University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Analyzing the heterogeneity of the stand structure in the understory initiation developmental phase in the Hyrcanian forests

Kiomars Sefidi[1] | Roghayeh Jahdi[2] | Vahid Etemad[3] | Mohammad Ataei[4]

1. Corresponding Author, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. Email: sefidi@uma.ac.ir
2. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran. Email: etemad@ut.ac.ir
4. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. Email: m.ataae@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 20 January 2024
Revised: 27 February 2024
Accepted: 02 May 2024
Published online: 04 Jun 2024

Keywords:
Complexity index,
Cox index,
Deadwood,
Developmental stages,
Stand dynamics.

ABSTRACT

Investigating forest structure is an important and necessary topic, especially in line with the goals of close-to-nature silviculture. This research aimed to quantitatively analyze the complexity of stand structure during the transformational phase of understory formation in the oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests of Kheyrud, Nowshahr. After field inspections, three one-hectare sample plots in the transformational phase of understory formation were selected, and a full inventory of all stand parameters, including tree diameter at breast height, natural regeneration, size and distribution of gaps, and deadwood, was carried out. To analyze the structural complexity in forest stands, the structure complexity indices, Cox coefficient, coefficient of variation, and Gini coefficient of tree diameter were used. According to the research results, in this evolutionary phase, the highest frequency is in small diameter classes, while the lowest frequency is in large trees. The distribution curve of trees forms a decreasing exponential with a steep slope in small diameter classes. The average deadwood volume was 30 m³, and the average gap factor of crown coverage was 6.4%. Additionally, the mean Gini coefficient and diameter change coefficient were 0.7 and 6, respectively. These values, along with the Cox coefficient, indicate optimal complexity in the stand structure during this phase. In the understory, the average abundance was 306 stems per hectare, with beech being the most abundant species. Based on these results, to maintain heterogeneity in the managed forests while preserving large trees in the stand, it is suggested to implement operations to increase the complexity of the forest stand structure and perform thinning from below.

Cite this article: Sefidi, K., Jahdi, R., Etemad, V., Ataei, M. (2024). Analyzing the heterogeneity of the stand structure in the understory initiation developmental phase in the Hyrcanian forests. *Journal of Forest and Wood Products*, 77 (1), 35-46. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371286.1280

© The Author(s) **Publisher:** The University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371286.1280

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

تحلیل ناهمگنی ساختار توده در فاز تحولی تشکیل زیراشکوب در جنگل‌های هیرکانی

کیومرث سفیدی[1*] | رقیه جهدی[2] | وحید اعتماد[3] | محمد عطایی[4]

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sefidi@uma.ac.ir

۲. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: etemad@ut.ac.ir

۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

۴. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m.atae@uma.c.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

کلیدواژه:
پویایی توده،
خشک‌دار،
شاخص پیچیدگی،
شاخص کاکس،
مراحل تحولی.

چکیده

امروزه بررسی ساختار جنگل از مباحث مورد توجه و ضروری؛ به‌ویژه در راستای اهداف جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت است. این پژوهش با هدف تحلیل کمی پیچیدگی ساختار توده در فاز تحولی تشکیل زیراشکوب در جنگل‌های راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) خیرود نوشهر انجام شد. پس از جنگل گردشی اولیه، سه قطعهٔ یک هکتاری در فاز تحولی تشکیل زیراشکوب، انتخاب و آماربرداری صددرصد از کلیهٔ پارامترهای توده شامل قطر برابر سینه درختان، زادآوری طبیعی، اندازه و پراکنش روشنه‌های پوشش تاجی و خشک‌دارها انجام شد. به‌منظور تحلیل پیچیدگی ساختار در توده‌های جنگلی از شاخص‌های پیچیدگی ساختار، کاکس، ضریب تغییرات و ضریب جینی قطر درختان استفاده شد. براساس نتایج پژوهش، در این فاز تحولی، بیشترین و کمترین فراوانی به‌ترتیب در طبقات قطری کم‌قطر و درختان قطور است و منحنی پراکنش درختان به شکل نمایی کاهنده با شیب تند در طبقات کم قطر است. میانگین حجم خشک‌دار، ۳۰ مترمکعب و میانگین ضریب روشنهٔ پوشش تاجی، ۶/۴ درصد به‌دست آمد. علاوه بر این، میانگین شاخص‌های ضریب جینی و ضریب تغییرات قطری به‌ترتیب ۰/۷ و ۶ محاسبه شد که با توجه به مقدار عددی شاخص‌های پیچیدگی و ضریب کاکس، نشان از پیچیدگی مطلوب در ساختار توده در این فاز دارد. در زیراشکوب تشکیل شده، میانگین فراوانی، ۳۰۶ اصله در هکتار بوده که گونهٔ راش بیشترین فراوانی را به‌خود اختصاص داده است. براساس نتایج، برای حفظ ناهمگنی در جنگل‌های تحت مدیریت ضمن نگهداشت درختان قطور در توده، ضرورت اجرای عملیات تنظیم آمیختگی و تنک کردن از پایین پیشنهاد می‌شود.

استناد: سفیدی، کیومرث؛ جهدی، رقیه؛ اعتماد، وحید؛ عطایی، محمد (۱۴۰۳). تحلیل ناهمگنی ساختار توده در فاز تحولی تشکیل زیراشکوب در جنگل‌های هیرکانی. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۷ (۱)، ۴۶-۳۵. DOI:http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371286.1280

