پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۹، شماره ۲، صفحه ۲۳۵-۲۲۱، (۱۴۰۲)
DOI: 10.30466/jfrd.2023.54465.1643
DOR: 20.1001.1.24763551.1402.9.2.6.3

مقالهٔ پژوهشی

کمی‌سازی ساختار جنگل‌های خالص راش با استفاده از شاخص‌های مکانی ساختار جنگل (پژوهش موردی: جنگل‌های هیرکانی استان مازندران)

رضا اخوان*[۱] و مجید حسنی[۲]

۱- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (akhavan@rifr-ac.ir)
۲- کارشناس ارشد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (hassani@rifr-ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴

چکیده

ساختار جنگل یک عنصر کلیدی برای ارزیابی عملکردها و خدمات اکولوژیکی در اکوسیستم‌های جنگلی است که می‌توان با استفاده از شاخص‌های ساختاری آن را توصیف و به‌صورت کمّی بیان کرد. این پژوهش با هدف کمّی‌سازی ساختار جنگل‌های خالص راش با استفاده از شاخص‌های مکانی ساختار در جنگل‌های هیرکانی استان مازندران انجام شد. برای این منظور ۹۰ قطعه نمونه ۱۰ آری دائمی در سه جنگل خالص راش به‌روش منظم- تصادفی و براساس شبکه‌ای به ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر (در هر جنگل ۳۰ قطعه نمونه) پیاده و متغیرهای قطربرابرسینه، ارتفاع کل، نوع گونه و مختصات مکانی کلیه درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در قطعات نمونه اندازه‌گیری و ثبت شدند. سپس مشخصات ساختاری این جنگل‌ها با استفاده از آماره او- رینگ و شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی، چیرگی قطری و ارتفاعی و آمیختگی مینگلینگ کمّی شدند. نتایج نشان داد که الگوی پراکنش درختان در جنگل‌های خالص راش اغلب تصادفی، تمایز قطری و ارتفاعی در آن‌ها در حد متوسط، آمیختگی گونه‌ای کم، ارتفاع غالب در آن‌ها حدود ۳۳/۵ متر، دواشکوبه و درختان ازنظر شاخص‌های چیرگی بیشتر حالت چیره‌نما داشته و میانگین فاصله بین پایه‌های آن‌ها کمتر از سه متر است. کمی‌سازی ساختار جنگل می‌تواند در مدیریت، برنامه‌ریزی و دخالت‌های پرورشی در جنگل کاربرد داشته باشد. همچنین می‌توان با به‌کارگیری شاخص‌های کمّی ساختار جنگل در قطعات نمونه دائمی و بررسی تغییرات آن‌ها در طول زمان آن‌ها را به‌صورت درازمدت پایش و با هم مقایسه کرد.

واژه‌های کلیدی: آمیختگی گونه‌ای، الگوی پراکنش، تمایز قطری، چیرگی ارتفاعی، قطعه نمونه دائمی

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۳۱۹۸۰۹۲

مقدمه

اکوسیستم جنگل همانند دیگر اکوسیستم‌ها دارای سه مؤلفه اصلی ترکیب، عملکرد و ساختار است (Sefidi et al., 2018). ساختار توده یک عنصر کلیدی برای ارزیابی عملکردها و خدمات اکولوژیکی در اکوسیستم‌های جنگلی است. از سوی دیگر برای مدیریت پایدار جنگل‌ها نیاز به بررسی ساختار آن‌ها و پایش تغییرات آن در طول زمان است. به‌طوری که تعیین پویایی توده‌های جنگلی با بررسی تغییرات ساختار آن‌ها در طول زمان امکان‌پذیر است (Etemad et al., 2017). تجزیه و تحلیل ساختار توده که شامل ارزیابی ساختار عمودی (اشکوب‌بندی) و افقی (الگوی مکانی درختان) جنگل و همچنین تنوع گونه‌ای لایه درختی است (Kint et al., 2004)، همواره در مباحث مرتبط با اکولوژی و مدیریت جنگل مورد توجه بوده است. بسیاری از پژوهش‌هایی که به مقایسه تنوع زیستی در بین توده‌هایی با درجات مختلف پیچیدگی ساختاری پرداخته‌اند، بر این نکته تأکید دارند که ناهمگنی ساختاری توده، توان اکولوژیکی آن را افزایش می‌دهد (Gao, 2014). علاوه بر این، ثابت شده است که با افزایش پیچیدگی ساختاری توده مقدار تولید و بهره‌وری جنگل افزایش می‌یابد (Ali, 2019)؛ به‌طوری که توده‌های جنگلی و سیستم‌های پوشش گیاهی با ساختار پیچیده‌تر، ظرفیت بیشتری در ارائه خدمات زیست‌محیطیِ اکوسیستم مانند تصفیه هوا از آلاینده‌ها و تنظیم آب و هوا دارند (Kint et al., 2004). ساختار توده را می‌توان هم از طریق متغیرهای ساختاری توده (مانند میانگین قطر، رویه‌زمینی و ارتفاع غالب) و هم با استفاده از شاخص‌های ساختاری توده (مانند شاخص‌های چیرگی و تمایز قطری، چیرگی و تمایز ارتفاعی، آمیختگی گونه‌ای و الگوی مکانی درختان) توصیف کرد. شاخص‌های ساختاری توده به دو دسته اصلی مکانی و غیرمکانی قابل‌تفکیک هستند (Pommerening, 2002). شاخص‌های مکانی براساس الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استوار بوده و به موقعیت مکانی درختان نیاز دارند (Pommerening, 2002). اما برای محاسبه شاخص‌های غیرمکانی نیازی به موقعیت مکانی درختان نیست. از شاخص‌های ساختاری توده در پژوهش‌های مختلفی استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به مقایسه توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده، مقایسه انواع مختلف مدیریت جنگل و بررسی رابطه بین تنوع ساختار جنگل و مقدار تولید و بهره‌وری آن (Pach and Podlaski, 2015) اشاره کرد. برخی پژوهش‌ها نیز نشان داده‌اند که از شاخص‌های ساختاری توده می‌توان در پژوهش‌های زیستی به‌عنوان معیارهای جایگزین برای تنوع‌زیستی و پیش‌بینی فراوانی و تنوع گونه‌ها استفاده کرد (Pastorella and Paletto, 2013). همچنین این شاخص‌ها می‌توانند پیش‌بینی‌کننده‌های خوبی از تأثیر مدیریت بر تنوع زیستی جنگل باشند (Sterba, 2008).

