Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 12. Issue. 1, 2024 p: 99-112

OPEN ACCESS

Research Paper

A Study on the Structure Complexity Index and Stand Quality in Managed Mixed Habitats in Kheyrud Forest

Mohsen Javanmiri Pour

Ph.D. graduate, Forestry and Forest Economics Dept, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, (Corresponding author: mjavanmiri@live.com)

Received: 26 August, 2023 Accepted: 15 November, 2023 Revised: 14 November, 2023 Available Online: 13 March, 2024

Extended Abstract

Background: As a forest evolves, it undergoes various processes that lead to the creation of complex structures and diversity. The heterogeneity of the structural conditions and species diversity increase as living and fallen trees accumulate in population structures. These processes are mainly related to the growth and death of trees, which occur in stages starting from youth, progressing through maturity, and culminating in structural complexity. By examining the complexity of a forest, forest experts can manage and change the complexity and diversity of the forest. This study compares the index of structural complexity in managed mixed stands in Hyrcanian forests to determine the effect of management interventions on this index.

Methods: For this study, five one-hectare rectangular sample plots were selected in parcels 305, 306, 309, 310, and 311 located in the Grozbon section of Kheyrud forest situated 6 km east of Nowshahr in the Hyrcanian forest belt of Iran. The Gorzbon section has an area of 1001 hectares. The diameters of all trees above the counting limit were measured using complete inventory in one-hectare sample plots. In addition, we calculated the heights of the trees, the abundance of old trees, the abundance and volume of dry trees, the canopy gaps, the Mingling index, and the Gini coefficient. The structure complexity index was determined using a set of variables related to the most important structural features of forest stands. Single selection indices and the multivariate complexity index were calculated in four steps. Finally, the complexity index of the structure was determined between zero and 100 by adding up each variable. The numerical value of the index is close to 100 and zero in the forest stands with the highest and the least complexities in the structure, respectively.

Results: The study examined 1836 trees in five sample plots across five parcels. The highest density of trees was 564 trees per hectare in plot 306. Mamrez was the dominant species in stands 306, 305, and 310 while beech was the dominant species in stands 309 and 311. The maximum average diameter, head volume, and height were 32.5 cm, 458 m^3, and 41 m, respectively, for the sample plot 309. The distribution curve of tree abundance across different diameter classes showed a decreasing exponential distribution in the reverse J shape, with differences observed between the studied stands. The largest number of trees in small-diameter classes (15 and 20 cm) were found in cluster 306, with 283 and 137 trees, respectively. The lowest number of trees in the primary classes were 33 and 31 trunks in stand 309. Comparing the volume of trees in diameter classes showed that the volume distribution in all diameter classes was significant in parcel 309, where the volumes in thick and very thick classes were 296 and 83 m^3 per hectare, respectively. Parcels 306 and 307 had no quantity of trees in the very thick class. The sample piece 309 had the highest value of complexity index, with a numerical value of 85 while the lowest value of this index (66) was found in the sample piece 305. The ANOVA test with a probability of 5% (P = 0.05) showed significant differences in the abundance and amount of tree volume, the abundance of old trees, the ratio of clear area to forest area, the abundance and volume of dry trees, tree height, and the Mingling index when comparing the studied characteristics to determine the structural complexity index among different populations.

Conclusion: The habitats that have been studied have an average complexity index of 0.75. The highest and the lowest indexes belong to parcels 309 (0.85) and 306 (0.66), respectively. The other habitats have an intermediate level of complexity, which indicates the presence of different

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

Copyright ©2024 Javanmiri Pour. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

evolutionary stages in the forest, ranging from young to old. To illustrate the contribution of different structural features to the complexity and diversity of a forest, imagine a hypothetical forest in both complex and simple states. The complex forest has a wider range of tree sizes and potentially ages, including large trees, while the simple forest has a large number of smaller trees and no large trees, potentially lacking old-age trees. The complex forest includes at least two tree species while the simple forest consists of only one species. The complex forest also has larger erect and decumbent angiosperms on the ground while the simple forest lacks large decumbent angiosperms. Finally, the distribution of trees and canopies, or conversely clearings, is spatially variable in the complex forest, leading to structural heterogeneity in the area. To increase diversity and complexity, measures such as thinning or leaving trees with habitat importance such as thick and old trees, and standing and fallen dry trees in selective cuts can be taken to preserve or restore structural complexity, species diversity, and heterogeneity.

Keywords: Dead Trees, Ecological Silviculture, Gap Cover, Mixed Stands, Old Trees

How to Cite This Article: Javanmiri Pour, M. (2024). A Study on the Structure Complexity Index and Stand Quality in Managed Mixed Habitats in Kheyrud Forest. *Ecol Iran For,* 12(1), 99-112. DOI :10.61186/ifej.12.1.99

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

OPEN ACCESS

مقاله پژوهشی

بررسی شاخص پیچیدگی ساختار (SCI) و کیفیت توده در رویشگاه‌های آمیخته مدیریت شده در جنگل خیرود نوشهر

محسن جوانمیری‌پور

دانش‌آموخته دکتری، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: mjavanmiri@live.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۲۳ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

صفحه: ۹۹ تا ۱۱۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: همان‌طور که جنگل با گذر زمان دچار تحول می‌گردد، فرآیندهایی که منجر به ایجاد جنبه‌های پیچیدگی نظیر ناهمگنی شرایط ساختاری توده و تنوع گونه‌ای می‌گردند بیشتر می‌شوند. انباشت مولفه‌های ساختاری از قبیل درختان زنده، خشکه‌دارهای سرپا و افتاده در ساختارهای جمعیتی پیچیدگی توده را به‌وجود می‌آورد. این موارد، فرآیندهایی هستند که عمدتاً به رویش و مرگ و میر درختان مربوط می‌شود که در مرحله جوانی آغاز شده، در مرحله بلوغ ادامه یافته و در نهایت به نوعی پیچیدگی ساختاری منجر می‌شود. با بررسی پیچیدگی در توده می‌توان از جنگل‌شناسی برای تحول پیچیدگی و تنوع در توده استفاده نمود. این مطالعه شاخص پیچیدگی ساختار در توده‌های آمیخته مدیریت شده نسبت به همدیگر را در جنگل‌های هیرکانی را به‌منظور تاثیر دخالت‌های مدیریتی در میزان این شاخص را مورد مقایسه قرار داد.

مواد وروش‌ها: برای انجام این مطالعه پنج قطعه نمونه یک هکتاری مستطیلی در پارسل‌های ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱ در بخش گرازبن جنگل خیرود که در مجاورت هم قرار دارند، انتخاب شدند. جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در ۶ کیلومتری شرق نوشهر از نوار جنگلهای هیرکانی ایران واقع شده است که بخش گرازبن دارای مساحتی برابر ۱۰۰۱ هکتار است. برای انجام این مطالعه قطر کلیه درختان بالاتر از حد شمارش با استفاده از آماربرداری صددرصد در قطعات نمونه یک هکتاری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. ارتفاع درختان، فراوانی درختان کهنسال، فراوانی و حجم خشکه‌دارها، روشنه‌های تاج پوشش، شاخص مینگ‌لینگ و ضریب جینی نیز محاسبه گردید. برای کمّی‌سازی شاخص پیچیدگی ساختار از مجموعه‌ای از متغیرهای مرتبط با مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی استفاده شد. برای این امر شاخص‌های منفرد انتخاب و شاخص چندمتغیره پیچیدگی در چهار مرحله محاسبه شد. در نهایت با جمع هر یک از متغیرهای شاخص پیچیدگی ساختار بین صفر و ۱۰۰ تعیین شد. بر این اساس مقدار عددی شاخص در توده‌های جنگلی با بیشترین پیچیدگی نزدیک به ۱۰۰ و در توده‌های با کمترین پیچیدگی در ساختار مقدار عددی نزدیک به صفر خواهد بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در پنج قطعه نمونه در پنج پارسل ۱۸۳۶ اصله درخت بررسی گردید. بیشترین تعداد درخت در واحد سطح ۵۶۴ اصله در هکتار در توده ۳۰۶ است. گونه ممرز به‌طور نسبی گونه غالب در توده‌های ۳۰۶، ۳۰۵ و ۳۱۰ و گونه راش گونه غالب در توده‌های ۳۰۹ و ۳۱۱ مورد مطالعه می‌باشد. همچنین، بیشترین میزان میانگین قطر، حجم سرپا و ارتفاع به ترتیب ۳۲/۵ سانتی‌متر و ۴۵۸ مترمکعب و ۴۱ متر مربوط به قطعه‌نمونه ۳۰۹ می‌باشد. منحنی توزیع فراوانی درختان در طبقات قطری مختلف نیز اگرچه روند کاهنده و مبتنی بر توزیع نمایی کاهنده به حالت J شکل معکوس است، اما تفاوت‌هایی بین توده‌های مورد مطالعه در طبقات قطری مختلف مشاهده می‌گردد. بیشترین تعداد درختان در طبقات قطری کوچک (یعنی ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) در توده ۳۰۶ وجود دارد که به‌ترتیب ۲۸۳ و ۱۳۷ اصله می‌باشد. کمترین تعداد درخت در طبقات اولیه نیز ۳۳ و ۳۱ اصله می‌باشد که مربوط به توده ۳۰۹ می‌باشد. مقایسه حجم درختان در کلاس‌های قطری نشان می‌دهد پراکنش حجم در همه کلاسه‌های قطری در پارسل ۳۰۹ قابل توجه می‌باشد که در آن حجم در کلاسه‌های قطور و خیلی قطور به‌ترتیب ۲۹۶ و ۸۳ متر مکعب در هکتار می‌باشد. در پارسل‌های ۳۰۶ و ۳۰۷ برای درختان در کلاسه خیلی قطور کمیتی وجود ندارد. قطعه‌نمونه ۳۰۹ دارای بیشترین مقدار شاخص پیچیدگی می‌باشد که مقدار عددی آن ۸۵ می‌باشد و کمترین مقدار این شاخص (۶۶) در قطعه‌نمونه ۳۰۵ وجود دارد. نتایج مقایسه ویژگی‌های مورد مطالعه برای تعیین میزان شاخص پیچیدگی ساختاری در بین توده‌های مختلف با استفاده از آزمون ANOVA با احتمال ۵٪ (P=۰/۰۵) نشان داد فراوانی و مقدار حجم درختان، فراوانی درختان کهنسال، نسبت سطح روشنه به سطح جنگل، فراوانی و حجم خشکه‌دارها، ارتفاع درخت و شاخص Mingling دارای تفاوت معنی‌دار هستند.

