مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال پانزدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲
ص ۱۶۵-۱۵۵
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2022.327387.1844
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20086113.1402.15.3.2.9

الگوی مکانی و مشخصه‌های ساختاری جنگل‌های راش شرقی در مرحلهٔ تحولی بلوغ (مطالعهٔ موردی: بخش گرازبن، جنگل خیرود)

الهه علی‌بابایی عمران[۱] ، وحید اعتماد[۲*]،خسرو ثاقب طالبی[۳] و منوچهر نمیرانیان[۴]

[۱] دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
[۲] دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
[۳]دانشیار گروه جنگل‌شناسی، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران
[۴]استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۰)

چکیده

شناخت ساختار جنگل برای تشخیص پویایی توده، تشریح پایداری اکوسیستم، طراحی طرح‌های مدیریتی مناسب و اقدامات حفاظتی و احیایی مفید است. پژوهش حاضر با هدف اصلی بررسی الگوی مکانی و مشخصه‌های ساختاری جنگل‌های راش (*Fagus Orientalis* Lipsky) در مرحلهٔ تحولی بلوغ با استفاده از قطعات نمونه با مساحت متغیر به انجام رسید. به این منظور با جنگل‌گردشی در پارسل ۳۲۷ بخش گرازبن جنگل خیرود، یازده قطعه با مساحت و شکل هندسی متغیر که دارای ویژگی‌های مرحلهٔ تحولی بلوغ بودند، انتخاب و موقعیت مکانی، قطر و ارتفاع همهٔ درختان بزرگ‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر در هر قطعه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین سهم درختان در میان قطعات بررسی‌شده مربوط به طبقات قطری میان‌قطر و قطور بود. همچنین نتایج حاصل از شاخص کلارک و ایوانز و زاویهٔ یکنواخت نشان‌دهندهٔ پراکنش منظم درختان در همهٔ قطعات بررسی‌شده بود. شاخص آمیختگی نیز به‌طور متوسط در همهٔ قطعات ۰/۱۹ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ آمیختگی کم و تمایل اندک درختان راش به قرار گرفتن در کنار گونه‌های دیگر بود. میانگین شاخص تمایز قطری و ارتفاعی به‌ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۳۰ محاسبه شد که بیانگر اختلاف متوسط درختان همسایه نسبت به یکدیگر بود. به‌طور کلی، استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه با قطعاتی با مساحت و شکل هندسی متغیر نشان داد که این شاخص‌ها از توانایی زیادی در کمی کردن مشخصه‌های ساختاری توده‌های جنگل در مرحلهٔ تحولی بلوغ برخوردارند. در نتیجه پیشنهاد می‌شود که تحقیقات مشابهی در دیگر مراحل تحولی صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: پویایی، شاخص زاویهٔ یکنواخت، شاخص کلارک و ایوانز، کمی کردن.

مقدمه

در جنگل‌شناسی همگام با طبیعت، اصطلاح ساختار جنگل شامل توصیف آمیختگی گونه‌ای، الگوی مکانی درختان و پراکنش عمودی و افقی جنگل است (Krebs, 1999). ساختار توده شامل پراکنش اندازه‌های درختان، پراکنش مکانی درختان و درختچه‌ها و درصد خشکه‌دارهای سرپا یا افتاده است (Moridi et al., 2015). ساختار توده بر تولید حجم از طریق مکان و کارایی تاج‌پوشش درختان در توده‌های همسال و ناهمسال نیز تأثیر دارد. درک پویایی ساختار جنگل در عملیات مدیریتی جنگل از طریق پیش‌بینی ساختار آیندهٔ جنگل و تحول آن، برای

*نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴ ایمیل: vetemad@ut.ac.ir

دسترسی به اهداف مدیریتی، کاهش هزینه‌های جنگل‌شناسی و افزایش قابلیت تولیدی اکوسیستم‌های جنگلی کاربردهای زیادی دارد (O' Hara, 2014).

یکی از آشکارترین و مهم‌ترین جنبه‌های ساختاری هر تودهٔ جنگلی، الگوی مکانی و نحوهٔ توزیع درختان در آن است. امروزه برای حل بسیاری از مسائل مربوط به اکولوژی جنگل و مدیریت آنها، داشتن اطلاعات مربوط به الگوی مکانی درختان ضروری است. این موضوع به‌وضوح تأیید شده است که شناخت الگوی پراکنش مکانی، ابزاری لازم برای مدیریت بهینه در بسیاری از عرصه‌های جنگلی جهان است. شناخت الگوی پراکنش مکانی عناصر رویشی گیاهی در تشخیص سازوکارهای خاص آنها، تشریح پایداری اکوسیستم، طراحی طرح‌های مدیریتی مناسب و اقدامات حفاظتی و احیایی ضروری است (Miller et al., 2005). همچنین الگوهای پراکنش مکانی عناصر رویشی می‌تواند از طریق تجدید حیات، رقابت و مرگ‌ومیر بر پویایی جمعیت‌ها در هر اکوسیستم اثرگذار باشد (Akhavan et al., 2012).

