Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Effects of human intervention intensities on the structural diversity of Caucasian Oak-Hornbeam stands in the Arasbaran forests

Kiomars Sefidi[*1] | Roghieh Jahdi[2] | Milad Safari[3] | Amin Asadi[4]

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: kiomarssefidi@gmail.com
2. Assistant Prof., Dept. of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: roghaye.jahdi@gmail.com
3. M.Sc. of Forest Science, Natural Resources and Watershed Management Office, East Azerbaijan Province, Tabriz, Iran. E-mail: safarimilad72@gmail.com
4. M.Sc. Student, Dept. of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: asadiamin62210@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 01.08.2022
Revised: 03.28.2022
Accepted: 04.18.2022

Keywords:
Diameter differentiation index,
Distance sampling,
Diversity,
Mingling index,
Uniform angel index

ABSTRACT

Background and Objectives: Forest degradation is a global phenomenon that destroys 10.6 million hectares of forests each year. Only 15 percent of the world's forests are not degraded, 20 percent have been destroyed, and 28 percent have been deforested. Therefore, studies focus on the effects of forest degradation on the structure and composition of forests worldwide. The goal of this study was to compare the structure of oak-hornbeam stands in different degradation intensities in the Arasbaran forest.

Materials and Methods: The distance method was used to calculate the structural diversity index in Arasbaran forests, using three indicators, including uniform angle, tree diameter differentiation, and mingling indices. Three one-hectare sampling plots were selected within the study area with the different intensity of human interventions, and four sampling plots were measured. In order to select the study points in a regular, systematic way, a grid was laid out, and the nearest tree to the intersection point of the gird as a reference tree was selected and measured with the four nearest neighbor trees. The diameter at the breast height (DBH), distance, and angle between trees were measured in structural groups.

Results: Calculating the uniform angle index showed a change in the distribution pattern of stands due to the increase in the intensity of destruction from random to clump and uniform distribution. The diameter differentiation index of trees showed that the value of this index was the lowest (0.12) in the moderate and highest (0.38) in the severe degradation intensity. The study results of the mingling species index showed that the highest value of this index was in the low degradation intensity (0.61) and the lowest value was in the moderate degradation intensity (0.08). Statistical analysis showed a significant difference ($P \leq 0.05$) between these indices in all stands. Calculation of the structural diversity index also showed that the highest structural diversity was in the stands with low degradation intensity (0.5). The stands under medium degradation intensity had the lowest structural diversity index (0.14).

Conclusion: Planning to reduce human interference should be prioritized considering the effects of human degradation on the structure of the Arasbaran forest.

Cite this article: Sefidi, Kiomars, Jahdi, Roghieh, Safari, Milad, Asadi, Amin. 2022. Effects of human intervention intensities on the structural diversity of Caucasian Oak-Hornbeam stands in the Arasbaran forests. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29 (1), 59-75.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2022.19826.1954
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

تأثیر شدت تخریب‌های انسانی بر تنوع ساختاری توده‌های بلوط – ممرز در جنگل‌های ارسباران

کیومرث سفیدی*[۱] | رقیه جهدی[۲] | میلاد صفری[۳] | امین اسدی[٤]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: kiomarssefidi@gmail.com

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: roghaye.jahdi@gmail.com

۳. کارشناس‌ارشد علوم جنگل، اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران. رایانامه: safarimilad72@gmail.com

٤. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: asadiamin62210@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۰/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۱/۲۹

واژه‌های کلیدی:
تنوع ساختار،
روش فاصله‌ای،
شاخص آمیختگی گونه،
شاخص تمایز قطری،
شاخص زاویه یکنواخت

چکیده

سابقه و هدف: تخریب جنگل‌ها پدیده‌ای جهانی است که درنتیجه آن هرساله ۱۰/٦ میلیون هکتار از سطح جنگل‌های دنیا کاهش می‌یابند. به‌طوری‌که تنها ۱۵ درصد جنگل‌های جهان دست‌نخورده، ۲۰ درصد تخریب‌شده و ۲۸ درصد نیز جنگل‌زدایی شده‌اند. ازاین‌رو مطالعات در سراسر جهان بر روی بررسی اثر انواع تخریب‌ها بر ساختار و ترکیب جنگل‌ها تمرکز دارند. پژوهش حاضر با هدف مقایسه ساختار توده‌های بلوط – ممرز از نظر اثرات میزان تخریب و بیان ویژگی‌های ساختاری این تیپ در جنگل‌های ارسباران انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور محاسبه شاخص تنوع ساختاری در توده‌های بلوط – ممرز در جنگل‌های ارسباران، بر اساس روش فاصله‌ای و با استفاده از سه شاخص زاویه یکنواخت، تمایز قطری و آمیختگی مینگلینگ، از روش نمونه‌برداری فاصله‌ای استفاده شد. در هر منطقه با شدت متفاوت از تخریب انسانی، قطعه‌ای به مساحت یک هکتار انتخاب شد. برای تعیین محل نمونه‌برداری، شبکه آماربرداری منظم – تصادفی در داخل قطعات یک هکتاری پیاده و نزدیک‌ترین درخت به محل تقاطع اضلاع شبکه به همراه چهار درخت همسایه در نزدیک‌ترین فاصله اندازه‌گیری شدند. به‌منظور محاسبه شاخص‌ها علاوه بر قطر درختان در ارتفاع برابرسینه، فاصله و زاویه بین درختان نیز ثبت شد. درنهایت تنوع ساختاری در چهار منطقه مطالعاتی محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج محاسبه شاخص زاویه یکنواخت نشان داد که الگوی پراکنش درختان توده با افزایش میزان تخریب از تصادفی به کپه‌ای و یکنواخت تغییر کرد. شاخص تمایز قطری درختان

نشان داد که مقدار این شاخص در توده با دست‌خوردگی متوسط کم‌ترین (۰/۱۲) و در توده با دست‌خوردگی شدید بیش‌ترین (۰/۳۸) مقدار بود. بیش‌ترین مقدار شاخص آمیختگی گونه‌ای در توده با دست‌خوردگی کم (۰/٦۱) و کم‌ترین مقدار آن در توده با دست‌خوردگی متوسط (۰/۰۸) مشاهده شد. آنالیز آماری تفاوت معنی‌دار را بین این شاخص‌ها در بین مناطق نشان داد. محاسبه شاخص تنوع ساختاری نیز نشان داد که بیش‌ترین تنوع ساختاری در توده با دست‌خوردگی کم (۰/۵) بود و توده‌های با دست‌خوردگی متوسط دارای کمترین مقدار تنوع ساختاری (۰/۱٤) بودند.

نتیجه‌گیری: شدت‌های مختلف تخریب بر تنوع ساختاری توده‌های بلوط – ممرز اثر معنی‌داری را داشت. شاخص تنوع ساختاری از ترکیب سه شاخص نشان داد که ساختار در توده‌های با دست‌خوردگی کم و خیلی کم از تنوع بیش‌تری نسبت به توده‌های با دست‌خوردگی متوسط و زیاد برخوردار بود که به‌این‌ترتیب توده‌های با دست‌خوردگی‌های کم‌تر همان‌طور که انتظار می‌رفت دارای تنوع ساختاری متوسط رو به بالا بوده و توده‌های بیش‌تر تخریب‌شده از تنوع کم‌تری برخوردار بودند؛ بنابراین با توجه به آثار این تخریب انسانی بر ساختار جنگل‌ها در ارسباران باید برنامه‌ریزی در جهت شناسایی مناطق با بیش‌ترین میزان تخریب و اقدام برای کاستن از دخالت‌های انسانی در اولویت قرار گیرد.