جنگل‌های هیرکانی شمال کشور به‌دلیل تنوع گیاهی و جانوری زیاد از اهمیت بسیار زیادی برخوردار بوده و در این میان راشستان‌های موجود در این جنگل‌ها هم از نظر اقتصادی و هم ازنظر اکولوژیکی بسیار مهم هستند. بنابراین بررسی ساختار آن‌ها به‌ویژه با استفاده از شاخص‌های کمّی توده بسیار حائز اهمیت است. تاکنون چندین پژوهش در جنگل‌های هیرکانی شمال کشور در زمینه بررسی ساختار توده‌های طبیعی راش براساس سه ویژگی موقعیت مکانی، آمیختگی و ابعاد درختان (Sefidi et al., 2018) با استفاده از شاخص‌های کمّی مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه انجام شده که از آن‌ها می‌توان به پژوهش Alijani et al. (2012) اشاره کرد. ایشان با استفاده از قطعات نمونه ۱۰ آری در جنگل خیرود نوشهر و در توده‌های طبیعی و آمیخته راش و

بلوط به الگوی تصادفی برای راش دست یافتند و همچنین اختلاط گونه‌ای برای راش را ناچیز و تمایز قطری آن با درختان همسایه را متوسط تعیین کردند. همچنین Alijani et al. (2013) با استفاده از سه قطعه نمونه یک هکتاری در توده‌های طبیعی و دست‌نخورده راش در منطقه کلاردشت مازندران در سه مرحله تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی، الگوی پراکنش درختان در مراحل اولیه و پوسیدگی را کپه‌ای و در مرحله بلوغ، تصادفی تعیین کردند. ایشان همچنین به آمیختگی کمتر راش در مرحله اولیه نسبت به دیگر مراحل و تمایز قطری متوسط تا آشکار و تمایز ارتفاعی کم تا متوسط راش نسبت به درختان همسایه دست یافتند. میانگین فاصله همسایگی درختان در پژوهش آن‌ها ۲/۸ تا ٤/٤ متر به‌دست آمد. Kakavand et al. (2014) با استفاده از سه قطعه نمونه یک هکتاری در جنگل خیرود نوشهر در مرحله میانی توالی در توده‌های طبیعی راش، الگو پراکنش مکانی درختان راش را کپه‌ای، تمایز قطری و ارتفاعی آن‌ها را متوسط، آمیختگی گونه‌ای راش با ممرز را زیاد و میانگین فاصله همسایگی درختان را پنج متر تعیین کردند. Etemad et al. (2017) با استفاده از سه قطعه نمونه یک‌هکتاری در جنگل خیرود نوشهر و در فاز تحولی کاهش پایه‌ها در توده‌های طبیعی راش، الگوی مکانی درختان راش را تصادفی، تمایل راش برای آمیختگی با دیگر گونه‌ها را متوسط، تمایز قطری و ارتفاعی آن‌ها را متوسط و میانگین فاصله همسایگی درختان را حدود ٤/۷ متر تعیین کردند. Nobahar et al. (2018) با روش نمونه‌برداری مشابه در جنگل‌های شفارود گیلان در فاز کهن‌رست در توده‌های طبیعی راش، آمیختگی راش با دیگر گونه‌ها را کم، تمایز قطری آن‌ها را متوسط، تمایز ارتفاعی آن‌ها را خیلی زیاد و میانگین فاصله همسایگی درختان را ٦/٥ متر تعیین کردند. همچنین Moridi et al. (2021) با استفاده از این روش نمونه‌برداری در جنگل خیرود نوشهر در مرحله تحولی افزایش حجم در توده‌های طبیعی راش، الگوی مکانی آن‌ها را کپه‌ای- تصادفی، آمیختگی راش با دیگر گونه‌ها را کم، تمایز قطری آن‌ها را زیاد، تمایز ارتفاعی را متوسط و میانگین فاصله همسایگی درختان را حدود شش متر تعیین کردند. در پژوهش‌های خارجی نیز از شاخص‌های کمّی به‌منظور توصیف ساختار توده در موارد زیادی استفاده شده است (Schall et al., 2018; Keren et al., 2020) که جدیدترین آن مربوط به Alterio et al. (2021) است که در سه توده راش، شاه‌بلوط و نوئل در کشور ایتالیا از این شاخص‌ها استفاده کرده‌اند. نتایج آن‌ها در مورد توده راش اروپایی مورد بررسی نشان داد که تمایز قطری و ارتفاعی در این توده متوسط و آمیختگی گونه‌ای در آن بسیار کم است.

در این پژوهش برای تشریح ساختار جنگل، سه جنبه موقعیت مکانی درختان (نحوه چیدمان پایه‌های درختی در کنار هم شامل الگوهای کپه‌ای، تصادفی و یکنواخت)، آمیختگی گونه‌ای درختان (نحوه چیدمان مکانی گونه‌های مختلف در کنار هم) و اختلاف ابعاد درختان (نحوه چیدمان مکانی قطر و ارتفاع درختان نسبت به هم) در جنگل‌های هیرکانی ایران بررسی شد.

هدف از این پژوهش بررسی و تعیین مقادیر شاخص‌های مکانی ساختار در سه جنگل خالص راش در استان مازندران براساس قطعات نمونه مرسوم در آماربرداری از جنگل‌های هیرکانی در سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و با استفاده از شاخص‌های کمّی ساختار برای تهیه اطلاعات پایهٔ لازم در تدوین طرح‌های مدیریت جنگل و نیز پایش و بررسی تغییرات این شاخص‌ها در قطعات نمونه ثابت و دائمی در طول زمان و در دوره‌های متوالی در آینده است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در سه جنگل خالص راش واقع در حوضه‌های آبخیز ٤٦، ٤٩ و ٦٦ الف از حوضه‌های آبخیز جنگل‌های هیرکانی در استان مازندران انجام شد. دو جنگل واقع در حوضه‌های آبخیز ٤٩ و ٦٦ الف دارای طرح مدیریت جنگل بوده و حداقل دو دوره مورد بهره‌برداری قرار گرفتند. اما جنگل راش واقع در حوضه ٤٦ فاقد طرح مدیریت جنگل بوده و در آن دخالت و بهره‌برداری انجام نشد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات مناطق مورد بررسی

Table 1. Characteristics of the studied area

شماره حوضه آبخیز Watershed No.	نام حوضه آبخیز Watershed name	نام شهرستان City name	عرض جغرافیایی latitude	طول جغرافیایی Longitude	شماره سری Seri No.	شماره پارسل Parcel No.	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد) Mean annual temperature (°C)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر) Mean annual precipitation (mm)	سابقه مدیریت و بهره‌برداری Management and harvesting background
46	کجور Kojor	نوشهر Noshahr	4043600	563000	4 شیوادره	401-402	1300-1430	15.3	1360	ندارد without
49	لاویج lavig	نور (چمستان) Noor	4018600	595850	2 لاویج	201-203	1765-2040	9.6	866	2 دوره 2 times
66A	پاردوکلا- بولا Pardokola-Bola	ساری (فریم) Sari	4002250	717000	4 بولا	419-422	1800-2025	10.8	858	3 دوره 3 times

روش پژوهش

آماربرداری در جنگل

جامعه آماری مورد استفاده در این پژوهش سه محدوده ۹۰ هکتاری در سه جنگل خالص راش واقع در مناطق سه‌گانه مندرج در جدول ۱ است. در هر منطقه تعداد ۳۰ قطعه‌نمونه ۱۰ آری دایره‌ای شکل (به‌تبعیت از الگوی سازمان اجرایی) و در مجموع ۹۰ قطعه‌نمونه، به‌صورت ثابت و دائمی (یعنی با ثبت محل و مختصات مرکز قطعه‌نمونه و کلیه درختان قرار گرفته در داخل محدوده قطعه‌نمونه به‌روش فاصله- آزیموت نسبت به مختصات مرکز قطعه‌نمونه) براساس یک شبکه آماربرداری ثابت به ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر و به‌روش منظم- تصادفی در سال ۱۳۹۹ برداشت شد. در هر قطعه‌نمونه قطر تمام درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در ارتفاع برابرسینه اندازه‌گیری و با تعیین نوع گونهٔ درختی ثبت شدند. همچنین در هر قطعه‌نمونه ارتفاع دو درخت، یکی نزدیک‌ترین به مرکز قطعه‌نمونه و دیگری قطورترین در داخل قطعه‌نمونه برای محاسبه و ترسیم منحنی ارتفاع جنگل با استفاده از دستگاه Vertex III اندازه‌گیری شد. تعداد اشکوب در سطح هر قطعه‌نمونه نیز به‌صورت بصری تعیین شد.

