



University of Tehran

The effect of single-tree selection and shelterwood methods on some ecosystem characteristics of deciduous broadleaf forests, west parts of Guilan Province

Mohaddeseh Hajatnia¹ | Mehrdad Nikooy^{2*} | Ali Salehi³ |
Farzam Tavanakr⁴ | Mahmoud Bayat⁵

1. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran. Email: mobinawz@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran. Email: nikooy@Guilan.ac.ir
3. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran. Email: asalehi@guilan.ac.ir
4. Department of Forestry, Kha.C., Islamic Azad University, Khalkhal, Iran. Email: fa.tavankar@iau.ac.ir
5. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: mbayat@rifr-ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 23 July 2025

Revised: 17 September 2025

Accepted: 04 October 2025

Published online: 22 November 2025

Keywords:

Biodiversity,
Ecosystem service,
Forest management,
Hyrcanian forest,
Stand complexity index.

ABSTRACT

This study examines the provision of selected ecosystem services in natural mixed broadleaf forests located in Nav Asalem, Gilan Province. The effects of three forest management methods—shelterwood, single-tree selection cutting, and protection—on ecosystem service components were assessed using indices of stand structural complexity, species diversity of trees, shrubs, and herbaceous plants, frequency of large-diameter trees, and volume of deadwood. Data on tree and stand structure were collected using a 100 × 150 m grid, and circular sample plots were established in each management type. Across all forest stands, tree canopy cover, shrub canopy, and herb cover were significantly greater in the protected parcels than in those under single-tree selection cutting and shelterwood management. The frequency of trees, average diameter, tree height, basal area, mean height of dominant trees, and standing volume were also significantly higher in the protected parcels. Tree diameter and height diversity indices followed the order: protected parcel > single-tree selection cutting > shelterwood. Similarly, species richness indices for tree, shrub, and herb layers were highest in the protected parcels, followed by single-tree selection cutting and shelterwood parcels. The frequency and volume of both standing and fallen deadwood were also greatest in the protected parcels, intermediate in single-tree selection cutting parcels, and lowest in shelterwood parcels. The same pattern was observed for the frequency and volume of large-diameter trees. The stand structural complexity index was also highest in the protected parcels.

Cite this article: Hajatnia, M., Nikooy, M., Salehi, A., Tavanakr, F., Bayat, M. (2025). The effect of single-tree selection and shelterwood methods on some ecosystem characteristics of deciduous broadleaf forests, west parts of Guilan Province. *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (3), 321-332. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2025.401178.1366>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2025.401178.1366>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

اثر برش تک‌گزینی و تدریجی-پناهی بر ویژگی‌های بوم‌شناختی جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده غرب استان گیلان

محدثه حاجت‌نیا^۱ | مهرداد نیکوی^{۲*} | علی صالحی^۳ | فرزاد توانکار^۴ | محمود بیات^۵

۱. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: mobinawz@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: nikooy@guilan.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: asalehi@guilan.ac.ir

۴. گروه جنگلداری، واحد خلخال، دانشگاه آزاد اسلامی، خلخال، ایران. رایانامه: fa.tavankar@iau.ac.ir

۵. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: mbayat@rifr-ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

این مطالعه به بررسی برخی از خدمات بوم‌شناختی در جنگل‌های پهن‌برگ ناهمسال طبیعی واقع در جنگل‌های ناو اسالم پرداخت. به همین منظور، اثرات سه روش مدیریت جنگل (حفاظتی، تدریجی-پناهی و تک‌گزینی انفرادی) بر برخی از اجزای خدمات بوم‌سازگانی با استفاده از شاخص‌های پیچیدگی ساختار توده، تنوع گونه‌ای درختان، درختچه‌ها و گیاهان علفی، فراوانی درختان با قطر زیاد و حجم خشک‌دار ارزیابی شد. داده‌های مربوط به ساختار درخت و توده با استفاده از شبکه ۱۰۰ × ۱۵۰ متر و قطعات نمونه دایره‌ای جمع‌آوری شد. در تمام توده‌های جنگلی، پوشش درختی، پوشش درختچه و پوشش علفی در پارسل حفاظت‌شده به‌طور قابل توجهی بیشتر از پارسل‌های تک‌گزینی انفرادی و تدریجی-پناهی بود. فراوانی درختان، قطر متوسط، ارتفاع متوسط، سطح مقطع، میانگین ارتفاع درخت غالب و حجم سرپا در پارسل حفاظت‌شده به‌طور قابل توجهی بیشتر از پارسل‌های تک‌گزینی انفرادی و تدریجی-پناهی بود. مقادیر شاخص‌های تنوع قطری درخت و تنوع ارتفاعی درخت به ترتیب در پارسل‌های حفاظت‌شده، پارسل تک‌گزینی انفرادی و پارسل تدریجی-پناهی رتبه‌بندی شدند. علاوه بر این، شاخص‌های غنای گونه‌ای برای لایه‌های درختی، درختچه و علفی همگی در پارسل حفاظت‌شده دارای بیشترین مقدار بود و پس از آن پارسل‌های قطع تک‌گزینی انفرادی و پناهی قرار داشتند. فراوانی و حجم خشک‌دارهای سرپا و افتاده نیز در پارسل حفاظت‌شده دارای بیشترین مقدار، در پارسل قطع تک‌گزینی انفرادی دارای مقادیر متوسط و کمترین مقادیر آن در پارسل پناهی بود. فراوانی و حجم درختان با قطر زیاد از همین الگو پیروی کردند. شاخص پیچیدگی ساختاری توده نیز در پارسل‌های حفاظت‌شده بیشترین مقدار را داشت.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

کلیدواژه:

تنوع زیستی،

جنگل‌های هیرکانی،

خدمات بوم‌سازگانی،

شاخص پیچیدگی ساختار،

مدیریت جنگل.

استناد: حاجت‌نیا؛ محدثه، نیکوی؛ مهرداد، صالحی؛ علی، توانکار؛ فرزاد، بیات؛ محمود (۱۴۰۴). اثر برش تک‌گزینی و تدریجی-پناهی بر ویژگی‌های بوم‌شناختی جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده غرب استان گیلان. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۸ (۳)، ۳۲۱-۳۳۲. DOI: <https://10.22059/jfwf.2025.401178.1366>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.401178.1366>