نتیجه‌گیری کلی: میانگین شاخص پیچیدگی برای رویشگاه‌های مورد مطالعه ۰/۷۵ می‌باشد که بیشترین آن ۰/۸۵ می‌باشد و در پارسل ۳۰۹ دیده می‌شود در حالیکه کمترین مقدارشاخص پیچیدگی ۰/۶۶ می‌باشد که در پارسل ۳۰۶ وجود دارد. سایر رویشگاه‌ها دارای حالت بینابین می‌باشند. این تنوع پیچیدگی در رویشگاه‌های مختلف نشان دهنده وجود مراحل مختلف تحولی از جوان تا کهنسال در جنگل است. تصویری ساده می‌تواند نشان دهد که چگونه ویژگی‌های گوناگون ساختاری، پیچیدگی و تنوع را به جنگل منتقل می‌کند. اگر جنگلی فرضی در حالت‌های پیچیده و ساده در نظر گرفته شود. تفاوت آشکار در این مقایسه این است که توده پیچیده دارای دامنه وسیع‌تری از ابعاد درختان (و به‌طور بالقوه سنین) مانند برخی از درختان بزرگ، در مقایسه با توده ساده است که دارای تعداد زیادی از درختان با ابعاد کوچک‌تر و بدون درختان بزرگ می‌باشد و به‌طور بالقوه درخت کهن‌سالی در آن وجود ندارد. توده پیچیده دارای حداقل دو گونه درختی است، در مقابل توده‌ی ساده فقط از یک گونه تشکیل شده است. توده پیچیده همچنین حاوی تعدادی خشکه‌دار سرپا و افتاده بزرگتر بر روی زمین است و در مقابل، توده ساده فاقد خشکه‌دار افتاده بزرگ است. سرانجام، پراکنش درختان و تاج پوشش‌ها یا برعکس، روشنه‌ها، از نظر مکانی در توده پیچیده متغیر است و منجر به ناهمگنی ساختاری در منطقه مورد نظر می‌شود. برای افزایش تنوع و پیچیدگی انجام اقداماتی از قبیل تنک کردن یا باقی گذاشتن درختان دارای اهمیت زیستگاهی از قبیل درختان قطور و کهنسال و خشکه‌دارهای سرپا و افتاده در برش‌های گزینشی که پیچیدگی ساختاری، تنوع گونه‌ها و ناهمگنی را حفظ یا بازیابی می‌کند، ضروری است.

واژه‌های کلیدی: توده‌های آمیخته، جنگل‌شناسی بوم‌شناختی، خشکه‌دارها، درختان قطور، درختان کهنسال، سطح روشنه

مقدمه

پس از آشفتگی‌های شدید درختان، توده یا گروه جنگلی ممکن است دارای پیچیدگی ساختاری زیادی شود که ناشی از میراث جنگل قبلی می‌باشد (Palik & Pregitzer, 1993). چنین میراثی، اساس جنگل‌شناسی بوم‌شناختی بوده و عامل پیوستگی نسل‌های جنگل است (Islami & Sagheb Talebi, 2007). پیچیدگی ساختاری فراتر از میراث‌های زیست‌شناختی می‌باشد که پس از ایجاد آشفتگی باقی مانده‌اند (Javanmiri pour *et al.*, 2018). همان‌طور که جنگل با گذر زمان دچار تحول می‌گردد، فرآیندهایی که منجر به ایجاد

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-08]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

جنبه‌های پیچیدگی نظیر ناهمگنی شرایط ساختاری توده و تنوع گونه‌ای می‌گردند بیشتر می‌شوند (Javanmiri pour & Etemad., 2022). این موارد، فرآیندهایی هستند که عمدتاً به رویش و مرگ و میر درختان مربوط می‌شود که در مرحله جوانی آغاز شده، در مرحله بلوغ ادامه یافته و در نهایت به نوعی پیچیدگی ساختاری منجر می‌شود (Sefidi, 2022a).

درک چگونگی دخالت و توجه به پیچیدگی و تنوع گونه‌ای در دخالت‌های میانی در توده‌ها اساس اصل مدیریت با هدف پیچیدگی ساختار و تنوع گونه‌ای مطلوب است (Palik *et al.*, 2020). علاوه بر این، تحول تنوع پیچیدگی با در نظر گرفتن زمان مناسب برای دخالت‌های جنگل‌شناسی ارتباط نزدیکی دارد (Palik & Pederson, 1996). انجام دخالت‌ها در زمان مناسب تحول پیچیدگی و تنوع گونه‌ای را تسهیل می‌کند (McElhinny *et al.*, 2005). استفاده از جنگل‌شناسی برای افزایش پیچیدگی ساختاری در توده‌ها با استفاده از عملیات یا دخالت‌های میانی است که غالباً منجر به حفظ توده‌ها با ساختار ساده و همگن می‌شوند (Kakavand *et al.*, 2020). علاوه بر این، جنگل‌های مدیریت شده اغلب برای تولید تجاری چوب بهره‌برداری می‌شوند قبل از اینکه پیچیدگی ساختاری زیاد یا فرصت افزایش تنوع گونه‌ای داشته باشند (Zenner *et al.*, 2015).

بسیاری از ویژگی‌های پیچیدگی ساختاری که در توده‌ی بالغ پدیدار می‌شوند از جمله اندازه و شکل آن‌ها، تاج پوشش و ویژگی‌های پوست و ریشه آن‌ها با رشد و نمو درختان مرتبط هستند (Franklin *et al.*, 2002). به‌طور مثال، با افزایش سن و ابعاد درختان، تاج‌ها بیشتر تحول می‌یابند که شامل شاخه‌های بزرگتر و افقی هستند. این درختان دارای ویژگی‌های ساختاری پیچیده‌تر در تنه از جمله پوست شیاردار، حالت ریتیدوم‌دار یا کنده شده هستند. صرف نظر از ابعاد آن‌ها، با افزایش سن، اثرات صدمه و بیماری نظیر حفره‌های توخالی و شکاف‌ها نیز وجود دارد. درختان قطور یا کهن‌سال، دارای عملکردهای بوم‌شناختی مهمی به‌ویژه برای تأمین زیستگاه برای سایر گونه‌های گیاهی و جانوری هستند (Gilhen-Baker *et al.*, 2022).

انباشت ساختارهای به‌وجود آمده ناشی از مرگ و میر درختان، از دیگر مواردی است که باید در توده‌های بالغ در نظر گرفته شود (Javanmiri pour & Etemad., 2022). همان‌طور که مرگ و میر غیررقابتی درختان به‌طور فزاینده‌ای در توده‌ها یا گروه‌های کهن‌سال بیشتر می‌شود، فراوانی خشکه‌دارهای سرپا و افتاده بزرگ و شاخه‌های افتاده بر روی زمین نیز افزایش می‌یابد (Spies *et al.*, 1988).

در حقیقت نحوه انباشت مولفه‌ها در ساختارهای جمعیتی (به‌طور مثال درختان، خشکه‌دارهای سرپا و افتاده)، پیچیدگی توده را به وجود می‌آورد (Brang *et al.*, 2014). با تعیین تعداد درختان قطور و نیز پراکنش قطری کلیه درختان، میزان پیچیدگی جنگل ارزیابی می‌شود. توده با تنوع قطری بیشتر که شامل درختان بزرگ می‌باشد، پیچیده‌تر از توده‌ی با دامنه قطری کمتر است (McElhinny *et al.*, 2005). برای سایر مولفه‌ها می‌توان تحلیل مشابهی مانند سن درخت یا نسبت خشکه‌دار سرپا یا افتاده در اندازه‌های مختلف یا کلاسه‌های پوسیدگی را انجام داد.

جنبه مهمی از توده‌های بالغ نحوه چیدمان درختان و ساختارهای به‌وجود آمده از درخت به‌شکل مکانی (به‌صورت ساختار افقی) در توده است. این موضوع جنبه‌ای از پیچیدگی است که اغلب به‌عنوان ناهمگنی ساختار مکانی نامیده می‌شود. توده ناهمگن از نظر ساختاری، توده‌ای است که دارای پراکنش غیر یکنواخت اجزای مختلف ساختار در توده است (Javanmiri pour *et al.*, 2016). این ناهمگنی غالباً از مرگ و میر غیررقابتی درختان ناشی می‌شود، زیرا پراکنش مکانی خشکه‌دارهای افتاده، تاج پوشش درختان و روشنه‌ها، توزیع نور و خاک را تعیین می‌کند که بر استقرار و رویش گونه‌های درختی مختلف تأثیر می‌گذارد (Frelich., 2002).

از دیگر ویژگی‌های مهم توده‌های ناهمگن افزایش تنوع گونه‌های گیاهی از جمله درختان، نسبت به جنگل جوان است. این موضوع از نظر بوم‌شناختی مهم است زیرا گونه‌های درختی متنوع انواع مختلفی از منابع (به‌طور مثال میوه‌ها یا بذرها و ساختارهای آشیان گزینی) را برای موجودات دیگر فراهم می‌سازند. افزایش تنوع گونه‌ای اغلب به‌علت ازدیاد ناهمگنی تاج پوشش در توده، در نتیجه‌ی آشفتگی‌های کوچک است (Halpern & Spies, 1995). گونه‌های سایه‌پسند در زیرآشکوب توده‌های بالغ مستقر می‌شوند، اما برای افزایش دسترسی به منابع، به‌صورت محلی و تسهیل رشد این گونه‌ها در اندازه‌های بزرگتر، اغلب به آشفتگی کوچک در تاج پوشش نیاز است. با بررسی پیچیدگی در توده می‌توان از جنگل‌شناسی برای تحول پیچیدگی و تنوع در توده استفاده نمود (Lian *et al.*, 2022). این امر با استفاده از عملیات یا دخالت‌های میانی، به‌ویژه تنک کردن محقق خواهد شد (Palik *et al.*, 2020).