شاخص‌های ساختار جنگل

در این پژوهش از شش شاخص مکانی (Spatially explicit) برای بررسی ساختار جنگل استفاده شد:

آماره او- رینگ

برای بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان (ساختار افقی) در مناطق مورد بررسی از آماره او-رینگ (O-ring statistic) استفاده شد که از نوع تک‌متغیره آن برای نشان دادن نوع الگوی پراکنش گونه‌ها (کپه‌ای، تصادفی و یکنواخت) استفاده می‌شود. آماره اورینگ با تابع K رایپلی و تابع همبستگی جفتی $g(r)$ ارتباط دارد که به‌صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

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

به‌طوری که در این رابطه $O(r)$ آماره تک‌متغیره او-رینگ، λ تراکم (تعداد در واحد سطح) و $g(r)$ مشتق تابع K رایپلی است که براساس تعداد نقاط موجود در یک شعاع مشخص و مقایسه آن با الگوی تصادفی به بررسی الگوهای مکانی می‌پردازد. برای آزمون وجود اختلاف معنی‌دار بین الگوی تصادفی (فرض صفر) و الگوی مشاهده شده، نتایج حاصل از آماره او- رینگ در سطح احتمال مشخص با تکرار شبیه‌سازی تصادفی روش مونت‌کارلو مقایسه می‌شود. درصورتی‌که مقادیر او-رینگ در داخل محدوده مونت‌کارلو قرار گیرند، فرض صفر در آن فاصله تأیید و در صورتی‌که این مقادیر خارج از محدوده مونت‌کارلو قرار گیرند فرض صفر رد می‌شود؛ به‌طوری که اگر نمودار او-رینگ بالاتر از حد بالای محدوده مونت‌کارلو و یا پایین‌تر از حد پایین آن قرار گیرد، الگوی مشاهده شده به‌ترتیب خوشه‌ای و یکنواخت (منظم) خواهد بود (Luis et al., 2008).

در این پژوهش ۹۹ بار شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام شد و فاصله مورد عمل برای محاسبه آماره او-رینگ ۳۵ متر درنظر گرفته شد. محاسبات مربوط به تعیین مقادیر آماره او-رینگ با استفاده از نرم‌افزار Programita نسخه ۲۰۱٤ انجام شد. با توجه به اینکه در هر یک از مناطق مورد بررسی ۳۰ قطعه‌نمونه تصادفی برداشت شده بود و هر قطعه‌نمونه نیز دارای الگوی پراکنش مکانی خاص خود است، با استفاده از ابزار Combine Replicates در نرم‌افزار Programita نتایج حاصل از تعیین الگوی ۳۰ قطعه‌نمونه در هر منطقه با هم ترکیب و برای هر منطقه یک نمودار الگوی مکانی واحد ارائه شد.

شاخص چیرگی قطری

شاخص چیرگی قطری (U) شاخصی برای کمّی‌کردن چیرگی درختان از نظر قطر است. این شاخص براساس یک الگوی پراکنش نقطه‌ای که با مقادیر کمّی (در اینجا قطر برابرسینه درختان) نشان‌دار (مارک) می‌شود محاسبه می‌شود. برای محاسبه ابتدا درخت مرجع (i) مشخص می‌شود که دارای اندازه قطر مشخصی است، اگر قطر برابرسینه درخت i بیشتر از قطر برابرسینه نزدیک‌ترین همسایه‌اش یعنی درخت j باشد، مقدار تابع محاسباتی برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود. این حالت صفر و یک برای هر تعداد از k درختی که به‌ترتیب نزدیک‌ترین درختان به درخت مرجع i هستند اعمال می‌شود که به‌طور معمول از چهار درخت همسایه نزدیک‌تر به درخت مرجع (k=4) استفاده می‌شود (Aguirre et al., 2003; Alterio et al., 2021; Alijani et al., 2012). در نهایت براساس رابطه ۲ میانگین حاصل از چهار مقدار به‌دست آمده برابر شاخص چیرگی قطری درخت مرجع (U_i) خواهد بود:

$$U_i = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} 1\left(DBH_i > DBH_j\right) \quad \text{رابطهٔ (۲)}$$

مقدار U_i برای هر یک از درختان موجود در قطعه-نمونه مورد بررسی محاسبه می‌شود که می‌تواند برابر پنج مقدار گسسته باشد: U_i=0.0 یعنی درخت مرجع بسیار زبون (Very suppressed) است، U_i=0.25 یعنی

درخت مرجع به‌طور متوسط زبون (Moderately suppressed) یا مغلوب است، U_i=0.5 یعنی درخت مرجع چیره‌نما (Co- dominant) است، U_i=0.75 یعنی درخت مرجع چیره (Dominant) است و U_i=1.0 یعنی درخت مرجع به‌شدت چیره یا سرور (Strongly dominant) است. به‌همین ترتیب می‌توان میانگین شاخص چیرگی قطری در جامعه مورد بررسی را براساس میانگین تمام مقادیر U_i به‌دست آمده برای کل قطعات نمونه بررسی شده محاسبه کرد (Alterio et al., 2021).

شاخص تمایز قطری

شاخص تمایز قطری (T) یک شاخص تنوع ابعاد است. در این شاخص مقدار قطر برابرسینه (به‌عنوان نشان یا مارک) درخت مرجع (DBHi) با قطر برابرسینه k درخت از نزدیک‌ترین همسایگانش (DBHj) مقایسه می‌شود (Pommerening, 2006). سپس میانگین نسبت بین قطر کوچک‌تر و بزرگ‌تر هر مقایسه از عدد یک کم می‌شود (رابطه ۳):

$$T_i = 1 - \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}\frac{min(DBH_i, DBH_j)}{max(DBH_i, DBH_j)} \qquad \text{رابطهٔ (۳)}$$

اگر مقدار T_i برابر صفر شود، یعنی درخت مرجع و درختان همسایه‌اش دارای قطر یکسانی هستند و هنگامی‌که مقدار T_i به‌سمت مقدار بیشینه خود یعنی عدد یک میل می‌کند، تمایز قطری در بالاترین حد خود است. براساس نظر Pommerening and Grabarnik (2019) این شاخص را می‌توان به چهار دسته گروه‌بندی کرد:

اگر مقدار T_i بین صفر تا ۰/۳ باشد (تمایز کم/ کوچک)، درخت کوچک‌تر حداقل ۷۰ درصد قطر درخت همسایه‌اش را دارد، اگر مقدار T_i بین ۰/۳ تا ۰/۵ باشد (تمایز متوسط)، درخت کوچک‌تر بین ۵۰ تا ۷۰ درصد قطر درخت همسایه‌اش را دارد، اگر مقدار T_i بین ۰/۵ تا ۰/۷ باشد (تمایز زیاد/ بزرگ)، درخت کوچک‌تر بین ۳۰ تا ۵۰ درصد قطر درخت همسایه‌اش را دارد و اگر مقدار T_i بین ۰/۷ تا یک باشد (تمایز خیلی زیاد)، درخت کوچک‌تر کمتر از ۳۰ درصد از قطر درخت همسایه‌اش را دارا خواهد بود. شاخص تمایز قطری در جامعه مورد بررسی را می‌توان براساس میانگین تمام مقادیر T_i به‌دست‌آمده برای کل قطعات نمونه بررسی شده محاسبه کرد (Alterio et al., 2021).