در جنگل‌های طبیعی مراحل تحولی براساس مشخصه‌های ساختاری توده‌ها به لحاظ تعداد و حجم درختان زنده، تعداد و حجم خشکدار و نسبت آنها در طبقه‌های قطری مختلف و همچنین حضور روشنه در پوشش تاجی، زادآوری و تعداد آشکوب‌های توده به مراحل و فازهای مختلف دسته‌بندی شده‌اند (Sefidi et al., 2014 ; Moridi et al., 2015). Korpel (1995)، در جنگل‌های طبیعی و بکر راش اروپا سه مرحله شامل مرحلهٔ اولیه، بلوغ و پوسیدگی را شناسایی کرد و تشخیص داد که با توجه به مطالعات اولیهٔ مراحل تحولی در جنگل‌های شمال ایران، اغلب این سه مرحلهٔ تحولی یادشده توسط دانشمندان ایرانی ملاک عمل قرار گرفتند (Sagheb-Talebi & Schütz, 2002; Akhavan et al., 2012; Sagheb-Talebi, 2014). یکی از مهم‌ترین و منحصربه‌فردترین این مراحل تحولی در جنگل‌های شمال، مرحلهٔ تحولی بلوغ است. این مرحله، دارای ویژگی‌های ساختاری مشخصی است که در مراحل تکاملی قبل و بعد از آن به چشم نمی‌خورد. مرحلهٔ تحولی بلوغ زمانی آغاز می‌شود که درختان غالب به نسبت جوان به‌طور کامل به آشکوب بالا می‌رسند. در مقایسه با مرحلهٔ پیشین (مرحلهٔ تکاملی اولیه) تعداد درختان کاهش می‌یابد، اما حجم درختان افزایش پیدا می‌کند (Korpel, 1995)؛ تعداد درختان در هکتار متوسط بوده و بیشترین سهم درختان بالغ در طبقات قطری میان‌قطر است؛ زادآوری بسیار پراکنده و کم و حجم توده در این مرحله زیاد است. حجم خشکه‌دار نیز در این مرحله کم بوده و بیشترین سهم خشکه‌دارها در طبقات قطری کم قطر و میان‌قطر است. تاج‌پوشش تقریباً بسته بوده و همچنین شدت نور نسبی توده در این مرحله کم است و به‌طور معمول در این مرحله در توده روشنه‌ای با سطح زیاد وجود ندارد (Sagheb et al, 2015 ; Zenner et al, 2014 ;Talebi). (2012) Akhavan et al، در بررسی الگوی مکانی درختان در مراحل تحولی مختلف در جنگل‌های دست‌نخوردهٔ کهن‌رست راش شرقی ایران بیان کردند که پویایی و ساختار توده در مرحلهٔ تحولی بلوغ شباهت‌های زیادی به توده‌های مدیریت‌شدهٔ همسال تک‌آشکوبه دارد. تاج‌پوشش بسته شده است، درصد پوشش تاجی زیاد است و زادآوری حضور ندارد یا بسیار پراکنده است. خشکه‌دار رسیده وجود ندارد و ازآنجا که نور کمی وجود دارد، درختان ضعیف و کوچک در زیر لایهٔ تاجی غالب می‌میرند. Etemad et al (2017) در بررسی کمی و کیفی خشکدار در توده‌های آمیختهٔ ممرز- راش در مرحلهٔ تحولی بلوغ، متوسط تعداد درختان زنده در هکتار را ۳۵۰ اصله، متوسط تعداد درختان خشک در هکتار را ۳۱/۷ اصله و متوسط حجم در هکتار را ۶۲۹/۲ مترمکعب گزارش کردند.

ازآنجا که مرحلهٔ تحولی بلوغ، مرحله‌ای مهم و اساسی در تحول و تکامل جنگل است، ضرورت دارد که اطلاعات مدیران از وضعیت ساختاری جنگل در این

مرحلـه افـزایش یابـد. بـا داشـتن شـناخت و آگـاهی از مشخصه‌های ساختاری جنگل، دخالت‌های صـورت‌گرفته در راستای روند طبیعی تحول توده‌ها با کمترین انحـراف از طبیعت همراه خواهد بود. با توجه به اینکـه پهنه‌بنـدی مراحل تحولی از شکل هندسی منظمی برخوردار نیستند و نیز تا کنون همهٔ پژوهش‌های صـورت‌گرفته در مرحلـهٔ تحولی بلوغ در قطعه نمونه‌های یک هکتاری انجام گرفتـه است، پژوهش حاضر با هـدف شـناخت الگـوی مکـانی و ویژگی‌های ساختاری توده‌هـای جنگلـی راش در مرحلـهٔ تحولی بلوغ با استفاده از قطعات نمونه با مساحت و شکل هندسی متغیر در پارسل شاهد ۳۲۷ گرازبن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

منطقـهٔ پـژوهش در جنگـل آموزشـی و پژوهشـی خیرود دانشگاه تهران در عرض ′۲۷ °۳۶ تـا ′۴۰ °۳۶ عرض شـمالی و ′۳۲ °۵۱ تـا ′۴۳ °۵۱ طـول شـرقی واقـع شـده اسـت. رویشـگاه تحـت مطالعـه در راشسـتان‌های مدیریت‌نشـده در پارسـل ۳۲۷ بخـش گرازبن جنگل خیـرود و در منـاطق کمتردسـت‌خورده انتخاب شد. میانگین بارندگی سالیانه ۱۵۳۲ میلی‌متـر و میانگین دمای سالیانه ۱۶/۱ درجهٔ سانتی‌گراد اسـت. اقلیم منطقه براساس فرمول آمبـرژه، مرطـوب نـوع ب اسـت (Etemad, 2002). قطعـه‌های انتخـابی دارای حداقل دخالت انسانی‌اند و تـاکنون هیچ‌گونـه فعالیـت جنگل‌شناسی در آنهـا انجـام نگرفتـه اسـت؛ از ایـن‌رو می‌توان گفت که توده‌های تحـت بررسـی، نمونـه‌ای از جنگل‌های طبیعی مدیریت‌نشده‌اند.