مطالعه سفیدی (Sefidi, 2022a) در مورد مقایسه‌ی شاخص پیچیدگی ساختار در مراحل تحولی جنگل‌های آمیخته‌ی راش هیرکانی نشان داد میانگین و میانه شاخص پیچیدگی به‌ترتیب ۶۵/۴۶ و ۶۶/۱۵ به‌دست آمد که بیشترین مقدار آن در مرحله‌ی نهایی برابر با ۸۴/۱۷ و کمترین مقدار آن برابر با ۴۹/۳ درصد در مرحله‌ی اولیه محاسبه شد. شاخص پیچیدگی در مرحله‌ی نهایی به‌شکل معنی‌داری بیشتر از دو مرحله‌ی دیگر بود، با این‌حال براساس آزمون توکی اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص در دو مرحله‌ی تحولی اولیه (۴/۲۳ ±۶۱/۳۹) و میانی (۳/۳۳ ±۵۸/۸۵) مشاهده نشد.

مطالعه سفیدی (Sefidi, 2022b) در مورد تاثیر گونه‌های نادر پیچیدگی ساختار در جنگل‌های آمیخته‌ی راش هیرکانی نشان داد مقایسه میزان همبستگی ارزش نسبی گونه‌های راش، پلت و گونه‌های نادر با شاخص پیچیدگی ساختار نشان دهنده تفاوت در تغییرات پیچیدگی با افزایش فراوانی گونه‌های درختی است. بر این اساس گونه‌های راش و ممرز به‌عنوان دو گونه درختی غالب و دارای بیشترین ارزش نسبی همبستگی کمتری را با این شاخص نشان می‌دهند. در حالی‌که گونه پلت و سایر گونه‌های نادر شامل توسکا، نمدار و ملج رابطه مثبتی را با افزایش پیچیدگی در ساختار نشان می‌دهند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-08]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

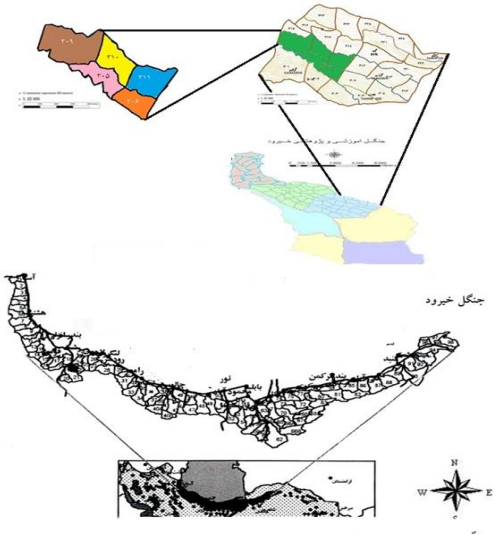
اخوان و همکاران (Akhvan *et al.*, 2022) با استفاده از شاخص پیچیدگی ساختار، توده‌های خالص راش در مازندران را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که حد بالا و پایین این شاخص در سه منطقه‌ی تحت بررسی به‌ترتیب ۲/۷ و ۱۱/۷ است، ولی میانگین آن در هر منطقه در حدود ۶ است که تفاوت آماری معنی‌داری نیز با هم ندارند. همچنین نتایج ایشان نشان داد که مقدار این شاخص با متغیرهای رویه زمینی و حجم سرپای توده‌ها همبستگی معنی‌دار دارد، به‌طوری که با افزایش این دو متغیر بر مقدار آن افزوده می‌شود.

تاکنون مطالعات معدودی در مورد بررسی شاخص پیچیدگی ساختار در جنگل‌های شمال ایران انجام شده است که در ارتباط با مراحل تحولی و مقایسه‌ی توده‌های خالص راش بوده‌اند. این مطالعه در نظر دارد تا شاخص پیچیدگی ساختار در توده‌های آمیخته مدیریت شده نسبت به همدیگر را در جنگل‌های هیرکانی را به منظور تاثیر دخالت‌های مدیریتی در میزان این شاخص را مورد مقایسه قرار دهد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در ۶ کیلومتری شرق نوشهر (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۹ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه و ۴۷ ثانیه) از نوار جنگل‌های هیرکانی ایران واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل منطقه حدود ۱۰۰۰۰ هکتار می‌باشد. این جنگل شامل ۶ بخش است. بخش گرازبن به‌عنوان سومین بخش از جنگل‌های آمیخته پهن‌برگ ناحیه خزری شمال کشور واقع در جنگل خیرود نوشهر با مساحتی برابر ۱۰۰۱ هکتار از شمال به یال جنوبی جنگل‌های چلندر و چلک و قسمتی از مرز سری نم‌خانه و از جنوب به رودخانه خیرود و از شرق به جنگل‌های چلیر و همچنین از غرب به سری نم‌خانه منتهی می‌شود. پارسل‌های ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱ توده‌های مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشند که دارای طرح طرح جنگلداری بوده و دخالت‌های مدیریتی از قبیل نشانه‌گذاری و قطع در آنها انجام می‌گیرد. تیپ‌های غالب در این پارسل‌ها به‌ترتیب شامل راش- ممرز همراه با (توسکا، افرا، بلندمازو و شیردار)، ممرز- بلندمازو و سایر گونه‌ها، ممرز- راش همرا با توسکا، افرا و بلندمازو، ممرز، راش همراه با توسکا، افرا و سایر گونه‌ها و ممرز- بلندمازو به‌همراه راش و سایر گونه‌ها هستند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area

روش انجام مطالعه

در این مطالعه با توجه به شیب‌دار بودن منطقه، در هر پارسل یک قطعه نمونه مستطیلی شکل از پایین‌ترین نقطه ارتفاعی هر پارسل تا بیشترین نقطه ارتفاعی در جهت شیب غالب استقرار یافت که مساحت هرکدام از آنها یک هکتار بود بنابراین ۵ قطعه نمونه یک هکتاری مستطیلی شکل در پنج پارسل استفاده گردید. علت استفاده از چنین شکلی امکان بررسی و مشاهده دخالت‌های انجام شده در سطح هر پارسل بود زیرا به این ترتیب احتمال بیشتری برای ارزیابی آنها وجود داشت.

برای انجام این مطالعه کار آماربرداری در هر قطعه‌نمونه از پایین‌ترین نقاط ارتفاعی از سطح دریا آغاز شده و در بیشترین نقطه ارتفاعی پایان می‌یافت. قطر کلیه درختان بالاتر از حد شمارش (طبقه قطری ۱۰ سانتی‌متر یعنی از ۷/۵ سانتی‌متر به بالا) با استفاده از آماربرداری صددرصد در قطعات نمونه یک هکتاری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. قطر برابر سینه درختان با استفاده از خط‌کش دو بازو از سمت بالای دامنه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. علاوه بر قطر، ارتفاع درختان با استفاده از سونتو تعیین شد. همچنین وجود درختان کهنسال، خشکه‌دارها، روشنه‌ها و فضاهای باز تاجی نیز مورد توجه قرار گرفته و اندازه‌گیری گردید. قطر برابر سینه معیار شناسایی درختان کهن‌سال می‌باشد. در این مطالعه حدود قطر کهنسالی برای گونه بلوط ۲ متر و برای گونه‌های راش، ممرز، افراپلت و

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-08]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

توسکا ۱/۵ متر در نظر گرفته شده است (Azarian *et al.*, 2013).

شیوه آنالیز

برای کمّی‌سازی شاخص پیچیدگی ساختار از مجموعه‌ای از متغیرهای مرتبط با مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی استفاده شد. برای این امر شاخص‌های منفرد انتخاب و شاخص چندمتغیره پیچیدگی در چهار مرحله محاسبه شد. در گام اول تعدادی از متغیرهای معمول در اندازه‌گیری‌های ساختار در جنگل‌ها براساس پژوهش‌های پیشین در زمینه‌ی کمّی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی در توده‌های با شرایط رویشگاهی مشابه تعیین شد (Dehghan *et al.*, 2020). سپس، شاخص‌های مرتبط در گروه‌های مشخص به‌عنوان منابع ایجاد تنوع در ساختار جنگل‌های بالغ دسته‌بندی شد. بر این اساس متغیرها ممکن است در چند گروه شامل متغیرهای مرتبط با ۱. ساختار عمودی جنگل (مانند تعداد آشکوب‌ها و ارتفاع هر آشکوب)؛ ۲. ویژگی‌های ابعادی درختان (قطر، ارتفاع و متغیرهای وابسته به آنها از قبیل حجم)؛ ۳. تاج پوشش (میانگین مساحت روشنه یا نسبت روشنه به سطح جنگل)؛ ۴. ویژگی‌های توده (تراکم، سطح رویه‌ی زمینی و نسبت درختان قطور در توده)؛ و ۵. خشکه‌دارها و درختان زیستگاه (فراوانی، حجم یا قطر آنها) باشند (McElhinny *et al.*, 2005).

در گام سوم پس از تعیین متغیرهای موثر بر پیچیدگی، مهم‌ترین متغیرها براساس داده‌های در دسترس، سهولت در اندازه‌گیری (مانند ارجحیت و انتخاب قطر برابرسینه در برابر ارتفاع) و نیز حذف داده‌های با همبستگی زیاد (انتخاب میانگین قطر در برابر سطح مقطع برابر سینه) از بین متغیرهای منفرد انتخاب شد. در انتخاب متغیرهای با همبستگی زیاد اولویت با متغیرهای دارای سهولت در اندازه‌گیری بود (Sabatini *et al.*, 2015).

در نهایت در گام چهارم از ترکیب ده متغیر منتخب در مرحله‌ی قبل (جدول ۱)، شاخص ترکیبی پیچیدگی ساختار برای هر یک از قطعات نمونه محاسبه شد که به شکل درصد نشان داده می‌شود. امتیازی از ۰ تا ۱۰ به هر ویژگی در مجموعه هسته بر اساس رگرسیون خطی ساده از طریق چارک اختصاص داده شد. ابتدا امتیاز ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ را برای نقاط میانی چارک (به‌ترتیب مربوط به صدک‌های ۱۲/۵، ۳۷/۵، ۶۲/۵ و ۸۷/۵) توزیع ویژگی خام تعیین گردید (Latterini *et al.*, 2023). سپس، یک رگرسیون خطی از طریق مقادیر چارک برای اطمینان از توزیع یکنواخت امتیازات بین ۰ تا ۱۰ برازش داده شد. این معادله رگرسیون برای ارتباط یک امتیاز با هر مشاهده استفاده شد. رگرسیون بین ۰ تا ۱۰ محدود شد تا از گرفتن امتیازهای خارج از محدوده مقادیر بسیار پایین و بالا جلوگیری شود. حداکثر امتیاز ویژگی ۱۰ به صدک ۸۷/۵ نسبت داده شد (Sefidi, 2022a).

