**Research Article**

Iranian Journal of Forest and Poplar Research Vol. 31 No. 3, 2023 DOI: 10.22092/ijfpr.2023.362923.2110
Vol. 31, No. 3, Page 241-256 (2023) DOR: 20.1001.1.17350883.1402.31.3.5.0

# Impact of Anthropogenic disturbance on the size diversity of trees in Arasbaran forests (Case study: Hatam-Meshasi Forest Reserve in Meshgin-Shahr county, Iran)

**K. Sefidi [1*] and R. Jahdi [2]**

1*- Corresponding author, Prof., Department 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., Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 16.07.2023 Accepted: 01.09.2023

## Abstract

**Background and objectives**: The presence of trees of varying sizes contributes to the creation of diverse and complex forest structures. However, human disturbances can disrupt these structures and negatively impact tree size diversity. This study investigates the effects of human disturbances on tree size diversity in the Arasbaran forests of northwestern Iran. The findings provide valuable insights for managing existing forests under population pressure and diverse land uses, as well as for developing conservation measures that optimize the utilization of limited forest resources.

**Methodology**: To assess the impact of human disturbances, three areas with varying disturbance levels were selected based on forest history, observations, and proximity to the primary disturbance source. Within each area, four 1-hectare (100 × 100 m²) sample plots were established. A census of all trees and shrubs was conducted, and their diameter at breast height (DBH; ≥5 cm), height, and species number per hectare were recorded. Tree size characteristics in these areas were quantified using the plotless nearest neighbor method. Three transects were laid parallel and perpendicular to the secondary road in each area, with samples taken at regular 25-meter intervals. Using random-systematic selection, the nearest tree to the sample line was selected as a reference tree, and four neighboring trees were identified. DBH, height, and tree-to-tree distance were measured for each tree. Tree size diversity was analyzed using indices including distance from the nearest neighbor, diameter mean and coefficient of variation, diameter differentiation, height differentiation, Gini coefficient, and Shannon index of tree size diversity. Pearson's correlation test was used to determine the correlation between each tree size diversity index and the disturbance intensity index in the region.

Results: An average of 399 trees and shrubs were recorded per hectare in the study area, with the highest density observed in the low disturbance area. Mean diameter and total tree height were higher in the high disturbance area compared to the low and medium disturbance areas. The distance index from the nearest neighbor was significantly higher in the high disturbance area compared to the other two areas ($F=41.49$, $sig<0.001$). The coefficient of diameter variation was also significantly higher in the low disturbance area compared to the other two areas ($F=17.11$, $sig<0.001$). There was a significant negative correlation ($r=-0.682$, $sig<0.001$) between the coefficient of diameter variations and the disturbance intensity index. Average DBH was higher in the high disturbance area, but the difference between the three areas was not significant ($F=1.06$, $sig=0.356$). The Gini coefficient index was significantly higher in the low disturbance area compared to the other two areas ($F=17.89$, $si <0.001$). Tree diameter differentiation was also significantly higher in the low disturbance area compared to the other two areas ($F=13.86$, $sig<0.001$).

**Conclusion**: Human disturbances negatively impact tree size diversity and forest stand structure, leading to reduced structural complexity. Mitigation strategies and protection plans

are recommended to address human-caused disturbances in areas lacking size diversity. Planting pioneer trees can enrich structural complexity. Additionally, a conservation plan tailored to habitat conditions is required to promote size diversity and enhance forest resilience. Local organizations should prioritize this plan.

**Keywords**: Complexity of forest structure, ecological forest management, nature conservation, tree dimension index.

# تأثیر آشفتگی‌های انسانی بر تنوع اندازه‌ای درختان در جنگل‌های ارسباران (پژوهش موردی: ذخیره‌گاه جنگلی حاتم مشه‌سی در شهرستان مشگین‌شهر)

**کیومرث سفیدی [۱*] و رقیه جهدی [۲]**

۱*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

پست الکترونیک: kiomarssefidi@gmail.com

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰

## چکیده

سابقه و هدف: وجود درختان با اندازه‌های مختلف می‌تواند به ایجاد تنوع و پیچیدگی ساختار منجر شود. اطلاعات کافی درمورد تأثیر آشفتگی‌های انسانی بر الگوهای پراکنش مکانی و تنوع اندازه درختان در توده‌های جنگلی ارسباران در شمال غرب ایران وجود ندارد. پژوهش پیش‌رو به‌منظور بررسی اثرات آشفتگی‌های انسانی بر تنوع اندازه درختان با استفاده از شاخص‌های مبتنی‌بر فاصله در جنگل‌های ارسباران انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند بینشی درمورد مدیریت جنگل‌های موجود ارائه دهد که برای بقیه مناطق جنگلی تحت فشار جمعیت و الگوهای مختلف استفاده از آن‌ها مفید باشد. علاوه‌براین، این یافته‌ها در ارائه اطلاعات برای توسعه اقدام‌های حفاظتی که می‌تواند برای بهینه‌سازی استفاده از منابع محدود جنگلی اعمال شود، مؤثر هستند.