شیوهٔ اجرای پژوهش

در این تحقیق پارسل ۳۲۷ از بخش گرازبن جنگـل آموزشی و پرورشـی خیـرود بـه‌دلیل نبـود دخالت‌هـای انسانی و دست‌نخورده بـودن انتخـاب شـد. ازآنجـا کـه پویـایی و سـاختار تـوده در مرحلـهٔ بلـوغ شـباهت‌های زیادی به توده‌هـای مدیریت‌شـدهٔ همسـال تک‌آشـکوبه دارد، بـا اسـتفاده از تجـارب محققـان دیگـر و تعـاریف موجود از این مرحلهٔ تحولی، پس از جنگل‌گردشـی‌های فراوان در کل پارسل شمارهٔ ۳۲۷ گرازبن، یازده قطعه با مساحت و شـکل هندسـی متغیـر و دارای ویژگی‌هـای مرحلهٔ تحولی بلوغ با در نظر گـرفتن معیارهـایی ماننـد تعداد و حجم درختان زنده و خشـک، نسـبت درختـان زنـده و خشـک در طبقـات قطـری مختلـف، حضـور روشنه‌ها و تجدیـد حیـات در تـوده و همچنـین تعـداد آشـکوب‌های تـوده (Korpel, 1995; Akhavan et al., 2012) بدون در نظر گرفتن اندازه و شکل آن، شناسایی و انتخاب شدند. سـپس در هـر قطعـه درختـان داخـل قطعـه شـماره‌گذاری و آمـاربرداری صددرصـد شـدند. موقعیت مکانی همـآ درختـان زنـده و خشـک سـرپای دارای قطر برابرسینهٔ بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر با اسـتفاده از فاصله و آزیموت پایـه‌ها نسـبت بـه یکـدیگر بـا متـر نواری، شیب‌سنج و قطب‌نمای سونتو بـرای هـر درخـت یادداشت و ثبـت شـد. پـس از شـماره‌گذاری درختـان، ویژگی‌هایی از جمله قطـر برابرسـینه و ارتفـاع درختـان اندازه‌گیری شد. در همهٔ قطعات، آمـاربرداری صددرصـد از قطر درختان انجام گرفـت و درختـان براسـاس قطـر برابرسـینه بـه چهـار طبقـهٔ کم‌قطـر (کوچـک‌تر از ۳۵ سانتی‌متر)، میان‌قطر (۵۰-۳۵ سانتی‌متر)، قطـور (۷۵-۵۰ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیش‌تر از ۷۵ سـانتی‌متر) تقسـیم شـدند (Sagheb-Talebi, 2014). یکـی از هدف‌های مهم این تحقیق این بود که مشخص شود که مرحلهٔ تحولی بلوغ بیشتر در چه سطوحی رخ می‌دهـد. بنـابراین در ایـن تحقیـق هـر سـطحی کـه از لحـاظ مشخصات ساختاری و سیمای ظاهری در پارسـل ۳۲۷ دارای ویژگی‌های مرحلهٔ تحـولی بلـوغ بودنـد بـدون در نظر گرفتن اندازه و شکل آن به‌طور کامـل انـدازه‌گیری شدند. بـه‌منظور کمی‌سـازی سـاختار توده‌هـای تحـت بررسی از مجموعه‌ای از شـاخص‌های مختلـف اسـتفاده شد (جدول ۱). این شاخص‌ها به بررسی ساختار جنگل براساس سه ویژگی الف) تنوع الگوی مکـانی؛ ب) تنـوع آمیختگـی؛ و ج) تنـوع ابعـاد درختـان می‌پردازنـد. در نهایت داده‌ها وارد محیط نرم‌افزاری Crancod می‌شـود

که نرم‌افزاری با انعطاف‌پذیری زیاد است. پس از آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار، در نهایت مشخصه‌های ساختاری توده شامل شاخص‌های (تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، زاویهٔ یکنواخت، فاصله تا همسایه‌ها، آمیختگی، کلارک و ایوانز) در قطعات انتخابی محاسبه شد.

شاخص‌های استفاده‌شده در تحقیق

به‌منظور بررسی تنوع موقعیت مکانی درختان از شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت (Uniform angle)، و کلارک و ایوانز استفاده شد. برای بررسی آمیختگی گونه‌ای از شاخص آمیختگی (mingling) و برای بررسی تنوع ابعاد درختان در این مرحلهٔ تحولی، از شاخص‌های تمایز قطری (DBH differentiation) و تمایز ارتفاعی (differentiation High) استفاده شد. تراکم درختان نیز با استفاده از شاخص فاصله تا همسایه‌ها (Distance to neighbors) اندازه‌گیری شد (Pommerening, 2002). در جدول ۱ به‌صورت مختصر این شاخص‌ها تشریح شده‌اند. شایان ذکر است که آنالیزهای مربوط به تحلیل نوع آمیختگی و نوع پراکنش درختان در توده‌های تحت بررسی، با استفاده از نرم‌افزار crancod (Ver 1.4) محاسبه شد.