۱. مقدمه

شناخت ارزش خدمات جنگل و حفظ یا افزایش عرضه آنها، یک هدف مهم برای مدیران جنگل برای برآوردن خواسته‌های جامعه در حال حاضر و آینده است. تمرکز بر خدمات جنگل با ارائه شواهد به مدیران منابع طبیعی درمورد تأثیر تصمیمات آنها برای برآورده کردن خواسته‌های اجتماعی و افزایش آگاهی از مبادلات در میان خدمات جنگل می‌تواند از مدیریت یکپارچه، پایدار و عادلانه منابع طبیعی پشتیبانی کند [۱]. مدیران جنگل ملزم به حفظ و افزایش پایداری طیف وسیعی از مزایای محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی جنگل‌ها هستند، در حالی که با شرایط اقلیمی، اقتصادی-اجتماعی، سیاسی و عدم اطمینان محیط‌زیستی آینده روبرو هستند و تصمیم‌هایی که می‌گیرند پیامدهایی بر مجموعه خدمات جنگل که این بوم سازگان‌ها ارائه می‌کنند، خواهد داشت [۲]. جنگل‌ها به‌طور گسترده به‌عنوان ارائه‌دهندگان اصلی خدمات بوم سازگانی از جمله تولید غذا، چوب و سوخت، حفاظت و تنظیم آب، حفظ مواد مغذی، ذخیره کربن، حفاظت از تنوع زیستی، تنظیم آب‌وهوا، اکوتوریسم و ارزش‌های معنوی و سنتی شناخته می‌شوند [۳-۴]. عواملی مختلفی مانند نوع توده جنگلی و ترکیب گونه‌ای آن [۵]، شیوه‌های مدیریت جنگل [۶] روش‌های برداشت چوب [۷]، سن توده جنگلی [۸] و عوامل طبیعی مانند آتش‌سوزی، حمله آفات و بیماری‌ها، تغییرات اقلیمی [۹] بر میزان این خدمات تأثیرگذارند. با افزایش تقاضا برای منابع جنگلی از جمله چوب، فشار قابل توجهی بر بوم سازگان‌های طبیعی وارد شده و در اثر این فشار ممکن است از توانایی آنها برای تأمین خدمات بوم سازگانی کاسته شود [۱۰]. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های مدیران و سیاست‌گذاران جنگل ایجاد تعادل بین تقاضا برای تولید چوب و خدمات بوم سازگانی جنگل است. بنابراین برای مدیریت آگاهانه جنگل و انتخاب سیاست تأثیرگذار، درک مکانیسم‌هایی که بر تأمین خدمات بوم سازگان موثرند، ضروری است [۱۱]. همچنین، آگاهی از زمان لازم برای بازیابی خدمات بوم سازگانی جنگل پس از برداشت، بسیار مهم است [۱۲]. برای رسیدن به این آگاهی، می‌توان توده‌های جنگلی مدیریت شده و حفاظت‌شده را با هم مقایسه کرد و اطلاعات ارزشمندی در مورد برآیند بازیابی به‌دست آورد.

در جنگل‌های شمال ایران (موسوم به جنگل‌های هیرکانی) اجرای شیوه تدریجی-پناهی با دوره تناوب ۲۵-۲۰ ساله (تا سال ۱۳۸۰) و تک‌گزینی با دوره تناوب ۱۰ ساله (از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶) همراه با توقف بهره‌برداری جنگل (از سال ۱۳۹۶ تاکنون) شرایط را برای مطالعه تغییرات و بررسی روند بازیابی بوم سازگان جنگل در توده‌های جنگلی مدیریت شده و حفاظت شده فراهم نموده است. در همین ارتباط، Sefidi و همکاران (۱۴۰۱) با مطالعه شاخص پیچیدگی ساختار در مراحل تحولی جنگل‌های آمیخته راش نشان دادند که بیشترین مقدار آن در مرحله نهایی برابر با ۱۷/۸۴ و کمترین مقدار آن برابر با ۳/۴۹ در مرحله اولیه محاسبه شد [۱۳]. همچنین، Sefidi و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر گونه‌های نادر بر شاخص پیچیدگی ساختار در جنگل‌های راش هیرکانی یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریت اکولوژیک جنگل‌ها افزایش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی برشمرد [۱۳]. Karamdoost Marian و همکاران (۲۰۲۴) با مطالعه تأثیر اجرای شیوه تک‌گزینی انفرادی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی و خاک جنگل‌های شفاورد در استان گیلان نشان دادند که مدیریت جنگل به شیوه تک‌گزینی انفرادی بر هیچ کدام از شاخص‌های مورد بررسی خاک تأثیر معنی‌داری نداشت، اما عامل ارتفاع از سطح دریا بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی خاک تأثیر معنی‌دار داشت. آنها نشان دادند که اجرای شیوه تک‌گزینی، بهبود مشخصه‌های کمی و کیفی توده‌های جنگلی مورد بررسی را موجب شده است [۱۴].

نتایج مطالعه Dai و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که خدمات بوم سازگان جنگل در جنگل‌های طبیعی بیشتر از جنگلکاری‌ها و در جنگلکاری‌های آمیخته (سوزنی‌برگ و پهن‌برگ) بیشتر از جنگلکاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بود. جنگل‌های طبیعی ارزش نسبتاً زیادی از خدمات تنظیمی را در این مطالعه نشان داد [۱۵]. یافته‌های این مطالعه نشان داد که مدیریت جنگلکاری‌های آمیخته نسبت به جنگلکاری‌های خالص ارجحیت بیشتری دارد. Sasanifar و همکاران (۲۰۱۹) با مقایسه دو توده حفاظت شده و حفاظت نشده، از نظر خدمات بوم سازگانی، مدیریت حفاظت از توده‌های جنگلی در جنگل‌های ارسباران را موفق ارزیابی کردند [۱۶]. Sasanifar و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود در جنگل‌های ارسباران به نتایج مشابهی دست یافتند [۱۷]. آنها در مطالعه خود تأکید کردند که حفاظت و مدیریت مناطق جنگلی برای افزایش توانایی آنها در تنظیم CO₂، آب و خاک، حمایت از چرخه مواد مغذی و تولید اولیه خالص بالای سطح زمین ضروری است. Karamdoost Marian و همکاران (۲۰۲۴) با مطالعه اثرات مدیریت تک‌گزینی انفرادی بر خدمات بوم سازگانی در یک جنگل پهن‌برگ معتدل آمیخته در جنگل‌های شفاورد، نشان دادند که روش برداشت تک‌گزینی انفرادی به‌طور قابل توجهی بر تنظیم و پشتیبانی از خدمات بوم سازگان تأثیر می‌گذارد. نتایج نهایی این مطالعه

نشان داد که روش مدیریت تک‌گزینی انفرادی، یک استراتژی مدیریت جنگل مناسب برای حفظ خدمات بوم‌سازگان در جنگل‌های معتدله پهن‌برگ مختلط در جنگل‌های سفارود در شمال ایران است که سلامت بوم‌سازگان را بدون اثرات منفی قابل توجه بر خاک حفظ می‌کند [۱۴]. نتایج مطالعه Paluots و همکاران (۲۰۲۴) در کشور استونی نشان داد که مناطق حفاظت‌شده در مقایسه با جنگل‌های مدیریت شده، حجم درختان خشک‌دار و غنای خزهای بیشتری دارد. این امر، تأثیر اندک اما مداوم استراتژی‌های حفاظتی در حفظ پیچیدگی و تنوع زیستی جنگل را نشان می‌دهد [۱۸]. Akhavan و Hassani (۲۰۲۳) با مقایسه توده‌های خالص راش با استفاده از شاخص پیچیدگی توده‌های جنگلی نشان دادند که این شاخص در جنگل‌های حفاظت‌شده با کیفیت اکولوژیک زیاد می‌تواند به‌عنوان مرجع یا خط پایه برای ارزیابی مناسب بودن تکنیک‌های مدیریتی برای حفظ یا افزایش ناهمگونی ساختاری توده‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۱۹].