استناد: سفیدی، کیومرث، جهدی، رقیه، صفری، میلاد، اسدی، امین (۱۴۰۱). تأثیر شدت تخریب‌های انسانی بر تنوع ساختاری توده‌های بلوط - ممرز در جنگل‌های ارسباران. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۹ (۱)، ۵۹-۷۵.
DOI: 10.22069/JWFST.2022.19826.1954

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

به دلیل رشد سریع جمعیت و افزایش نیازمندی‌ها به منابع جنگلی، مناطق وسیعی از جنگل‌ها تحت شدت‌های مختلف تخریب قرار گرفته‌اند و این تخریب با سرعت هشداردهنده‌ای در حال افزایش است. به‌طوری‌که تنها ۱۵ درصد جنگل‌های جهان دست‌نخورده، ۲۰ درصد تخریب‌شده و ۲۸ درصد نیز جنگل‌زدایی شده‌اند (٤).

ساختار توده‌های جنگلی عملکرد و ترکیب گونه‌ای جنگل را تعیین می‌کند و تخریب جنگل رویدادی است که طی آن ساختار و ترکیب جوامع درختی به‌شدت تغییر می‌کند و شدت‌های مختلف تخریب از کم به زیاد می‌تواند دارای آثار مثبت و منفی باشد. به‌طوری‌که حتی تخریب متوسط می‌تواند تنوع ساختاری یک توده جنگلی را افزایش دهد، درحالی‌که تخریب شدید توالی را در بوم‌سازگان جنگلی به‌شدت به تأخیر می‌اندازد. ازاین‌رو بررسی انواع شدت‌های تخریب و آثار آن بسیار مهم و ضروری است (٦) و آگاهی از مقدار و موقعیت تخریب جنگل و ارائه الگوی آثار تخریب بر ویژگی‌های کمی در توده‌های جنگلی در معرض تخریب، برای برنامه‌ریزان و مدیران بخش منابع طبیعی بسیار ضروری است (۱۰). جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها در مناطق مختلف کشور سبب شده است که امروزه جنگل‌های کشور، اغلب به حالت شاخه‌زاد و گاهی مخروبه در آمده است (۹، ١٦). اقدامات تخریبی شامل قطع، سرشاخه‌زنی و غیره در رشد طبیعی درختان ایجاد اختلال می‌کند و به دلیل کاهش تاج پوشش درختان، خاک جنگل را در معرض فرسایش قرار می‌دهد و موجب اختلال و تهدید تنوع زیستی شده و تغییر ساختار افقی و عمودی جنگل می‌شود؛ بنابراین درک صحیح از ارتباط بین بوم‌سازگان جنگل و آثار انسانی برای فعالیت‌های مدیریتی و حفاظتی بسیار مهم است و بوم‌شناسان و مدیران منابع طبیعی توجه زیادی به ارتباط بین تخریب و تنوع توده‌های جنگلی نشان می‌دهند (۱۷).

بررسی وضعیت جنگل‌های ارسباران در دو دوره زمانی در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری نشان داده است که مساحت منطقه در دوره زمانی اول از ٤۰/۲ درصد به ۳۵ درصد کاهش یافته است و در دوره زمانی دوم نیز ۳۳/٤ درصد از مساحت آن دست رفته است که درمجموع نشان‌دهنده افزایش ۱/۵ برابری تخریب جنگل در ارسباران بوده است. این تغییرات کاربری‌های اجتماعی- اقتصادی شامل تبدیل جنگل به مرتع، زمین کشاورزی و مناطق مسکونی بوده است (۳).

ساختار جنگل تحت‌تأثیر فرآیندهایی مانند رقابت، شرایط زیستگاهی و تخریب است و روش‌های جنگلداری نوین از مطالعه ساختار با اهداف حفاظت از تنوع ساختاری بوم‌سازگان جنگلی استفاده می‌کنند. اطلاع از وضعیت فعلی ساختار، تکامل طبیعی آن و تغییرات ناشی از آن ضروری است و برای رسیدن به ساختار مطلوب با شناخت ساختار تحت تغییرات طبیعی یا دستکاری انسانی به شناخت روابط مؤثر مدیریتی می‌انجامد (۱).

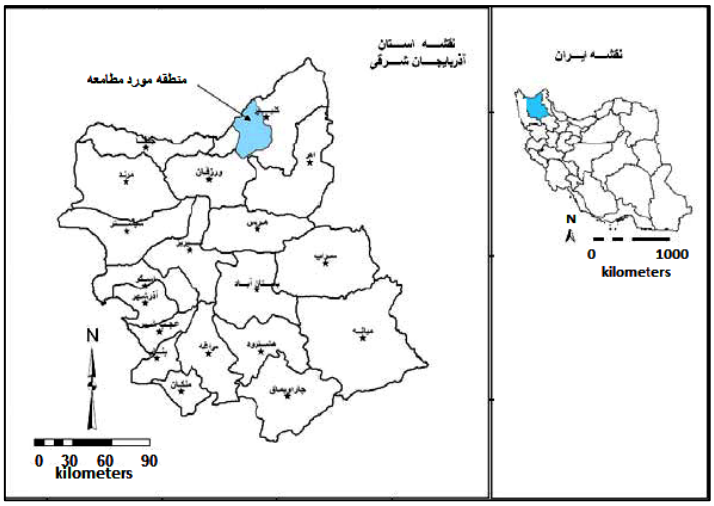
در مطالعات داخلی، بررسی اثر تخریب بر وفور و تنوع گونه‌های گیاهی در سه نوع دست‌خوردگی کم، متوسط و شدید در شهرستان بانه نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای در مناطق کم‌تر دست‌خورده بوده و کم‌ترین آن‌ها در مناطق با تخریب شدید بود (۱۷). هم‌چنین، بررسی الگوی پراکنش مکانی در توده‌های دارمازو و وی‌ول در استان آذربایجان غربی در توده‌های تخریب‌شده و کم‌تر دست‌خورده نشان داده است که تخریب سبب تغییر الگوی پراکنش این توده‌ها شده است و در