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371286.1280

۱. مقدمه

دانش جنگل‌شناسی برای ارائهٔ راهکارهای به‌هنگام و متناسب با شرایط مکانی توده، نیاز به اطلاعات کمی مناسب از وضعیت تحولی توده‌های جنگلی دارد. هر گونه دخالت در ساختار و ترکیب توده‌های جنگلی، بدون داشتن شناخت کافی از وضعیت تحولی آنها می‌تواند منجر به آسیب و دور شدن توده از مسیر تحول طبیعی خود شود. اولین گام در مدیریت همگام با طبیعت توده‌های جنگلی، شناخت ساختار توده‌های طبیعی جنگلی و تغییرات آن در فرآیند تحول توده است [۱]. توالی جنگل عبارت است از تغییرات بوم‌سازگان در طـول زمـان که یکی از مفـاهیم اساسی در بوم‌شناسی جنگل به‌حساب می‌آید [۲]. همچنین، ساختار توده‌های جنگلی یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های توده‌های جنگلی است که کارکرد اصلی توده‌ها را تعیین می‌کند. ساختار توده‌های جنگلی به شکل ترکیب، اندازه و توزیع مکانی درختان تعریف می‌شود [۳]. این ساختار توده‌های جنگلی با گذشت زمان تغییر می‌کند و همواره توده در وضعیت‌های ساختاری متفاوتی مشاهده می‌شود که با عنوان فازها و مراحل تحولی شناخته می‌شوند. به‌عنوان مثال، در جنگل‌های راش اروپا فازها و مراحل تحولی متفاوتی مشخص شده است [۴ و ۵]. در جنگل‌های هیرکانی ایران نیز سه مرحلهٔ تحولی اولیه (افزایش حجم)، میانی (انباشت حجم) و نهایی (کاهش حجم) شناسایی شده است که در درون هر یک از مراحل، فازهای مختلفی مشاهده می‌شود. فاز تشکیل زیراشکوب فازهای مرحلهٔ تحولی اولیهٔ جنگل‌های راش شرقی است [۱]. آگاهی از وضعیت ساختاری جنگل در هر یک از فازها، می‌تواند منجر به تعیین برنامه‌های عمل در راهبرد اداره جنگل‌ها به شیوه اقتصادی جنگل‌شناسی همگام با طبیعت باشد.

براساس منابع موجود، مطالعه در زمینهٔ پیچیدگی در ساختار درختان در مراحل تحولی (Developmental stages) در مناطق مختلف دنیا در سال‌های اخیر شتاب گرفته است. از این مطالعات می‌توان به پژوهش Moridi و همکاران (۲۰۲۱) با هدف شناخت ویژگی‌های ساختاری جنگل‌های طبیعی راش در مرحلهٔ اولیه (افزایش حجم) در جنگل خیرود نوشهر اشاره کرد. بر اساس نتایج این مطالعه، مقدار متوسط شاخص‌های زاویهٔ یکنواخت و کلارک و ایوانز به‌ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۹۶ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ الگوی مکانی کپه‌ای متمایل به تصادفی درختان در این مرحله بود [۶]. علاوه بر مطالعهٔ مراحل تحولی در مواردی در جنگل‌های هیرکانی فازهای تحولی (Developmental phases) نیز مطالعه شده است. به‌عنوان‌مثال، در پژوهشی که توسط Pourgoli و همکاران (۲۰۱۹) در فاز تشکیل روشنه انجام شد، نتایج نشان داد که میانگین تعداد درختان در این فاز، ۳۷۹ اصله در هکتار و متوسط حجم سرپا و حجم خشکه‌دار به‌ترتیب ۵۱۴ و ۳۶ مترمکعب یا سیلو در هکتار می‌باشد. میانگین شاخص‌های آمیختگی گونه‌ای، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی و شاخص فاصله‌ی همسایگی در سه قطعه‌نمونه به‌ترتیب ۰/۲۳، ۰/۴۳، ۰/۸۷ و ۴/۸۷ متر به‌دست آمد [۷]. در پژوهشی که Noubahar و همکاران (۲۰۱۷) با هدف کمی‌سازی ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی در فاز کهن‌رست در جنگل‌های تحت مدیریت شرکت سهامی شفارود در غرب استان گیلان انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که میانگین فاصلهٔ همسایگی درختان در این فاز، ۶/۵ متر و شاخص تمایز قطری و ارتفاعی به‌ترتیب ۰/۴۲ و ۱/۷ است. ساختار توده از نظر تمایز قطری و ارتفاعی همگن است و راش تمایل کم به آمیختگی با گونه‌های دیگر را نشان می‌دهد [۸]. علاوه بر این، پژوهشی که Moridi و همکاران (۲۰۱۵) با هدف بررسی ویژگی‌های ساختاری توده‌های آمیختهٔ راش در بخش گرازبن جنگل خیرود در شمال ایران در فاز کاهش پایه‌ها انجام دادند، مقدار شاخص آمیختگی گونه‌ای متوسط محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ تمایل متوسط گونهٔ راش به قرارگرفتن در کنار دیگر گونه‌ها است. همچنین، مقدار شاخص فاصلهٔ همسایگی نشان داد که در این مرحله، توده دارای تراکم زیادی بوده و در نتیجه رقابت زیادی در بین درختان برای کسب منابع غذایی وجود داشت [۹]. در بررسی دیگر، تحت عنوان تأثیر اختلاط گونه‌های درختی بر پیچیدگی ساختاری توده که توسط Juchheim و همکاران (۲۰۲۰) انجام شده است، نتایج نشان داد که بین پیچیدگی ساختاری توده و تنوع گونه‌های درختی، رابطهٔ مستقیمی وجود دارد [۱۰]. در پژوهش الگوهای مکانی پیچیدگی ساختاری در جنگل‌های با غلبهٔ راش با مدیریت متفاوت و مدیریت نشده در اروپای مرکزی که توسط Willim و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد، برای هر سه اشکوب جنگلی، تفاوت‌هایی در پیچیدگی ساختاری بین انواع مختلف جنگل مشاهده شد. در اشکوب‌های پایین‌تر و میانی، جنگل‌های اولیهٔ بررسی شده، توزیع تصادفی تا منظم گیاهان و همچنین ساختار زیرزمینی پیچیده را در نتیجه پوسیدگی طبیعی مشخص نشان دادند [۱۱]. در پژوهشی دیگر که توسط Seidel و همکاران

(۲۰۱۹) تحت عنوان شناسایی ویژگی‌های معماری تاج در درختان که پیچیدگی سازهٔ درخت را تعیین می‌کند انجام شد، از تجزیه و تحلیل هندسی برای توصیف پیچیدگی ساختاری درختان استفاده شد و نشان داده شد که ویژگی‌های معماری درخت با استفاده از ترکیبی از اقدامات مربوط به ویژگی‌های شاخه‌بندی عمودی، افقی و داخلی بستگی دارد [۱۲]. براساس مطالعات انجام شده در خیرود نوشهر، شاخص پیچیدگی در مرحلهٔ نهایی به شکل معنی‌داری بیشتر از دو مرحلهٔ دیگر بود، با این حال، براساس آزمون توکی اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص در دو مرحلهٔ تحولی اولیه (۴/۲۳ ± ۶۱/۳۹) و میانی (۳/۳۳ ± ۵۸/۸۵) مشاهده نشد [۱۳]. در مطالعه دیگری Akhavan و همکاران (۲۰۲۳) توده‌های خالص راش را با استفاده از شاخص پیچیدگی ساختار مقایسه کردند که نتایج نشان داد که حد بالا و پایین این شاخص در سه منطقهٔ مورد بررسی به‌ترتیب ۲/۷ و ۱۱/۷ است، ولی میانگین آن در هر منطقه در حدود ۶ است که تفاوت آماری معنی‌داری نیز با هم ندارند. همچنین، نتایج نشان داد که مقدار این شاخص با متغیرهای رویهٔ زمینی و حجم سرپای توده‌ها همبستگی معنی‌دار دارد، به‌طوری که با افزایش این دو متغیر بر مقدار آن افزوده می‌شود [۱۴].