در نهایت با جمع هر یک از متغیرهای شاخص پیچیدگی ساختار بین صفر و ۱۰۰ تعیین شد. بر این اساس مقدار عددی شاخص در توده‌های جنگلی با بیشترین پیچیدگی نزدیک به ۱۰۰ و در توده‌های با کمترین پیچیدگی در ساختار مقدار عددی نزدیک به صفر خواهد بود.

قطر درختان از مهم‌ترین ویژگی‌های درختان است که بر پیچیدگی ساختار در جنگل‌ها موثر است، بر این اساس افزون بر میانگین قطر درختان، ضریب تغییرات قطر از رابطه‌ی ۱ برآورد شد:

$$cv_{dbh} = \frac{sdd}{d_m}$$ رابطه (۱)

در این فرمول، CV dbh ضریب تغییرات قطر درختان، d_m میانگین قطر درختان وSDD انحراف معیار قطر است.

افزون بر این از شاخص‌های مستقل از فاصله برای ساختار مکانی به‌کار گرفته شد و از شاخص شاخص آمیختگی تنوع (Mingling) استفاده شد (رابطه‌ی ۲). از گروه‌های دارای چهار عضو استفاده شد که درخت موجود در مرکز گروه به‌عنوان درخت مرجع محسوب می‌گردد و سایر درختان به‌عنوان همسایه در نظر گرفته می‌شوند (Javanmiri Pour *et al.*, 2017).

$$\mathrm{mi} = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{s} vj$$ رابطه (۲)

در این رابطه، mi شاخص آمیختگی تنوع درختان، vj نسبت آمیختگی درختان همسایه نسبت درخت مرجع است. همچنین به‌منظور تعیین ناهمگنی در پراکنش درختان در طبقات قطری از شاخص ضریب جینی قطر درختان (رابطه‌ی ۳) استفاده شد (Javanmiri Pour *et al.*, 2018).

$$GC = \frac{\sum_{j=1}^{n}(2j-1-n)ba_j}{\sum_{j=1}^{n} ba_j(n-1)}$$ رابطه (۳)

که در آن GC ضریب جینی، n تعداد درختان در قطعه نمونه، j عدد طبقات قطری در ترتیب صعودی قطر برابرسینه، b_{aj}رویه‌ی زمینی مربوط به هر درخت و یا طبقه‌ی قطری است.

با توجه به اهمیت روشنه‌ها و خشکه‌دارها در افزایش پیچیدگی در ساختار، این دو متغیر نیز بررسی شدند. روشنه‌ها به شکل باز شدن تاج پوشش با حداقل مساحت ۱۵ مترمربع که در اثر پوسیدگی طبیعی درختان اتفاق می‌افتند تعریف شد (Moridi *et al.*, 2021). زمانی‌که ارتفاع درختان و نهال‌های پرکننده‌ی روشنه‌ها به نصف ارتفاع درختان جانبی رسید، روشنه‌ها بسته فرض شد. برای برآورد مساحت روشنه‌ها، دو قطر بزرگ با تعریف بزرگ‌ترین قطر روشنه و نیز قطر کوچک با تعریف کوچک‌ترین قطر عمود بر قطور بزرگ در هر روشنه با استفاده از متر نواری برداشت و با استفاده از فرمول ریاضی بیضی به‌عنوان شکل غالب در روشنه‌ها مساحت هریک از روشنه‌ها اندازه‌گیری شد (Javanmiri Pour *et al.*, 2019).

در این مطالعه، خشکه‌دارها با قطر بیش از ۱۰ سانتی‌متر گونه (Larrieu *et al.*, 2012)، نوع (افتاده، سرپا و یا کنده)، درجه‌ی پوسیدگی (Muller-Using & Bartsch., 2004)، طول یا ارتفاع و قطر در سه نقطه‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی از تنه اندازه‌گیری شد. در این بررسی برای اندازه‌گیری حجم خشکه‌دارهای افتاده از رابطه‌ی نیوتن (رابطه‌ی ۴) استفاده شد.

$$V = \frac{L\,(A_b+4b_m+A_t)}{6}$$ رابطه (۴)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

که در آن، V حجم به مترمکعب، L طول به متر، Ab، Am و At به‌ترتیب قطر ابتدا، میانه و انتهای، خشکه‌دار به سانتی‌متر است. برای محاسبه‌ی حجم خشکه‌دارهای سرپا و کنده‌ها از رابطه‌ی ۵ استفاده شد:

رابطه (۵) $V = A_m \times L$

که در آن V حجم کنده به متر مکعب، L طول به متر، Am قطر میانه‌ی کنده و خشکه‌دار است. همچنین شمار نهال‌های با قطر برابرسینه‌ی کوچک‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر که ارتفاع آنها برابر یا بیشتر از ۱۳۰ سانتی‌متر بود به منزله‌ی زیرآشکوب در این بررسی ثبت شد.

در این پژوهش، برای بررسی وجود یا نبود اختلاف بین قطعات نمونه از لحاظ شاخص پیچیدگی ساختار و متغیرهایی مانند ضریب جینی قطر درختان، نسبت روشنه و تنوع اندازه‌ای درختان از آزمون تحلیل واریانس یکطرفه‌ی داده‌ها و برای تعیین اختلافات بین گروه‌ها نیز از آزمون آماری توکی استفاده شد. همه‌ی آزمون‌های آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و در محیط نرم افزارهای آماری SPSS 26 و R نسخه 4.0.6 انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های مورد مقایسه

رابطه رگرسیونی، ضریب R^2 و ضریب بتا برای هر کدام از شاخص‌ها برای کلیه قطعات نمونه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. به‌عنوان مثال برای شاخص درختان کهنسال رابطه رگرسیونی $y = -0.2325x + 3.6742$، ضریب R^2 برابر با ۰/۸۵ و ضریب بتا برابر با ۰/۸۶ می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- رابطه‌ی رگرسیونی برای تعیین مقدار متناظر هریک از متغیرهای شاخص بین صفر تا ۱۰

Table 1. Regression relationship to determine the corresponding value of each index variable between 0 and 10

نوع شاخص Index	رابطه رگرسیونی Regression relationship	ضریب R^2 R^2 coefficient	ضریب بتا Beta coefficient
قطر درخت Tree diameter	y = -0.2 x + 106.45	$R^2 = 0.9$	0.91
فراوانی درخت Trees frequency	y = -5.0739x + 190.38	$R^2 = 0.83$	0.85
حجم درخت The volume of the tree	y = -61.864x + 2398.4	$R^2 = 0.85$	0.87
شاخص جینی Gini index	y = -0.0005x + 0.0353	$R^2 = 0.88$	0.9
درختان کهنسال Old trees	y = -0.2325x + 3.6742	$R^2 = 0.85$	0.86
پوشش روشنه Gap cover	y = -83.35x + 3720.9	$R^2 = 0.7$	0.75
فراوانی خشکه‌دار Frequency of dead tree	y = -6.2923x + 142.94	$R^2 = 0.75$	0.77
حجم خشکه‌دار Volume of dead trees	y = -0.6797x + 81.041	$R^2 = 0.86$	0.86
ارتفاع درخت Tree height	y = -0.0183x + 2.4672	$R^2 = 0.8$	0.82
شاخص مینگ لینگ Mingling index	y = 0.003x + 1.6749	$R^2 = 0.86$	0.89

در این مطالعه در قطعات نمونه در پنج پارسل ۱۸۳۶ اصله درخت بررسی گردید. بیشترین تعداد درخت در واحد سطح ۵۶۴ اصله در هکتار در توده ۳۰۶ است. همچنین، بیشترین میزان میانگین قطر، حجم سرپا و ارتفاع به‌ترتیب ۳۲/۵ سانتی‌متر و ۴۵۸ مترمکعب و ۴۱ متر مربوط به پارسل ۳۰۹ می‌باشد (جدول ۲).

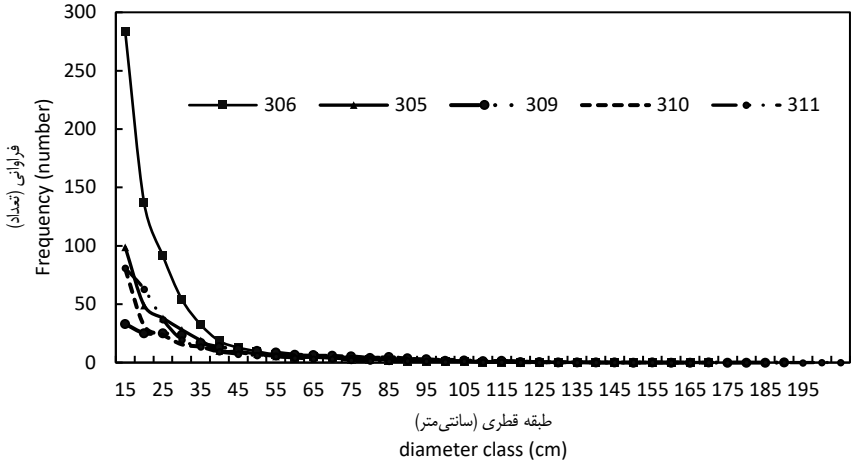
جدول ۲- میانگین برخی از مشخصه‌های اندازه‌ای درختان در توده‌های مورد بررسی

Table 2. The average of some size characteristics of trees in the studied stands

مشخصه‌ها charatristics	305	306	309	310	311
تعداد در هکتار Number per hectare	331	564	259	274	408
میانگین قطر Mean diameter	26	20	32.5	30.7	25.7
ضریب تغییرات قطر Diameter change coefficient	0.84	0.78	0.8	0.86	0.85
ضریب جینی Gini index	0.33	0.13	0.174	0.198	0.16
بیشینه قطر Maximum diameter	افراپلت-180 Maple	بلوط-165 Oak	راش-200 Beech	ممرز-186 Hornbeam	بلوط-215 Oak
بیشترین ارتفاع The highest height	25	38	41	36	38.5

منحنی توزیع فراوانی درختان در طبقات قطری مختلف نیز اگرچه روند کاهنده و مبتنی بر توزیع نمایی کاهنده (J شکل معکوس) است، اما تفاوت‌هایی بین توده‌های مورد مطالعه در طبقات قطری مختلف مشاهده می‌گردد. بیشترین تعداد درختان در طبقات قطری کوچک (یعنی ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) در توده ۳۰۶ وجود دارد که به‌ترتیب ۲۸۳ و ۱۳۷ اصله می‌باشد. کمترین تعداد درخت در طبقات اولیه نیز ۳۳ و ۳۱ اصله می‌باشد که مربوط به توده ۳۰۹ می‌باشد (شکل ۲).