جدول ۱- شاخص‌های ساختاری استفاده‌شده در تحقیق

Table 1. structural characteristics in research

شاخص	رابطه	منبع
فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها Nearest neighbor	$D_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} S_{ij}$	Ruprecht et al., 2010
زاویهٔ یکنواخت Uniform angle	$W_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij}$	Pommerening, 2002
آمیختگی mixture	$M_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} V_{ij}$	Pommerening, 2002
تمایز قطری درختان Diameter differentiation	$T_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} (1 - r_{ij})$	Ruprecht et al., 2010
تمایز ارتفاعی درختان Height differentiation	$T_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} (1 - r_{ij})$	Ruprecht et al., 2010
کلارک و ایوانز Clarc & Evans	$R = \frac{d_{obs}}{d_{exp}}$	Clark and Evans, 1954

به‌منظور توصیف کمّی ساختار مکانی شاخص‌های مکانی متعددی توسعه یافته‌اند که از آن جمله می‌توان به شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه اشاره کرد. این شاخص‌ها به بررسی همسایه‌های هر درخت یا نقطهٔ معین در تودهٔ جنگلی می‌پردازند. این شاخص‌ها به‌منظور توصیف دقیق و پایش تغییرات ساختاری توده‌های جنگلی در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی توده‌های جنگلی به‌کار می‌روند (Graz, 2004). شاخص زاویهٔ یکنواخت شاخصی است که برای موقعیت مکانی درختان به‌کار می‌رود. شاخص زاویهٔ یکنواخت براساس روش‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه است که به بررسی درجهٔ منظم بودن الگوی مکانی درخت مرجع نسبت به چهار درخت همسایهٔ اطراف خود می‌پردازد. مقدار این شاخص بین صفر تا ۱ متغیر است و در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از پنج ارزش صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ می‌تواند برای این شاخص در نظر گرفته شود. ارزش کم این شاخص نشان‌دهندهٔ وضعیت منظم درختان است؛ درحالی که در درختان با توزیع کپه‌ای این ارزش به‌سمت ۱ میل می‌کند (Kint, 2005). شاخص دیگر برای بررسی الگوی مکانی درختان، شاخص کلارک و ایوانز است. این شاخص میزان انحراف جنگل در سطحی برابر A که دارای N درخت است از توزیع Poisson (جنگلی با توزیع کاملاً تصادفی) نشان

می‌دهد (Clark & Evans, 1954; Pommerning, 2002). اگر این شاخص بزرگ‌تر از ۱ باشد، جنگل دارای الگوی مکانی منظم، اگر مساوی ۱ باشد جنگل دارای الگوی مکانی تصادفی و اگر کمتر از ۱ باشد جنگل دارای الگوی مکانی کپه‌ای است. شاخص دیگری که در این تحقیق برای ساختار جنگل بررسی شد، شاخص آمیختگی گونه‌ها بود که با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه‌ها نسبت به یکدیگر ممکن است دارای ارزشی بین صفر تا ۱ باشد. در هنگام استفاده از چهار همسایهٔ اطراف درخت مرجع، ارزش این شاخص می‌تواند یکی از پنج مقدار صفر (همهٔ همسایه‌ها مشابه گونهٔ مرجع)، ۰/۲۵ (یک همسایهٔ متفاوت با گونهٔ مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسایهٔ متفاوت با گونهٔ مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسایهٔ متفاوت با گونهٔ مرجع) یا ۱ (هیچ‌کدام از همسایه‌ها مشابه گونهٔ مرجع نیست) باشد (Ruprecht et al., 2010). همچنین به‌منظور بررسی تنوع ابعاد درختان، از شاخص تمایز قطر برابرسینه و شاخص تمایز ارتفاعی استفاده شد. این شاخص‌ها دارای ارزشی بین ۱-۰ هستند. هرچه درختان همسایه از لحاظ قطر و ارتفاع دارای ناهمگنی کمتری نسبت به هم باشند، ارزش این دو شاخص به‌سمت صفر و هرچه درختان همسایه دارای اختلاف بیشتری از لحاظ قطر و ارتفاع نسبت به یکدیگر باشند، این ارزش به‌سمت ۱ میل پیدا می‌کند (Pommerning, 2002). همچنین به‌منظور جلوگیری از انحرافات احتمالی ناشی از حاشیهٔ قطعه نمونه، از روش تصحیح حاشیهٔ نزدیک‌ترین همسایه (NN)[1] استفاده شد. در این روش هنگام محاسبهٔ شاخص‌های ساختار مکانی، تنها در صورتی درخت i به‌عنوان درخت مرجع انتخاب می‌شود، که فاصلهٔ آن تا مرز قطعه نمونه بیشتر یا مساوی با فاصلهٔ آن تا n امین همسایه باشد. تنها در این صورت است که همهٔ همسایگان یک درخت در داخل قطعه نمونه مشاهده می‌شوند (Pommerning, 2002).

1- Nearest Neighbor

نتایج

براساس نتایج این بررسی در مجموع ۸۰۷ اصله درخت زنده شامل پنج گونهٔ درختی (راش، ممرز، توسکا ییلاقی، بلندمازو و افرا پلت) در یازده قطعهٔ تحت بررسی شناسایی شد. مشخصات کمّی اندازه‌گیری‌شدهٔ قطعات به‌منظور شناخت بهتر وضعیت توده‌های تحت بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین و کمترین مساحت قطعات به‌ترتیب ۳۷۴۵ و ۱۶۷۹ متر مربع اندازه‌گیری شد. متوسط تعداد درختان در قطعات ۲۸۵ اصله در هکتار به‌دست آمد که قطعهٔ شمارهٔ ۶ با ۳۱۲ و قطعهٔ شمارهٔ ۱ با ۲۲۹ اصله در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی در هکتار را داشتند.