با توجه به مدیریت جنگل به روش‌های تک‌گزینی و پناهی در توده‌های جنگلی هیرکانی طی سال‌های گذشته، این پرسش مطرح می‌شود که آیا خدمات بوم‌سازگان این جنگل‌ها در توده‌هایی که مورد مدیریت قرار گرفته‌اند با جنگل شاهد اختلاف معنی‌دار دارند؟ با توجه به اهمیت‌های محیط‌زیستی، اکولوژیک و اقتصادی جنگل‌های هیرکانی، لازم است تا بررسی جامع‌تری در رابطه با تأثیرات مدیریت‌های متفاوت جنگل بر شاخص‌های خدمات جنگل انجام شود. هدف این پژوهش، کمی‌سازی و بررسی شاخص‌های خدمات جنگل در جنگل‌های با دخالت‌های مدیریتی مختلف از جمله شیوه تک‌گزینی و تدریجی-پناهی در منطقه ناو اسالم تالش بود. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، می‌تواند به‌عنوان الگویی در ارزیابی مدیریت جنگل‌ها برای حوزه‌های مجاور و در برنامه‌ریزی‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به موارد فوق، اهداف این پژوهش عبارتند از: الف) کمی‌سازی انواع خدمات بوم‌سازگان جنگل، ب) بررسی تأثیر طولانی‌مدت مدیریت‌های تک‌گزینی و تدریجی-پناهی بر انواع خدمات بوم‌سازگان جنگل در مقایسه خدمات بوم‌سازگان جنگل‌های حفاظت شده.

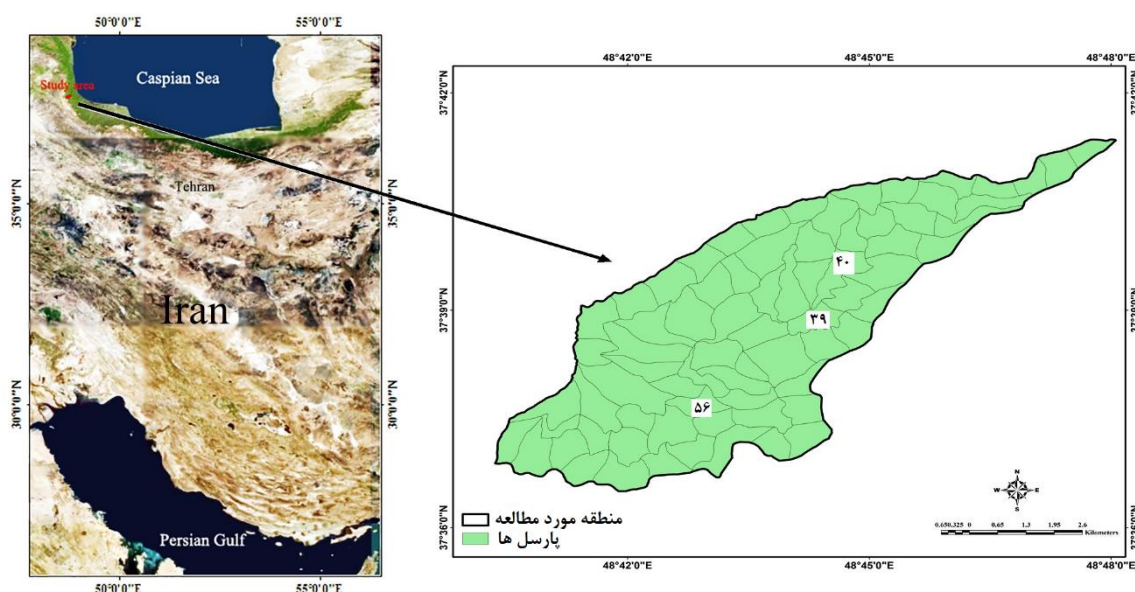
۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در جنگل‌های حوزه ناو اسالم و در پارسل ۳۹ (پارسل حفاظت شده به‌عنوان پارسل شاهد)، پارسل ۵۶ (برش تدریجی پناهی) و پارسل ۴۰ (برش تک‌گزینی) از سری دو انجام شد (جدول ۱). جنگل‌های این منطقه بین طول‌های جغرافیایی $48^{\circ} 49' 58''$ - $48^{\circ} 44' 36''$ و 48° درجه شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 42' 37''$ - $37^{\circ} 23' 37''$ درجه شمالی در استان گیلان واقع شده است (شکل ۱). این جنگل‌ها در حدود ارتفاعی ۲۸۰ تا ۲۱۲۰ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارش سالانه منطقه طرح، حدود ۸۴۸ میلی‌متر و مقادیر حداکثر و حداقل آن به‌ترتیب برابر ۱۱۴۲ و ۶۵۱ میلی‌متر است. میانگین دمای سالانه محدوده مطالعاتی، ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد و بیشترین آن به ماه مرداد و کمترین آن به ماه‌های دی و بهمن تعلق دارد. متوسط تعداد روزهای یخبندان منطقه، ۹۰ روز در سال بوده و دوره یخبندان ناحیه طرح از اواسط آبان‌ماه شروع شده و تا اواخر فروردین ماه ادامه می‌یابد. رسوبات و ته‌نشست منطقه طرح متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی است [۱۲]. مشخصات جغرافیایی و جنگل‌شناسی پارسل‌های مورد مطالعه در جدول یک ارائه شده است. از مهم‌ترین درختان این منطقه می‌توان به راش (*Fagus orientalis*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، افرا (*Acer insigne*)، بلوط (*Quercus castaneifolia*)، توسکا ییلاقی (*Alnus subcordata*)، شیردار (*Acer cappadocicum*)، نمدار (*Tilia begonifolia*)، آزاد (*Zelkova carpinifolia*)، داغداغان (*Celtis australis*)، گیلاس وحشی (*Cerasus avium*) و بارانک (*Sorbus torminalis*) اشاره نمود. مهم‌ترین درختچه‌های منطقه مورد مطالعه، سرخ و لیک (*Ilex spinigera*)، خاس (*Prunus divaricata*)، آلوچه (*Mespilus germanica*)، ازگیل (*Paliurus spina-christi*)، شیر پنبه (*Smilax excelsa*)، سرخس جنگلی (*Pteris cretica*)، سرخس عقابی (*Preridium aquilinum*)، توت فرنگی وحشی (*Fragaria vesca*) بود [۱۲].

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و جنگل‌شناسی پارسل‌های مورد مطالعه

پارسل حفاظتی	پارسل تک‌گزینی انفرادی	پارسل تدریجی پناهی
۱۶۰۰	۱۴۲۰	۱۴۰۰
ارتفاع از سطح دریا (متر)	شمال شرقی-شمال غربی	شمال شرقی-شمال غربی
جهت جغرافیایی	۰-۶۰ درصد	۰-۶۰ درصد
شیب زمین (درصد)	لومی رسی تا شنی	لومی-شنی
نوع خاک	۱۳۸۴	۱۳۷۳
آخرین سال برداشت	۲۲/۵	۶۷
حجم برداشت (مترمکعب در هکتار)	۹	۲۷
شدت برداشت (درصد)	۴۷	۴۵
مساحت (هکتار)	۳۲	۳۲
تعداد پلات برداشت شده		