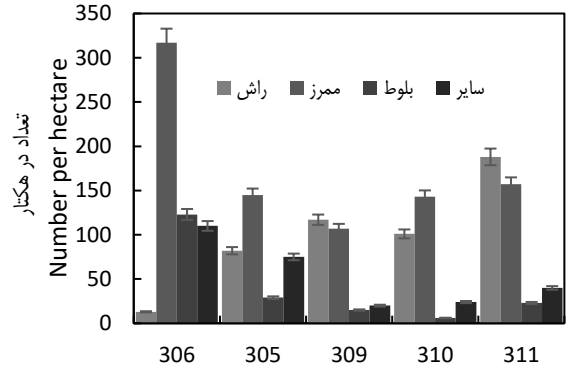
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]



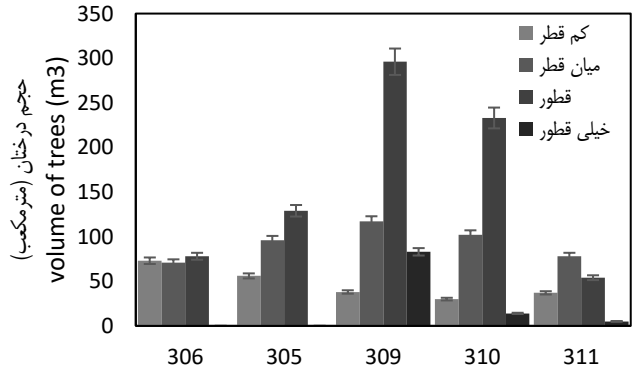
شکل ۲- مقایسه‌ی پراکنش درختان در طبقات قطری در قطعات ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱
Figure 2. Comparison of the distribution of trees in diameter classes in plots 305, 306, 309, 310 and 311

با توجه به آمیخته بودن توده‌های جنگلی موجود در پارسل‌ها گونه‌های زیادی در این توده‌ها وجود دارند که بیشترین آنها در پارسل ۳۰۶ مشاهده می‌گردد. گونه ممرز به‌طور نسبی گونه غالب در توده‌های ۳۰۶، ۳۰۵ و ۳۱۰ و گونه راش گونه غالب در توده‌های ۳۰۹ و ۳۱۱ مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۳).

مقایسه حجم درختان در کلاس‌های قطری نشان می‌دهد پراکنش حجم در همه کلاسه‌های قطری در پارسل ۳۰۹ قابل توجه می‌باشد که در آن حجم در کلاسه‌های قطور و خیلی قطور به‌ترتیب ۲۹۶ و ۸۳ متر مکعب در هکتار می‌باشد. در پارسل‌های ۳۰۶ و ۳۰۷ برای درختان در کلاسه خیلی قطور کمیتی وجود ندارد (شکل ۴).



شکل ۳- مقایسه‌ی فراوانی مهم‌ترین گونه‌های درختی در قطعات ۳۰۶، ۳۰۵، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱
Figure 3. Comparison of the abundance of the most important tree species in plots 306, 305, 309, 310 and 311



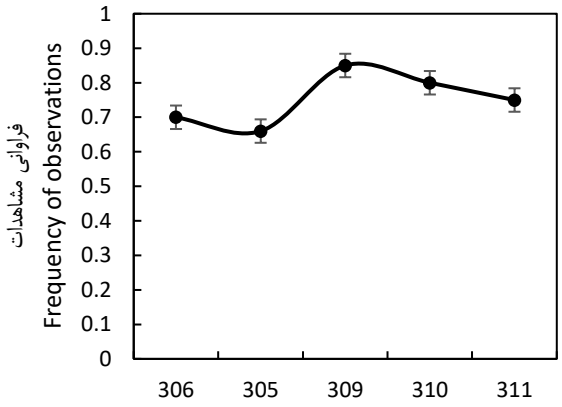
شکل ۴- مقایسه‌ی تغییرات حجم درختان با ابعاد متفاوت در قطعات ۳۰۶، ۳۰۵، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱
Figure 4. Comparison of changes in the volume of trees with different dimensions in plots 306, 305, 309, 310 and 311

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

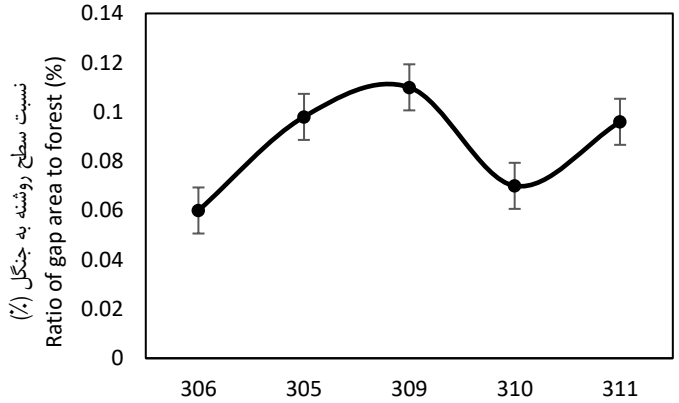
پیچیدگی ساختار توده‌ها

شاخص پیچیدگی ساختار مقادیر متفاوتی را در توده‌های مختلف نشان می‌دهد. پارسل ۳۰۹ دارای بیشترین مقدار شاخص پیچیدگی می‌باشد که مقدار عددی آن ۰/۸۵ می‌باشد. به‌طور مشابه هرکدام از توده‌های مورد مطالعه از نظر شاخص ساختار پیچیدگی دارای وضعیت منحصر به‌فردی هستند که کمترین مقدار این شاخص (۰/۶۶) در پارسل ۳۰۵ وجود دارد (شکل ۵).

مقایسه نسبت سطح روشنه به مساحت جنگل مورد مطالعه نشان می‌دهد بیشترین فراوانی آن در پارسل ۳۰۹ وجود دارد که مقدار آن برابر با ۱۱٪ می‌باشد. کمترین مقدار سطح روشنه به سطح جنگل نیز در رویشگاه‌های ۳۰۶ و ۳۰۷ مشاهده شد که مقدار آن به‌ترتیب برابر با ۶٪ و ۷٪ می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۵- شاخص پیچیدگی ساختار در قطعات نمونه ۳۰۶، ۳۰۵، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱
Figure 5. Structure complexity index in sample parts 306, 305, 309, 310 and 311



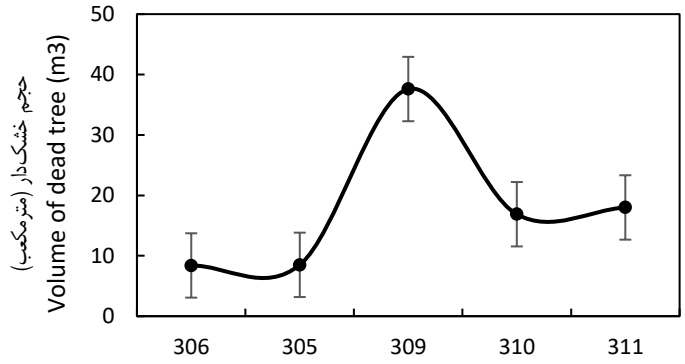
شکل ۶- نسبت سطح روشنه به جنگل در قطعات نمونه ۳۰۶، ۳۰۵، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱
Figure 6. The ratio of gap surface to forest in plots 306, 305, 309, 310 and 311

مقایسه حجم خشکه‌دار به‌عنوان یکی از شاخص‌های موثر در پیچیدگی جنگل نشان می‌دهد بیشترین مقدار آن ۳۷/۶ مترمکعب در هکتار می‌باشد که در پارسل ۳۰۹ به‌دست آمده است. کمترین مقدار حجم خشکه‌دار در توده ۳۰۶ وجود دارد که مقدار آن ۸/۴ مترمکعب در هکتار است (شکل ۷).

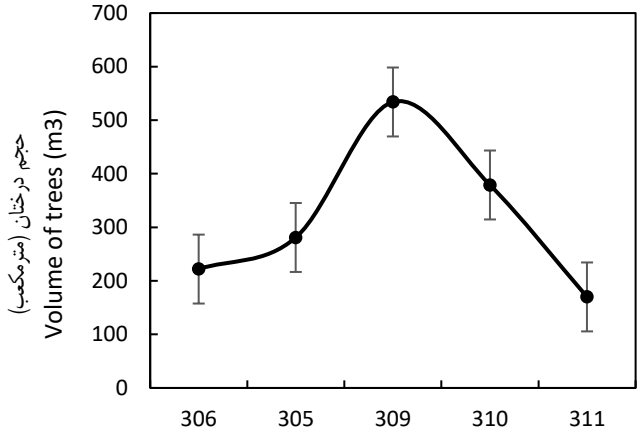
بیشترین مقدار حجم درخت در بین توده‌های مورد مطالعه مربوط به پارسل ۳۰۹ می‌باشد که مقدار آن برابر با ۵۳۴ مترمکعب در هکتار می‌باشد (شکل ۸). به‌علاوه، کمترین مقدار حجم درختان ۱۷۰ متر مکعب در هکتار است که در پارسل ۳۱۱ وجود دارد (شکل ۸).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]



شکل ۷- حجم خشکه‌دار در رویشگاه‌های مورد مطالعه واقع در قطعات نمونه ۳۰۶، ۳۰۵، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱
Figure 7. Dead tree volume in the studied habitats located in sample plots 306, 305, 309, 310 and 311



شکل ۸- حجم درختان در رویشگاه‌های مورد مطالعه در قطعات نمونه ۳۰۶، ۳۰۵، ۳۰۹، ۳۱۰ و ۳۱۱
Figure 8. The volume of trees in the studied habitats in plots 306, 305, 309, 310 and 311