بر این اساس و با در نظر گرفتن پیچیدگی قابل توجه ساختار توده‌های جنگلی در مناطق کمتر دست‌خورده، به‌عنوان مرجع در اجرای شیوهٔ پرورشی تک‌گزینی براساس اصول پرورش جنگل به شیوهٔ نزدیک به طبیعت، این پژوهش با هدف بررسی میزان پیچیدگی براساس برخی از شاخص‌های رایج در توده‌های آمیختهٔ راش در فاز تحولی تشکیل زیراشکوب جنگل‌های راش انجام شد. انتظار می‌رود نتایج این بررسی بتواند خطوط کلی برای تدوین برنامهٔ عملی پرورش جنگل در طرح‌های مدیریت پایدار جنگل را در سال‌های آتی فراهم سازد و در تدوین برنامه‌های مدیریتی (نشانه‌گذاری) توده‌های جنگلی مورد استفاده قرار گیرد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقهٔ مورد مطالعه

رویشگاه‌های مورد مطالعه در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود واقع در ۷ کیلومتری شرق نوشهر و در غرب استان مازندران بین ′۳۶°۲۷ و ′۳۶°۴۰ عرض شمالی و بین ′۵۱°۳۲ و ′۵۱°۴۳ طول شرقی واقع شده‌اند (شکل ۱). این جنگل از شمال به نوار ساحلی و روستای نجارده و از جنوب به ییلاقات و روستای کلیک محدود می‌شود. مساحت کل منطقه حدود ۸۰۰۰ هکتار است. انتخاب رویشگاه‌های مورد مطالعه با توجه به سابقهٔ مدیریتی و عدم انجام نشانه‌گذاری و بهره‌برداری صنعتی، تشابه تیپ و شرایط رویشگاهی در نظر گرفتن نتایج مطالعهٔ پویایی توده در یک منطقهٔ ۷۵ هکتاری انجام شد. بر این اساس، مطالعه در پارسل ۳۱۸ انجام شد. حجم متوسط درختان در بخش گرازبن جنگل خیرود براساس آماربرداری صددرصد، ۳۳۸ سیلو [۱۵] و تیپ غالب جنگل راش آمیخته گزارش شده است.

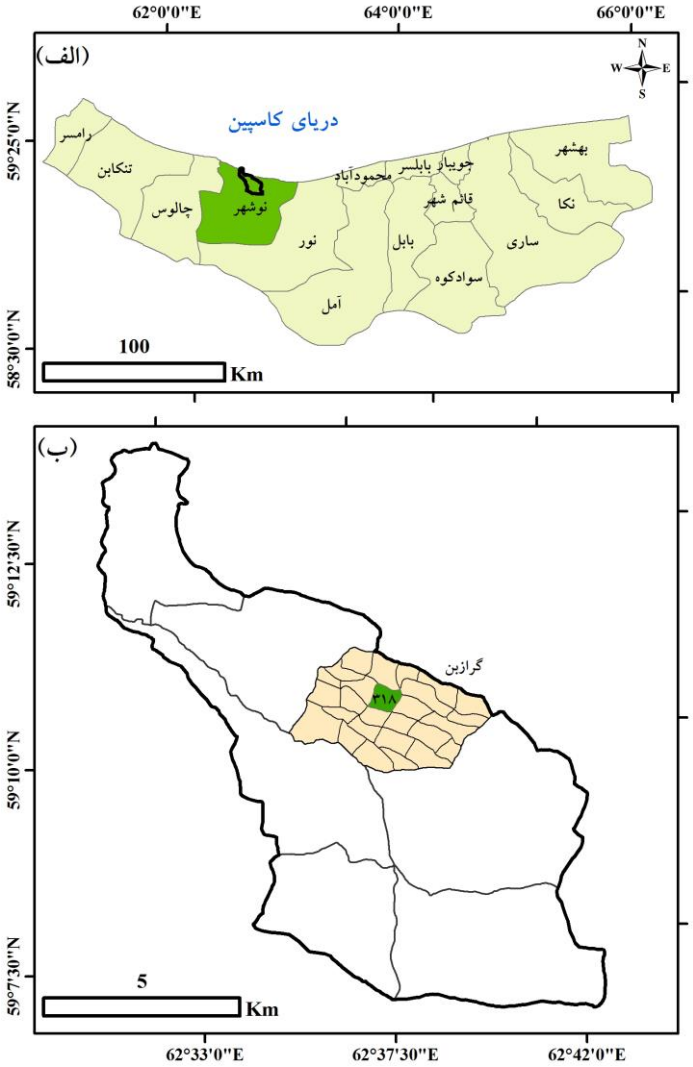
۲-۲. جمع‌آوری داده‌ها

پس از جنگل گردشی‌های متعدد، سه قطعهٔ یک هکتاری که دارای ویژگی‌های ساختاری فاز تشکیل زیراشکوب بودند، انتخاب و مشخصه‌های توده به‌منظور برآورد میزان پیچیدگی در ساختار توده تحلیل شد. برای تعیین تعلق فازها و مراحل از مطالعات قبلی در جنگل‌های هیرکانی استفاده شد [۱، ۱۶]. در قطعات نمونه برای کلیهٔ درختان (آماربرداری صددرصد) دارای قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر، مشخصه‌هایی چون نوع گونه، قطر برابر سینه، اشکوب‌بندی و درجهٔ تاج‌پوشش اندازه‌گیری و ثبت شد. برای تحلیل پیچیدگی در زیراشکوب، تعداد و گونهٔ درختان با قطر برابر سینه کمتر از ۷/۵ سانتی‌متر نیز یادداشت شد. همچنین، سایر مشخصه‌های تودهٔ جنگلی نظیر روشنه‌ها، خشکه‌دارها و استقرار زادآوری نیز بررسی شد.