مواد و روش‌ها: برای بررسی اثرات آشفتگی‌های انسانی، سه ناحیه با وضعیت‌های مختلف آشفتگی (با در نظر گرفتن تاریخچه جنگل، مشاهده‌های میدانی و فاصله از مرکز بحرانی آشفتگی) انتخاب شد. در هر ناحیه، چهار قطعه‌نمونه یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر مربع) انتخاب شد و آماربرداری صددرصد درختان و درختچه‌های موجود انجام گرفت. به‌این‌صورت که مشخصه‌های قطر در ارتفاع برابر سینه (مساوی و بزرگ‌تر از پنج سانتی‌متر)، ارتفاع و تعداد گونه در هکتار ثبت شد. به‌منظور تعیین کمیت ویژگی‌های اندازه درختان در این سه ناحیه از روش نزدیک‌ترین همسایه و بدون قطعه‌نمونه استفاده شد. در هر ناحیه، سه خط‌نمونه به‌صورت موازی و عمود بر جاده فرعی پیاده شد و در فاصله‌های منظم ۲۵ متری نمونه‌برداری شد. با استفاده از انتخاب تصادفی- سیستماتیک، پس از انتخاب تصادفی مکان اول، در فاصله‌های منظم ۲۵ متری، نزدیک‌ترین درخت به خط‌نمونه به‌عنوان درخت شاهد انتخاب شد. سپس، چهار اصله از نزدیک‌ترین همسایه‌های درختان شاهد نیز شناسایی شدند. برای هریک از این درختان، مشخصه‌های قطر، ارتفاع و فاصله بین درختان اندازه‌گیری و ثبت شد. برای تجزیه‌وتحلیل تنوع اندازه درخت از شاخص‌های فاصله از نزدیک‌ترین همسایه، میانگین و ضریب تغییرات قطر، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، ضریب جینی و تنوع اندازه‌ای درختان شانون استفاده شد. آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی بین هر شاخص مربوط به تنوع اندازه درخت و شدت آشفتگی در منطقه به‌کار برده شد. از آزمون آنالیز واریانس نیز برای تجزیه‌وتحلیل تفاوت بین نواحی با شدت آشفتگی مختلف استفاده شد.

نتایج: تراکم درختان و درختچه ها در منطقه مورد مطالعه به‌طور متوسط ۳۹۹ اصله در هکتار ثبت شد. بیشترین تراکم در ناحیه با آشفتگی کم مشاهده شد. درعین‌حال، میانگین قطر برابرسینه و ارتفاع کل درختان در ناحیه با آشفتگی زیاد، نسبت به دو ناحیه دیگر (آشفتگی کم و متوسط) بیشتر بود. براساس نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های تغییرات اندازه درختان، شاخص فاصله از نزدیک‌ترین همسایه در ناحیه با شدت آشفتگی زیاد به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ناحیه دیگر بود (F=۴۱/۴۹، sig<۰/۰۰۱). علاوه‌براین، در ناحیه با آشفتگی کم، بیشترین مقدار ضریب تغییرات قطر مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ناحیه دیگر است (F=۱۷/۱۱، sig<۰/۰۰۱). درعین‌حال، بین ضریب تغییرات قطر و شاخص شدت آشفتگی، رابطه منفی (معکوس) و معنی‌دار (r=-۰/۶۸۲، sig<۰/۰۰۱) وجود داشت. اگرچه میانگین قطر در ناحیه با آشفتگی زیاد بیشتر بود، اما تفاوت بین سه ناحیه، غیرمعنی‌دار به‌دست آمد (F=۱/۰۶، sig=۰/۳۵۶). بیشینه شاخص ضریب جینی (۰/۰۲±۰/۳۶) در ناحیه با شدت آشفتگی کم مشاهده شد که به‌طور