شکل ۱ فراوانی درختان را در طبقات قطری مختلف نشان می‌دهد. بیشترین سهم فراوانی درختان در میان قطعات بررسی‌شده، مربوط به طبقهٔ قطری کم‌قطر و میان‌قطر است.

جدول ۳ تعداد گروه‌های ساختاری (هر درخت با چهار همسایهٔ نزدیک در اطرافش) را قبل و بعد از تصحیح حاشیه به روش نزدیک‌ترین همسایه و همچنین فراوانی گروه‌های ساختاری را که راش به‌عنوان درخت شاهد در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد. اجرای عملیات تصحیح حاشیه در مرحلهٔ تحولی بلوغ به حذف تعدادی از گروه‌های ساختاری و درختان مرزی منجر شده است که اجرای این عملیات سبب افزایش دقت کار و صحت تحقیق می‌شود.

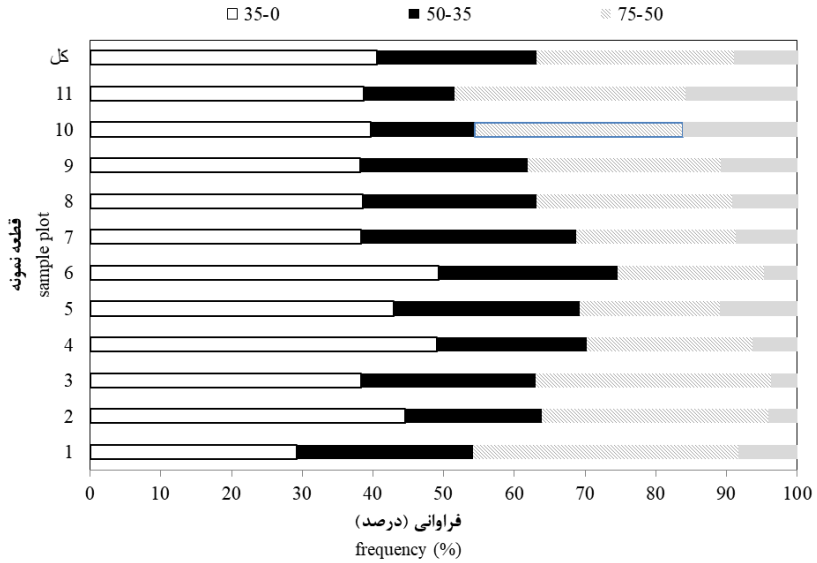
جدول ۴ نیز میانگین شاخص‌های ساختاری جنگل را در مرحلهٔ تحولی بلوغ نشان می‌دهد. مقدار شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها در توده‌های تحت بررسی در قطعات بررسی‌شده به‌طور متوسط ۶/۵۳ متر به‌دست آمد (جدول ۴). مقدار شاخص کلارک و ایوانز در همهٔ قطعه نمونه‌های مورد بررسی بیشتر از ۱ شده است که این به این معناست که درختان در همهٔ قطعات از الگوی پراکنش منظم برخوردارند. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، نتایج حاصل از شاخص زاویهٔ یکنواخت نشان‌دهندهٔ الگوی منظم

(۰/۳۹) درختان همسایه در این مرحلهٔ تحولی است. مقدار شاخص آمیختگی به‌طور متوسط ۰/۱۹ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ تمایل کم درختان راش به قرار گرفتن در کنار گونه‌های دیگر در قطعات تحت بررسی است (جدول ۴). میانگین شاخص تمایز قطری نشان‌دهندهٔ اختلاف قطری متوسط برای درختان همسایه در همهٔ قطعات است؛ به‌طوری که مقدار متوسط این شاخص در توده‌های تحت بررسی ۰/۳۱ محاسبه شد. همچنین میانگین شاخص تمایز ارتفاعی در این تحقیق ۰/۳۰ به‌دست آمد که بیانگر اختلاف ارتفاعی متوسط درختان همسایه نسبت به یکدیگر است. شایان ذکر است که هرچه ارزش عددی مقدار این دو شاخص از صفر به‌سمت ۱ میل کند، اختلاف بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین درخت از نظر ویژگی بررسی‌شده بیشتر می‌شود.

جدول ۲- مشخصات کمّی قطعات در مرحلهٔ تحولی بلوغ

Table 2. Quantitative characteristics of sample plots in optinal developmental stage

انحراف معیار ارتفاع (درصد) Standard deviathion of height (%)	میانگین ارتفاع (m) Mean of height (m)	انحراف معیار قطر (درصد) Standard deviation of diameter (%)	میانگین قطر (cm) Mean of DBH (cm)	حداکثر قطر (cm) Maximum of DBH (cm)	حداقل قطر (cm) Minimum of DBH (cm)	تعداد در هکتار (اصله) Stem per hectare	تعداد درختان در قطعه نمونه (اصله) Stem per sample plot	مساحت قطعه (مترمربع) Plot area (m^2)	قطعه plot
6.42	28.48	19.62	46.4	94	9.5	229	48	2096	1
8.28	26.27	21.55	41.27	110	8.5	290	72	2483	2
9.11	25.08	21.47	41.25	98	7.5	254	81	3189	3
9.75	25.13	20.19	41.25	10	7.5	280	47	1679	4
8.41	25.07	20.67	44.19	120	9	270	91	3370	5
6.79	26.34	20.90	40.86	104	9	312	63	2019	6
7.95	27.49	22.04	43.46	110	8	307	115	3745	7
8.38	27.72	21.80	45.78	109	12	282	65	2304	8
8.26	28.34	22.49	45.39	100	8	308	55	1785	9
8.72	25.84	21.32	47.85	135	8	304	68	2237	10
9.89	25.02	21.81	47.14	135	7.5	299	101	3378	11