۲-۳. تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، از قطر برابر سینه، رویهٔ زمینی، حجم سرپای توده، تراکم، تراکم درختان قطورتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر [۱۷]، تراکم درختان قطورتر از ۱۰۰ سانتی‌متر [۱۸]، انحراف معیار قطر و ارتفاع درختان توده [۱۷، ۱۸]، قطر و حجم خشکه‌دار، تعداد خشکه

دار [۱۹]، قطر و ارتفاع درختان اشکوب بالایی، ضریب جینی (رابطهٔ ۱) [۲۰]، شاخص پیچیدگی ساختار (رابطهٔ ۲) [۲۱] و شاخص کاکس (رابطهٔ ۳) [۲۲] استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت مکانی جنگل خیرود در استان مازندران، شهرستان نوشهر (الف) و پارسل ۳۱۸ سری گرازبن جنگل خیرود (ب)

قطر درختان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ابعادی درختان است که می‌تواند بر پیچیدگی ساختار در جنگل‌ها اثرگذار باشد. بر این اساس، علاوه بر میانگین قطر درختان، ضریب تغییرات قطر از رابطه یک برآورد شد:

$$CV_{DBH} = \frac{SDD}{D_m}$$

رابطهٔ ۱)

که در آن: CV_{DBH}: ضریب تغییرات قطر درختان، SDD: انحراف معیار قطر و D_m: میانگین قطر درختان است.

همچنین، به‌منظور تعیین ناهمگنی در پراکنش درختان در طبقه‌های قطری از شاخص ضریب جینی قطر درختان (رابطهٔ ۲) استفاده شد.

$$GC = \frac{\sum_{j=1}^{n}(2j-1-n)ba_j}{\sum_{j=1}^{n} ba_j(n-1)}$$

رابطهٔ ۲)

که در آن: GC: ضریب جینی، n: تعداد درختان در قطعه نمونه و j: عدد طبقهٔ قطری است. در ترتیب صعودی قطر برابر سینه و ba_j:رویهٔ زمینی مربوط به هر درخت یا طبقهٔ قطری است.

علاوه بر این، از شاخص پیچیدگی ساختار برای تحلیل مناسب از میزان ناهمگنی استفاده شد.

$$HC = H \times BA \times n \times N$$ رابطهٔ ۳)

که در آن HC: شاخص پیچیدگی ساختار، H: ارتفاع درختان اشکوب بالا در قطعه نمونه، BA: رویهٔ زمینی درختان در قطعه، n: تعداد درختان در قطعه و N: تعداد گونه‌ها در قطعه است.

همچنین، شاخص کاکس به‌عنوان معرف میزان ناهمگنی درختان در جنگل مورد استفاده قرار گرفت که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CI = \frac{S_X^2}{\bar{X}}$$ رابطهٔ ۴)

که در آن CI :شاخص کاکس، S_x^2: واریانس تعداد درختان در قطعهٔ مربوطه و $\bar{x}$: میانگین تعداد درختان در قطعه است.

شاخص دیگر شاخص لورمیر فرلیچ است که عبارت از نسبت رویهٔ زمینی درختان طبقهٔ خیلی قطور (Large) به درختان قطور (Mature) است. Lorimer و Frelich (۱۹۹۱) ذکر کردند که استفاده از این نسبت، روشی مفید برای تمایز مرحلهٔ تحولی مسن از مراحل دیگر است [۲۳]. در این مطالعه، درختان براساس قطر برابر سینه در چهار طبقهٔ قطری تقسیم‌بندی شدند. این طبقه‌ها شامل کم‌قطر (قطر کمتر از ۳۰ سانتی‌متر)، میان‌قطر (قطر بین ۳۰ تا ۵۵ سانتی‌متر)، قطور (قطر بین ۵۵ تا ۷۵ سانتی‌متر) و خیلی قطور (قطر بیش از ۷۵ سانتی‌متر) بودند. همچنین، با توجه به اهمیت استقرار تجدید حیات در فاز تشکیل زیراشکوب، تعداد نهال‌های مستقر در جنگل، در سه طبقهٔ ارتفاعی و با ذکر گونه، شمارش و ثبت شد. طبقه‌های ارتفاعی شامل نهال‌های کوتاه‌تر از ۳۰ سانتی‌متر، بین ۳۰ تا ۱۳۰ سانتی‌متر و در نهایت نهال‌های بلندتر از ۱۳۰ سانتی‌متر طبقه‌بندی شدند.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳–۱. مشخصه‌های ساختاری توده

براساس اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده، در مجموع در سه قطعهٔ مورد بررسی، در این فاز تحولی ۵۲۵ اصله درخت از گونه‌های راش، ممرز و سایر گونه‌ها شمارش شدند. میانگین تعداد درختان در هر هکتار در این فاز، ۱۷۵ اصله در هکتار به‌دست آمد (جدول ۱). گونهٔ راش، ۸۲ درصد،گونهٔ ممرز، ۱۲ درصد و سایر گونه‌ها، پنج درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را بین گونه‌ها به خود اختصاص دادند.

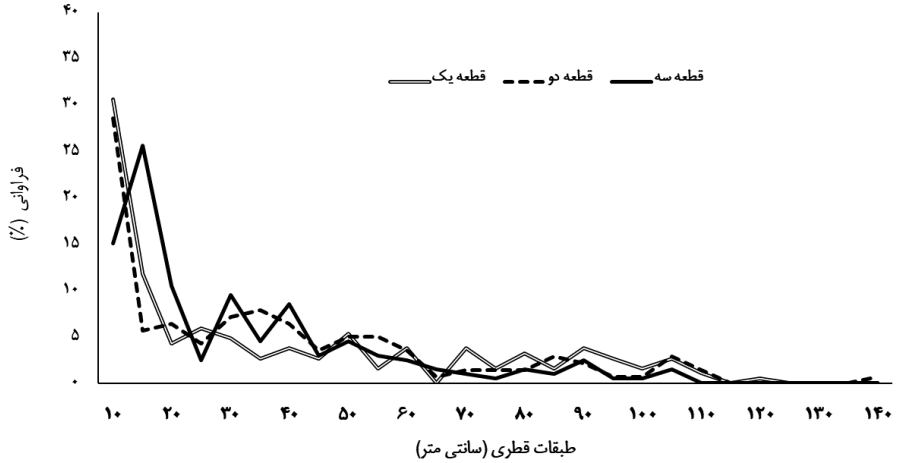
جدول ۱. برخی از مهمترین مشخصه‌های ساختاری توده‌های راش در فاز تشکیل زیراشکوب