معنی‌داری بیشتر از دو ناحیه دیگر بود (F=۱۷/۸۹، sig<۰/۰۰۱). شاخص تمایز قطری درختان نیز در ناحیه با آشفتگی کم به‌طور قابل توجهی بیشتر از دو ناحیه دیگر به‌دست آمد (F=۱۳/۸۶، sig<۰/۰۰۱).
نتیجه‌گیری کلی: براساس نتایج این پژوهش، نقش منفی آشفتگی‌های انسانی بر تنوع اندازه‌ای درختان و ساختار توده جنگل می‌تواند سبب کاهش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی شود، بنابراین توصیه می‌شود که راهبردهای کاهش آسیب و برنامه‌های حفاظتی برای آشفتگی‌های انسانی در مناطق فاقد تنوع اندازه و کاشت درختان پیشگام برای غنی‌سازی و افزایش پیچیدگی در ساختار عمودی توسعه یابد. علاوه‌براین، افزایش تنوع اندازه‌ای مستلزم تهیه یک برنامه حفاظتی و اصلاحی مناسب با شرایط جمعیت و زیستگاه است که باید در دستورکار سازمان‌ها و جوامع محلی برای افزایش تاب‌آوری جنگل‌های مورد مطالعه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پیچیدگی ساختار جنگل، حفاظت از طبیعت، شاخص ابعاد درختان، مدیریت بوم‌شناختی جنگل.

## مقدمه

در مقیاس جهانی، فعالیت‌های انسانی همراه با اثرات گرمایش جهانی تحت تأثیر تغییر اقلیم، از مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر تغییرات ترکیب و ساختار جنگل‌ها به شمار می‌آیند (Keenan, 2015). عملکرد انسان با دخالت در وضعیت جنگل‌ها در قالب طرح‌های مدیریت جنگل به‌عنوان یک مؤلفه اثرگذار بر تحولات بوم‌سازگان‌های جنگلی عمل می‌کند. ازاین‌رو و براساس شدت دخالت‌های انسانی می‌توان الگوهای متفاوتی از ساختار جنگل (استقرار درختان و چیدمان آن‌ها) مشاهده کرد. این اقدام‌ها از منظر بوم‌شناسی می‌تواند آشفتگی با منشأ انسانی تلقی شود. آشفتگی، یکی از مؤلفه‌های کارکردی مهم بوم‌سازگان‌ها و از پدیده‌های شایع در محیط‌زیست است که در بسیاری از موارد، محرک غالب ساختار و عملکرد بوم‌سازگان در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف محسوب می‌شود (Buma, 2015). آشفتگی‌ها، رویدادهایی با منشأ طبیعی و یا انسانی هستند که رشد، تکثیر و یا انتشار یک گیاه یا بخشی از یک پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Burton *et al.*, 2020). آشفتگی‌های انسانی باتوجه‌به شدت و مقیاس عملکردی آن‌ها، اثرات متفاوتی بر ساختار جنگل‌ها دارند. ازسوی دیگر بسیاری از کارکردهای اقتصادی و بوم‌شناختی یک بوم‌سازگان جنگل به‌شدت وابسته به ساختار جنگل‌ها است، بنابراین آشفتگی‌های تغییردهنده ساختار سبب تغییر در تولیدات و نیز کارکردهای حفاظتی ویژه جنگل‌ها خواهند شد.

منظور از ساختار مکانی توده‌های جنگلی، چیدمان مکانی درختان در فضای توده است که با گذشت زمان، تحت تأثیر فرایندهای طبیعی و آشفتگی‌های انسانی شکل می‌گیرد (Gonçalves, 2022). عوامل متعددی بر شکل‌گیری ساختار جنگل‌ها اثر دارند. از عوامل طبیعی می‌توان به قابلیت‌های ژنتیکی رشد درختان، زادآوری، ورود درختان به کلاسه‌های سنی و قطری درنتیجه رویش سالانه، مرگ‌ومیر درختان درنتیجه دیرزیستی و نیز آشفتگی‌های طبیعی مانند آتش‌سوزی‌ها، باد و خسارت‌های ناشی از برف و کاهش شدید دما اشاره کرد. علاوه‌بر این موارد، عوامل انسانی نیز در شکل‌گیری ساختار جنگل‌ها نقش دارند. از مهم‌ترین آشفتگی‌های انسانی می‌توان به برش درختان به‌شکل انتخاب تک‌درخت یا یک سطح مشخص، چرای دام و کاشت درختان غیربومی اشاره کرد (Ebrahimi *et al.*, 2014; Beche *et al.*, 2022). به‌عنوان مثال، اثرات دخالت‌های انسانی در جنگل‌های اروپای مرکزی در قرن ۱۸ سبب تغییر در چیدمان مکانی درختان و نیز حذف برخی از ویژگی‌های ساختاری مانند حضور درختان قطور و یا خرده‌زیستگاه‌های مرتبط با آن‌ها شده است (Kraus & Krumm, 2013). عدم حضور توده‌های جنگلی در مراحل انتهایی تحول توده و نیز قرار گرفتن بلوط سفید (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) در اشکوب بالایی جنگل‌های راش اروپایی (*Fagus sylvatica* L.) در آلمان می‌تواند نشانه‌هایی از تغییر ساختار توسط انسان قلمداد شود (Thom *et al.*, 2023). این دخالت‌ها ممکن است سبب