شکل ۱. موقعیت پارسل‌های مورد مطالعه در سری دو ناو اسالم

۲-۲. روش مطالعه

با استفاده از روش نمونه‌برداری منظم-تصادفی و قطعه‌نمونه‌های ۱۰ آری در شبکه آماربرداری با ابعاد ۱۰۰×۱۵۰ متر، ۳۰ قطعه نمونه در هر پارسل برداشت شد. در هر قطعه‌نمونه علاوه بر اندازه‌گیری متغیرهای فیزیوگرافی توده (ارتفاع از سطح دریا، مقدار و جهت شیب زمین)، متغیرهای درصد تاج‌پوشش لایه درختی، درصد تاج‌پوشش لایه درختچه‌ای، درصد پوشش لایه علفی، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان (قطر برابر سینه مساوی یا بزرگ‌تر از ۷/۵ سانتی متر) اندازه‌گیری شدند. قطر درختان با نوار قطرسنج تا دقت میلی‌متر و ارتفاع درختان با دستگاه شیب‌سنج مدل سونتو تا دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند. همچنین، مشخصات همه درختان چیره (قطرتر از ۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری و برداشت شد. تنوع قطری درختان از رابطه ۱، تنوع ارتفاعی درختان از رابطه ۲، غنای گونه‌ای لایه‌های درختی، درختچه‌ای و علفی از رابطه ۳، حجم درختان زنده و خشک‌دار سرپا از جداول حجم محلی و حجم خشک‌دار افتاده از فرمول هوپر محاسبه شدند. شاخص پیچیدگی ساختاری از طریق رابطه ۴ محاسبه شد.

$$TDD = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن TDD: نشان‌دهنده تنوع قطری درختان (Tree Diameter Diversity)، P_i : نسبت تعداد درختان در طبقه قطری i به

تعداد کل درختان در تمام طبقات قطری در هر قطعه نمونه.

$$THD = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن THD: نشان‌دهنده تنوع ارتفاعی درختان (Tree Height Diversity)، P_i : نسبت تعداد درختان در طبقه ارتفاعی i به تعداد کل درختان در تمام طبقات قطری در هر قطعه نمونه.

$$R' = \frac{S-1}{\ln N} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن R: شاخص غنای گونه‌ای، S: تعداد گونه‌ای درختی در قطعه نمونه، N: تعداد کل پایه‌های درختی در قطعه نمونه.

$$SCI = \frac{TDD+THD+CLSR+SLSR+HLSR}{n} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن SCI: شاخص پیچیدگی ساختاری (Structural Compleity Index, SCI)، TDD: شاخص تنوع قطری درختان، THD: شاخص تنوع ارتفاعی درختان، CLSR: شاخص غنای گونه‌های درختی، SLSR: شاخص غنای گونه‌های درختچه‌ای، HLSR: شاخص غنای گونه‌های علفی و n: تعداد فاکتورهای تأثیرگذار بر شاخص پیچیدگی ساختاری توده ($n=5$) بود.

شاخص پیچیدگی ساختاری توده، یک مقدار کمی برای برآورد پیچیدگی ساختار یک توده جنگلی است. این شاخص به‌طور گسترده‌ای برای مقایسه نتایج اجرای مدیریت‌های متفاوت در جنگل استفاده می‌شود [۱۲]. این شاخص، متغیرهای چندگانه توصیف‌کننده ناهمگونی افقی و عمودی توده شامل تغییرات فراوانی، اندازه، تنوع و غنای گونه‌ای، همراه با فراوانی، پراکنش و کیفیت چوب مرده جنگل را ادغام می‌کند. مقدار بالای این شاخص، نشان‌دهنده پیچیدگی بیشتر توده جنگلی که همراه با مقدار بیشتر تنوع زیستی، کیفیت رویشگاه و عملکرد بوم‌سازگان است. در واقع، شاخص SCI، تعداد و فراوانی نسبی ویژگی‌های ساختاری، عملکرد و ترکیب را برای ترسیم بوم‌سازگان‌های جنگلی مرتبط می‌کند [۲۰]. پس از نمونه‌برداری و ثبت اطلاعات برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، بسته به نوع متغیرها و آزمون، توزیع پراکنش داده‌ها و واریانس‌ها، از انواع آزمون‌های پارامتریک و غیر پارامتریک استفاده شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون صورت گرفت. به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت جنگل بر شاخص‌های حفاظت زیستگاه، در صورت توزیع نرمال داده‌ها از تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای تفکیک میانگین‌ها، از آزمون توکی، و در صورت توزیع غیرنرمال داده‌ها از آزمون کروسکال-والیس و من‌ویتنی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

مقایسه میانگین درصد تاج‌پوشش درختان با استفاده از آزمون کروسکال-والیس نشان داد میانگین این متغیر در پارسل حفاظت شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو پارسل دیگر است (جدول ۲). چنین روندی برای متغیرهای میانگین درصد پوشش درختچه‌ای و میانگین درصد پوشش علفی هم مشاهده شد. همچنین مقادیر تعداد درختان در هکتار، قطر درختان، ارتفاع درختان، سطح مقطع درختان و حجم درختان در پارسل شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو پارسل دیگر بود، در حالی که تفاوت‌ها بین پارسل‌های تدریجی-پناهی و تک‌گزینی انفرادی، معنی‌دار نبودند.

نتایج نشان داد که درصد تاج‌پوشش درختی، درختچه‌ای و علفی در پارسل شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو پارسل دیگر بود (جدول ۲). همچنین این مقادیر در پارسل تک‌گزینی انفرادی هم به‌طور معنی‌داری بیشتر از پارسل تدریجی-پناهی بود. Tavanakr و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه بازایی ویژگی‌های خاک و شاخص‌های تنوع زیستی در جنگل‌های مدیریت‌شده شمال ایران به نتایج مشابهی دست یافتند [۱۲]. فراوانی گونه‌های درختی، درختچه‌ای و علفی همراه با تعداد کل در هکتار و غنای این متغیرها در پارسل شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از پارسل تک‌گزینی انفرادی و تدریج-پناهی بود، همچنین این مقادیر در پارسل تک‌گزینی انفرادی هم به‌طور معنی‌داری بیشتر از پارسل تدریج-پناهی بود. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که شیوه‌های مختلف جنگل‌شناسی (مانند

تک‌گزینی و تدریجی پناهی) تأثیر متفاوتی بر تراکم درختان در هکتار، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان نسبت به پارسل‌های شاهد دارند. مطالعات نشان داده‌اند که در مناطق شاهد، تراکم درختان، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان به‌طور طبیعی بیشتر است و ساختار جنگل دست‌نخورده باقی می‌ماند [۲۱] در حالی که در روش تک‌گزینی، به دلیل حذف گزینشی درختان، تراکم درختان، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان کاهش می‌یابد، اما این روش می‌تواند باعث بهبود کیفیت درختان باقیمانده شود [۲۲، ۲۳]. همچنین، در روش تدریجی-پناهی، به دلیل برداشت مرحله‌ای درختان، تراکم درختان، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان به‌صورت تدریجی کاهش می‌یابد، اما شرایط برای زادآوری طبیعی بهتر فراهم می‌شود [۲۴]. به‌طور کلی، پارسل‌های شاهد، بیشترین تراکم درختان را دارند، در حالی که شیوه‌های مدیریتی مانند تک‌گزینی و تدریجی-پناهی با کاهش تراکم همراه هستند. با این حال، این روش‌ها می‌توانند مزایای دیگری مانند بهبود باززایی و کیفیت جنگل را به‌همراه داشته باشند [۲۱]. برخی مطالعات هم تفاوت معنی‌داری بین متغیرهای کمی درختان در پارسل شاهد و تک‌گزینی گزارش نکرده‌اند [۲۲۵]، در حالی که مطالعه Lotfi و همکاران (۲۰۲۲) تأکید بر تأثیر شیوه‌های مدیریتی تدریجی-پناهی و تک‌گزینی بر متغیرهای رویشی در مقایسه با پارسل شاهد دارد [۲۶]. Hasanaznavrodi و Seyedzadeh (۲۰۱۳) بر تأثیر برش‌ها در هدایت جنگل از همسالی به ناهمسالی تأکید داشته‌اند [۲۶].