شاخص آمیختگی گونه‌ای مینگلینگ

شاخص آمیختگی گونه‌ای مینگلینگ (M; Mingling) بسیار مشابه با شاخص چیرگی قطری است. این شاخص متعلق به گروه شاخص‌های تنوع گونه‌ای است و محاسبه آن بر اساس یک الگوی پراکنش نقطه‌ای است که با گونه‌های درختی به‌عنوان نشان یا مارک کمّی شده باشد. رابطه محاسبه این شاخص به‌صورت زیر است (رابطه ٤):

$$M_i = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} 1(m_i \neq m_j) \qquad \text{رابطهٔ (٤)}$$

در این شاخص نیز همانند شاخص چیرگی قطری، هر مقایسه‌ای بین درخت مرجع i با درخت همسایه‌اش (j) تبدیل به یک الگوریتم صفر و یک می‌شود، به‌طوری که اگر گونهٔ درخت مرجع i با گونهٔ درخت نزدیک‌ترین همسایه‌اش یکسان باشد، نتیجه مقایسه صفر و در غیر این صورت، یک خواهد بود. میانگین حسابی تمام این مقایسات مقدار M_i را برای درخت مرجع i مشخص خواهد کرد. بنابراین دامنه مقادیر این شاخص بین صفر تا یک خواهد بود. هنگامی‌که مقدار شاخص یک باشد آمیختگی در حداکثر مقدار خود بوده و هنگامی‌که مقدار شاخص صفر شود، یعنی درخت مرجع و تمامی نزدیک‌ترین همسایگانش متعلق به یک گونه هستند. با توجه به اینکه در این پژوهش چهار درخت همسایه در اطراف هر درخت مرجع بررسی شده، مقادیر ۰/۲۵، ۰/۵

و ۰/۷۵ این شاخص نشان‌دهنده این است که به‌ترتیب یک، دو و سه درخت همسایه از نظر گونهٔ درختی با درخت مرجع متفاوت هستند. همانند شاخص‌های قبلی می‌توان میانگین شاخص آمیختگی در جامعه مورد بررسی را براساس میانگین تمام مقادیر M_i به‌دست آمده برای کل قطعات نمونه بررسی‌شده محاسبه کرد (Alterio et al., 2021).

شاخص‌های چیرگی و تمایز ارتفاعی

در این دو شاخص نیز از همان اصول استفاده شده در محاسبه شاخص‌های چیرگی و تمایزی قطری برای محاسبه چیرگی ارتفاعی (Uh) و تمایز ارتفاعی درخت (Th) استفاده می‌شود و روابط مورد عمل همان‌ها هستند که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد، با این تفاوت که در اینجا نشان (مارک) به‌کاررفته برای هر نقطه به‌جای قطر برابرسینه ارتفاع کل درخت خواهد بود.

برآورد ارتفاع غالب و حجم سرپای جنگل

با توجه به این که در هر قطعه‌نمونه ارتفاع دو درخت، یکی نزدیک‌ترین به مرکز قطعه نمونه و دیگری قطورترین در داخل قطعه‌نمونه اندازه‌گیری شد، در نتیجه در هر منطقه ٦٠ درخت تعیین ارتفاع شدند که براساس قطر و ارتفاع آن‌ها رابطه رگرسیونی منحنی ارتفاع هر منطقه به‌طور جداگانه و به‌روش پرودان (رابطه ۵) محاسبه و به‌منظور برآورد ارتفاع بقیه درختان آن جنگل به‌کار گرفته شد.

$$H = \frac{d^2}{b_0 + b_1 d + b_2 d^2} + 1.3 \qquad \text{رابطهٔ (۵)}$$

پس از برآورد ارتفاع کلیه درختان آماربرداری شده، ارتفاع غالب جنگل (Top height) براساس میانگین ارتفاع ۱۰۰ اصله از قطورترین درختان در یک هکتار تعیین شد (Alterio et al., 2021). با توجه به اینکه قطعات نمونه مورد استفاده در این پژوهش ۱۰۰۰ مترمربعی یا ۰/۱ هکتاری بودند، از ارتفاع ۱۰ اصله از قطورترین درختان در هر قطعه‌نمونه میانگین گرفته شد و چون ۳۰ قطعه‌نمونه در هر منطقه برداشت شده بود، یعنی در مجموع سه هکتار در هر منطقه آماربرداری شده بود، از ارتفاع ۳۰۰ اصله از قطورترین درختان در هر منطقه میانگین گرفته شد تا ارتفاع غالب در آن منطقه محاسبه و تعیین شود. همچنین به‌منظور محاسبه حجم درختان سرپا از رابطه ٦ استفاده شد:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times H \times f \qquad \text{رابطهٔ (٦)}$$

به‌طوری‌که در روابط ۵ و ٦، V حجم هر درخت سرپا به مترمکعب، d: قطر برابرسینه به متر، H: ارتفاع کل درخت به متر و f: ضریب شکل تنه است که برابر عدد ۰/۵ در نظر گرفته شد (Zobeiri, 2006). محاسبات مورد نیاز برای تعیین مقادیر این شاخص‌ها (بجز آماره او- رینگ) در نرم‌افزار R نسخه ۳.٦.۱ با استفاده از بسته‌های آماری Reldist، Vegan، Spatstat و تابع برنامه‌نویسی‌شده توسط Pommerening and Grabarnik (2019) انجام شد و در تمام محاسبات تعداد درختان همسایه برابر چهار (k=4) در نظر گرفته شد. همچنین برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت بین شاخص‌های محاسبه‌شده در بین سه منطقه مورد بررسی از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. شایان ذکر است که در این پژوهش از همه پایه‌های درختی موجود در هر قطعه‌نمونه یک‌بار به‌عنوان درخت مرجع (i) به‌منظور مقایسه مشخصات کمی آن با چهار درخت نزدیک‌ترین همسایه‌اش استفاده شد.