شکل ۱- فراوانی درختان در طبقات قطری مختلف (کم قطر: کمتر از ۳۲/۵ سانتی‌متر؛ میان‌قطر: ۵۲/۵-۳۲/۵ سانتی‌متر؛ قطور: ۷۲/۵-۵۲/۵ سانتی‌متر؛ خیلی قطور: بیشتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر)

Figure 1. frequency of trees in different diameter classes (small diameter: less than 32.5 cm; medium diameter: 32.5-52.5 cm; thick: 52.5-72 cm; very thick: more than 72.5 cm) Meter

جدول ۳- تعداد 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

فراوانی گروه ساختاری راش (٪) The frequency of beech structural groups to the total structural	تعداد گروه ساختاری بعد از تصحیح حاشیه Total number of trees after edge correction	تعداد گروه ساختاری قبل از تصحیح حاشیه Total number of trees before edge correction	قطعه Sample plot
97.66	36	48	1
95.83	53	72	2
95.06	66	81	3
93.61	32	47	4
94.50	54	91	5
93.65	46	63	6
93.91	90	115	7
96.92	50	65	8
94.54	36	55	9
92.91	46	68	10
91.08	79	101	11

جدول ۴- میانگین شاخص‌های ساختار جنگل در مرحلهٔ تحولی بلوغ

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

ویژگی مورد بررسی	شاخص/تابع index	قطعه Sample										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
تراکم Density	میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها (متر) mean of Nearest Neighbor (m)	7.78	6.20	6.70	6.69	7.07	5.27	6.04	6.79	6.28	6.61	6.64
تنوع موقعیت مکانی Diversity of Tree distribution pattern	کلارک و ایوانز Clarc & Evans	1.32	1.15	1.27	1.21	1.24	1.42	1.41	1.25	1.42	1.24	1.24
	زاویهٔ یکنواخت Uniform angle index	0.38	0.39	0.40	0.40	0.45	0.36	0.39	0.38	0.42	0.40	0.38
تنوع آمیختگی Diversity of mixtury	آمیختگی mingling	0.18	0.11	0.14	0.20	0.19	0.15	0.18	0.18	0.21	0.22	0.20
تنوع ابعاد درختان Diversity of trees dimention	شاخص تمایز قطری Diameter differentiation	0.33	0.23	0.32	0.34	0.25	0.30	0.32	0.37	0.30	0.34	0.29
	شاخص تمایز ارتفاعی height differentiation	0.23	0.28	0.34	0.32	0.30	0.24	0.29	0.27	0.38	0.31	0.35

بحث

در تحقیق حاضر سعی شد که ساختار کلی جنگل و الگوی مکانی درختان در مرحلهٔ تحولی بلوغ تا حدودی بیان شود. متوسط تعداد در هکتار در این مرحله ۲۸۵ اصله در هکتار به‌دست آمد. بر همین اساس در تحقیقی که با هدف بررسی شناخت ویژگی‌های مناسب راشستان‌های شمال کشور به‌منظور اعمال جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت انجام گرفت، تعداد در هکتار درختان در مرحلهٔ تحولی بلوغ ۳۱۰ اصله به‌دست آمد که بیان‌کنندهٔ کم بودن تعداد در هکتار درختان در این مرحلهٔ تحولی است (Sagheb Talebi, 2014). در این تحقیق متوسط قطر توده ۴۵ سانتی‌متر است. Hassani & Amani (2010) در تحقیقی متوسط قطر توده در مرحلهٔ تحولی بلوغ را ۳۵ سانتی‌متر گزارش کردند. بیشترین سهم درختان در میان قطعات تحت بررسی مربوط به طبقات قطری کم قطر و میان‌قطر است که با توجه به قرار گرفتن توده‌ها در مرحلهٔ تحولی بلوغ این نتیجه قابل انتظار است و با نتایج تحقیق Sagheb-Talebi & Schütz (2002) همخوانی دارد. میانگین شاخص نزدیک‌ترین فاصله تا همسایه در تحقیق حاضر به‌طور متوسط برای هر یازده قطعه ۶/۵۳ متر به‌دست آمد که به‌دلیل اینکه تعداد در هکتار در این مرحلهٔ تحولی متوسط است، فاصلهٔ درختان از هم کمی بیشتر از مرحلهٔ تحولی اولیه است که با یافته‌های Alijani et al. (2014) همخوانی دارد. در نتیجه می‌توان گفت که تراکم توده در این مرحله کم است و نسبت به مرحلهٔ اولیه رقابت کمتری بین درختان برای به‌دست آوردن منابع غذایی وجود دارد. در نتیجه درختان در فاصلهٔ بیشتری از یکدیگر قرار می‌گیرند. Nobahar et al. (2018) در تحقیق خود در جنگل‌های راش اسالم استان گیلان بیان داشتند که هرچه توده در مراحل پیشرفته‌تری از تحول قرار داشته باشد، متوسط فاصلهٔ درختان نیز از یکدیگر بیشتر می‌شود.