نتایج مقایسه ویژگی‌های مورد مطالعه برای تعیین میزان شاخص پیچیدگی ساختاری در بین توده‌های مختلف با استفاده از آزمون ANOVA با احتمال ۵٪ (P=۰/۰۵) نشان داد فروانی و مقدار حجم درختان، فراوانی درختان کهنسال، نسبت سطح روشنه به سطح جنگل، فراوانی و حجم خشکه‌دارها، ارتفاع درخت و شاخص Mingling دارای تفاوت معنی‌دار هستند (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه‌ی میانگین مقدار عددی شاخص‌های مرتبط با پیچیدگی توده
Table 3. Comparison of the average numerical value of indicators related to complexity

Sig. معنی‌داری	F مقدار F	Mean Square میانگین مربع‌ها	Df درجه آزادی	Sum of Squares مجموع مربع‌ها		
.001	1.570	1252.409	4	5009.636	Between Groups	تعداد درختان Tees number
		797.464	164	130784.045	Within Groups	
			168	135793.681	Total	
.000	9.864	746431.182	4	2985724.729	Between Groups	حجم درختان Trees volume
		75670.422	164	12409949.237	Within Groups	
			168	15395673.966	Total	
.393	6.001	.000	4	.001	Between Groups	ضریب جینی Gini index
		.000	164	.006	Within Groups	
			168	.007	Total	
	1.030	.124	4	.498	Between Groups	درختان کهنسال Old trees
.000		.121	164	19.808	Within Groups	
			168	20.306	Total	
.008	3.551	480682.510	4	1922730.039	Between Groups	روشنه Gap
		135364.180	164	22199725.582	Within Groups	
			168	24122455.621	Total	
.005	.330	189.797	4	759.188	Between Groups	تعداد خشک دار Frequency of deadwood
		574.954	164	94292.374	Within Groups	
			168	95051.562	Total	
.000	12.240	3610.400	4	14441.601	Between Groups	حجم خشک دار Volume of deadwood
		294.967	164	48374.569	Within Groups	
			168	62816.169	Total	
.000	17.964	1.480	4	5.919	Between Groups	ارتفاع درخت Trees height
		.082	164	13.509	Within Groups	
			168	19.427	Total	
.000	10.000	.517	4	2.069	Between Groups	مینگ‌لینگ Mingling
		.052	164	8.484	Within Groups	
			168	10.553	Total	

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

در این بررسی بیشترین تعداد درختان در پارسل ۳۰۶ به ثبت رسید. این یافته به‌وسیله آماربرداری صددرصد انجام شده در بخش گرازبن نیز تایید می‌گردد که در آن تعداد در هکتار پارسل ۳۰۶ برابر با ۸۰۷/۹۴ اصله به‌دست آمده بود که دارای حجمی معادل با ۳۰۶/۹ سیلو در هکتار بوده است (Marvie Mohadjer *et al.*, 2009). وضعیت کلی موجود در تودهای این پارسل حاکی از وجود این رویشگاه در مرحله تحولی جوان می‌باشد زیرا در این مرحله تراکم درختان بسیار زیاد است. این موضوع همسو با نتایج اسلامی و ثاقب طالبی (Eslami & Sagheb Talebi, 2007) در منطقه‌ی نکا، مریدی و همکاران (Moridi *et al.*, 2022) و سفیدی (Sefidi, 2022) در جنگل خیرود نوشهر است.

فرآیند غالب تحولی در مرحله تحولی جنگل جوان انباشت زی‌وزن است (Franklin *et al.*, 2002). مقدار بالای مواد غذایی موجود از ویژگی‌های این مرحله است. رقابت برای منابع خاک و نور فرآیند مهم دیگری است که در جنگل‌های جوان رخ می‌دهد، بر این اساس، این مرحله فاز رقابت انحصاری نیز نامیده شده است (Frelich, 2002). زیرا تراکم تنه‌های درختان بسیار زیاد است، رقابت داخلی بین درختان تشدید شده و درختانی که از نظر رشد ارتفاعی عقب بمانند به‌سرعت مغلوب شده و سرانجام می‌میرند. رقابت مرگ و میر به‌طور واضح بر روی کلاسه‌های قطری کوچک متمرکز شده است. میزان مرگ و میر وابسته به تراکم است، بنابراین متراکم‌ترین بخش‌های جنگل یا گروه بالاترین نرخ مرگ و میر بر اثر رقابت را تجربه کرده و در نهایت این فرآیند ممکن است در بعضی اوقات منجر به تنک کردن طبیعی شود. اثر رقابت داخلی بین درختان به حرکت درختان یا گروه‌ها به‌سوی وضعیت ساختاری دارای حالت با یکنواختی بیشتر منجر می‌شود.

مرگ و میر رقابتی به‌عنوان فرآیندی پیوسته در نظر گرفته می‌شود که ممکن است در طی دوره‌های مختلف تحول جنگل صورت گیرد (Horsley *et al.*, 2000). همان‌گونه که ابعاد درختان رشد می‌کنند، فضای بیشتری را اشغال نموده و برای جذب منابع رقابت می‌کنند؛ با این‌حال رقبای مغلوب در رشد و قدرت با سرعت بیشتری نسبت به رقبای برتر نقصان یافته و در نهایت از بین می‌روند. مرگ و میر باعث آزادسازی فضای رشد و منابع محدود شده که به‌نوبه خود اجازه می‌دهد تا نرخ رشد درختان قوی‌تر تا دوره بعدی تعامل رقابتی و مرگ و میر حاصل از آن افزایش یابد. نهایتاً، نتیجه این فرآیند تکامل درختان بزرگتر است. تنوع گونه‌ای در این مرحله بسیار زیاد است و انواع زیادی از گونه‌های درختی از قبیل ممرز، بلوط، شیردار، راش و نمدار و گونه‌های نادری شامل ون، بارانک و گیلاس وحشی در این توده وجود دارد. رقابت و میزان رشد متفاوت (دارای ضریب تغییر) و طول عمر ممکن است به ترکیب و تغییرات ساختاری مهم در طی زمان منجر شود. به‌عنوان مثال، گونه‌های کند رشدتر ممکن است در موقعیت‌های میانی تاج پوشش قرار داشته باشند در صورتی‌که بتوانند در حد متوسطی شرایط سایه را تحمل کنند (Oliver & Larson., 1996).

نتایج نشان داد قطعات ۳۰۵ و ۳۱۱ دارای تراکم در هکتار متوسط (۳۳۱ و ۴۱۸) در بین رویشگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند. تراکم متوسط در واحد سطح ویژگی توده‌های بالغ می‌باشد. نتایج حاضر با یافته‌های زنر و همکاران (Zenner *et al.*, 2015) همسو است.

در مرحله بلوغ تراکم درختان کاهش می‌یابد، تراکم ناشی از مرگ و میر بر اثر رقابت همچنان ادامه می‌یابد. جنگل هنوز به‌وسیله گروه اولیه درختان غالب است؛ با این‌حال نور و رطوبت برای استقرار یا توسعه زیرآشکوب شامل ازدیاد و رشد بیشتر درختان سایه‌پسند وجود دارد. تغییر عمده‌ای در الگو و غالبیت عوامل مرگ و میر درختان در مرحله بلوغ رخ می‌دهد که به‌طور قابل ملاحظه‌ای ناهمگنی ساختاری توده را افزایش می‌دهد. عامل مرگ و میر از حالت رقابت محور تبدیل به عامل محور می‌شود (یعنی غیررقابتی در طبیعت). عوامل مرگ و میر غیر رقابتی شامل پوسیدگی ریشه‌ای، باد، سوسک‌های پوستخوار، رعد و برق، یخبندان و آتش‌سوزی سطحی است (Keenshaw Palik, & Pederson, 1996, &Bergeron, 1998 Franklin *et al.*, 1978, Franklin & DeBell, 1988). بسیاری از این اجزا بخشی از توده یا گروه هستند که باعث ایجاد آشفتگی و زادآوری می‌شوند. اما مرگ و میر این اجزا در مرحله بلوغ به‌صورت اندک و در سطوح مکانی کوچک‌تر رخ می‌دهد (یعنی تک درختان و گروه‌های کوچک). در واقع رویداد مرگ و میر در مساحت‌های کوچک منجر به آشفتگی زادآوری می‌شود.

ایجاد روشنه فرآیند اصلی در تحول مکانی ناهمگن در ساختار است. این ناهمگنی در تاج پوشش منجر به تنوع مکانی در بسیاری از ویژگی‌ها، گیاهان علفی، خشکه‌دارهای سرپا و افتاده، توزیع اندازه‌های درختان، شرایط کف جنگل و در معرض دید قرار گرفتن خاک معدنی می‌شود. تحول روشنه‌های تاج پوشش در مرحله بالغ باعث افزایش نور و رطوبت به‌صورت موضعی می‌گردد. درختان مجاور روشنه ممکن است این منابع را به دام انداخته و بر این اساس افزایش رشد داشته باشند. روشنه‌های تاج پوشش از اطراف بسته می‌شوند (Parsons *et al.*, 1994). نکته بسیار مهمتر از دیدگاه پیچیدگی ساختار این است که روشنه‌ها ممکن است منجر به استقرار یا افزایش جمعیت گیاهان زیرآشکوب شامل علف‌ها، بوته‌ها و درختان زیرآشکوب گردد (McGuire *et al.*, 2001). جنگل در مرحله بالغ در حال رسیدن به بلوغ در حالت تک درخت یا از نظر اکوسیستم جنگل است. در حقیقت مقادیر بالای تولید اولیه می‌تواند در مرحله بالغ ادامه داشته و منجربه انباشت چوب و کربن شود.

نتایج نشان داد کمترین مقدار فراوانی تعداد درختان در هکتار مربوط به پارسل‌های ۳۰۹ و ۳۱۰ می‌باشد که به‌ترتیب ۲۵۹ و ۲۷۴ اصله در هکتار است. این موضوع نشان دهنده وجود جنگل در مرحله کهنسالی می‌باشد. تعداد کم درختان در واحد سطح در جنگل‌های کهن‌سال در منابع مختلف گزارش شده است (Palik *et al.*, 2020).