توده‌های کم‌تر دست‌خورده به ترتیب کپه‌ای و متمایل به تصادفی برای دارمازو و وی ول بوده درحالی‌که در مناطق تخریب‌شده به الگوی کپه‌ای تبدیل شده‌اند (۵). کمی‌سازی ویژگی‌های ساختاری توده‌های انجیلی در جنگل نوشهر، آمیختگی کم و خالص بودن این توده و تمایز قطری ناهمگن را نشان داد که درنتیجه گونه انجیلی در رویشگاه موجود در رقابت با سایر گونه‌ها موفق بوده است (۱۸). مطالعه اثرات آشفتگی‌های انسانی (دخالت‌ها) بر شاخص پیچیدگی ساختار در جنگل‌های ارسباران نشان داده است که این تخریب‌ها منجر به همگنی و کاهش پیچیدگی در ساختار جنگل‌ها شده است (۱۹). ساختار توده‌های بلوط اوری تحت‌تأثیر فیزیوگرافی زمین و ارتفاع از سطح دریا در ارسباران نشان داده است که ارتفاع عامل مؤثر مهمی در این توده‌ها بوده و بیش‌ترین قطر برابرسینه درختان در ارتفاعات بالاتر به‌دست‌آمده است. درحالی‌که تراکم توده با افزایش ارتفاع ارتباط معکوسی داشته است و شاخص‌های شکل زمین ارتباط بیش‌تری با ویژگی‌های تراکم و تاج درختان در ارتفاعات بالاتر داشتند. هم‌چنین الگوی پراکنش در بخش‌های با فیزیوگرافی مختلف، متفاوت بوده است (۱۵). گزارش تنوع ساختاری در جوامع گونه کرب در جنگل ارسباران، به‌منظور شناسایی وضعیت توده‌های این گونه بر اساس شاخص‌های آمیختگی گونه، زاویه یکنواخت و تمایز قطری نشان داده که این شاخص‌ها برای شناخت روابط بوم‌شناسی بین گونه‌های مختلف درختی در جهت احیای توده مناسب هستند (۱). بررسی ساختار مکانی گونه بلوط سیاه در ارسباران به روش نمونه‌برداری بدون قاب، الگوی پراکنش مکانی این گونه را در توده‌های خالص به‌صورت کپه‌ای تا یکنواخت و آمیختگی بالای این گونه را با سایر گونه‌های همراه در جنگل ارسباران نشان داد (۱٤). بررسی اثر تخریب بر الگوی مکانی گونه‌های درختی در جنگل‌های همیشه‌سبز استوایی در ویتنام نشان داده است که جنگل‌های دست‌نخورده بیش‌ترین فراوانی گونه‌های درختی و بیش‌ترین سطح مقطع در هکتار را داشتند و کم‌ترین غنای گونه‌ای در منطقه با تخریب شدید مشاهده شد. تمامی توده‌های موردمطالعه در مقیاس کوچک تبدیل به الگوی کپه‌ای شده بودند؛ بنابراین تخریب بر ویژگی‌های کمی، تنوع و غنای گونه‌ای تأثیر داشته و بر ساختار توده در مقیاس وسیع اثر خواهد داشت (۱۲). آثار سه سطح تخریب شامل شدید، متوسط و کم بر تنوع و ترکیب توده‌های جنگلی در هیمالیا در کشور هند نشان داد که تعداد پایه در هکتار از توده‌های با تخریب کم به زیاد، کاهش یافت. درحالی‌که سطح مقطع درختان در توده‌های با تخریب شدید بیش‌تر بود و در توده‌های با تخریب متوسط، کم‌ترین بود (۲۰). آثار رژیم‌های تخریب در جنگل‌های *Shorea robusta* در کشور نپال نشان داده است که غنای گونه‌ای، تنوع، یکنواختی، تراکم و سطح مقطع در توده‌های تحت حفاظت و با شدت تخریب‌های بسیار ناچیز، بیش‌تر و مقدار زادآوری کم‌تری داشت. تخریب متوسط آثار مطلوبی روی زادآوری نشان داد و این موضوع از آثار تخریب متوسط بوده و نشان‌دهنده بازسازی توده است. ازاین‌رو برنامه مدیریتی برای رساندن رژیم‌های تخریب شدید به متوسط و کم، اولویت دارند (٦).

علی‌رغم مدیریت بر مبنای حفاظت در سطح جنگل‌های ارسباران، اما هنوز شدت‌های متفاوت از تخریب در این جنگل‌ها از گذشته تاکنون مشاهده می‌شود. هدف پژوهش حاضر، بررسی میزان اثرات این تخریب‌ها در شرایط دست‌خوردگی با شدت متفاوت و مقایسه اثرات آن بر ساختار توده‌های بلوط – ممرز در مناطق مختلف جنگل‌های ارسباران از نظر میزان تخریب بود تا با درک بهتر از آثار تخریب بر این جوامع جنگلی، بتوان تصمیمات مؤثری در جهت حفاظت و احیای این جنگل‌ها گرفته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه: جنگل‌های ارسباران در شمال استان آذربایجان شرقی قرار گرفته‌اند (شکل ۱). به‌دلیل شرایط اکولوژیک، فون و فلور خاص خود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این جنگل‌ها جزو جنگل‌های تجاری نیستند و از جوامع مختلف بلوط – ممرز با درختان غالب بلوط اوری (*Quercus macranthera* C.A.Mey) و ممرز (*Carpinus betulus* L.) تشکیل شده‌اند که گونه‌های همراه آن گردو، گیلاس، ملچ و افرا می‌باشند. زیراشکوب توده‌های جنگلی بیش‌تر از زغال‌اخته، بداغ، گوجه وحشی و هفت کول بوده و در مناطقی که تعرضات انسان و دام باعث دگرگونی ترکیب این جنگل‌ها شده، گونه‌های سیاه‌تلو، نسترن، ولیک و تمشک جای سایر گونه‌ها را گرفته‌اند. براساس بررسی‌ها توده‌ها غالباً جوان و دانه و شاخه‌زاد با فراوانی بیشتر شاخه‌زادها است. مهم‌ترین تیپ‌های جنگلی موجود در منطقه مطالعه شامل تیپ‌های بلوط خالص، ممرز خالص و بلوط – ممرز است (۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه.

Figure 1. Geographical location of the study area.

روش پژوهش: با جنگل گردشی و هم‌چنین با کمک از نظرات کارشناسان و متخصصین جنگل‌شناسی در منطقه، چهار جامعه بلوط – ممرز با شرایط محیطی به نسبت یکنواخت از نظر شرایط رویشگاهی مانند شیب، جهت و ارتفاع و متفاوت از نظر تخریب‌های انسانی انتخاب شدند. توده‌های جنگلی انتخاب‌شده، بر اساس ویژگی‌هایی هم‌چون شدت و نشانه‌های چرای دام، فرم رویشی غالب درختان (دانه‌زاد/ شاخه‌زاد)، نشانه‌های کت‌زنی و برش بر روی پایه‌های درختی، ابعاد درختان، تراکم توده، وضعیت کمی و کیفی تاج پوشش، فاصله از جاده، فاصله از روستا و فاصله از مناطق گردشگری دارای درجه‌های مختلفی از دست‌خوردگی شامل چهار سطح دست‌خوردگی خیلی‌کم، کم، متوسط و شدید طبقه‌بندی شدند (جدول ۱). توده‌هایی با وضعیت میانی نسبت به دو وضعیت قبلی، در دو گروه شدت تخریب متوسط و شدت تخریب کم طبقه‌بندی شدند.

جدول ۱- شرایط انتخاب مناطق موردمطالعه بر اساس شدت مختلف تخریب.

Table 1. Conditions for selecting study areas based on the different degradation intensity.

منطقه Region	شدت تخریب Degradation intensity
دست‌خوردگی بسیار کم Very low degradation	توده‌هایی نزدیک به ساختار طبیعی با فرم رویشی دانه‌زاد بیش‌تر، درختان با ابعاد بزرگ‌تر، تراکم بیش‌تر توده، تاج پوشش بسته، کم‌ترین نشانه از چرا و برش درختان و دور از روستاها
دست‌خوردگی کم Low Degradation	توده‌هایی با فرم رویشی دانه‌زاد بیش‌تر و شاخه‌زاد کم‌تر، درختان با ابعاد متوسط، تراکم متوسط توده، تاج پوشش نسبتاً متراکم، نشانه‌های کم از چرا و برش درختان و فاصله متوسط از روستاها
دست‌خوردگی متوسط Moderate Degradation	توده‌هایی تحت تخریب متوسط انسانی شامل سرشاخه‌زنی، آثار چرای متوسط دام، تراکم متوسط توده و با فاصله نسبتاً نزدیک به روستا و جاده
دست‌خوردگی زیاد Sever Degradation	توده‌هایی تحت تخریب شدید انسانی شامل قطع و سرشاخه‌زنی، چرای زیاد دام، تراکم بسیار اندک و با فاصله نزدیک به روستا و جاده