نتایج

پس از پیاده‌کردن و اندازه‌گیری ۳۰ قطعه‌نمونه ثابت (دائمی) در هر یک از مناطق مورد بررسی، میانگین متغیرهای کمی مناطق جنگلی محاسبه و تعیین شدند (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین مشخصات کمی مناطق مورد بررسی براساس ۳۰ قطعه‌نمونه پیاده‌شده در هر منطقه

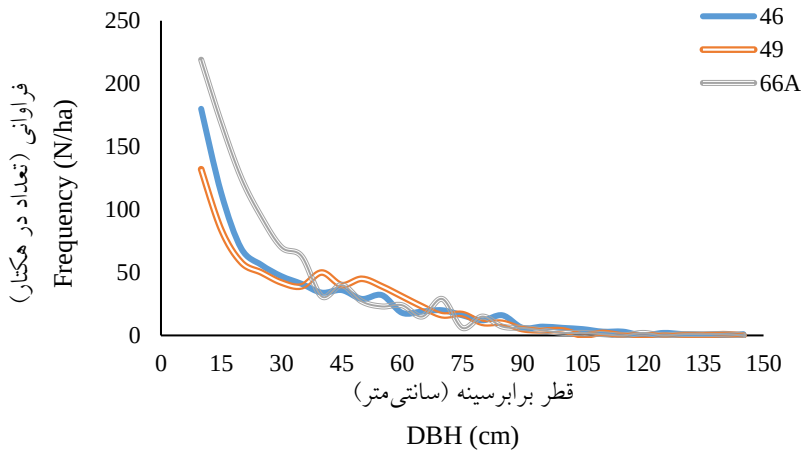
Table 2. Mean of the quantitative characteristics of the studied areas based on 30 inventoried sample plots in each area

شماره حوضه Watershed No.	فراوانی راش Beech frequency	قطر برابرسینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	ضریب تغییرات قطر CV% of DBH	رویه‌زمینی (مترمربع/ هکتار) Basal area (m^2/ha)	تراکم (تعداد/ هکتار) Density (n/ha)	حجم سرپا (مترمکعب/ هکتار) Standing Vol. (m^3/ha)	ارتفاع غالب (متر) Top Height (m)
46	92.2%	33.6(±0.93)*	76.8%	36.4(±1.40)	257(±25.2)	635.0(±27.6)	33.4
49	95.8%	35.4(±0.87)	65.5%	32.8(±1.62)	234(±18.0)	539.0(±27.2)	32.7
66A	90.1%	28.2(±0.70)	75.0%	32.8(±140)	366(±36.4)	520.0(±26.2)	34.4

* The numbers in parentheses indicate standard error

* اعداد داخل پرانتز مقادیر اشتباه معیار را نشان می‌دهند.

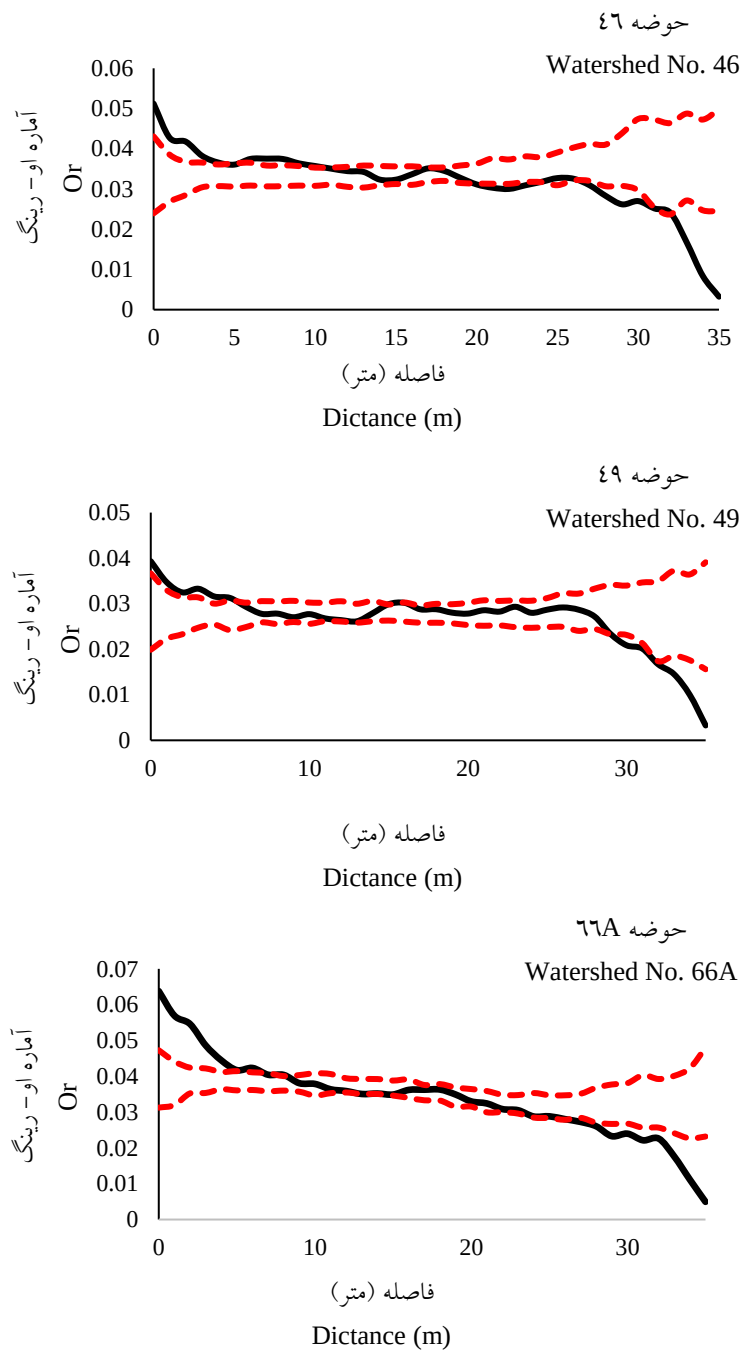
شکل ۱ نمودار پراکنش تعداد در طبقات قطری مناطق جنگلی مورد بررسی را نشان می‌دهد که نمودار مربوط به هر سه جنگل کاهشی و به‌صورت J وارونه است، بنابراین این جنگل‌ها کاملاً ناهمسال و از نظر توزیع قطری بسیار شبیه به‌هم هستند.



شکل ۱- نمودار پراکنش تعداد در طبقات قطری مناطق مورد بررسی

Figure 1. Graph of the frequency of trees in diameter classes in the studied areas

نتیجه بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان در سه منطقه مورد بررسی با ترکیب الگوهای مکانی ۳۰ قطعه- نمونه تصادفی در هر منطقه و رسم آماره او- رینگ آن‌ها به‌صورت ترکیبی در یک نمودار واحد برای هر منطقه نشان داد که الگوی مشاهده‌شده در ۷۰ درصد فاصله‌های مورد بررسی یعنی مقیاس‌های ۵ تا ۲۷ متر تصادفی، ولی در مقیاس کوچک (فواصل کمتر از ۵ متر) کپه‌ای و در فواصل بیش از ۲۷ متر یکنواخت است (شکل ۲).