پارامتر	قطعه یک	قطعه دو	قطعه سه	میانگین
تعداد در هکتار (اصله)	۱۸۶	۱۴۰	۱۹۹	۱۷۵
حجم (سیلو)	۴۹۴/۲۷	۳۳۷/۸۶	۳۰۷/۰۹	۳۸۴/۰۷
میانگین قطر (سانتی متر)	۳۸/۱۱	۳۷/۵۳	۳۱/۶۸	۳۵/۷۷
قطر کمینه (سانتی متر)	۱۰	۱۰	۱۰	--
قطر بیشینه (سانتی متر)	۱۲۰	۱۴۰	۱۰۵	--

۳–۲. پراکنش درختان در طبقات قطری

نتایج بررسی تعداد درختان در طبقات قطری نشان داد که در قطعه‌های ۱ و ۲، طبقهٔ قطری ۱۰ سانتی‌متری به‌ترتیب با داشتن ۳۰ و ۲۸ درصد از فراوانی نسبی، بیشترین فراوانی را بین طبقات مختلف قطری به‌خود اختصاص می‌دهد. در قطعهٔ ۳، طبقهٔ

قطری ۱۵ سانتی‌متری با ۵۱ اصله (۲۵ درصد درختان) بیشترین فراوانی را بین طبقات مختلف قطری داشت (شکل ۲). از بررسی پراکنش تعداد در طبقات قطری در قطعات نمونهٔ یک هکتاری (شکل ۲) در این فاز، بیشترین فراوانی تعداد مربوط به طبقات قطری کم‌قطر و کمترین فراوانی تعداد، مربوط به طبقات قطری درختان قطور است. به‌طور کلی نمودار پراکنش تعداد برای هر سه قطعه، به شکل نمایی کاهنده می‌باشد که دارای شیب تند در طبقات قطری پایین است.



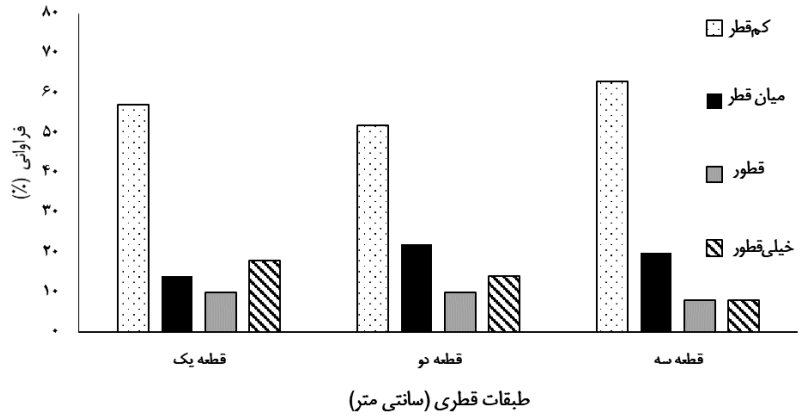
شکل ۲. تعداد در طبقات قطری درختان در سه قطعه در فاز تشکیل زیراشکوب

جدول ۲. توزیع فراوانی در طبقات قطری در فاز تشکیل زیراشکوب در تحول توده‌های راش شرقی

طبقات قطری	قطعه یک		قطعه دو		قطعه سه		میانگین	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
کم‌قطر(۳۰> سانتی‌متر)	۱۰۷	۵۷/۵۲	۷۳	۵۲/۱۴	۱۲۶	۶۳/۳۱	۱۰۲	۵۸/۵۲
میان‌قطر(۵۵- ۳۰ سانتی‌متر)	۲۷	۱۴/۵۱	۳۲	۲۲/۸۵	۴۱	۲۰/۶۰	۳۳/۳۳	۱۹/۰۴
قطور (۷۰-۵۵ سانتی‌متر)	۱۷	۹/۱۳	۱۵	۱۰/۷۱	۱۶	۸/۰۴	۱۶	۹/۱۴
خیلی قطور (>۷۵ سانتی‌متر)	۳۵	۱۸/۸۱	۲۰	۱۴/۲۸	۱۶	۸/۰۴	۲۳/۶۶	۱۳/۵۲

براساس نتایج بدست آمده در جدول ۱، در مجموع سه قطعه در فاز زیراشکوب، بیشترین فراوانی مربوط به طبقهٔ کم‌قطر (۳۰> سانتی‌متر) با ۳۰۶ اصله درخت و میانگین ۱۰۲ (۵۸ درصد) و کمترین فراوانی مربوط به طبقهٔ قطور (۷۰-۵۵ سانتی‌متر) با ۴۸ اصله درخت با میانگین ۱۶ (۹ درصد) می‌باشد (جدول ۲).

براساس نتایج، پراکنش قطری درختان در فاز تشکیل زیراشکوب به‌صورت نمایی کاهنده در هر سه قطعه به‌دست آمد. به غیر از قطعه ۳، در دو قطعهٔ ۱ و ۲ پراکنش قطری در طبقهٔ خیلی‌قطور از طبقه قطور بیشتر است که بیشترین تعداد در قطرهای پایین مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه در فاز تشکیل زیراشکوب اغلب درختان جوان بوده و در مرحلهٔ خال و تیرک قرار دارند، طبقات کم‌قطر، فراوانی بیشتری نسبت به درختان قطور دارند و منجر به تشکیل اشکوب زیرین جنگل می‌شوند (شکل ۳). انتظار می‌رود در طبقه‌های قطری کمتر از ۳۰ سانتی‌متر، بیشترین فراوانی درختان مشاهده شود که مطابق با نتایج Sefidi و همکاران (۲۰۱۴) است که با بررسی قطعات ۷۵ هکتاری نشان دادند، بیشترین فراوانی در فاز زیراشکوب در طبقات کم‌قطر است [۱]. در حقیقت تشکیل زیراشکوب در جنگل به‌علت وجود درختان کم‌قطر در اشکوب میانی است.