برای بررسی ویژگی‌های ساختاری در این مطالعه از روش فاصله‌ای (Distance Method) استفاده شد. در ابتدا در تعداد چهار قطعه یک هکتاری با تیپ بلوط، ممرز و با نشانه‌های درجات متفاوت از تخریب انتخاب و با روش بدون پلات بررسی شد. به‌منظور انتخاب درختان شاهد و محل نمونه‌برداری در هر منطقه و قطعه، شبکه‌ای با ابعاد ۲۵×۲۵ متر پیاده و در محل تقاطع اضلاع نزدیک‌ترین درخت به مرکز تقاطع به همراه چهار درخت همسایه اندازه‌گیری شدند. درمجموع در هر هکتار ده محل نمونه‌برداری به روش فاصله‌ای با چهار درخت همسایه نمونه‌برداری شد. اندازه‌گیری قطر برابرسینه شامل درختان با قطر بیش‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر بود و همچنین فاصله و آزیموت چهار درخت همسایه در هر نقطه نمونه‌برداری به‌منظور برآورد شاخص‌ها ثبت شد (۷، ۱۸). ساختار مکانی درختان جنگلی به‌طور وسیعی توسط ارتباط درختان با یکدیگر تعیین می‌شود که در سال‌های اخیر انواع شاخص‌ها به این منظور ارائه شده است (۱۲). در این پژوهش به‌منظور بررسی شاخص تنوع ساختاری توده‌های موردمطالعه، از سه شاخص زاویه یکنواخت (رابطه ۱)، تمایز قطری (رابطه ۲) و شاخص آمیختگی مینگلینگ (رابطه ۳) استفاده شد.

شاخص زاویه یکنواخت بر اساس زاویه بین درختان مرجع و همسایه عمل می‌کند و به بررسی موقعیت مکانی درختان می‌پردازد. ارزش‌های کم‌تر این شاخص نشان‌دهنده الگوی پراکنده و تصادفی درختان و با افزایش به‌سمت مقدار یک، الگوی کپه‌ای در توده ظاهر می‌شود.

$$W_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} V_{ij} \qquad (۱)$$

که در آن، Wi شاخص زاویه یکنواخت، i گونه مرجع و j گونه همسایه، V_{ij} برابر با یک خواهد بود اگر که زاویه بین درخت مرجع و درخت همسایه (α_i) کم‌تر از زاویه مرجع باشد (α_0 در حالت چهار درخت همسایه برابر با ۹۰ درجه است)، V_{ij} برابر با صفر خواهد بود اگر که زاویه بین درخت مرجع و درخت همسایه بیش‌تر از زاویه مرجع باشد.

شاخص ابعاد قطر برابرسینه یا تمایز قطری به بررسی چیدمان قطری درختان می‌پردازد. در این شاخص نیز مقادیر بالاتر نشان‌دهنده غالبیت گونه مرجع نسبت به درختان همسایه است.

$$TD_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} V_{ij} \quad (۲)$$

که در آن، Ti شاخص تمایز قطری، i گونه مرجع، j گونه همسایه، V_{ij} برابر با یک خواهد بود اگر که قطر برابرسینه درخت مرجع مساوی و بزرگ‌تر از درخت همسایه باشد، V_{ij} برابر با صفر خواهد بود اگر که قطر درخت مرجع کوچک‌تر از درخت همسایه باشد.

شاخص آمیختگی گونه به بررسی میزان اختلاط گونه‌های درختی در توده می‌پردازد. ارزش‌های کم این شاخص نشان‌دهنده آمیختگی کم و ارزش‌های بالا نشان‌دهنده آمیختگی بیش‌تر گونه‌ای در توده است. به‌طوری‌که در ارزش صفر همه همسایه‌ها مشابه درخت مرجع هستند، ۰/۲۵ یک همسایه مشابه درخت مرجع است، ۰/۵ دو همسایه مشابه درخت مرجع است، ۰/۷۵ سه همسایه مشابه درخت مرجع است و ۱ هیچ‌یک از درختان همسایه با گونه مرجع یکسان نیستند.

$$M_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} V_{ij} \quad (۳)$$

که در آن، Di شاخص آمیختگی گونه مینگلینگ، i گونه مرجع، j گونه همسایه، V_{ij} برابر با یک خواهد بود اگر که درخت مرجع و چهار همسایه از یک گونه نباشند، V_{ij} برابر با صفر خواهد بود اگر که درخت مرجع و چهار همسایه از یک گونه باشند (۸، ۱۸).

شاخص تنوع ساختاری ترکیبی (رابطه ٤) از مجموع سه شاخص زاویه یکنواخت، آمیختگی گونه‌ای و تمایز قطری به نسبت‌های مختلف و به‌ترتیب زیر محاسبه شد (۱):

$$SI = (TD_i \times w_1) + (M_i \times w_2) + (W_i \times w_3) \quad (٤)$$

که در آن، SI شاخص تنوع ساختاری ترکیبی، i گونه مرجع، w_1=۰/۲، w_2=۰/۵، w_3=۰/۳ ضرایب وزن‌دهی، TD_i، M_i و W_i به‌ترتیب شاخص‌های تمایز قطری، آمیختگی گونه و زاویه یکنواخت هستند.

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف تأیید شد و مقایسه میانگین شاخص‌های زاویه یکنواخت، تمایز قطری، آمیختگی گونه مینگلینگ و تنوع ساختاری ترکیبی در نقاط نمونه‌برداری و در چهار منطقه موردمطالعه با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه از طریق آزمون توکی در سطح خطای ۰/۰۵ در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج

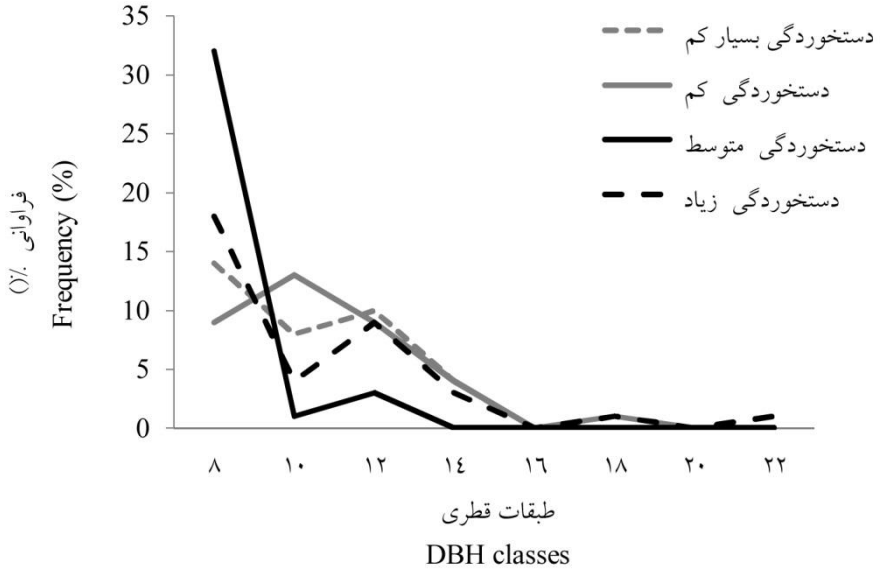
جدول ۲ نتایج مشخصات کمی ساختار توده به تفکیک مناطق موردمطالعه را نشان می‌دهد. هم‌چنین درصد اختلاط گونه‌ای در توده‌های موردمطالعه نشان داد که در توده با دست‌خوردگی بسیار کم به ترتیب ۲۳٪ گونه ممرز و ۷۸٪ گونه بلوط، در توده با دست‌خوردگی کم ٤۰٪ از گونه ممرز و ٦۰٪ از گونه بلوط، در توده با دست‌خوردگی متوسط ۷٪ از گونه ممرز و ۹۳٪ از گونه بلوط و در توده با دست‌خوردگی زیاد نیز به ترتیب ۲۰٪ از گونه ممرز و ۸۰٪ درصد از گونه بلوط حضور داشتند.

جدول ۲- مقادیر میانگین مشخصات کمی **در توده‌های با شدت‌های مختلف تخریب.**

Table 2. Mean values of quantitative characteristics in stands with different degradation intensities.