جدول ۲. ویژگی‌های جنگلشناسی توده (میانگین $\pm$ انحراف معیار) در پارسل‌های شاهد (حفاظتی)، تدریجی-پناهی و تک‌گزینی. حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $\alpha=0/05$ است.

پارسل شاهد	پارسل تدریجی-پناهی	پارسل تک‌گزینی انفرادی
درصد تاج‌پوشش درختی	۸۶/۰۹ $\pm$ ۴/۵۳ ^a	۸۱/۵۶ $\pm$ ۴/۷۳ ^b
درصد پوشش درختچه‌ای	۳۴/۲۱ $\pm$ ۴/۵۳ ^a	۱۹/۲۵ $\pm$ ۱/۷۴ ^b
درصد پوشش علفی	۲۸/۹ $\pm$ ۸/۳ ^a	۱۷/۷۵ $\pm$ ۱/۷۴ ^b
تراکم درختان (تعداد در هکتار)	۳۶۰/۶۲ $\pm$ ۶۰/۹۵ ^a	۳۱۲/۵۳ $\pm$ ۶۷/۵۹ ^b
قطر درختان (سانتی متر)	۴۴/۱۶ $\pm$ ۴۸/۱۱ ^a	۳۵/۴۶ $\pm$ ۲/۸۷ ^b
ارتفاع درختان (متر)	۲۶/۴۲ $\pm$ ۲/۱۰ ^a	۲۴/۰۶ $\pm$ ۱/۹۳ ^b
میانگین ارتفاع درختان چیره (متر)	۲۹/۲۸ $\pm$ ۲/۲۱ ^a	۲۷/۹۷ $\pm$ ۱/۲۸ ^a
سطح مقطع (مترمربع)	۵۲/۸۷ $\pm$ ۳۶/۵۳ ^a	۲۶/۷۴ $\pm$ ۱۲/۸۳ ^b
میانگین حجم توده (مترمکعب)	۴۰۷/۵۰ $\pm$ ۶۸/۸۸ ^a	۳۱۵/۶۵ $\pm$ ۶۸/۲۷ ^b

عملیات جنگل‌شناسی با ایجاد حفره‌های قطع در جنگل دسترسی به نور و سایر متغیرهای محیطی را افزایش می‌دهد و رشد گونه‌های حاشیه‌ای و پیشگام (Edge and pioneer species) را تقویت می‌کند، که بسته به شدت عملیات، ممکن است تنوع گیاهان را در جنگل افزایش دهد و در غیر اینصورت ممکن است جنگل مذکور تحت سلطه چند گونه مقاوم به سایه باشد [۲۸]. با این حال، اگر میزان اختلال بیش از حد زیاد باشد، تنوع گیاهی را در مقایسه با توده‌های مدیریت نشده کاهش می‌دهد.

میانگین شاخص تنوع قطری و ارتفاعی درختان به ترتیب در پارسل‌های حفاظتی، تک‌گزینی و تدریجی-پناهی، بیشترین مقدار بود در حالی که میانگین تعداد گونه‌های لایه درختی در پارسل‌های حفاظتی، تدریجی-پناهی و تک‌گزینی انفرادی دارای بیشترین مقدار بود. میانگین شاخص غنای گونه‌های درختی، درختچه‌ای و علفی به‌طور معنی‌داری در پارسل حفاظتی بیشتر از دو پارسل دیگر بود (جدول ۳). به‌رغم گذشت بیش از ۲۰ و ۳۰ سال از عملیات قطع در پارسل‌های تک‌گزینی انفرادی و تدریجی-پناهی، پارسل حفاظتی، شاخص تنوع زیستی بیشتری را نشان داد. این یافته با تحقیقات گسترده‌تری همسو است که نشان می‌دهد حفاظت جنگل از غنای گونه‌ای و تنوع ساختاری بیشتری پشتیبانی می‌کند و به افزایش تاب‌آوری بوم‌سازگان کمک می‌کند. مطالعات پیشین تأکید کرده‌اند که رابطه بین عدم مدیریت و افزایش تنوع زیستی، پیچیده‌تر از آن چیزی است که در ابتدا پیش‌بینی می‌شد. هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، فرا تحلیل Paillet و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که غنای گونه‌های درختی عموماً در توده‌های حفاظت‌شده بیشتر از جنگل‌های مدیریت‌شده است [۲۹]. این یافته‌ها توسط Schulze (۲۰۱۶) در جنگل‌های معتدل راش اروپایی تأیید شد [۳۰]. شیوه‌های مدیریت جنگل بر ساختار افقی و عمودی جنگل‌ها [۳۳] و همچنین ترکیب گونه‌ای [۳۴] تأثیر می‌گذارند. براساس نتایج این مطالعه،

شاخص‌های تنوع گونه‌های گیاهی برای درختان، درختچه‌ها و لایه علفی در پارسل حفاظت شده، تک‌گزینی انفرادی و تدریجی-پناهی همچنین، فراوانی و حجم درختان با قطر بزرگ که برای حفظ تنوع زیستی بوم‌سازگان جنگل بسیار مهم هستند، از همین الگو پیروی کردند. این تفاوت‌ها احتمالاً به برداشت درختان با قطر زیاد در طول چرخه‌های مدیریتی قبلی در توده‌هایی که تحت شیوه‌های تک‌گزینی و تدریجی-پناهی قرار گرفته‌اند، نسبت داده می‌شود. حذف درختان قطور نه‌تنها فراوانی آنها را کاهش می‌دهد، بلکه از رسیدن آنها به سن پیری نیز جلوگیری می‌کند، که برای تشکیل خشک‌دارهای سرپا و افتاده که از موجودات متنوع جنگلی پشتیبانی می‌کنند، حیاتی است [۱۲]. در بوم‌شناسی جنگل، به‌طور گسترده شناخته شده است که شیوه‌های مختلف مدیریتی، عوامل کلیدی تعیین‌کننده تنوع جنگل هستند و ساختار پیچیده‌تر جنگل به شدت با تنوع بیشتر گونه‌های گیاهی و جانوری مرتبط است [۳۵].

جدول ۳. شاخص‌های تنوع ساختاری توده (میانگین $\pm$ انحراف معیار) در پارسل‌های حفاظتی، تدریجی-پناهی و تک‌گزینی انفرادی. حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $\alpha = 0.05$ است.