شکل ۲– الگوی پراکنش مکانی درختان در مناطق مورد بررسی با استفاده از آماره او–رینگ (خط‌چین: حدود مونت‌کارلو، خط ممتد: آماره او– رینگ)

Figure 2. Spatial patterns of trees in the studied areas using *O*- ring statistic (Dash line: Monte Carlo limits, Solid line: *O*- ring statistic)

جدول ۳ نتایج محاسبه پنج شاخص ساختاری دیگر در مناطق مورد بررسی را به‌همراه میانگین فاصله بین درختان نشان می‌دهد. براساس جدول ۳ آمیختگی گونه‌ای در هر سه منطقه بسیار کم و بیش از ۹۰ درصد آن در طبقه اول یعنی طبقه ۰/۲۵ –۰ (شکل ۳– الف) قرار دارد. کمترین مقدار این شاخص (۰/۰۹) در جنگل حوضه ٤٩ با ۹۵/۸ درصد فراوانی راش (جدول ۲) محاسبه شد. میانگین شاخص‌های چیرگی قطری و

ارتفاعی در هر سه منطقه در حدود ۰/۵ و براساس نتایج آزمون تجزیه واریانس بدون تفاوت معنی‌دار در بین مناطق محاسبه شد (جدول ۳). با توجه به مقادیر این دو شاخص، هر درخت مرجع در این جنگل‌ها نسبت به نزدیک‌ترین چهار درخت اطرافش حالت چیرنما (Co- dominant) داشته و مغلوب یا زبون نیست. همچنین میانگین شاخص تمایز قطری در هر ۳ منطقه جنگلی ۰/٤۹ محاسبه شد که در طبقه ۰/۳ تا ۰/۵ یعنی تمایز متوسط قرار می‌گیرد. به‌عبارت دیگر درخت کوچک‌تر بین ۵۰ تا ۷۰ درصد قطر درخت همسایه‌اش را دارد. براساس شکل ٤ بیشترین فراوانی این شاخص نیز در طبقه ۰/۳ تا ۰/۵ مشاهده می‌شود. اما ازنظر شاخص تمایز ارتفاعی اختلاف معنی‌داری ($P<0.01$) بین حوضه ٦٦ الف با دو حوضه دیگر مشاهده می‌شود که از نظر فراوانی این شاخص در طبقات مختلف، تفاوت‌هایی نیز در بین سه منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۳- ج). اما با این وجود میانگین این شاخص در سه منطقه مورد بررسی همچنان در طبقه ۰/۳ تا ۰/۵ یعنی تمایز متوسط ارتفاعی قرار دارد. میانگین فاصله بین درختان در این سه جنگل نیز کمتر از سه متر است (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین شاخص‌های ساختاری محاسبه شده براساس ۳۰ قطعه نمونه در مناطق مورد بررسی

Table 3. Mean of the calculated structural indices based on 30 inventoried sample plots in the studied areas

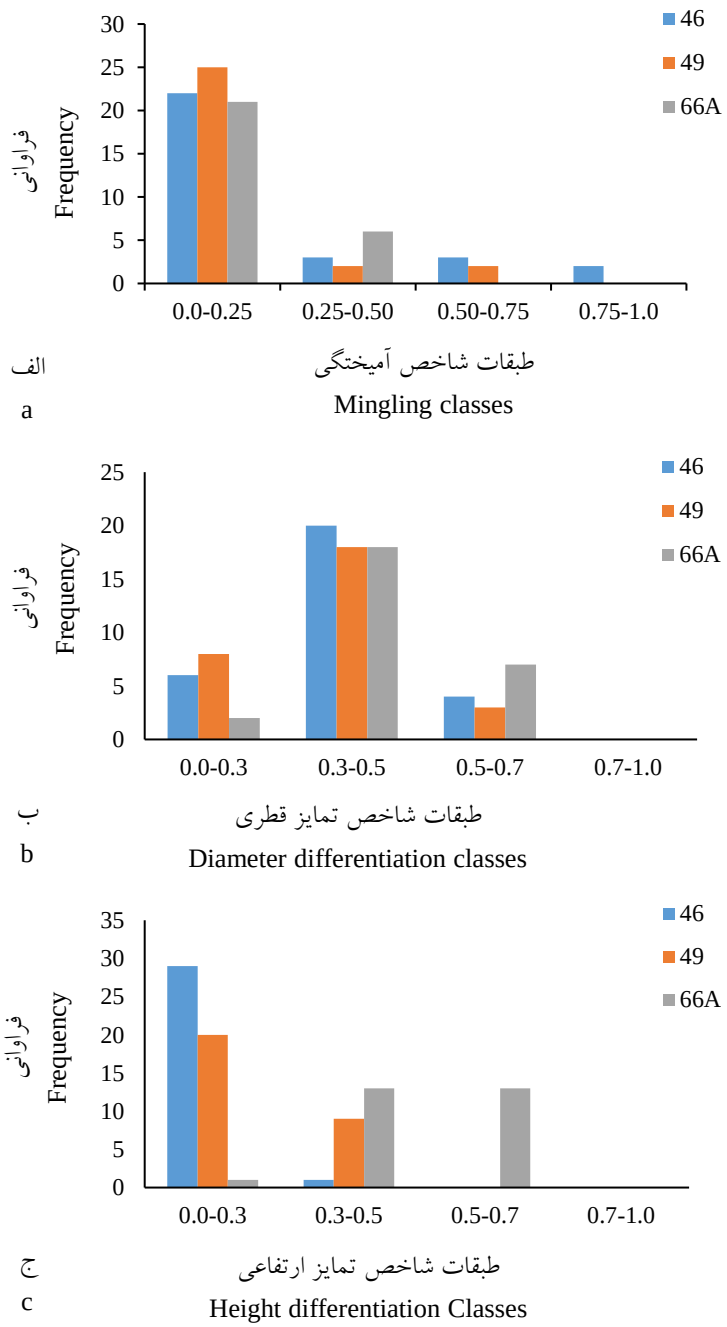
حوضه آبخیز Watershed No.	آمیختگی گونه‌ای (ns) Mingling	چیرگی قطری (ns) Diameter dominance	تمایز قطری (ns) Diameter differentiation	چیرگی ارتفاعی (ns) Height dominance	تمایز ارتفاع (**) Height differentiation	فاصله بین درختان (متر) (ns) Tree to tree distance (m)
46	0.18	0.52	0.38	0.52	0.18	2.9
49	0.09	0.46	0.38	0.46	0.24	2.9
66A	0.12	0.50	0.42	0.51	0.49	2.4
میانگین کل Total mean	0.13	0.49	0.39	0.49	0.30	2.7

**: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱ در هر ستون

**: Significant difference in each column ($P<0.01$)

ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار در هر ستون

ns: Non significant difference in each column



شکل ۳- فراوانی درختان در طبقات مختلف شاخص‌های آمیختگی گونه‌ای، تمایز قطری و تمایز ارتفاعی

Figure 3. The frequency of trees in different classes of Mingling, Diameter differentiation and Height differentiation indices

بحث

در این پژوهش ویژگی‌های ساختاری جنگل‌های خالص راش فقط با استفاده از شاخص‌های مکانی در جنگل‌های هیرکانی مازندران بررسی شد. این شاخص‌ها توانایی کمی‌کردن ویژگی‌های ساختاری جنگل‌ها را داشته که با استفاده از آن‌ها می‌توان ساختار جنگل را به‌صورت کمّی توصیف و با هم مقایسه کرد. همچنین با به‌کارگیری این شاخص‌ها در قطعات نمونه ثابت و دائمی و بررسی تغییرات آن‌ها در طول زمان می‌توان ساختار جنگل‌ها را به‌صورت درازمدت پایش و با هم مقایسه کرد. شایان ذکر است که شاخص‌های چیرگی قطری و ارتفاعی برای اولین بار است که در

جنگل خالص راش داخل کشور استفاده و معرفی می‌شوند.