تعداد در هکتار (n/ha) Trees number per hectare	میانگین ارتفاع (متر) Average of height (m)	میانگین قطر برابرسینه (سانتی‌متر) Average of D.B.H. (cm)	منطقه Region
۲۷۸	٤/۳۱	۱۱/۷۷	دست‌خوردگی زیاد Sever Degradation
۳۹۳	۷/۱۰	۱۳/۳۱	دست‌خوردگی متوسط Moderate Degradation
۳۵٦	٦/۳۹	۱۳/۳۲	دست‌خوردگی کم Low Degradation
۵۱۹	٦/٦۱	۱۲/٦۸	دست‌خوردگی بسیار کم Very low degradation

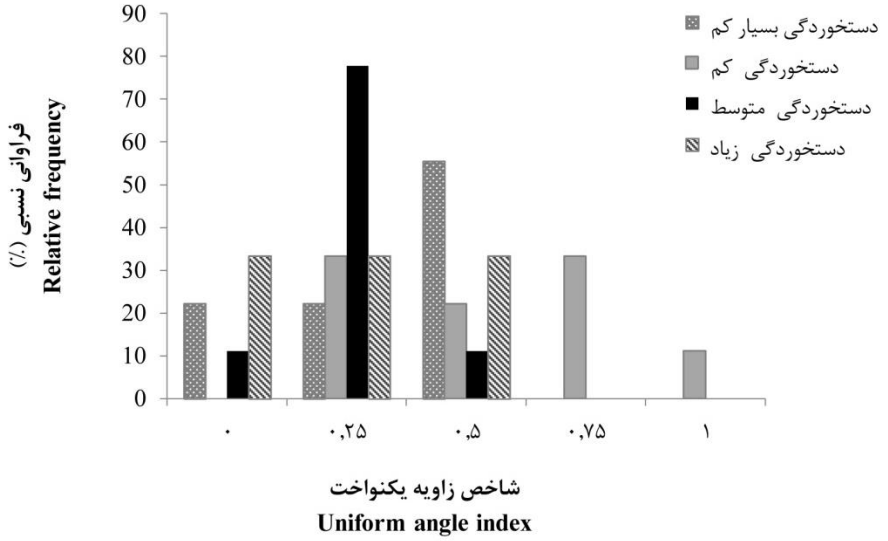
نمودار تعداد در طبقات قطری در مناطق مورد مطالعه نشان داد که درختان در محدوده طبقات قطری ۸ تا ۲۲ سانتی‌متر قرار داشتند و طبقات قطری پایین‌تر فروانی بیش‌تری در تمام مناطق داشتند (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار تعداد در طبقات قطری در مناطق موردمطالعه.

Figure 2. The number in D.B.H. classes in the study areas.

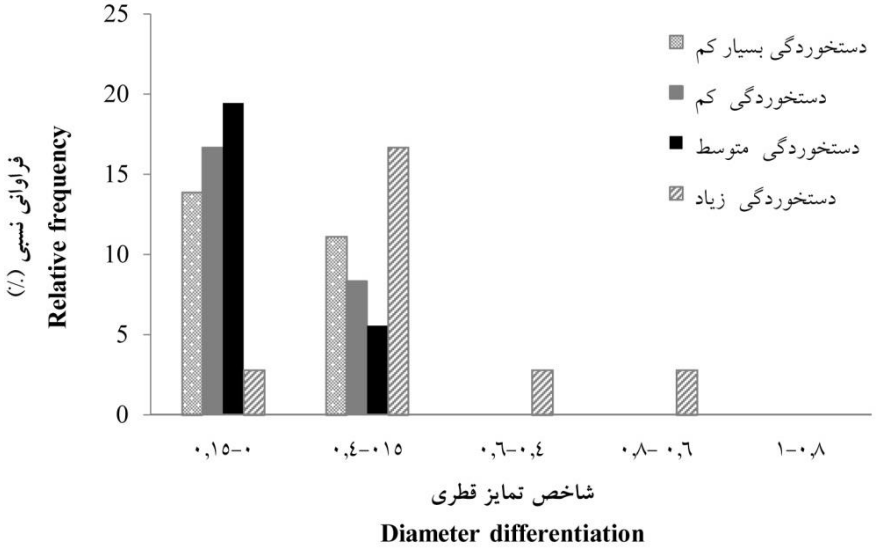
نتایج حاصل از محاسبه شاخص زاویه یکنواخت نشان داد که مقدار این شاخص در توده بسیار کم دست‌خورده نشان‌دهنده الگوی پراکنش تصادفی ($0/3 < W_i < 0/4$)، در توده با دست‌خوردگی کم الگوی کپه‌ای ($W_i > 0/4$) و در توده‌های با شدت دست‌خوردگی متوسط و زیاد دارای الگوی پراکنش یکنواخت ($W_i < 0/3$) بودند. هم‌چنین بررسی توزیع ارزش‌های این شاخص در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- شاخص زاویه یکنواخت به تفکیک مناطق موردمطالعه.

Figure 3. Uniform angle index in the study areas.

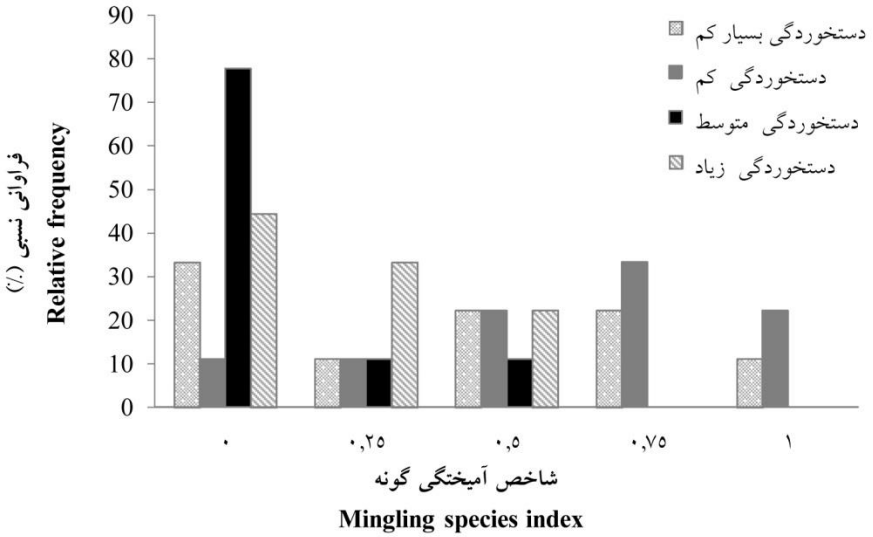
نتایج بررسی شاخص تمایز قطری درختان در توده‌های موردمطالعه نشان داد که مقدار این شاخص در توده با دست‌خوردگی بسیار کم ۰/۱٦، در توده با دست‌خوردگی کم ۰/۱٤، در توده با دست‌خوردگی متوسط ۰/۱۲ و در توده با دست‌خوردگی شدید ۰/۳۸ بود. جزئیات مربوط به توزیع مقادیر مختلف این شاخص در شکل ٤ ارائه شده است.



شکل ٤- شاخص تمایز قطری به تفکیک مناطق موردمطالعه.

Figure 4. Diameter differentiation index in the study areas.