نتایج حاصل از شاخص زاویهٔ یکنواخت نشان‌دهندهٔ الگوی منظم درختان همسایه در این مرحلهٔ تحولی است و ازآنجا که این توده‌ها در حال رقابت هستند منظم بودن الگوی مکانی درختان توجیه‌پذیر است. Alijani et al. (2020) بیان داشتند که به مرور زمان و با عبور از مرحلهٔ اولیه، در مرحلهٔ بلوغ، درختان موجود در تودهٔ جنگلی به ساختار مشخصی می‌رسند که در آن درختان به‌علت داشتن ابعاد یکسان به تودهٔ جنگلی همسال شباهت پیدا می‌کنند. تحقیق حاضر با نتایج یافته‌های محققان در این زمینه همخوانی دارد. در مورد شاخص کلارک و ایوانز توانایی زیاد این شاخص در تحقیقات متعدد به تأیید محققان مختلف رسیده است (Habashi et al., 2007; Erfanifard et al., 2012). همچنین در بسیاری از پژوهش‌ها، این شاخص به‌عنوان الگوی مکانی مطلق برای مقایسه و بررسی توانایی شاخص‌های مختلف استفاده می‌شود (Erfanifard et al., 2012). با توجه به این موارد می‌توان گفت که قطعات بررسی‌شده با توجه به نتایج شاخص کلارک و ایوانز دارای الگوی مکانی منظم‌اند که این الگوی مکانی ممکن است به‌دلیل تنک شدن طبیعی در اثر رقابت درون‌گونه‌ای و همچنین نیاز گونه‌ها برای دستیابی به منابع غذایی بیشتر باشد (Halpin & Lorimer, 2016). نتایج تحلیل شاخص آمیختگی نشان‌دهندهٔ تمایل کم درختان راش به قرار گرفتن در کنار گونه‌های دیگر است. در توده‌های راش کهن‌رست آمیختگی کم کاملاً طبیعی است. Amanzadeh et al. (2013) در تحقیق خود بیان داشتند که هرچه در راشستان‌ها به‌سمت مراحل نهایی توالی پیش می‌روند، تمایل درختان برای قرار گرفتن در کنار گونه‌های دیگر کمتر می‌شود و توده به‌سمت خالص شدن پیش می‌رود. Pommerening (2002) ضمن تشریح ساختار درختان بلوط و راش بیان می‌کند که آمیختگی گونه‌ای به‌طور مستقیم تحت تأثیر سرشت گونه‌های موجود و موقعیت مکانی درختان قرار می‌گیرد.

براساس نتایج شاخص تمایز قطری و تمایز ارتفاعی، در همهٔ قطعات درختان همسایه اختلاف قطری و نیز

اختلاف ارتفاعی متوسطی با یکدیگر دارند؛ به این معنا که در شاخص تمایز قطری، اختلاف بین کم‌قطرترین درخت با قطورترین درخت کم است. به همین صورت در شاخص تمایز ارتفاعی نیز، اختلاف بین کوتاه‌ترین درخت با بلندترین درخت با یکدیگر کم است که ممکن است به‌علت تعداد کم آشکوب‌ها و فاصلهٔ درختان از یکدیگر در این مرحلهٔ تحولی باشد. Alijani et al. (2020) در تحقیق خود بیان کردند که تغییرات شاخص تمایز ارتفاعی و قطری درختان در طی زمان، براساس چند عامل از جمله سازوکارهای زادآوری، دسترسی به نور و رطوبت و رقابت میان‌گونه‌های درختی و رقابت با گیاهان دیگر تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه برای اولین بار است که در کشور مراحل تحولی با مساحت متغیر و شکل هندسی نامنظم بررسی شده است، می‌توان گفت که نتایج این تحقیق در خصوص الگوی مکانی و ساختار جنگل می‌تواند کمّی‌ترین اطلاعات را تا به امروز برای مرحلهٔ تحولی بلوغ در جنگل‌های راش ایران فراهم کند و مدیران می‌توانند از آن به‌عنوان نقطهٔ مرجع برای گسترش برنامه‌های مدیریتی و به اجرا در آوردن دستورالعمل‌های جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت در راستای حفاظت و احیای این اکوسیستم جنگلی استفاده کنند. چراکه تا به امروز همهٔ تحقیقات در خصوص مراحل تحولی در قطعات یک هکتاری صورت پذیرفته که اشکال دارد، زیرا پهنه‌بندی مراحل یا فازهای تحولی از شکل هندسی منظمی برخوردار نیستند و نباید قطعات یک‌هکتاری منظمی را در این‌گونه بررسی‌ها در نظر گرفت. در نهایت پیشنهاد می‌شود که تحقیقات مشابه در دیگر مراحل تحولی جنگل‌های راش هیرکانی صورت پذیرد تا دخالت‌های انجام‌گرفته در جنگل کمترین انحراف را با شرایط طبیعی موجود در جنگل داشته باشد. چراکه مدیریت توده‌های جنگلی بدون شناخت ویژگی‌های کمی و کیفی مراحل تحولی، تنها به از دست رفتن الگوهای طبیعی توده‌های بکر و کمتردست‌خورده منجر می‌شود و پیامدی به‌جز تخریب توده‌های جنگلی نخواهد داشت.

Reference

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.

Alijani, V., Sagheb Talebi, Kh., & Akhavan, R., (2014). Quantifying structure of intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands at different development stages (Case study: Kelardasht area, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *21*(3), 396-410.

Alijani, V., Sadeghi, S. M. M., Namiranian, M., & Akhavan, R. (2020). Determination of the Optimum Plot Size to Study the Spatial Patterns of Juniperus Excelsa Trees (Case study: Atashgah, Karaj). *Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(7), 113-123.

