختان خیلی قطور و درختان قطور با درختان خیلی قطور در همه مقیاس‌ها با توجه به قرار گرفتن تابع در داخل محدوده مونت کارلو، اثر متقابل معناداری نشان ندادند که بیانگر مستقل بودن آنها از یکدیگر است؛ یعنی می‌توانند در کنار هم زندگی کنند یا در کنار یکدیگر نباشند.

بحث

براساس الگوی ترسیمی شاخص زاویه یکنواخت در صورتی که فراوانی پراکنش Wi در دو طرف نمودار مشابه باشد الگو تصادفی است و اگر فراوانی در سمت چپ نمودار بیشتر از سمت راست باشد الگو پراکنده یا منظم، و به عکس الگو به شکل کپه‌ای خواهد بود (Hui et al., 2007). براساس نتایج شاخص زاویه یکنواخت الگوی مکانی درختان راش در این پژوهش، منظم به دست آمد. الگوی مکانی درختان نتیجه عوامل مختلف مانند محدودیت‌های پراکنش، روشنیه‌های ایجادشده در جنگل و استقرار یافتن و استقرار نیافتن زادآوری، رقابت، عوامل بیماری‌زایی، ناهمگنی رویشگاه و حذف درختان در اثر شرایط نامناسب رویشگاهی با توجه به سرشت گونه‌های مختلف است (Hao et al., 2007). الگوی مکانی منظم می‌تواند به دلیل تنک شدن طبیعی در اثر رقابت درون‌گونه‌ای و نیاز به منابع غذایی زیاد باشد (Halpin & Lorimer, 2016). از آنجا که این توده‌ها در حال رقابت هستند، منظم بودن الگوی مکانی درختان توجیه‌پذیر است. الگوی مکانی

می‌دهد، مقدار شاخص آمیختگی توده به‌طور معمول اندک است. در پژوهش حاضر نیز از آنجا که گونه اصلی تشکیل‌دهنده منطقه تحت بررسی راش بود، این مسئله دور از تصور نیست. Esmaeilpour & Sefidi (2020) در پژوهشی با عنوان بازسازی طبیعی ساختار توده‌های راش در جنگل‌های تحت مدیریت سنتی و Farhadi et al. (2017) در ارزیابی سطح تنوع درختی جنگل‌های هیرکانی با استفاده از شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، نتایج مشابهی را در زمینه شاخص آمیختگی در جنگل‌های راش گزارش کردند.

کنش‌های منفی پایه‌ها در جوامع گیاهی در پی رقابت زیاد برای به انحسار درآوردن مطلق یا نسبی منابع در مقابل کنش‌های مثبت به‌دلیل حمایت گونه‌ها از یکدیگر و بهره‌گیری یکسان و هماهنگ از منابع محدود قابل رؤیت است. همچنین نبود همبستگی بیانگر نبود نیازهای مشابه از منابع یا فراوانی منابع و در نتیجه واکنش یکسان آنهاست (Ludwig et al., 1988). با توجه به اینکه توده‌های تحت بررسی در راشستان خالص قرار داشتند، دلیل اصلی رابطه دفع بین درختان کم‌قطر با دیگر طبقات قطری را می‌توان رقابت درون‌گونه‌ای در اثر نیازها و خواص‌های مشترک اکولوژیک در نظر گرفت، چراکه افراد مختلف از گونه‌های دیگر براساس سرشت متفاوتشان رفتارهای متفاوتی نشان خواهند داد. همچنین مشاهده اثر متقابل دفع را می‌توان مرتبط با ساختار و مرحله تحولی توده در نظر گرفت (Akhavan et al., 2012; Cheng et al., 2014). بیان کمی ویژگی‌های ساختاری توده‌ها در مراحل تحولی می‌تواند الگوی مشخصی برای برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی فراهم کند. برای حفظ الگوی پراکنش درختان و ساختار مکانی جنگل در این مرحله، دخالت‌ها و عملیات پرورشی باید در راستای حفظ ساختار فعلی باشد.