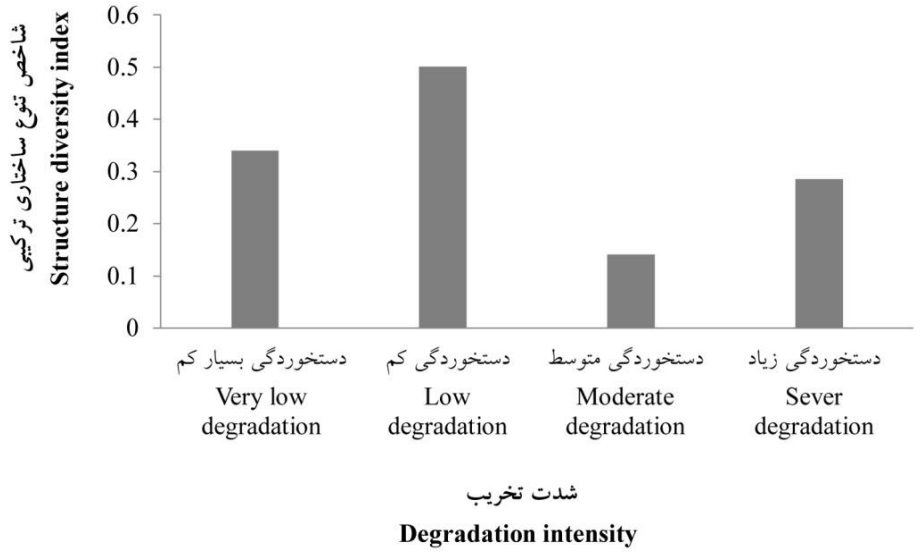
نتایج بررسی شاخص آمیختگی گونه‌ای مینگلینگ درختان در توده‌های موردمطالعه نشان داد که مقدار این شاخص در توده با دست‌خوردگی بسیار کم ۰/۴۲، در توده با دست‌خوردگی کم ۰/۶۱، در توده با دست‌خوردگی متوسط ۰/۰۸ و در توده با دست‌خوردگی شدید ۰/۲۵ بود. جزئیات مربوط به توزیع مقادیر مختلف این شاخص در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵- شاخص آمیختگی گونه‌ای مینگلینگ به تفکیک مناطق موردمطالعه.

Figure 5. Mingling species index in the study areas.

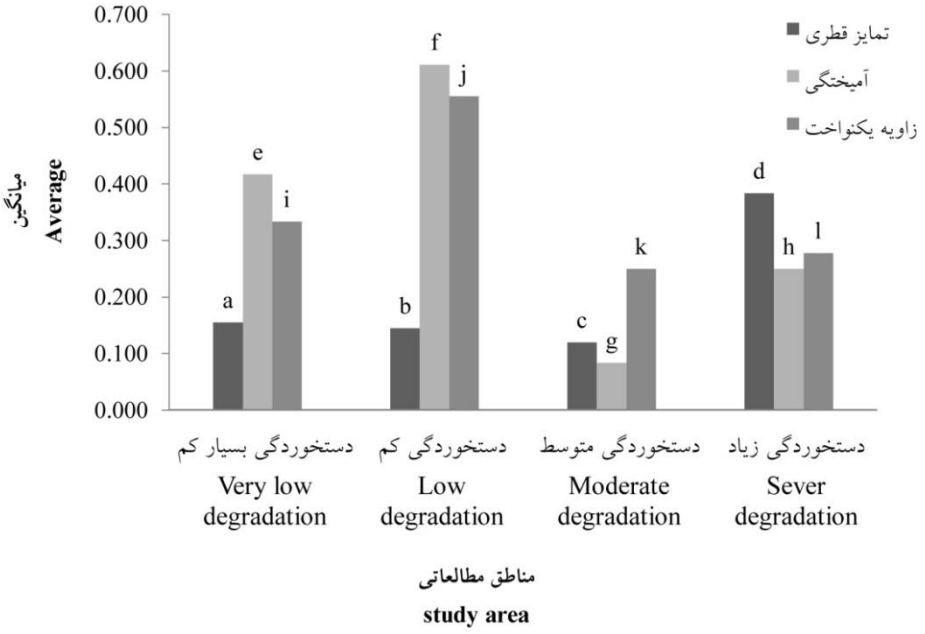
درنهایت محاسبه مقدار شاخص تنوع ساختاری براساس سایر شاخص‌های موردمطالعه در توده‌های بلوط- ممرز نشان داد که مقدار این شاخص در توده با دست‌خوردگی کم ۰/۵۰، در توده با دست‌خوردگی بسیار کم ۰/۳٤، در توده با دست‌خوردگی شدید ۰/۲۹ و در توده با دست‌خوردگی متوسط ۰/۱٤ بود. به‌این‌ترتیب منطقه با دست‌خوردگی کم دارای بیش‌ترین تنوع ساختاری و منطقه با دست‌خوردگی متوسط دارای کم‌ترین مقدار تنوع ساختاری بودند (شکل ٦).



شکل ٦- شاخص تنوع ساختار به تفکیک مناطق موردمطالعه.

Figure 6. Structure diversity index in the study areas.

آزمون‌های آماری نیز اختلاف معنی‌دار را در تنوع ساختاری نشان داد (شکل ۷). بین تمامی مناطق موردمطالعه از نظر شاخص‌های



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع ساختاری در بین مناطق موردمطالعه.

Figure 7. Results of compare means of structural diversity indices between the studied areas.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، دست‌خوردگی یا آشفتگی‌های انسانی با شدت‌های کم تا زیاد سبب ایجاد تغییرات معنی‌داری در تنوع ساختاری توده‌های طبیعی بلوط – ممرز در جنگل‌های ارسباران شده است. تعداد در هکتار و قطر در ارتفاع برابرسینه درختان در مناطق با دست‌خوردگی کم‌تر، بیش‌تر از سایر مناطق است. به‌نظر می‌رسد در مناطق کم‌تر دست‌خورده امکان زادآوری بهتری فراهم است و درختان فرصت کافی برای رشد قطری در جنگل را دارند. درحالی‌که برش درختان کم قطر در جنگل‌های دست‌خورده و چرای دام مانع استقرار مطلوب زادآوری در دهه‌های گذشته شده و از تعداد پایه‌های کاسته شده است (۱۹). هم‌چنین یکنواخت شدن پراکندگی درختان در جنگل‌های دست‌خورده شنان از دور شدن ساختار از وضعیت طبیعی جنگل است. الگوی پراکنش تصادفی در جنگل‌های بلوط – ممرز با دست‌خوردگی بسیار کم، با تغییر در ساختار به‌سمت الگوی پراکنش کپه‌ای در توده‌های با دست‌خوردگی کم و درنهایت به الگوی یکنواخت در توده‌های با دست‌خوردگی متوسط و زیاد هدایت می‌شود. علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد درختان بلوط دارای بذر سنگین هستند و بر اساس استراتژی تجدید حیات و نیاز فراوان این گونه به عناصر تغذیه‌ای در دوران رویش نهال اغلب بذر درختان در اطراف درختان بذرده مادری پراکنده شده و الگوی مکانی کپه‌ای ایجاد می‌نماید با دخالت‌های انسانی و برداشت درختان این الگو تغییر یافته و به‌سمت تصادفی یا یکنواخت تغییر می‌یابد. الگوی پراکنش مکانی در جنگل‌های طبیعی ارتباط تنگاتنگی با مکانیزم زادآوری درختان دارد و مطالعه الگوی مکانی در تیپ راش– ممرز در گیلان نشان داده است که درختان دارای بذور سنگین معمولاً الگوی کپه‌ای دارند (۷) پیش‌تر نیز الگوی پراکنش درختان راش براساس مطالعه مشابهی در جنگل‌های خیرود نوشهر الگوی کپه‌ای (۱۳) و هم‌چنین الگوی پراکنش کپه‌ای برای توده‌های خالص بلوط اوری در ارسباران نیز گزارش شده بود (۱٤). الگوی کپه‌ای برای توده‌های تخریب‌شده و الگوی پراکنش تصادفی برای توده‌های کم‌تر تخریب‌شده در جنگل‌های سردشت نیز گزارش شده و آشفتگی‌های محیطی ناشی از تخریب، عامل ایجاد این تغییر معرفی شده بود (۵). توده‌های طبیعی گونه افرای کرب در ارسباران نیز الگوی تصادفی را نشان داده بود که می‌تواند ناشی از پراکنش بذرهای سبک این گونه باشد (۱). هم‌چنین با پیشرفت توالی و تحول توده‌ها، الگوی توده از کپه‌ای به تصادفی میل می‌کند (۱۱) که این یافته مطابق با نتایج پژوهش حاضر است. با حذف درختانی که دارای اشکال مختلف بذور سنگین و سبک هستند تحت تخریب انسانی، از فراوانی این پایه‌های درخت مادری در توده کاسته و به‌تبع آن الگوی پراکنش گونه‌های باقیمانده در توده نیز تغییر خواهد کرد.