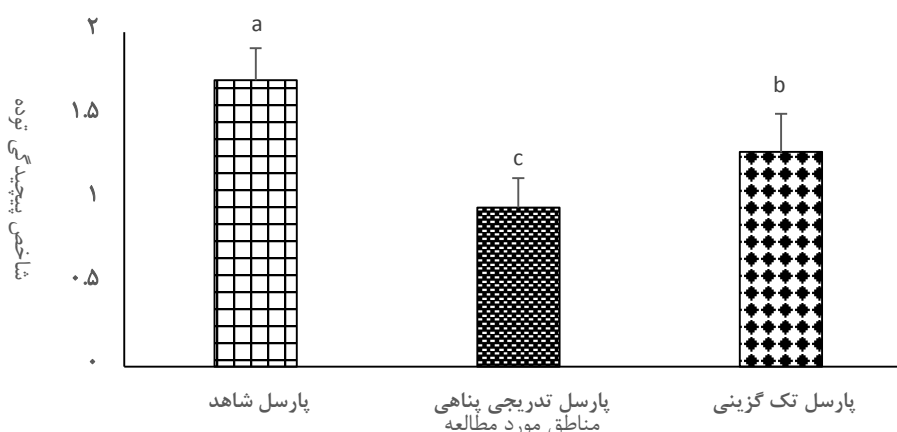
پارسل شاهد	پارسل تدریجی پناهی	پارسل تک‌گزینی
۱/۶۶±۰/۲۳ ^a	۱/۳۴±۰/۱۳ ^c	۱/۴۱±۰/۰۶ ^b
شاخص تنوع قطری درختان		
۱/۵۴±۰/۲۶ ^a	۱/۲۰±۰/۱۳ ^c	۱/۴۵±۰/۰۴ ^b
شاخص تنوع ارتفاعی درختان		
۴/۰۰±۱/۴۵ ^a	۳/۰۰±۱/۱۶ ^b	۱/۸۷±۰/۷۵ ^c
تعداد گونه‌های لایه درختی		
۳۶/۰۶±۶/۰۹ ^a	۳۱/۹۷±۹/۹۴ ^{ab}	۲۷/۶۸±۱۲/۴۲ ^b
تراکم درختان (اصله در پلات)		
۰/۸۴±۰/۴۰ ^a	۰/۵۸±۰/۳۴ ^b	۰/۳۳±۰/۵۲ ^c
شاخص غنای گونه‌ای لایه درختی		
۳/۵۳±۰/۸۸ ^a	۲/۱۶±۰/۸۵ ^b	۲/۸۷±۰/۹۱ ^b
تراکم درختچه‌ها (اصله در پلات)		
۱/۰۶±۰/۳۷ ^a	۰/۶۸±۰/۴۱ ^b	۰/۹۶±۰/۴۶ ^b
شاخص غنای گونه‌ای لایه درختچه‌ای		
۱۶/۳۱±۳/۵۳ ^a	۱۰/۹۰±۳/۵۱ ^b	۹/۲۸±۲/۷۹ ^b
تعداد گونه‌های لایه علفی		
۳/۴۷±۰/۴۷ ^a	۱/۵۸±۰/۵۳ ^b	۱/۱۸±۰/۶۰ ^c
شاخص غنای گونه‌ای لایه علفی		

شاخص‌های تعداد و حجم درختان خشک‌دار سرپا و افتاده و شاخص کل تعداد و حجم درختان خشک‌دار سرپا و افتاده هم روند مشابهی را طی کرد و دارای بیشترین مقدار معنی‌دار در پارسل حفاظتی در مقایسه با سایر پارسل‌ها بود (جدول ۴). این روند در مورد میانگین تعداد و حجم درختان قطور هم مشاهده شد. تعداد و حجم درختان خشک‌دار سرپا و افتاده در پارسل حفاظتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو پارسل دیگر بود (جدول ۳). همچنین، این مقدار در پارسل تک‌گزینی انفرادی هم به‌طور معنی‌داری بیشتر از تدریجی-پناهی بود. تحت مدیریت متمرکز تولید چوب پیش‌بینی می‌شود که برداشت درختان بر فراوانی این عناصر که برای تنوع زیستی جنگل حیاتی تلقی می‌شوند، تأثیر منفی می‌گذارد [۳۰]. Hansen و همکاران (۱۹۹۱) در جنگل‌های تحت مدیریت در شمال غربی ساحلی ایالات متحده [۳۲] و Tavanakr و همکاران (۲۰۲۵) در جنگل‌های هیرکانی ایران [۱۲] نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. براساس تحقیق انجام گرفته در جنگل‌های هیرکانی، خشک‌دارها نقش مثبت در تجدید حیات جنگل داشتند [۳۳].

جدول ۴. مقایسه فراوانی و حجم خشک‌دارها در پارسل‌های حفاظتی، تدریجی-پناهی و تک‌گزینی انفرادی. حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $\alpha = 0.05$ است.

پارسل شاهد	پارسل تدریجی پناهی	پارسل تک‌گزینی
۸/۳۴±۲/۵۴ ^a	۳/۷۵±۱/۲۴ ^c	۶/۸۴±۲/۷۵ ^b
فراوانی خشک‌دار سرپا (اصله در هکتار)		
۱۱/۰۱±۲/۶۷ ^a	۳/۲۱±۰/۸۴ ^c	۶/۹۲±۲/۷۸ ^b
حجم خشک‌دار سرپا (متر مکعب در هکتار)		
۱۲/۵۳±۱/۶۷ ^a	۴/۲۲±۱/۳۴ ^c	۸/۱۳±۲/۱۷ ^b
فراوانی خشک‌دار افتاده (اصله در هکتار)		
۵/۳۳±۰/۷۱ ^a	۳/۲۱±۰/۸۴ ^c	۳/۹۶±۱/۰۶ ^b
حجم خشک‌دار افتاده (متر مکعب در هکتار)		
۲۰/۳۲±۲/۶۴ ^a	۷/۸۰±۲/۳۲ ^c	۱۳/۹۷±۳/۱۲ ^b
فراوانی کل خشک‌دار (سرپا و افتاده، اصله در هکتار)		
۱۶/۳۳±۲/۶۵ ^a	۶/۴۲±۱/۲۷ ^c	۱۰/۲۱±۲/۵۲ ^b
حجم کل خشک‌دار (سرپا و افتاده، متر مکعب در هکتار)		
۴۹/۷۵±۱۱/۴۴ ^a	۲۴/۷۱±۱۰/۵۷ ^c	۳۷/۴۱±۷/۸۰ ^b
فراوانی درختان قطور (اصله در هکتار)		
۸۰/۳۰±۱۸/۴۶ ^a	۶۵/۵۰±۲۸/۰۵ ^b	۷۶/۶۸±۱۵/۹۸ ^a
حجم درختان قطور (متر مکعب در هکتار)		