مقدار شاخص آمیختگی توده به‌طور معمول اندک است. در پژوهش حاضر نیز از آنجا که گونه اصلی تشکیل‌دهنده منطقه تحت بررسی راش بود، این مسئله دور از تصور نیست. Esmaeilpour & Sefidi (2020) در پژوهشی با عنوان بازسازی طبیعی ساختار توده‌های راش در جنگل‌های تحت مدیریت سنتی و Farhadi et al. (2017) در ارزیابی سطح تنوع درختی جنگل‌های هیرکانی با استفاده از شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، نتایج مشابهی را در زمینه شاخص آمیختگی در جنگل‌های راش گزارش کردند.

ثابت شده است که ابعاد درخت عامل مهمی است که بر رشد درخت تأثیر می‌گذارد و می‌تواند برای تشریح پویایی جنگل استفاده شود (Zhang et al., 2001). براساس نتایج، دلیل احتمالی اختلاف متوسط ابعاد درختان نسبت به هم، تعداد کم آشکوب‌ها و فاصله درختان است. نتایج مشابهی در جنگل‌های دست‌نخورده راش گرازبن خیرودکنار گزارش شده است

References

- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, K., Zenner, E.K., & 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(5), 1355-1366. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0603-z>
- Alipour, A., Erfanifard, S.Y., Sadeghi, H., & Shamsi, S.R.F. (2018). Spatial structural analysis of species associations in mixed Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.) stands of Zagros woodlands (case study: Firooz Abad, Fars province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(2), 178-188 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJFPR.2018.116747>
- Amiri, M., Rahmani, R., Sagheb-Talebi, Kh., & Habashi, H. (2013). Dynamics and structural characteristics of a natural unlogged Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand during a 5-year

- period in State Kalate forest, Northern Iran. *Environmental Resources Research*, 1, 107–129. <https://doi.org/10.22069/IJERR.2014.1689>
- Besag, J. (1977). Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society*, 39(2), 193-195.
- Cheng, X., Han, H., Kang, F., Song, Y., & Liu, K. (2014). Point pattern analysis of different life stages of *Quercus liaotungensis* in Lingkong Mountain, Shanxi Province, China. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 233-240. <https://doi.org/10.1080/17429145.2013.818167>
- Cressie, N.A. (1993). *Statistics for Spatial Data*, Revised edn. John Wiley, New York.
- Esmailpour, M., & Sefidi, K. (2020). The Natural Reconstruction of Beech Stands Structure under the Traditional Management (Case Study: Eshkevarat, Roodsar). *Iranian Journal of Forest*, 12(3), 435-448.
- Farhadi, P., Soosani, J., & Erfanifard, S.Y. (2017). Evaluation level of tree diversity in the Hyrcanian forests using complex structural diversity index (Case study: beech-hornbeam type, Nav-e Asalem, Guilan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(3), 495-505 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJFPR.2017.112883>
- Getzin, S., Dean, C., He, F., Trofymow, J.A., Wiegand, K., & Wiegand, T. (2006). Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. *Ecography*, 29, 671–682. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04675.x>
- Gray, L., & He, F. (2009). Spatial point-pattern analysis for detecting density-dependent competition in boreal chronosequence of Alberta. *Forest Ecology and Management*, 259(1), 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.048>
- Halpin, C.R., & Lorimer, C.G. (2016). Trajectories and resilience of stand structure in response to variable disturbance severities in northern hardwoods. *Forest Ecology and Management*, 365, 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.016>
- Hao, Z., Zhang, J., Song, B., Ye, J., & Li, B. (2007). Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 252(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.026>
- Harms, K.E., Condit, R., Hubbell, S.P., & Foster, R.B. (2001). Habitat associations of trees and shrubs in a 50 ha neotropical forest plot. *Journal of Ecology*, 89(6), 947–959. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2001.00615.x>
- Hui, G., Li, L., Zhao, Zh., & Dang, P. (2007). Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 27(11), 4717–4728. [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(08\)60008-6](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(08)60008-6)
- Korpel, S. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 310p.
- Ludwig, J.A., Quartet, L., Reynolds, J.F., & Reynolds, J.F. (1988). *Statistical ecology: a primer in methods and computin*. New York: John Wiley & Sons, 317p.
- Moer, M. (1993). Characterizing spatial patterns of trees using stem mapped data. *Forest Science*, 39(4), 756–775. <https://doi.org/10.1093/forestscience/39.4.756>
- Moridi, M., Sefidi, K., & Etemad, V. (2015). Stand characteristics of mixed oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in the stem exclusion phase, northern Iran. *European journal of forest research*, 134(4), 693-703. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0883-1>
- Moridi, M., Fallah, A., Pourmajidian, M.R., & Sefidi, K. (2021). Quantitative Analysis of Forest Structure at Growing Up Volume Stage in the Evaluation of Natural Beech Stands (Case Study: Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 115-128 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/IJF.2021.136934>
- Oliver, C.D., & Larson, B.C. (1996). *Forest stand dynamics*. New York: John Wiley & Sons.