بررسی و تحلیل تنوع در ابعاد درختان در تیپ بلوط و ممرز با استفاده از شاخص تمایز قطری نشان داد که به‌طورکلی در توده‌های با دست‌خوردگی خیلی‌کم، کم و متوسط، مقدار این تمایز کم بوده و در شدت‌های دست‌خوردگی زیاد غالبیت قطر با درختان مرجع بود و توده از تنوع قطری بیش‌تری در بین درختان مرجع برخوردار بوده و از نظر ابعاد قطری توده ناهمگن بود. در بیان علت این موضوع می‌توان گفت که زوال جنگل سبب تغییر ساختار مکانی و تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد درختان می‌شود و به توالی پس‌رونده منجر خواهد شد (۱۱). در برآورد شاخص تمایز قطری در توده‌های خالص بلوط اوری در ارسباران نیز طبقات کم‌تر این شاخص دارای بیش‌ترین فراوانی بودند که نشان‌دهنده یکنواختی و همگنی بین درختان بلوط با همسایگان خود از نظر قطر (ابعاد) بود و توده‌های خالص بلوط اوری از نظر

ابعاد، همگن و یکدست بودند (١٤). مطالعات دیگری نیز اثرات دخالت‌های انسانی را مقدار شاخص‌هایی مانند تمایز قطری نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه براساس مطالعات شاخص پیچیدگی ساختار در جنگل‌های بلوط اوری در حاتم مشه‌سی در محدوده ارسباران با افزایش تخریب و شدت فعالیت‌های انسانی در این مناطق مقدار عددی شاخص پیچیدگی ساختار کاهش یافته و جنگل به سمت همگنی در ساختار پیش می‌رود که مطابق با نتایج مطالعه حاضر در منطقه کلیبر است (١٩)؛ بنابراین دست‌خوردگی سبب کاهش تمایز قطری درختان توده شده و از ناهمگنی و تنوع ساختاری می‌کاهد و توده را به سمت ساختار قطری همگن می‌برد که این موضوع در منحنی پراکنش قطری درختان نیز مشهود است.

نتایج آمیختگی گونه نشان داد که در شدت‌های دست‌خوردگی متوسط تا زیاد، همان‌طور که انتظار می‌رفت آمیختگی گونه‌ها به‌طور معنی‌داری کم شده و اغلب درختان مشابه درخت مرجع بودند و طبقات بالاتر در نمودار شاخص آمیختگی، فاقد ارزش عددی بودند. در توده‌های با دست‌خوردگی خیلی کم، آمیختگی گونه‌ها حالت یکنواختی داشت اما طبقه صفر که به مفهوم تشابه همه درختان همسایه با درخت مرجع است، بیش‌ترین فراوانی را نشان داد. در توده‌های با دست‌خوردگی کم روند آمیختگی گونه‌ها تا سه درخت همسایه مشابه با درخت مرجع افزایشی بود که نشان‌دهنده آمیختگی زیاد توده است؛ اما در توده‌های با دست‌خوردگی متوسط و زیاد میزان آمیختگی گونه‌ای روند کاهشی را نشان داد به‌طوری‌که طبقه یک که به مفهوم حداکثر آمیختگی است، فاقد فراوانی بود و برعکس طبقه صفر که نشان‌دهنده تشابه تمام همسایه با درخت مرجع و کم‌ترین آمیختگی مشاهده شد. در تحلیل تنوع و آمیختگی درختان باید در نظر داشت که در مواردی افزایش گونه‌های خرابه روی مانند ازگیل و آلوچه وحشی اغلب منجر به افزایش آمیختگی می‌شود، از سوی دیگر افزایش دخالت‌های انسانی می‌تواند منجر به کاهش فراوانی گونه‌های نادر مانند تیس و هفت کول گردد. در توده‌های با دست‌خوردگی کم کاهش شدید شاخص آمیختگی در توده‌های با تخریب متوسط و زیاد در مطالعه حاضر دلیل محکمی بر آثار نامطلوب تخریب بر ساختار متنوع توده‌های جنگلی طبیعی موردمطالعه و کاهش تنوع آن است که مطابق با نتایج مطالعه تأثیر زوال بر ساختار جنگل‌های زاگرس نیز هست که شاخص آمیختگی قبل از تخریب ٠/٠٦ و بعد از تخریب ٠/٠٩ گزارش شده بود (١١). شاخص آمیختگی گونه در ارتباط با شاخص الگوی پراکنش است. آشفتگی‌هایی مانند تخریب، الگوی پراکنش را به کپه‌ای و یکنواخت می‌کشاند، تخریب‌های انسانی در مکانیزم تجدید حیات و به‌ویژه انتشار بذر درختان و تغییر الگوی پراکنش آن‌ها اثر دارند (٧). فرهادی و همکاران (٢٠١٩) و مدبری و میرزایی (٢٠١٧) الگوی کپه‌ای را با تمایل به آمیختگی کم مرتبط دانسته‌اند (٨، ١١) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. از طرف دیگر حضور گونه بلوط اوری که در مطالعه ساختار توده‌های خالص این گونه در ارسباران نیز با تمایل به رقابت‌پذیری بالا و آمیختگی و قرار گرفتن در کنار سایر گونه‌ها معرفی شده بود (١٤) شاهدی بر این ادعا است که با وجود این گونه در توده‌های موردمطالعه در پژوهش حاضر، این توده‌ها تحت‌تأثیر تخریب از آمیختگی اندکی برخوردار بودند. درعین‌حال درختان بلوط دارای بذر سنگین هستند و بر اساس استراتژی تجدید حیات و نیاز فراوان این گونه به عناصر تغذیه‌ای در دوران رویش نهال اغلب بذر درختان در اطراف درختان بذرده مادری پراکنده شده و الگوی مکانی کپه‌ای ایجاد می‌نماید با دخالت‌های انسانی و برداشت درختان این الگو تغییر یافته و به سمت تصادفی تغییر می‌یابد.

کمی‌سازی ساختار جنگل‌های طبیعی می‌تواند منجر به ارائه رهیافت‌های ضامن تنوع ساختاری در توده باشد (۸) زیرا به بررسی توأم موقعیت مکانی و هم‌چنین ابعاد درختان و تمایل به آمیختگی گونه‌ای آن‌ها به‌عنوان سه رکن اصلی ساختار متنوع جنگل‌ها می‌پردازد. شاخص تنوع ساختاری که از ترکیب این سه شاخص دیگر حاصل می‌شود نشان داد که ساختار در توده‌های با دست‌خوردگی کم و خیلی کم از تنوع ساختاری بیش‌تری نسبت به توده‌های با دست‌خوردگی متوسط و زیاد برخوردارند که به این ترتیب توده‌های با دست‌خوردگی‌های کم‌تر همان‌طور که انتظار می‌رفت دارای تنوع ساختاری متوسط و توده‌های بیش‌تر تخریب‌شده از تنوع ساختاری کم‌تری برخوردار بودند. مقدار این شاخص در توده‌های راش – ممرز در گیلان ۰/۴۷۵ (۷) و هم‌چنین در توده‌های کرب در ارسباران ۰/۴۷۹ گزارش شده است و نشان‌دهنده تنوع ساختاری قابل‌توجه در این جنگل‌ها می‌باشد (۱).