نتایج آزمون تجزیه واریانس و آزمون توکی نشان داد که بین مقادیر شاخص پیچیدگی توده در سه پارسل مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) وجود دارد. بیشترین مقدار شاخص، در پارسل حفاظت شده (۱/۷۱) و کمترین مقدار آن، در پارسل تدریجی پناهی (۰/۹۵) مشاهده شد (شکل ۲). نتایج نشان می‌دهد که شاخص پیچیدگی توده علاوه بر ویژگی‌های عمومی توده، معیار امیدوار کننده‌ای برای کمی‌سازی ناهمگونی جنگل‌های هیرکانی است. در این مطالعه، شاخص پیچیدگی توده در پارسل حفاظت شده، تک‌گزینی و تدریجی-پناهی به ترتیب ۱/۷۱، ۱/۲۸، ۰/۹۵ بود (شکل ۲). Tavankar و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه خود در جنگل‌های هیرکانی این شاخص را برای مناطق مدیریت نشده و مدیریت شده به شیوه تک‌گزینی انفرادی و تدریجی-پناهی، به ترتیب ۱/۹۷، ۱/۴۷ و ۱/۰۸ گزارش کردند [۱۲]. Poldveer و همکاران (۲۰۲۱) مقدار این شاخص را در مناطق حفاظت شده غنی (Fertile conservation) و ضعیف (Poor conservation) به ترتیب ۷/۴۲ و ۳/۸۵ گزارش کردند [۳۶]. همچنین این محققان مقدار این شاخص را در جنگل‌های مدیریت شده غنی، ۴/۷۴، جنگل‌های مدیریت شده ضعیف، ۴ و در جنگل‌های احیا شده (Rehabilitation forests)، ۲/۶۴ عنوان کردند [۳۵]. Peck و همکاران (۲۰۱۴) مقدار این شاخص را در جنگل‌های سوزنی برگ سوئیس برای جنگل‌های همسال، ۱/۹۹-۴/۷۹ و برای جنگل‌های ناهمسال، ۴/۳۳-۷/۲۳ و میانگین ۲/۷۷ برای جنگل‌های همسال و ۵/۵۹ برای جنگل‌های ناهمسال ذکر کردند [۳۷]. مطالعه Zenner و همکاران (۲۰۱۱) در جنگل‌های صنوبر در فنلاند میزان این شاخص را در توده‌های همسال، ۲/۴۹ و برای توده‌های ناهمسال، ۵/۴۹ به دست آورد [۳۸]. Karamzadeh و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی تأثیر مدیریت تک‌گزینی بر ساختار توده در جنگل‌های شمال ایران نشان دادند که اجرای روش تک‌گزینی، ساختار توده‌ها را ساده‌تر کرده بود، همچنین با تغییراتی که در فرم رویشی درختان ایجاد کرده بود، احتمال آسیب برف و باد، به‌ویژه در درختان جوان، افزایش یافته است [۲۲].



شکل ۲. میانگین شاخص پیچیدگی توده در پارسل‌های مورد مطالعه

با وجود گذشت چندین سال از توقف فعالیت‌های جنگل‌شناسی در جنگل‌های مورد مطالعه، خدمات بوم‌سازگان جنگلی مرتبط با سلامت بوم‌سازگان، هنوز به سطح مشاهده شده در جنگل‌های حفاظت شده نرسیده‌اند. بنابراین، هنگام احیای فعالیت‌های جنگل‌شناسی در کشور، باید با حذف آنها از مدیریت، مقدار مشخصی از جنگل‌ها به‌طور کامل محافظت شوند. ثانیاً، مشخص شد که روش تک‌گزینی انفرادی در حفظ شاخص‌های تنوع زیستی مؤثرتر از روش تدریجی-پناهی بوده است، بنابراین، هنگامی که عملیات جنگل‌شناسی در جنگل‌های ایران از سر گرفته می‌شود، اجرای شیوه تک‌گزینی انفرادی قابل توصیه است. در اجرای شیوه تک‌گزینی، می‌توان تنظیماتی را برای اطمینان از ارائه متعادل خدمات مختلف بوم‌سازگان جنگلی انجام داد. به‌عنوان مثال، افزایش دوره تناوب جنگل‌شناسی از ۱۰ به ۲۰ سال، حفظ درختان با قطر بیشتر، جلوگیری از برداشت درختان خشکیده، درختان پوسیده و نمونه‌های نادر و به‌حداقل رساندن آسیب به درختان و خاک باقیمانده در طول عملیات جنگل‌شناسی می‌تواند به افزایش سلامت جنگل و ارائه خدمات بوم‌سازگان کمک کند.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه تأثیر سه شیوه جنگل‌شناسی شامل تدریجی-پناهی، تک‌گزینی انفرادی و حفاظت را بر برخی شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان در جنگل‌های راش آمیخته هیرکانی بررسی کرد. یافته‌ها، مبادله قابل توجهی را بین خدمات بوم‌سازگان براساس شدت مدیریت برجسته می‌کند. توده‌های حفاظت‌شده عملکرد بهتری را در حفاظت از زیستگاه نشان دادند که منعکس‌کننده مزایای کاهش مداخله برای تنوع زیستی و پایداری بلندمدت بوم‌سازگان جنگل است. نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص پیچیدگی ساختاری در سطح توده جنگلی به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف توده است. این شاخص نشان داد که ناهمگونی ساختار توده به متغیرهای مختلف پوشش درختی، درختچه‌ای و علفی بستگی دارد، که نشان می‌دهد تنوع گونه‌ای، تنوع ساختاری توده را افزایش می‌دهد. اگرچه این شاخص در حال حاضر برای پایش و اندازه‌گیری‌های متداول موجودی ممکن است بسیار پرهزینه باشد، اما می‌تواند برای آماربرداری‌های دوره‌ای و یا ارزیابی موفقیت اهداف حفاظت از جنگل مفید باشد و می‌تواند در آینده نزدیک به‌طور معمول اجرا شود.

۵. منابع

- [1] Seppelt, R., Dormann, C.F., Eppink, F.V., Lautenbach, S. & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: Approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 630-636.
- [2] Sing, L., Metzger, M.J., Paterson, J.S. & Ray, D. (2018). A review of the effects of forest management intensity on ecosystem services for northern European temperate forests with a focus on the UK. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 91(2), 151-164.
- [3] Pohjanmies, T., Triviño, M., Le Tortorec, E., Mazziotta, A., Snäll, T. & Mönkkönen, M. (2017). Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective. *Ambio*, 46(7), 743-755.
- [4] Martín-López, B. & Montes, C. (2010). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. In *Guía científica de Urdaibai*, 1, 13-32.
- [5] Mason, W. L. & Connolly, T. (2014). Mixtures with spruce species can be more productive than monocultures: Evidence from the Gisburn experiment in Britain. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 87(2), 209-217.
- [6] Biber, P., Borges, J. G., Moshhammer, R., Barreiro, S., Botequim, B., Brodrechtova, Y., ... & Sallnäs, O. (2015). How sensitive are ecosystem services in European forest landscapes to silvicultural treatment? *Forests*, 6(12), 1666-1695.
- [7] Clarke, N., Gundersen, P., Jönsson-Belyazid, U., Kjønaas, O. J., Persson, T., Sigurdsson, B. D., Stupak, I. & Vesterdal, L. (2015). Influence of different tree-harvesting intensities on forest soil carbon stocks in boreal and northern temperate forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 351, 9-19.
- [8] Luyssaert, S., Marie, G., Valade, A., Chen, Y.-Y., Njakou Djomo, S., Ryder, J., Otto, J., Naudts, K., Lansø, A. S., Ghattas, J. & McGrath, M.J. (2018). Trade-offs in using European forests to meet climate objectives. *Nature*, 562(7726), 259-262.
- [9] Thom, D. & Seidl, R. (2016). Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*, 91(3), 760-781.
- [10] Michalski, K., Wieruszewski, M., Starosta-Grala, M. & Adamowicz, K. (2023). Classification of financial risks in Polish modern forestry. Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty, Wood. *Research Papers. Reports. Announcements*, 66(212), 177426.
- [11] Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S. & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16.
- [12] Tavankar, F., Picchio, R., Venanzi, R., Latterini, F. & Nikooy, M. (2025). Restoring soil features and biodiversity indicators in managed forests to the levels of protected forests: After one silvicultural rotation period. *Forests*, 16(2), 274.