دگرگونی تدریجی جنگل‌های طبیعی و ایجاد «جنگل‌های اهلی» (Domesticated forests) شوند. این جنگل‌ها ازنظر زیستی، بسیار کم‌ارزش هستند و در طبقه‌بندی جنگل‌ها از حیث درجه طبیعی بودن به‌عنوان جنگل‌هایی دور از طبیعت تلقی می‌شوند (Sefidi, 2023).

براساس پژوهش‌های متعدد پیشین، آشفتگی‌های انسانی اغلب اثرات منفی بر ساختار و ترکیب جنگل‌ها دارند (Cardelús *et al.*, 2019). بادافتادگی و قطع درختان در کنار چرای دام، مهم‌ترین آشفتگی‌های انسانی در جنگل‌های هیرکانی و ارسبارانی به‌شمار می‌آیند (Nobakht *et al.*, 2018). همچنین، از بین عوامل مؤثر بر تخریب جنگل‌های بلوط غرب که شامل بهره‌برداری نامتعارف، دامداری و تغییر کاربری جنگل هستند، مهم‌ترین عامل تخریب این بوم‌سازگان‌ها، بهره‌برداری غیرقانونی از جنگل عنوان شده است (Ildoromi *et al.*, 2016). یکی از مهم‌ترین اثرات آشفتگی، کاهش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی است (Willim *et al.*, 2022). اثرات منفی دخالت‌های انسانی بر متغیرهای ساختاری و درنهایت، کاهش پیچیدگی در ساختار جنگل‌ها ارسباران نیز گزارش شده است (Sefidi *et al.*, 2022). ارزیابی تأثیر آشفتگی‌های انسانی بر ساختار و پیچیدگی جنگل در کشور شیلی نشان داد که بیشینه شاخص پیچیدگی ساختار متعلق به جنگل‌های با شدت آشفتگی‌های کم انسانی و کمترین آن مربوط به یک جنگل با رخداد دائمی آشفتگی‌های انسانی است (Caviedes & Ibarra, 2017). اثرات معنی‌دار حضور مستمر انسان و دخالت‌های آن بر کاهش تاج‌پوشش و تراکم درختان در واحد سطح نیز در مناطق بیشتردست‌خورده در مقایسه با جنگل‌های کمتردست‌خورده گزارش شده است (Rahayu *et al.*, 2022). تغییر در ترکیب گونه‌ها علاوه‌بر انتخاب گزینشی درختان برای قطع می‌تواند به‌علت تخریب بانک نهال نیز باشد. همچنین، آشفتگی‌های انسانی با تأثیر بر تجدیدحیات درختان، نقش مهمی در کاهش تنوع گونه‌ای و درنتیجه، ایجاد همگنی فلوریستیک در توده‌های جنگلی دارند (Cao & Natuhara, 2020).