شکل ۳. توزیع فراوانی در طبقات قطری در فاز تشکیل زیراشکوب

۳-۳. خشکه‌دارها و روشنه‌های پوشش تاجی

به‌طور میانگین در سه قطعه، ۱۶/۶۶ اصله خشک‌دار با میانگین حجم ۳۰ مترمکعب شناسایی شد که قطعه‌های ۲ و ۳ با ۱۹ اصله بیشترین و قطعهٔ یک، با ۱۲ اصله کمترین فراوانی را به‌خود اختصاص دادند. قطعهٔ ۲ با ۳۴/۳۴ مترمکعب بیشترین و قطعهٔ ۳ با ۲۵/۶ مترمکعب کمترین فراوانی را داشتند در پژوهش انجام شده توسط Moridi و همکاران (۲۰۱۵) نتایج نشان داد که خشک‌دارها دارای تفاوت‌هایی از نظر تعداد در هکتار، حجم، نوع و اندازه در سه مرحلهٔ تحولی بودند. خشک‌دارهای افتاده در مرحلهٔ اولیه و مرحلهٔ پوسیدگی، فراوانی بیشتری نسبت به خشکه‌دارهای سرپا داشتند و بیشترین حجم خشکه‌دار در مرحلهٔ اولیه گزارش شده است که همسو با نتایج این تحقیق است [۲۴]. به‌نظر می‌رسد بخشی از خشکه‌دارهای مرحلهٔ تشکیل روشنه تا زمان پر شدن روشنه و تشکیل زیراشکوب در جنگل می‌مانند و بخش مهمی از خشکه‌دارها را تشکیل می‌دهند.

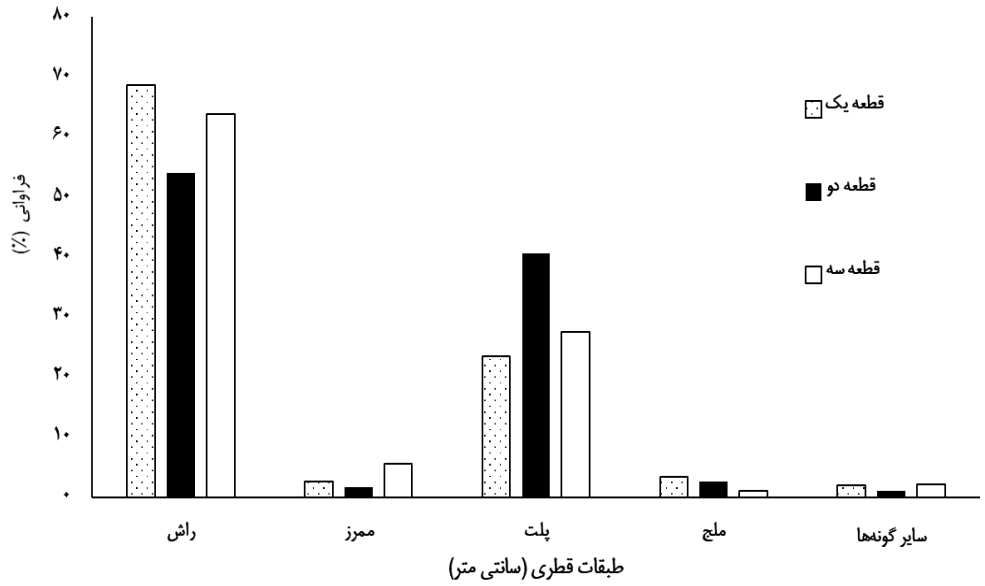
همچنین، طبق آماربرداری‌های انجام شده و نتایج به‌دست آمده در فاز تشکیل زیراشکوب، به‌صورت میانگین در هر هکتار چهار روشنه مشاهده شد. بنابراین، ۱۲ روشنه در مجموع سه قطعه وجود داشت که مساحت این روشنه‌ها به‌صورت میانگین، مساحتی معادل ۱۶۸ مترمربع را به‌خود اختصاص دادند. بر این اساس، نسبت مساحت روشنهٔ پوشش تاجی به سطح جنگل ۶/۴ درصد محاسبه شد. با توجه به اینکه این فاز در مرحلهٔ تحولی بعد از فاز تشکیل روشنه رخ می‌دهد، روشنه‌های ایجاد شده در فاز پیشین در فاز تشکیل زیراشکوب توسط نهال‌ها و درختان کوچک پر می‌شوند و با رساندن خود به اشکوب‌های بالاتر، از مساحت روشنه‌ها کاسته می‌شود. Sefidi و همکاران (۲۰۱۴) در جنگل‌های راش شرقی با بررسی روشنه‌های طبیعی، بهترین استقرار نهال‌های راش را در روشنه‌هایی با ابعاد کوچک تا متوسط و نیز با افتادن یک یا دو درخت در هر روشنه بیان کردند. مطابق انتظار در فاز تشکیل زیراشکوب، روشنه‌ها در حال پر شدن و بسته شدن هستند. براساس نتایج، حدود ۶ درصد از سطح جنگل توسط روشنه‌ها باز شده است که کمتر از فازهای تحولی پیشین (تشکیل روشنه) و بیشتر از فاز تحولی بعدی (کاهش پایه‌ها) است [۱].

۴-۳. زادآوری به تفکیک گونه در فاز تشکیل زیراشکوب

با توجه به نتایج، در مجموع سه قطعه، تعداد ۷۴۸۰ اصله نهال اندازه‌گیری شد. در بین گونه‌های ثبت شده، گونهٔ راش با ۴۶۱۸ اصله (۶۱ درصد)، افرای پلت با ۲۳۲۸ اصله (۳۱ درصد)، ممرز با ۲۳۱ اصله (تقریباً چهار درصد)، ملج با ۱۷۸ اصله (دو درصد) و سایر گونه‌ها با ۱۲۵ اصله (تقریبا دو درصد) به‌ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۴).

با توجه نتایج به‌دست آمده از فراوانی زادآوری گونه‌های موجود در فاز تشکیل زیراشکوب، گونهٔ غالب، راش است و بیشترین فراوانی را دارد و پس از راش، افرا پلت قرار دارد. در این راستا، Sefidi و همکاران (۲۰۱۶) بیشترین و کمترین فراوانی درختان پیرامونی را به‌ترتیب مربوط به راش (۹۱ درصد) و سایر گونه‌ها (۲/۳ درصد) گزارش کردند. لازم به ذکر است، در هر سه قطعه، درختان روشنه‌ساز به راش اختصاص یافت. بیشترین و کمترین فراوانی درختان پرکنندهٔ روشنه به‌ترتیب مربوط به راش (۵۹/۹۵

درصد) و سایر گونه‌ها (۹/۶۲ درصد) است [۲۵]. این موضوع نشان می‌دهد که راش در فاز تشکیل زیراشکوب گونهٔ اصلی پرکنندهٔ روشنه بوده و سهم قابل‌توجهی در زیراشکوب جنگل دارد. این موضوع به‌علت بردباری راش نسبت به سایه و تحمل زیراشکوب است. در عین حال در روشنه‌های تاجی، بیشترین فراوانی گونهٔ درختان مربوط به پیرامونی و پرکننده و روشنه‌ساز مربوط به راش است که با نتایج Nasiri و همکاران (۲۰۱۵) در جنگل‌های دست‌نخورده در مازندران همخوانی دارد [۲۶].