با استفاده از نتایج پژوهش حاضر، می‌توان الگوی پراکنش مکانی و تنوع ساختاری در توده‌های با تخریب کم را در جهت بهبود وضعیت و برای کمک به پیشرفت توالی توده‌های با تخریب شدید و احیای آن‌ها استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود که سایر مشخصه‌های کمی توده‌ها در این چهار سطح تخریب مانند شاخص اختلاف سطح تاج پوشش و انواع شاخص‌های ساختاری دیگر بررسی شوند و در بازسازی مناطق با تخریب شدید استفاده شوند.

تخریب جنگل در نتیجه کاهش تدریجی در ویژگی‌های ساختاری، ترکیب گونه‌ای و عملکرد بوم‌سازگانی توده است (۲۱)؛ بنابراین نیاز است که با توجه به تخریب فزاینده جنگل‌ها، فرآیندهایی مانند تعیین میزان تخریب و آستانه اثرگذار آن بر توده برای کمک به ارائه راه‌حل‌های مؤثر با پژوهش‌های بیش‌تر شناسایی شوند. علاوه بر این، مدیریت پایدار به‌منظور جلوگیری از تخریب و یا اجرای اقدامات احیایی در جنگل‌های تخریب‌شده و معکوس کردن روند تخریب در جنگل‌ها به‌ویژه جنگل ارسباران با تنوع غنی گیاهی اعمال شود. درنهایت با توجه به آثار تخریب انسانی بر ساختار جنگل‌ها در ارسباران باید برنامه‌ریزی در جهت کاستن از دخالت‌های انسانی در اولویت قرار گیرد.

منابع

1. Abedi, R. 2019. Estimation of structural diversity of *Acer campestre* stands by using of complexity structural diversity index in Arasbaran forest. Iranian J. of Plant Biology. 11: 3. 49-60. (In Persian)
2. Amirghasemi, F., Saghebtalebi, Kh., and Dargahi, D. 2001. The study of natural regeneration structure in Arasbaran forest (Sotanchi region). Iranian J. of Forest and Poplar Research. 6: 1. 1-62. (In Persian)
3. Amini Parsa, V., Yavari, A.R., and Nezhadi, A. 2017. Analyzing land use change and socio-economic driving forces of land degradation in Arasbaran Biosphere Reserve. J. of Environmental Studies. 43: 2. 285-301. (In Persian)
4. Azizi Mehr, M., Kooch, Y., and Hosseini, S.M. 2020. The effect of forest degradation intensity on the dynamics of soil microbial activities and biochemical in the plain region of Noshahr. Iranian J. of Forest. 12: 2. 175-188. (In Persian)
5. Biabani, K., Pilehvar, B., and Safari, A. 2016. Comparison of spatial patterns and interspecific association of Gall oak (*Quercus infectoria* Oliv.) and Lebanon oak (*Q. libani* Oliv.) in two less degraded and degraded oak stands in northern Zagros (Case study: Khedrabad, Sardasht). Iranian J. of Forest and Poplar Research. 24: 1. 77-88. (In Persian)

6.Chapagain, U., Chapagain, B.P., Nepal, S., and Manthey, M. 2021. Impact of disturbances on species diversity and regeneration of Nepalese Sal (*Shorea robusta*) forests managed under different management regimes. Earth. 2: 826-844.
7.Farhadi, P., Soosani, J., and Erafnifard, S.Y. 2017. Evaluation level of tree diversity in the Hyrcanian forests using complex structural diversity index (Case study: beech-hornbeam type, Nav-e Asalem, Gilan), Iranian J. of Forest and Poplar Research. 25: 3. 495-505. (In Persian)
8.Farhadi, P., Soosani, J., Erfanifard, S.Y., and Akhtari, M.H. 2019. Analysis of different type's structure in Nave Asalem-Gilan forests by using nearest neighbor indices. J. of Plant Research. 32: 1. 167-182. (In Persian)
9.Kooch, Y., and Moghimian, N. 2015. The effect of deforestation and land use change on ecophysiology indices of soil carbon and nitrogen. Iranian J. of Forests. 2: 2. 243-256. (In Persian)
10.Masrouri, E., Shataei, Sh., Moayeri, M.H., Soosani, J., and Bagheri, R. 2015. Modeling of forest degradation extend using physiographic and socio-economic variables (Case study: a part of Kaka-Reza district in Khorramabad), Ecology of Iranian Forests. 3: 5. 20-30. (In Persian)
11.Modaberi, A., and Mirzaei, J. 2017. Study of decline effect on structure of central Zagros forests. J. of Forest Research and Development. 2: 4. 325-336. (In Persian)
12.Ngoc Le, D.T., Thinh, N.V., Dung, N.T., and Mitlöhner, R. 2016. Effect of disturbance regimes on spatial patterns of tree species in three sites in a tropical evergreen forest in Vietnam. International J. of Forestry Research. 4903749: 1-16.
13.Nouri, Z., Zobeiri, M., Feghhi, J., and Marvie Mohadjer, M.R. 2013. An investigation on the forest structure and trees spatial pattern in *Fagus orientalis* stands of Hyrcanian forests of Iran (Case study: Gorazbon district of Kheyrud forest). J. of Natural Environment. 66: 1. 113-125. (In Persian)
14.Safari, M., Sefidi, K., Alijanpour, A., and Elahian, M.R. 2020. Efficiency evaluation of the plotless method methods for estimating the spatial structure of Persian oak (*Quercus macranthera*) stands in Arasbaran forests. J. of Forest Research and Development. 5: 4. 599-612. (In Persian)
15.Safari, M., Sefidi, K., Alijanpour, A., and Elahian, M.R. 2019. Evaluation of altitude effects on the spatial structure of Caucasian oak (*Quercus macranthera*) stands in Arasbaran protected forests. northwest of Iran. Forestry Ideas. 25: 2. 227-236.
16.Saleh, I., Rafiee, H., and Mirbagheri, S.Sh. 2021. Investigating the effects of climatic and economic variables on forest degredation of Iran. Iranian J. of Forest. 12: 4. 467-489. (In Persian)
17.Salehzadeh, O., Eshaghi Rad, J., and Maroofi, H. 2016. The effect of anthropogenic disturbance on flora and plant diversity in oak forests of west (Baneh city). Forest Research and Development. 2: 3. 219-240. (In Persian)
18.Sefidi, K. 2017. Structural diversity as component of biodiversity in forest ecosystems, case study from population of Persian ironwood (*Parrotia persica* C.A. Meyer) in the north Iran. J. of Plant Research. 29: 4. 805-818. (In Persian)
19.Sefidi, K., Copenheaver, C.A., and Sadeghi, S.M.M. 2021. Anthropogenic pressures decrease structural complexity in Caucasian forests of Iran. Écoscience. pp. 1-11.
20.Tiwari, O.P., Sharma, C.M., Rana, Y.S., and Krishan, R. 2019. Disturbance, diversity, regeneration, and composition in temperate forests of western Himalaya, India. J. of Forest and Environmental Science. 35: 1. 6-24.
21.Vásquez-Grandón, A., Donoso, P.J., and Gerding, V. 2018. Forest Degradation: When Is a Forest Degraded?. Forests. 9: 726. 1-13.