در این پژوهش برخلاف پژوهش‌های Kakavand et al. (2014)، Etemad et al. (2017) و Nobahar et al. (2018) به‌جای استفاده از سه قطعه‌نمونه یک هکتاری در مناطق مورد بررسی، از ۳۰ قطعه نمونه ۰/۱ هکتاری که به‌صورت منظم- تصادفی در هر یک از مناطق مورد پژوهش پراکنده شده بودند، استفاده شد و برخلاف پژوهش‌های Kakavand et al. (2014)، Etemad et al. (2017) و Nobahar et al. (2018) که در هر قطعه‌نمونه یک‌هکتاری فقط از نه درخت به‌عنوان مرجع (i) استفاده کردند، همانند پژوهش‌های Alijani et al. (2012 and 2013) و Moridi et al. (2021) از همه پایه‌های درختی موجود در هر قطعه‌نمونه به‌عنوان درخت مرجع (i) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده و شاخص‌های همسایگی براساس همه آن‌ها محاسبه شد. در انتها نیز با ترکیب نتایج به‌دست‌آمده از هر قطعه‌نمونه نتیجه نهایی برای کل عرصه مورد بررسی ارائه شد.

نتایج این بررسی نشان داد که در جنگل‌های خالص راش در استان مازندران که در دامنه ارتفاعی میان‌بند جنگل‌های هیرکانی واقع شده‌اند، مقدار تمایز یا اختلاف قطری و ارتفاعی در حد متوسط است، بنابراین رقابت شدیدی در بین پایه‌ها برای کسب نور و مواد غذایی وجود دارد (Kakavand et al., 2014; Etemad et al., 2017)؛ براساس شاخص آمیختگی، آمیختگی گونه‌ای در آن‌ها ناچیز است که با توجه به اینکه درصد حضور راش در این مناطق حداقل ۹۰ درصد و جنگل‌ها خالص هستند، امری بدیهی است. این جنگل‌ها دو اشکوبه‌اند؛ براساس شاخص‌های چیرگی قطری و ارتفاعی، بیشتر پایه‌های درختی آن‌ها (حدود ۸۵ درصد) حالت چیره‌نما داشته؛ براساس آماره او- رینگ الگوی پراکنش آن‌ها اغلب تصادفی (البته در فواصل کم کپه‌ای و در فواصل زیاد یکنواخت) است؛ ارتفاع غالب در این جنگل‌ها حدود ۳۳/۵ متر است که می‌تواند شاخصی برای تعیین حاصل‌خیزی رویشگاه باشد و براساس شاخص نزدیک‌ترین همسایه، میانگین فاصله بین پایه‌های آن‌ها کمتر از سه متر است، در نتیجه رقابت درون‌گونه‌ای در بین آن‌ها بسیار زیاد است.

در مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های مشابه در توده‌های طبیعی راش در جنگل‌های هیرکانی کشور می‌توان گفت که نتیجه به‌دست‌آمده ازنظر شاخص تمایز قطری متوسط راش با نتایج Alijani et al. (2012) در توده‌های طبیعی و آمیخته راش و بلوط در جنگل خیرود نوشهر، Alijani et al. (2013) در توده‌های طبیعی و دست‌نخورده راش در منطقه کلاردشت مازندران، Kakavand et al. (2014) در مرحله میانی توالی در توده‌های طبیعی راش در جنگل خیرود نوشهر، Etemad et al. (2017) در فاز تکاملی کاهش پایه‌ها در توده‌های طبیعی راش در جنگل خیرود نوشهر و Nobahar et al. (2018) در فاز کهن‌رست در توده‌های طبیعی راش در جنگل‌های شفارود گیلان مطابقت دارد، اما با نتایج بررسی Moridi et al. (2021) که در مرحله تحولی افزایش حجم در جنگل خیرود نوشهر بررسی خود را انجام داده و به تمایز قطری زیاد در توده‌های طبیعی راش دست یافتند، مطابقت ندارد که علت آن می‌تواند تفاوت در مراحل و فازهای تحولی جنگل باشد. از نظر شاخص تمایز ارتفاعی درختان که در این پژوهش متوسط تعیین شد، نتایج به‌دست‌آمده در راستای نتایج پژوهش‌های قبلی است، به‌جز پژوهش Nobahar et al. (2018) در جنگل‌های شفارود گیلان که به تمایز ارتفاعی خیلی زیاد دست یافتند، که علت آن می‌تواند تفاوت در مدل‌های ارتفاعی به‌کاررفته در برآورد ارتفاع درختان و تفاوت‌های رویشگاهی در بین استان‌های گیلان و مازندران باشد. در مورد شاخص

آمیختگی گونه‌ای نیز نتایج به‌دست‌آمده با پژوهش‌های قبلی هم راستاست، به‌جز پژوهش Etemad et al. (2017) که در فاز کاهش پایه‌ها، آمیختگی گونه‌ای راش را متوسط تعیین کردند. از نظر الگوی پراکنش مکانی پایه‌ها نیز نتایج این پژوهش با نتایج Alijani et al. (2012) و Alijani et al. (2013) (فقط در مرحله بلوغ) مطابقت دارد، اما با نتایج Kakavand et al. (2014) و Moridi et al. (2021) که به الگوی کپه‌ای دست یافتند متفاوت است. علت این تفاوت در درجه اول تفاوت در مراحل و فازهای تحولی جنگل است و در درجه دوم به روش تعیین الگو برمی‌گردد که در این پژوهش با استفاده از آماره او–رینگ انجام شده و همه درختان در تعیین الگو دخیل بوده‌اند، اما در پژوهش‌های Kakavand et al. (2014) و Moridi et al. (2021) از روش زاویه یکنواخت و شاخص کلارک و ایوانز استفاده شده است. نتایج پژوهش Alterio et al. (2021) نیز در یک جنگل راش اروپایی در ایتالیا نشان داد که تمایز قطری و ارتفاعی در این جنگل متوسط و آمیختگی گونه‌ای در آن بسیار کم است و درختان راش از نظر چیرگی قطری و ارتفاعی حالت چیره‌نما دارند که مشابه با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است.

همان‌طور که در بالا هم اشاره شد، نتایج به‌دست آمده به مراحل یا فازهای تحولی که توده‌ها در آن قرار دارند بستگی زیادی دارد، ولی از آنجا که قطعات نمونه برداشت شده در این پژوهش در هر یک از مناطق مورد بررسی سطحی برابر ۹۰ هکتار را نمایندگی می‌کنند (۳۰×۳=۹۰)، بنابراین به‌احتمال خیلی زیاد همه فازها و مراحل تحولی توده‌ها را در برگرفته‌اند و در نتیجه تعیین یک فاز مشخص برای این وسعت زیاد امکان‌پذیر نیست، ولی از سوی دیگر با اطمینان می‌توان گفت که اعداد به‌دست آمده برای هر یک از شاخص‌های ساختاری، میانگین معرف و مناسبی برای هر منطقه خواهند بود.