Amanzadeh, B., Kh., Sagheb-Talebi., Foumani, B.S., Fadaie, F., Camarero, J.J., & Linares, J.C. (2013). Spatial Distribution and Volume of Dead Wood in Unmanaged Caspian Beech (*Fagus orientalis*) Forests from Northern Iran. *Forests*, *4*(4), 751-765.

Clark, P.J., & Evans, F.C. (1954). Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, *35*, 445–453.

Erfanifard, Y., Mahdian, F., Shamsi, R.F., & Bordbar, K. (2012). The efficiency of distance-and density-based indices in estimating the spatial pattern of trees in forests (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars province, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *20*(3), 379-392.

Etemad, V. (2002). *Study of quantitative and qualitative characteristics of beech tree seed in Mazandaran province*, Faculty of Natural Resources: University of Tehran, Tehran, 258p.

Etemad, V., Moridi, M., Delfan Azary, M., & Kakavand, M. (2017). Quantitative and qualitative evaluation of deadwoods in mixed beech-hornbeam stands in the optimal stage (Case study: Kheyrood forest, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *25*(3), 386-397.

Graz, F.P. (2004). The behaviour of the species mingling index M sp in relation to species dominance and dispersion. *European Journal of Forest Research*, *123*(1), 87-92.

Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., & Rahmani, R. (2007). Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian beech forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *15*(1), 64-55.

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.

Hassani, M., & Amani, M. (2010). Investigation on structure of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand at optimal stage in Sangdeh forest. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *18*(2), 163-176.

Korpel, S. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 310p.

Miller, E.K., Vanarsdale, A., Keeler, G.J., Chalmers, A., Poissant, L., Kamman, N.C., & Brulotte, R. (2005). Estimation and mapping of wet and dry mercury deposition across northeastern North America. *Ecotoxicology*, *14*(1), 53-70.

Kint, V. (2005). Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management*, *214*(1-3), 237-250.

Krebs, C.J. (1999*). Ecological Methodology*. 2nd edition. Addison Welsey Educational Pub. Inc. USA. 581 p.

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.

Nobahar, S., Sefidi, K., &. Sagheb-talebi, Kh. (2018). Quantifying the structure of beech stands at old growth phase (Case study: Asalem forests, northern Iran). *Journal of Forest Research and Development*, *4*(1), 85-96.

Oliver, C.D., & Larson, B.C. (1996). *Forest stands dynamics:* Updated edition. John Wiley and sons.

O'Hara, K.L. (2014). *Multiaged silviculture: Managing for complex forest stand structures*. Oxford University Press: USA.

Pommerening, A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, *75*(3), 305-324.

Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Klumpp, R., & Vacik, H. (2010). Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European Journal of Forest Research*, *129*(2), 189-198.

Sagheb-Talebi, K., & Schütz, J.P. (2002). The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) forests in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry*, *75*(4), 465-472.

Sagheb-Talebi, K. (2014). Appropriate characteristics of beech stands for application of close to nature silviculture (selection system). *Final Report of National Research Project, Published by Research Institute of Forests and Rangelands*, Tehran, 123p.

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.

Zenner, E.K., Sagheb-Talebi, K., Akhavan, R., & 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.

Iranian Journal of Forest
Vol. 15, No. 2, Summer 2023
pp. 155-165

DOI: 10.22034/ijf.2022.327387.1844
DOR: 20.1001.1.20086113.1402.15.3.2.9

Research Article

Spatial pattern and structural characteristics of *Fagus orientalis* forests in the optimal developmental stage (Case study: Kheyroud forest, Nowshahr)

E. Alibabaei Omran[1], V. Etemad[2*] , Kh. Sagheb Talebi[3], and M. Namiranian[4]

[1]ph.D. Student of forestry and forest ecology, Faculty of Agriculture and natural resources Management, University of Tehran, Agricultural, Karaj, I. R. Iran
[2]Associate Prof., Dept. of natural resources, Faculty of Agriculture and natural resources Management, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Dept. of Forestry, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I. R. Iran
[4]Associate Prof., Dept. of natural resources, Faculty of Agriculture and natural resources Management, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

(Received: 31 Janury 2022; Accepted: 11 July 2022)

Abstract

Understanding the structure of a forest is crucial for detecting forest dynamics, describing ecosystem stability, and designing effective management plans and protection and restoration measures. This study primarily aims to investigate the spatial pattern and structural characteristics of beech forests in the optimal developmental stage using variable area sample plots. In compartment 327 of the Grozban district of Kheyrood forest, eleven variable area sample plots with geometric shapes, exhibiting characteristics of the optimal developmental stage, were selected. The location, diameter, and height of all trees larger than 7.5 cm were measured in each sample plot. The results revealed that the largest contribution of trees among the investigated sample plots was related to mid-diameter and low-diameter classes. The Clark and Evans index and uniform angle results indicated a regular distribution of trees in all studied sample plots. The mingling index averaged 0.19 across all sample plots, suggesting low mixing and a minimal tendency of beech trees to blend with other species. The average diameter and height differentiation index were calculated as 0.31 and 0.30, respectively, indicating an average difference between neighboring trees. Overall, the use of indices based on the nearest neighbor with variable area sample plots and geometric shapes demonstrated that these indices effectively quantify the structural characteristics of forest stands in the optimal developmental stage. Consequently, it is recommended to conduct similar research in other developmental stages.

Keywords: dynamics, uniform angle index, Clarke and Evans index, quantifying.

[*]Corresponding author Tel: 02632223044 Email: vetemad@ut.ac.ir