در حقیقت، درختان کهنسال بزرگ به‌طور ویژه اجزای بارز مرحله جنگل کهنسال هستند که مجموعه‌ای از آشیان‌های منحصر به‌فرد را فراهم می‌سازند. با وجود درختان دارای اندازه

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-08]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

متوسط و زادآوری درختان، توزیع درختان در طبقات قطری که غالباً منحنی J شکل معکوس را نشان می‌دهند، شرایط حضور را برای یک یا دو گونه سایه‌پسند را فراهم می‌سازد.

دامنه وسیعی از اندازه‌ها و ابعاد درختان زنده برای شناسایی شاخص‌ها در مرحله کهنسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. زوال ویژگی مهم و بارز مرحله کهنسال جنگل است. مرگ و میر ایجاد شده به‌وسیله عواملی در آشکوب بالا و در درختان با اندازه متوسط فرآیند فعال در این مرحله است که فراهم کننده تداوم ورودی‌هایی از قبیل خشکه‌دارهای سرپا و افتاده بزرگ به جنگل است. این عوامل شامل ریشه، کنده، پوسیدگی تنه (قارچ‌ها)، باد (ریشه‌کن کردن)، حشرات (به‌عنوان مثال سوسک پوستخوار) و رعد و برق است. زوال ناشی از رقابت نیز ممکن است در درجه اول در لکه‌های متراکم زادآوری درختان که در روشنه‌های تاج پوشش اتفاق می‌افتد، از سر گرفته شود. سایر موارد زوال از قبیل توخالی شدگی‌ها و پوسیدگی‌ها در درختان زنده، همچنین داروا‌ش در تاج درختان در پاسخ به پارازیت‌ها یا عوامل بیماری‌زا اتفاق می‌افتد که به‌طور معمول در جنگل کهنسال دیده می‌شود.

ناهمگنی افقی در جنگل کهنسال زیاد است زیرا استمرار تولید روشنه منجر به مرگ و میر در آشکوب بالا می‌شود. الگوهای خوشه‌ای یا کپه‌ای زادآوری درختان در این روشنه‌ها از دیگر ویژگی‌هایی هستند که در جنگل‌های کهنسال شناسایی شده‌اند. روشنه‌ها در جنگل کهنسال معمولاً چندآشکوبه بوده یا بعضی اوقات دارای فرم پیوسته از سطح زمین تا تاج پوشش می‌باشند.

فراوانی ویژگی‌های ساختاری بررسی شده نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی نسبت سطح روشنه به جنگل، میانگین ارتفاع درختان، حجم خشکه‌دار و حجم درختان در پارسل ۳۰۹ بیشتر می‌باشد که منجر به پیچیدگی ساختاری بیشتر این رویشگاه می‌شود. این موارد نشان می‌دهند رویشگاه مذکور در مراحل انتهایی تحولی قرار دارد که دارای پیچیدگی ساختاری بیشتری نسبت به سایر توده‌ها است. این نتایج با یافته‌های Põldveer و همکاران (Põldveer *et al.*, 2021)، Asbeck و همکاران (Asbeck *et al.*, 2023)، همسو می‌باشد.

توزیع قطری درختان در طبقات قطری در قطعات نمونه و مراحل موردمطالعه نشان دهنده حقایق جالبی درباره پیچیدگی ساختاری در واحدهای مختلف می‌باشد. در مراحل اولیه تحولی از قبیل پارسل ۳۰۶ بیشترین تعداد درختان در طبقات قطری کم قطر توزیع شده‌اند و منحنی پراکنش دارای شیب شدید می‌باشد در حالی‌که در مراحل کهنسالی از قبیل پارسل ۳۰۹ توزیع درختان در طبقات قطری به‌صورت متعادل‌تری انجام شده و در اصطلاح شیب منحنی پراکنش کم می‌باشد. در جنگل جوان (به‌طور مثال قطعه ۳۰۶) تعداد نهال‌ها در زیرآشکوب و نسبت فراوانی درختان آشکوب پایین به آشکوب بالا منجر به افزایش پیچیدگی در ساختار جنگل می‌شود. در این مرحله وجود تعداد زیادی از درختان کم قطر سبب افزایش میانگین مقدار شاخص ضریب جینی قطر درختان و شاخص تنوع اندازه‌ای درختان می‌شود (Sefidi, 2022a). در مراحل بعد با حذف درختان جوان در نتیجه‌ی تنک شدن طبیعی توده به تعادل در طبقات قطری منجر می‌شود. با این‌حال، در مرحله‌ی نهایی از توسعه‌ی توده، حضور درختان قطور (بزرگ‌تر از ۱۰۰ سانتی‌متر) به افزایش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی منجر می‌شود.

روشنه‌ها از مهم‌ترین عوامل مرثر بر شکل‌گیری پیچیدگی در ساختار است و نسبت مساحت روشنه‌ی تاج پوشش اختلاف معنی‌داری را بین قطعات در پارسل‌های مختلف نشان می‌دهد. افتادن درختان در نتیجه‌ی آشفتگی‌های طبیعی در مرحله‌ی نهایی به باز شدن پوشش تاجی در مراحل کهنسالی و جوانی منجر می‌شود این مسئله سبب تغییر رژیم نوری شده و فرصت مطلوبی را برای افزایش رشد طولی نهال‌ها فراهم می‌آورد (Feldmann *et al.*, 2020). منطقه باز شده با رشد طولی نهال‌های پرکننده روشنه به‌تدریج تا مرحله بالغ بسته می‌شود (Zhu *et al.*, 2019).

میانگین شاخص پیچیدگی برای رویشگاه‌های مورد مطالعه ۰/۷۵ می‌باشد که بیشترین آن ۰/۸۵ می‌باشد و در پارسل ۳۰۹ دیده می‌شود در حالیکه کمترین مقدار شاخص پیچیدگی ۰/۶۶ می‌باشد که در پارسل ۳۰۶ وجود دارد. سایر رویشگاه‌ها دارای حالت بینابین می‌باشند. این تنوع پیچیدگی در رویشگاه‌های مختلف نشان دهنده وجود مراحل مختلف تحولی از جوان تا کهنسال در جنگل است. تفاوت در اغلب ویژگی‌های ساختاری مورد مقایسه با استفاده از آزمون‌های آماری نیز اثبات گردیده است و صرفاً اختلاف در شاخص جینی معنی‌دار نشده است (جدول ۳).

در پژوهش زنر و همکاران (Zenner et al., 2015) نیز اختلاف بین مراحل از لحاظ شاخص پیچیدگی گزارش شده است. این مقدار در مقایسه با مقادیر گزارش شده از جنگل‌های راش در اروپا قدری بیشتر است. در جنگل‌های راش پارکی ملی در جنوب ایتالیا این شاخص بین ۳۸ تا ۷۹ است (Sabatini *et al.*, 2015). در جنگل‌های راش آمیخته در شمال کشور بیشترین مقدار آن در مرحله‌ی نهایی برابر با ۸۴/۱۷ و کمترین مقدار آن برابر با ۴۹/۳ درصد در مرحله‌ی اولیه محاسبه شد (Sefidi., 2022a). در جنگل‌های راش خالص در شمال کشور حد پایین و حد بالای آن به‌ترتیب ۲/۷ و ۱۱/۷ محاسبه شده است (Akhavan *et al.*, 2022).

مرحله جنگل کهنسال معمولاً از نظر ساختاری پیچیده‌ترین مرحله تکاملی است. پیچیدگی ساختاری معمولاً شامل آمیختگی متنوعی از شرایط و اندازه‌های درختان زنده ومرده، درختان کهنسال از یک یا چند گونه و میزان بالای ناهمگنی ساختاری در پراکنش تنه‌ها و تاج پوشش است. نتایج اخوان و همکاران (Akhavan *et al.*, 2022) نشان داد میزان شاخص پیچیدگی توده با متغیرهای رویه زمینی و حجم سرپای توده‌ها همبستگی معنی‌دار دارد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

از شاخص پیچیدگی ساختار توده‌های جنگلی در کنار دیگر شاخص‌ها مانند درجه‌ی طبیعی بودن می‌توان برای ارزیابی وضعیت جنگل استفاده کرد (Sabatini *et al.*, 2015). تصویری ساده می‌تواند نشان دهد که چگونه ویژگی‌های گوناگون ساختاری، پیچیدگی و تنوع را به جنگل

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-08]
[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

منتقل می‌کند. اگر جنگلی فرضی در حالت‌های پیچیده و ساده در نظر گرفته شود. تفاوت آشکار در این مقایسه این است که توده پیچیده دارای دامنه وسیع‌تری از ابعاد درختان (و به‌طور بالقوه سنین) مانند برخی از درختان بزرگ، در مقایسه با توده ساده است که دارای تعداد زیادی از درختان با ابعاد کوچک‌تر و بدون درختان بزرگ می‌باشد و به‌طور بالقوه درخت کهن‌سالی در آن وجود ندارد. توده پیچیده دارای حداقل دو گونه درختی است، در مقابل توده‌ی ساده فقط از یک گونه تشکیل شده است. توده پیچیده همچنین حاوی تعدادی خشکه‌دار سرپا و افتاده بزرگتر بر روی زمین است و در مقابل، توده ساده فاقد خشکه‌دار افتاده بزرگ است. سرانجام، پراکنش درختان و تاج پوشش‌ها یا برعکس، روشنه‌ها، از نظر مکانی در توده پیچیده متغیر است و منجر به ناهمگنی ساختاری در منطقه مورد نظر می‌شود. این موضوع در مقایسه با توده ساده است که در آن شرایط ساختاری در پراکنش‌های همگن سازمان‌دهی می‌شوند.

از دیگر عواملی که در پیچیدگی توده‌های مورد بررسی حایز اهمیت می‌باشد موضوع توالی است. زیرا وقتی در یک جنگل گونه غالب راش است یعنی جنگل به اوج توالی نزدیک شده است و دارای تنوع بالاتری است (Barmann *et al.*, 2023) اما در توده‌هایی که ممرز گونه غالب است هنوز در مراحل میانی توالی قرار دارد و قطعا تنوع گونه‌ای و یا پیچیدگی کمتر دارد.