Pommerening, A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 75(3), 305-324. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.3.305>

Pommerening, A., & Grabarnik, P. (2019). Spatial Methods of Tree Interaction Analysis. *Individual-based Methods in Forest Ecology and Management* (pp. 99-197). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24528-3_4

Sagheb-Talebi, Kh., & Schuetz, J.P. (2002). The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest in the Caspian region and the application of the group selection system. *Forestry Oxford*, 75(4), 465-472. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.4.465>

Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Etemad, V., & Mosandl, R. (2014). Late successional stage dynamics in natural oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Northern Iran (Case study: Gorazbon district of Kheiroud-Kenar experimental forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2), 270-283 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJFPR.2014.10672>

Szmyt, J. (2012). Spatial structure of managed beech-dominated forest: applicability of nearest neighbors indices. *Dendrobiology*, 68, 69-76.

Zhang, L.J., Gove, J.H., Liu, C.M., & Leak, W.B. (2001). A finite mixture of two Weibull distributions for modeling the diameter distributions of rotated sigmoid, uneven-aged stands. *Journal of Forest Research*, 31, 1654-1659. <https://doi.org/10.1139/x01-086>



Research Article

**Spatial pattern and intra-specific competition of beech trees in the development stage of volume accumulation in Hyrcanian forest
(Case study: Kheyroud forest, Nowshahr)**

M. Moridi^{1*}, A. Fallah², M.R. Pourmajidian³, and K. Sefidi⁴

¹ Ph.D. Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

² Prof, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

³ Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

⁴ Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Agriculture Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

(Received: 26 December 2021; Accepted: 20 August 2020)

Abstract

Spatial patterns of tree species can provide valuable insights into forest dynamics, including processes such as forest establishment, tree growth, species competition, and mortality. This study aimed to investigate the structure, spatial pattern, and interactions of beech trees during the volume accumulation stage of forest evolution in the climax stage of succession. Three one-hectare sample plots with characteristics representative of this stage were selected, and tree characteristics, including species type, DBH, and location, were measured and recorded for all living trees. The results of the uniform angle index indicated a regular pattern among neighboring trees. The average mingling index was 0.08, suggesting intense intra-species competition and a low tendency for beech trees to be located near other species. The mean diameter and height differentiation indices were 0.36 and 0.28, respectively, indicating an average difference between neighboring trees. According to the results of the univariate L11 function, in sample plots one, two, and three, trees exhibited a regular pattern up to distances of 7, 4, and 6 meters between trees, respectively. At greater distances, trees were located within the Monte Carlo range. Based on the results of the L12 bivariate function, in all three sample plots, small diameter trees had a negative interaction with medium and large diameter trees up to a distance of at least 5 meters. Any intervention based on silvicultural programs should take into account the preservation of the structural features of stands at this stage of beech evolution.

Keywords: Univariate L_{11} function, mingling index, uniform angle index, Monte Carlo range.