اما از میان سه منطقه مورد بررسی در این پژوهش، جنگل خالص راش مربوط به حوضه ٤٦ مدیریت‌نشده و بدون سابقه بهره‌برداری (شاهد) بوده است (جدول ۱)، ولی با این وجود شاخص‌های ساختاری محاسبه شده برای آن (به‌جز شاخص تمایز ارتفاعی) تفاوت معنی‌داری با دو جنگل دیگر نداشته است (جدول ۳). این نتیجه نشان می‌دهد که فارغ از متفاوت بودن شرایط محیطی مناطق از نظر مقدار بارندگی، خاک، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت، به‌احتمال زیاد نوع مدیریت و دخالت در دو جنگل حوضه‌های ٤٩ و ٦٦ الف به‌طور تقریبی همگام با طبیعت بوده، به‌طوری که شاخص‌های ساختاری آنها در مقایسه با جنگل شاهد حوضه ٤٦ تغییر معنی‌داری نکرده است. بنابراین شاخص‌های به‌دست‌آمده در جنگل‌های مدیریت‌نشده و شاهد می‌تواند به‌عنوان راهنما و الگویی برای مدیریت در جنگل‌های مشابه و سنجش نتیجه دخالت‌های جنگل‌شناسی انجام شده در آن‌ها باشد. همچنین باید از این شاخص‌ها و تغییرات آن‌ها در طول زمان در مدیریت، برنامه‌ریزی، نشانه‌گذاری و دخالت‌های پرورشی در جنگل استفاده شود. به‌همین جهت لازم است تا پایش شاخص‌های ساختار جنگل نیز در آماربرداری‌های دوره‌ای در دستور کار سازمان اجرایی قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح ملی پایش رویش و موجودی جنگل‌های هیرکانی با استفاده از قطعات نمونهٔ دائمی به شمارهٔ ثبت ٦٦٦٦ است که در مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور درحال اجرا است. بدین وسیله از حمایت و پشتیبانی مؤسسه در اجرای این طرح ملی تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Aguirre, O.; Hui, G.; von Gadow, K.; Jiménez, J., An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest ecology and management* **2003,** *183* (1-3), 137-145.

Ali, A., Forest stand structure and functioning: Current knowledge and future challenges. *Ecological Indicators* **2019,** *98*, 665-677.

Alijani, V.; Sagheb Talebi, K.; Akhavan, R., 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* **2013,** *21* (3), 396-410. (In Persian).

Alijani, V.; Feghhi, J.; Marvi-Mohadjer, M.R., Investigation on the beech and oak spatial structure in a mixed forest (Case study: Gorazbon district, Kheirud forest). *Journal of Wood & Forest Science and Technology* **2012**, *19* (3), 175-188. (In Persian).

Alterio, E.; Cislaghi, A.; Bischetti, G. B.; Sitzia, T., Exploring correlation between stand structural indices and parameters across three forest types of the southeastern Italian Alps. *Forests* **2021,** *12* (12), 1645.

De Luis, M.; Raventós, J.; Wiegand, T.; Carlos González-Hidalgo, J., Temporal and spatial differentiation in seedling emergence may promote species coexistence in Mediterranean fire-prone ecosystems. *Ecography* **2008,** *31* (5), 620-629.

Gao, T.; Hedblom, M.; Emilsson, T.; Nielsen, A. B., The role of forest stand structure as biodiversity indicator. *Forest Ecology and Management* **2014,** *330*, 82-93.

Kakavand, M.; Marvie Mohadjer, M. R.; Sagheb-Talebi, K.; Sefidi, K., Structural diversity of mixed beech stands in the middle stage of succession (Case study: Gorazbon District, Kheiroud Forest of Nowshahr). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014,** *22* (3), 411-422.

Keren, S.; Svoboda, M.; Janda, P.; Nagel, T. A., Relationships between structural indices and conventional stand attributes in an old-growth forest in Southeast Europe. *Forests* **2019,** *11* (1), 4.

Kint, V.; Robert, D.W.; Noël, L., Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modelling* **2004,** *180* (4), 461-476.

Moridi, M., Quantification of beech stands structure in the stem exclusion phase. Journal of *Forest and Wood Products* **2017,** *69* (4), 647-656. (In Persian).

Moridi, M.; Fallah, A.; Pourmajidian, M.; Sefidi, K., 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* **2021,** *13* (2), 115-128. (In Persian).

Nobahar, S.; Sefidi, K.; Sagheb Talebi, K., Quantifying the structure of beech stands at old growth phase (Case study: Asalem forests, northern Iran). *Forest research and development* **2018,** *4* (1), 85-96. (In Persian).

Pach, M.; Podlaski, R., Tree diameter structural diversity in Central European forests with Abies alba and Fagus sylvatica: managed versus unmanaged forest stands. *Ecological Research* **2015,** *30*, 367-384.

Pastorella, F.; Paletto, A., Stand structure indices as tools to support forest management: an application in Trentino forests (Italy). *Journal of forest science* **2013,** *59* (4), 159-168.

Pommerening, A., Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* **2002,** *75* (3), 305-324.

Pommerening, A., Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* **2006,** *224* (3), 266-277.

Pommerening, A.; Grabarnik, P., *Individual-based methods in forest ecology and management*. Springer: 2019; Vol. 411.

Schall, P.; Schulze, E.-D.; Fischer, M.; Ayasse, M.; Ammer, C., Relations between forest management, stand structure and productivity across different types of Central European forests. *Basic and Applied Ecology* **2018,** *32*, 39-52.

Sefidi, K.; Firouzi, Y.; Sharari, M.; Keivan Behju, F.; Rostamikia, Y., Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region. *Iranian Journal of Forest* **2018,** *10* (2), 207-220.

Sterba, H., Diversity indices based on angle count sampling and their interrelationships when used in forest inventories. *Forestry* **2008,** *81* (5), 587-597.

Zobeiri, M. *Forest Inventory*. 5th ed.; University of Tehran Press, 2006; p 401. (In Persian).

Quantifying the structure of pure beech forests using spatial structural indices (case study: Hyrcanian forests of Mazandaran province, Iran)

R. Akhavan[*1] and M. Hassani[2]

1- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (akhavan@rifr-ac.ir)
2- Senior research expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (hassani@rifr-ac.ir)

Received: 30.11.2022 Accepted: 05.03.2023

Abstract

Forest structure is a key element for assessing the ecological functions and services in forest ecosystems, which can be described and quantified using forest structural indices. This research was conducted with the aim of quantifying the structure of pure beech forests using spatial indices of forest structure in the Hyrcanian forests of Iran. For this purpose, 90 permanent sample plots of 1000m^2 area in three pure beech forests (30 samples in each forest) were established based on a systematic-random grid of 150×200m and the variables of DBH, total height, species and spatial coordinates of all trees greater than 7.5cm in the sample plots were recorded. Then, the structural characteristics of the forests were quantified using *O*-ring statistic and indices of diameter and height differentiation, diameter and height dominance and Mingling. The results showed that the distribution patterns of trees in the pure beech forests is mainly random, the degree of diameter and height differentiation is average, the degree of species mixing is low, the top height is about 33.5m, the forests are two-storied, trees in terms of dominance indices are co- dominant and the average tree to tree distance is less than 3m. These spatial and quantitative indices of the forest structure can be used for management, planning and silvicultural interventions in the forests. Furthermore, by using these indices with permanent sample plots and assessing their changes over time, it is possible to long-term monitoring and comparing the forests.

Keywords: Species mixture, Spatial patterns, Diameter differentiation, Height dominance, Permanent sample plot.

[*] Corresponding author Tel: +989123198092