شکل ٤. زادآوری به تفکیک گونه در سه قطعه فاز زیراشکوب

۳–۵. پیچیدگی ساختار توده در فاز تشکیل زیراشکوب

در این مطالعه، به‌منظور تحلیل ساختار توده و محاسبهٔ شاخص لورمیر فرلیچ از داده‌های به‌دست آمده با استفاده از محاسبهٔ رویهٔزمینی برای دو طبقهٔ قطور و خیلی قطور استفاده شد. پس از محاسبهٔ میانگین برای سه قطعه در هر طبقهٔ قطری، شاخص لورمیر فرلیچ از نسبت طبقهٔ خیلی قطور به طبقهٔ قطور به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳. شاخص تغییریافته لورمیر فرلیچ در فاز تحولی تشکیل زیراشکوب

شاخص	قطعه یک	قطعه دو	قطعه سه	میانگین
رویهٔ زمینی طبقهٔ قطور	۴۹/۶۳	۴۶/۵۷	۴۷/۳۴	۴۷/۸۴
رویهٔ زمینی طبقهٔ خیلی قطور	۷۲/۴۳	۷۴/۳۷	۷۰/۸۹	۷۲/۵۶
لورمیر فرلیچ	۱/۴۵	۱/۵۹	۱/۴۹	۱/۵۱

قطعهٔ ۳، از نظر شاخص پیچیدگی ساختار، با مقدار عددی ۴۸۳۵/۸۹ بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داد. علاوه بر این، در بین سایر شاخص‌ها بیشترین مقدار ضریب جینی با مقدار عددی ۰/۷۶ در قطعهٔ یک و بیشترین مقدار شاخص کاکس با ۴/۲۱ در قطعهٔ ۳ محاسبه شدند. ضریب تغییرات قطر نیز در قطعهٔ ۲ با ۴/۸۳ بیشتر از دو قطعهٔ دیگر است (جدول ۴).

میانگین شاخص‌های ناهمگنی و پیچیدگی ساختار نشان‌دهندهٔ تنوع ساختاری قابل‌توجه در این فاز تحولی است. مقدار عددی شاخص نشان‌دهندهٔ وجود اشکوب زیرین در جنگل است که منجر به بالا رفتن مقدار عددی شاخص‌های پیچیدگی شده است. وجود درختان در طبقات قطری مختلف، منجر به مقدار عددی بسیار قابل‌توجه در شاخص ضریب جینی شده است. اختلاف کم مقدار این شاخص با مقدار گزارش شده برای جنگل‌های طبیعی (۰/۷ در برابر ۰/۸)، بیانگر قرار گرفتن درختان در طبقه‌های

قطری مختلف است. حضور قابل توجه درختان قطور در توده همراه با فراوانی درختان در طبقه‌های مختلف قطری منجر به بالا رفتن مقدار عددی شاخص‌های پیچیدگی و ناهمگنی (جینی و کاکس) شده است. به‌طور کلی، در هیچکدام از طبقه‌های کم‌قطر، میان‌قطر، قطور و خیلی قطور فراوانی درختان کمتر از ۱۰ درصد نیست. این موضوع در خصوص درختان بسیار قطور فوق‌العاده حائز اهمیت است. به‌ویژه در طبقهٔ خیلی‌قطور به‌طور میانگین، حدود ۱۴ درصد از فراوانی درختان مشاهده می‌شود. به‌عبارت دیگر، به ازاء هر صد اصله درخت، ۱/۴ اصله درخت با قطر بیش از ۷۵ سانتی‌متر در توده حضور دارند که با توجه به شرایط و فرم تاج درختان قطور و همچنین تشکیل اشکوب زیرین منجر به ناهمگنی قابل توجهی در ساختار توده شده است. زیاد بودن شاخص لومیر فرلیچ نیز نشان‌دهندهٔ همین واقعیت است. این شاخص نشان می‌دهد که در شکل‌گیری سطح مقطع تودهٔ جنگلی، درختان خیلی قطور بیش از ۱/۵ برابر درختان قطور (۷۰–۵۵ سانتی‌متر) نقش دارند. این به معنای حضور درختان کهنسال در این فاز همزمان با درختان کم‌قطر واقع در اشکوب زیرین است.

جدول ٤. محاسبات شاخص‌ها در فاز تشکیل زیراشکوب در تحول راش شرقی

شاخص	قطعه یک	قطعه دو	قطعه سه	میانگین
ضریب تغییرات قطر	۳/۴۴	۴/۸۳	۲/۷۴	۳/۶۷
ضریب جینی	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۴
شاخص کاکس	۳/۲۱	۱/۶	۴/۲۱	۳/۰۰۶
شاخص پیچیدگی ساختار	۱۷۳۵/۰۳	۲۳۴۰/۹۶	۴۸۳۵/۸۹	۳۷۵۱/۶۲

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحلیل کمی پیچیدگی ساختار توده‌های جنگلی، از نظر تئوری و عملی در مدیریت بوم‌سازگان‌های جنگلی اهمیت چشمگیری دارد، زیرا ساختار جنگل صفتی است که اغلب پس از استقرار تودهٔ جنگلی برای دستیابی به اهداف مدیریتی استفاده می‌شود [۲۷]. توصیف کمی تفاوت بین توده‌های جنگلی به‌منظور طبقه‌بندی انواع جنگل و اهداف جنگل‌شناسی مورد نظر و نیز حفاظت از طبیعت ضروری است [۲۸]. از آنجا که ساختار توده‌های جنگلی در هر ناحیه منحصر به‌فرد و مختص همان توده است، برای هر گونه دخالت و اقدام پرورشی در توده‌های جنگلی باید بر مبنای مراحل و فازهای تحولی همان توده انجام شود. پیش‌نیاز اجرای هرگونه عملیات پرورشی و مدیریتی، کمی‌سازی ساختار فازهای تحولی است. با توجه به اینکه این فاز بعد از فاز تشکیل روشنه رخ می‌دهد و درختان اشکوب پایین در حال بستن روشنه‌ها هستند، چنانچه هدف پرورش درختان نورپسند نباشد، توصیه می‌شود برای حفظ ناهمگنی در ساختار توده‌های جنگلی درختان قطور در توده حفظ شوند و عملیات پرورشی معطوف به دخالت در اشکوب زیرین و تنظیم آمیختگی باشد.