نتیجه‌گیری کلی

جنگل‌بانان و جنگل‌شناسان ضروری است با مفهوم پیچیدگی یا تنوع در جنگل، از جمله علل آن از قبیل مراحل تحولی و پیامدهای فقدان این شرایط آشنا باشند. با داشتن این دانش، آنان می‌توانند افزایش تنوع و پیچیدگی را با پیش‌بینی اقداماتی از قبیل تنک کردن یا باقی گذاشتن درختان دارای اهمیت زیستگاهی از قبیل درختان قطور و کهنسال و خشکه‌دارهای سرپا و افتاده در برش‌های گزینشی که پیچیدگی ساختاری، تنوع گونه‌ها و ناهمگنی را حفظ یا بازیابی می‌کند، در دستورالعمل‌های خود وارد کنند؛ یا در واقع، تحول این شرایط را شروع کنند.

References

Asbeck, T., Benneter, A., Huber, A., Margaritis, D., Buse, J., Popa, F., Pyttel, P., Förschler, M., Gärtner, S., & Bauhus, J. (2023). Enhancing structural complexity: An experiment conducted in the Black Forest National Park, Germany. *Ecology and Evolution*, 13, e9732.

Azarian, M., Marvi-Mohajer, M.R., Etemad, V., Shirvani, A., & Sadeghi, M. (2013). Morphological characteristics of old trees in Hyrcanian forests (case study: Patam and Nemkhaneh sections, Kheyrud forest). *Journal of Forest and Wood Products*, 68 (1), 48-59 (In Persian).

Akhavan, R., Hasani, M., & Sadeghzadeh Hallaj, M. H. (2022). Comparison of pure beech masses using structure complexity index (SCI) in Hyrcanian forests of Mazandaran. *Iranian Forest Journal*, 14(4), 456-445 (In Persian).

Barmann, L., Kaufmann, S., Weimann, S., & Hauck, M. 2023. Future forests and biodiversity: Effects of Douglas fir introduction into temperate beech forests on plant diversity. *Forest Ecology and Management*, 454: 121286.

Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J.B., Bauhus, J., Boncčina, A., Chauvin, C., Drössler, L., García-Güemes, C., Heiri, C., Kerr, G., & Lexer, M.J. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry, An International Journal of Forest Research*, *87*(4), 492-503.

Dehghan, M., Sefidi, K., & Sadeghi, M. (2020). Structural changes of hand-planted mixed forests after abandoning forest management. *Wood and Forest Science and Technology Research*, 27(4), 97-112 (In Persian).

Feldmann, E., Glatthorn, J., Ammer, C., & Leuschner, C. (2020). Regeneration Dynamics Following the Formation of Understory Gaps in a Slovakian Beech Virgin Forest. *Forests*, *11*, 585.

Franklin, J. E., Shugart, H. H., & Harmon. M. E. (1987). Tree death as an ecological process. *BioScience*, 37, 550-556.

Franklin, J. F., & DeBell, D. S. (1988). Thirty-six years of tree population change in an old-growth *Pseudotsuga-Tsuga* forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 18, 633-639.

Franklin, J.F., Spies Th, A., Van Pelt, R., Carey, A, B., Thornburgh, D.A., Berg, D., Lindenmayer, D.B., Harmon, M,E., Keeton, W, S., Shaw, D.C., Bible, K., & Chen, J. (2002). Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management*. 155 (1-3), 399-423.

Frelich, L.E. (2002). Forest Dynamics and Disturbance Regimes, Studies from Temperate Evergreen–Deciduous Forests, Cambridge, 278 pp.

Halpern, C. B., & Spies. T. A. (1995). Plant species diversity in natural and managed forests of the Pacific Northwest. *Ecological Applications*, 5, 913-934.

Horsley, S. B., Long, R. P., Bailey, S. W., Hallett, R. A., & Hall, T. J. (2000). Factors associated with the decline and disease of sugar maple on the Allegheny Plateau. *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 1365-1378.

Gilhen-Baker, M., Roviello, V., Beresford-Kroeger, D. *et al.* (2022). Old growth forests and large old trees as critical organisms connecting ecosystems and human health. A review. *Environ Chem Lett*, 20, 1529–1538.

Islami, A., & Sagheb Talebi, Kh. (2007). Investigating the natural structure of pure and mixed forests in the forests of the north of the country (Zalemroud Neka region). Research and construction, 20 (4 (issue 77) in natural resources), 39-46 (In Persian).

Javanmiri pour, M, Marvi Mohajer, M.R, Zobeiri, M, Etemad, V, & Jorgholami, M. (2017). The effect of management interventions on the structure of natural stands (case study: Grozban section of Kheyrud forest). *Iran Forest and poplar Research*, 25(2), 209-219 (In Persian)

Javanmiri pour, M, Marvi Mohajer, M.R, Zobeiri, M, Etemad, V, & Jorgholami, M. (2018). Determining the structural diversity of mixed beech stands in the Grozban section of Khairud forest. *Iran Forest and Poplar Research*, 26 (2): 143-155 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-08]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]

Javanmiri Pour, M., Marvi Mohadjer, M.R., Etemad, V., & Jourgholami, M. (2019). Determining structural variation in a managed mixed stand in an old-growth forest, northern Iran. *Journal of Forestry Research*, 30(5), 1859–1871.

Javanmiri pour M, & Etemad, V. (2022). Development of the Dead Trees Structural Legacy in the Dynamics Process of Pure Beech (*Fagus orientalis* L) Stands (Case study: Gorazbon District of Kheyrud Forest). *Ifej*, 10 (20), 73-87 (In Persian).

Kakavand, M., Etemad, V., Sagheb Talebi, H., Marvi Mohajer, M.R., & Amer, Ch. (2020). The dynamics of forest stands development stages in control plots in Hyrcanian forests. *Iranian Forest and Spruce Research*, 28(3), 231-243 (In Persian).

Keenshaw, D., Bergeron, Y. (1998). Canopy gap characteristics and tree replacement in the southern Boreal forest. *Ecology*, 79 (3), 783-794.

Latterini, F., Mederski, P.S., Jaeger, D. (2023). The Influence of Various Silvicultural Treatments and Forest Operations on Tree Species Biodiversity. *Curr Forestry Rep*, 9, 59–71.

Lian, Z., Wang, J., Fan, Ch., & von Gadow, K. (2022). Structure complexity is the primary driver of functional diversity in the temperate forests of northeastern China. *Forest Ecosystems*, 9, 100048.

Larrieu, L., Cabanettes, A. & Delarue. (2012). Impact of silviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in montane beech-fir forest of the Pyrenees. *Europian Journal of Forest Research*, 131, 773-786.

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

McElhinny, C., Gibbons, P., Brack, C., & Bauhus., J. (2005). Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *Forest Ecology and Management*, 218, 1-24.

McGuire J. P., Mitchell, R. J., Moser, E. B., Pecot, S. D., Gjerstad, D. H., & Hedman, C. W. (2001). Gaps ina gappy forest: Plant resources, pine regeneration, and understory response to tree removal in longleaf pine savannas. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 765-778.

Moridi, M., Fallah, A., Pourmejidian, M.R., & Sefidi, K. (2021). Evaluation of the quantitative and qualitative characteristics of dry farms in the evolutionary stage of volume increase (case study: Grozban section, Kheyrud forest). *Iran Forest and Poplar Research*, 29 (2), 153-163 (In Persian).

Muller-Using, S. & Bartsch, N. (2004). Dynamics of woody debris in a beech (Fagus sylvatica L.) forest in central Germany. Improvement and silviculture of Beech, Proceedings from the 7th international Beech symposium, 10-20 May 2004, IU. FRO research group, Tehran, Iran. 83-89. Research institute of forests and rangelands, Iran, 183 pp.

Oliver, C. D., & Larson, B. C. (1996). *Forest stand dynamics.* New York: Wiley.

Põldveer, E., Potapov, A., Korjus, H., Kiviste, A., Stanturf, J., Arumäe, T, Kangur, A., Laarmann, D. (2021). The structural complexity index SCI is useful for quantifying structural diversity of Estonian hemiboreal forests. *Forest Ecology and Management*, 490, 119093.

Sabatini, F.M., Burrascano, S., Lombardi, F., Chirici, G., & Blasi, C. (2015). An index of structural complexity for Apennine beech forests. *iForest* 8, 314-323.

Sagheb Talebi, Kh. (2017). Forestry close to nature, perspectives and goals. *Nature of Iran*, 1(2), 6-9 (In Persian).

Sefidi, K. (2022a). Comparison of structure complexity index (SCI) in evolutionary stages of mixed beech forests of Hyrcanian. *Iranian Forest Journal*, 14(4), 389-405 (In Persian).

Sefidi, K. (2022b). The effect of rare species on structure complexity index (SCI) in Hyrkanian beech forests. *Forest Research and Development*, (In Persian).

Spies, T. A., Franklin, J. F., & Thomas, T. B. (1988). Coarse woody debris in Douglas-fir forests of western Oregon and Washington. *Ecology*, 69, 1689-1702.

Palik B. J., Pregitzer, K.S. (1993). Height Growth of Advance Regeneration Under an Even-Aged Bigtooth Aspen (*Populus grandidentata*) Overstory. *The American Midland Naturalist*, 134(1), 166-175.

Palik, B. J., & Pederson, N. (1996). Natural disturbance and overstory mortality in longleaf pine ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 2035-2047.

Palik, B., D'Amato, A., Franklin, J., & Johnson, J. (2020). Ecological Silviculture: Foundations and Applications 1st Edition, Wavelan press. 343 pp.

Parsons, W. F. J., Knight, D. H., & Miller, S. L. (1994). Root gap dynamics in a lodgepole pine forest, nitrogen transformations in gaps of different size. *Ecological Applications*, 4, 354-362.

Stiers, M., Willim, K., Seidel, D., Ehbrecht, M., Kabal, M., Ammer, Ch., & Annighöfer, P. (2018). A quantitative comparison of the structural complexity of managed, lately unmanaged and primary European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Forest Ecology and Management*, 430, 357-365.

Zenner, E.K., Sagheb-Talebi, Kh., 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 multigap scale. *Forest Ecology and Management*, 335, 26-36.

Zhu, C., Zhu, J., Wang, G. G., Zheng, X., Lu, D., & Gao, T. (2019). Dynamics of gaps and large openings in a secondary forest of Northeast China over 50 years. *Annals of forest science*, *76*, 1-10.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-06-02]

[DOI: 10.61186/ifej.12.1.99]