- [13] Sefidi, K. (2023). Rare species impacts on structural complexity index (SCI) in the Hyrcanian beech forests. *Forest Research and Development*, 9(2), 205-219.
- [14] Karamdoost Marian, B., Alijanpour, A., Banj Shafiei, A., Sasanifar, S. & Álvarez-Álvarez, P. (2024). Effects of single-tree selective harvest method on ecosystem services in a mixed temperate broadleaf forest in Iran. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7, 1461996.
- [15] Dai, E., Zhu, J., Wang, X. & Xi, W. (2018). Multiple ecosystem services of monoculture and mixed plantations: A case study of the Huitong experimental forest of Southern China. *Land Use Policy*, 79, 717-724.
- [16] Sasanifar, S., Alijanpour, A., Shafiei, A. B., Rad, J. E., Molaei, M. & Azadi, H. (2019). Forest protection policy: Lesson learned from Arasbaran biosphere reserve in Northwest Iran. *Land Use Policy*, 87, 104057.
- [17] Sasanifar, S., Alijanpour, A., Shafiei, A.B., Rad, J.E., Molaei, M. & Álvarez-Álvarez, P. (2024). Understanding how forest ecosystem services are affected by conservation practices and differences in elevation: A study in the Arasbaran biosphere reserve, Iran. *Ecological Engineering*, 203, 107230.
- [18] Paluots, T., Liira, J., Leis, M., Laarmann, D., Pöldveer, E., Franklin, J.F. & Korjus, H. (2024). Long-term cumulative effect of management decisions on forest structure and biodiversity in hemiboreal forests. *Forests*, 15(11), 1-22.
- [19] Akhavan, R. & Hassani, M. (2023). Quantifying the structure of pure beech forests using spatial structural indices (case study: Hyrcanian forests of Mazandaran province, Iran). *Forest Research and Development*, 9(2), 221-235.
- [20] McElhinny, C.; Gibbons, P.; Brack, B. & Bauhus, J. (2005). Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement *Forest Ecology and Management*. 2005, 218(1-3), 1-24
- [21] Picchio, R., Mercurio, R., Venanzi, R., Gratani, L., Giallonardo, T., Lo Monaco, A., Frattaroli, A.R. & Tavankar, F. (2018). Strip clear-cutting application and logging typologies for renaturalization of pine afforestation—A case study. *Forests*, 9(6), 366.
- [22] Karamzadeh, S., Nikooy, M., Abkenari, K. T., Tavankar, F., Lo Monaco, A. & Picchio, R. (2023). The relationship between stand structure and tree growth form—Investigating the effects of selection cuttings in mountainous mixed beech forests. *Forests*, 14(9), 1861.
- [23] Sohrabi, H., Jourgholami, M., Tavankar, F., Venanzi, R. & Picchio, R. (2019). Post-harvest evaluation of soil physical properties and natural regeneration growth in steep-slope terrains. *Forests*, 10(11), 1034.
- [24] Campetella, G., Canullo, R., Gimona, A., Garadnai, J., Chiarucci, A., Giorgini, D. & Barthä, S. (2016). Scale-dependent effects of coppicing on the species pool of late successional beech forests in the central Apennines, Italy. *Applied Vegetation Science*, 19(3), 474-485.
- [25] Espahbodi, K., Khorankeh, S. & Ghaffari, F. (2021). The impact of consecutive, shelter and single tree selection system on quantitative characteristics of oriental beech forest in the Muzisay section forest, plan of Haftkhal2, Neka forest. *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 209-220.
- [26] Lotfi, R., Hojjati, S. M., Pourmajidian, M.R. & Espahbodi, K. (2022). The effect of Silvicultural Methods on the Structural Characteristics of Forest Stand and Soil Properties in the Intermediate Hyrcanian Beech Forests (Case study: Alandan-Sari Series Forests). *Ecology of Iranian Forests*, 10(20), 11–22.
- [27] Hasanzadnavrodi, I. & seyedzadeh, S.H. (2013). Effects of Shelterwood Method on Some Important Forest Stands Features in Shafarood District Nine of Guilan. *Ecology of Iranian Forests*, 1(2), 41-56.
- [28] Schumann, M.E., White, A.S. & Witham, J.W. (2003). The effects of harvest-created gaps on plant species diversity, composition, and abundance in a Maine oak-pine forest. *Forest Ecology and Management*, 176(1-3), 543-561.
- [29] Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R.-J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastià, M.-T., Schmidt, W., Standovár, T., Vandekerckhove, K. (2010). Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: Meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology*, 24(1), 101-112.
- [30] Schulze, E. D., Aas, G., Grimm, G. W., Gossner, M. M., Walentowski, H., Ammer, C., Kühn, I., Bouriaud, O. & von Gadow, K. (2016). A review on plant diversity and forest management of European beech forests. *European Journal of Forest Research*, 135(1), 51-67.

- [31] Marage, D. & Lemperiere, G. (2005). The management of snags: A comparison in managed and unmanaged ancient forests of the Southern French Alps. *Annals of Forest Science*, 62(2), 135-142.
- [32] Hansen, A.J., Spies, T.A., Swanson, F.J. & Ohmann, J.L. (1991). Conserving biodiversity in managed forests. *BioScience*, 41(6), 382-392.
- [33] Taheri Abkenar, K., Mirzaei, M., Mohammadi, M.A., Saeidi, H.R. 2022. Effects of dead trees on natural regeneration of beech trees in different physiographic conditions (case study: Siahroud forests, Langaroud). *Journal of Forest Research and Development*, 8(3), 235-247.
- [34] North, M.P., Franklin, J.F., Carey, A.B., Forsman, E.D. & Hamer, T. (1999). Forest stand structure of the northern spotted owl's foraging habitat. *Forest Science*, 45(4), 520-527.
- [35] Nagaike, T. & Hayashi, A. (2004). Effects of extending rotation period on plant species diversity in *Larix kaempferi* plantations in central Japan. *Annals of Forest Science*, 61(3), 197-202.
- [36] Shimatani, K. (2001). On the measurement of species diversity incorporating species differences. *Oikos*, 93(1), 135-147.
- [37] Poldveer, E., Potapov, A., Korjus, H., Kiviste, A., Stanturf, J.A., 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.
- [38] Peck, J.E., Zenner, E.K., Brang, P. & Zingg, A. (2014). Tree size distribution and abundance explain structural complexity differentially within stands of even-aged and uneven-aged structure types. *European Journal of Forest Research*, 133(2), 335-346.
- [39] Zenner, E. K., Peck, J.E., Lähde, E. & Laiho, O. (2012). Decomposing small-scale structural complexity in even- and uneven-sized Norway spruce-dominated forests in southern Finland. *Forestry, An International Journal of Forest Research*, 85(1), 41-49.