۵. منابع

[1] Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Etemad, V., & Mosandl, R. (2014). Late successional stage dynamics in natural oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stands, northern Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2), 270-283. (In Persian)

[2] Botkin, D. B. (1993). Forest dynamics: an ecological model. Oxford University Press. 309 p.

[3] Husch, B., Beers, T.W., & Kershaw Jr., J.A. (2003). Forest Mensuration (4th ed.). New York: John Wiley & Sons. pp. 86.

[4] Zukrigl, K., Eckhart, G., Nather, J., & Roller, M. (1963). Standortskundliche und waldbauliche Untersuchungen in Urwaldresten der niederösterreichischen Kalkalpen (pp. 1-244). Österr. Agrarverl.

[5] Korpel, S. (1995). Die Urwald der Westkarpaten.Gustav ficher velg, Stuttgart, 310 p.

[6] 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)

[7] Pour-Gholi, Z., Iran-Doost, F., Sefidi, K., Sagheb Talebi, K.H., & Keivan-Behjo, F. (2019). Investigating the Structure of Beech Stands in the Gap Making Phase (Case study: Asalem Forests, Guilan). *Ecology of Iranian Forests*, 7(13), 29-35.

[8] Nobahar, S., Sefidi, K., & Sagheb-talebi, K.H. (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. (In Persian)

[9] 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.

[10] Juchheim, J., Ehbrecht, M., Schall, P., Ammer, C., & Seidel, D. (2020). Effect of tree species mixing on stand structural complexity. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 93(1), 75-83.

[11] Willim, K., Stiers, M., Annighöfer, P., Ehbrecht, M., Ammer, C., & Seidel, D. (2020). Spatial patterns of structural complexity in differently managed and unmanaged beech-dominated forests in Central Europe. *Remote Sensing*, 12(12), 1907.

[12] Seidel, D., Ehbrecht, M., Dorji, Y., Jambay, J., Ammer, C., & Annighöfer, P. (2019). Identifying architectural characteristics that determine tree structural complexity. *Trees*, 33(3), 911-919.

[13] Sefidi, K. (2023). Comparison of structural complexity index (SCI) in the developmental stages of Hyrcanian mixed beech forests. *Iranian Journal of Forest*, 14(4), 389-405. (In Persian)

[14] Akhavan, R., Hassani, M., & Sadeghzadeh Halaj, M.H., 2023. The comparison of pure beech stands using SCI index in the Hyrcanian forests of Iran (Mazandaran province). *Iranian Journal of Forest*, 14(4), 445-456. (In Persian)

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

[16] Sagheb Talebi, K.H., Parjizkar, P., Hassani, M., Amanzadeh, B., Hemmati, A., Khanjani Shiraz, B., Amini, M., Mohammadnezhad Kiasari, S., Mirkazemi, S.Z., Karimidoost, A.A., Maghsudloo, K., Mortazavi, M., Delfan Abazari, B., & Karandeh, M. (2020). Regeneration and establishment of natural young generation in intact oriental beech stands of Hyrcanian forests. *Forest Research and Development*, 6(3), 519-541. (In Persian)

[17] Río del, M., Pretzsch, H., Alberdi, I., Bielak, K., Bravo, F., Brunner, A., Condés, S., Ducey, M.J, Fonseca, T., von Lüpke, N., Pach, M., Peric, S., Perot, T., Souidi, Z., Spathelf, P., Steba, H., Tijardovic, M., Tomé, M., Vallet, P., & Bravo-Oviedo, A. (2016). Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed- species stands: review and perspectives. *European Journal of Forest Research*, 135(1), 23-49

[18] Spies, T.A., & Franklin, J.F. (1991). The structure of natural young, mature, and old growth Douglas fir forests in Oregon and Washington: 91-109. In: Ruggiero, L.F., Aubry, K.B., Carey, A.B., & Huff, M.H. (Eds.). Wildlife and Vegetation of Unmanaged Douglas-Fir Forests. USDA Forest Service General technical Report PNW-GTR, Pacific Northwest Research Station, Portland, 533 p.

[19] Bachofen, H., & Zingg, A. (2001). Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management*, 145(1-2), 137-149.

[20] 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.

[21] Neumann, M., & Starlinger, F., (2001). The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management*, 145(1-2), 91-106.

[22] Fisher, R.A., Thornton, H.G., & Mackenzie, W.A. (1922). The accuracy of the platting method for estimating the density of bacterial populations with particular reference to the use of Thorenton's agar medium with soil samples. *Annals of Applied Biology*, 9(3-4), 325-359.

[23] Frelich, L.E., & Lorimer, C.G. (1991). Natural disturbance regimes in hemlock-hardwood forests of the upper Great Lakes region. *Ecological Monographs*, 61(2), 145-164.

[24] Moridi, M., Etemad, V., Kakavand, M., Sagheb-Talebi, K.H., & Alibabaee Omran, E. (2016). Qualitative and quantitative characteristics of deadwood in the different development stages in mixed oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stands (Case study: Gorazbon district, Kheiroud forest of Nowshahr). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(4), 647-659. (In Persian)

[25] Sefidi, K., & Marvie Mohadjer, M.R. (2016). Dynamic of coarse woody debris among stand developmental stages of mixed beech (*Fagus orientalis*) forests. *Forest Research and Development*, 2(1), 17-32. (In Persian)

[26] Nasiri, N., Marvie Mohadjer, M.R., Etemad, V. & Sefidi, K. (2018). Natural regeneration of oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) trees in canopy gaps and under closed canopy in a forest in northern Iran. *Journal of Forestry Research*, 29, 1075-1081.

[27] Zenner, E.K., Peck, J.E., Hobi, M.L., & Commarmot, B. (2014). The dynamics of structure across scale in a primaeval European beech stand. F*orestry an International Journal of Forest Research*, 88(2), 180-189.

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