مرور منابع داخلی نشان می‌دهد که اثرات آشفتگی‌های انسانی بر ترکیب و تنوع درختان جنگلی پیش‌تر بررسی شده است. در بررسی تأثیر آشفتگی بر تنوع گیاهی و گونه‌های مهاجم در بلوطستان‌های ایلام گزارش شد که عوامل آشفتگی موجود شامل چرای دام و آتش‌سوزی بر ترکیب و تنوع گونه‌ای جنگل تأثیر دارند و طبقه‌های آشفتگی «چرای دام» و «آتش‌سوزی» در کنار عوامل خاکی و پستی و بلندی به‌عنوان مؤثرترین عوامل بر ترکیب گیاهی شناخته شدند (Mirdavoodi *et al.*, 2013). بررسی تأثیر تخریب‌های با منشأ انسانی بر تنوع ساختاری درختان در جنگل‌های منطقه کلیبر در ارسباران نشان داد که افزایش دست‌خوردگی سبب افزایش شاخص تمایز قطری درختان می‌شود (Sefidi *et al.*, 2022). درعین‌حال، شدت‌های مختلف تخریب، اثرات متفاوتی بر ساختار جنگل‌ها داشتند. تحلیل تأثیر آشفتگی بر تنوع گونه‌های زیرآشکوب در جنگل‌های شهرستان بانه در زاگرس شمالی نشان داد که آشفتگی‌های انسانی سبب کاهش شدید تنوع گونه‌ای درختان شده‌اند (Valadi *et al.*, 2017). بررسی پراکنش مکانی جست‌گروه‌های برودار (*Quercus brantii* Lindl.) در توده‌های بهره‌برداری‌شده در جنگل‌های شهرستان مریوان حاکی از الگوی پراکنش مکانی کپه‌ای برای این گونه بود (Pourhashemi *et al.*, 2015). اگرچه تأثیر شاخص کمی آشفتگی‌های انسانی بر الگوی مکانی درختان در جنگل‌های ایران بررسی نشده است، اما در برخی پژوهش‌ها، اثرات حفاظت از جنگل بر الگوی مکانی ارزیابی شده است (Ebrahimi & Pourbabaei, 2013). بررسی تأثیر آشفتگی انسانی بر فلور، ترکیب پوشش گیاهی و کیفیت فلوریستیک در جنگل‌های بلوط در زاگرس میانی نشان داد که بیشترین تعداد گونه‌های بومی، تاج‌پوشش درختی، زی‌توده، تعداد درخت در هکتار و متوسط درصد تاج‌پوشش علفی متعلق به کاربری حفاظت‌شده با کمترین مداخله‌های انسانی هستند (Veiskarami *et al.*, 2018). همچنین، ارزیابی ویژگی‌های ساختاری در توده‌های متشکل از درختان سرخ‌دار (*Taxus baccata* L.) در جنگل‌های ارسباران بیانگر اثرات معنی‌دار

دخالت‌های انسانی بر ساختار این جنگل‌ها بود (Ghanbari *et al.*, 2019). بررسی وضعیت تنوع گونه‌ای، شکل زیستی و کوروتیپ (نوع خاستگاه جغرافیایی) در گونه‌های گیاهی و ارتباط آن‌ها با متغیرهای محیطی در جنگل‌های شهرستان بانه نشان داد که در توده‌های جنگلی کمتردست‌خورده با درصد تاج‌پوشش و لاش‌برگ بیشتر و عدم وجود تخریب و چرای دام، شرایط بوم‌شناختی مناسب‌تری برای حضور گونه‌های ارزشمند فراهم است (Shakeri *et al.*, 2021).

تحلیل اثرات آشفتگی‌های انسانی بر تنوع اندازه‌ای درختان می‌تواند سبب برنامه‌ریزی مطلوب برای مدیریت بوم‌شناختی جنگل‌ها باشد. تغییر در ساختار توده‌های جنگلی، نقطه آغاز تحول‌های بعدی جنگل در دهه‌های بعد است و کارکرد و خدمات این بوم‌سازگان‌ها را به‌شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد. براین‌اساس، آگاهی از اثرات آشفتگی‌های انسانی بر تنوع اندازه‌ای درختان می‌تواند اطلاعات مناسبی از واکنش‌های طبیعت در برابر دخالت انسانی فراهم کند. درعین‌حال، یکی از مهم‌ترین اهداف طرح‌های مدیریتی با رویکرد بوم‌شناختی، افزایش پیچیدگی در ساختار جنگل‌ها است. پیچیدگی در ساختار جنگل، درنتیجه تفاوت‌هایی در چگونگی سازماندهی ساختار عمودی و افقی جنگل ایجاد می‌شود. ازاین‌رو، اختلاف ابعادی درختان و حضور درختان در اندازه‌های متفاوت می تواند به ایجاد تنوع و پیچیدگی ساختار منجر شود. با وجود یک پژوهش انجام‌شده در جنگل حاتم مشه‌سی در ارسباران در زمینه تحلیل اثرات آشفتگی‌های انسانی بر الگوهای پراکنش مکانی درختان در توده‌های جنگلی (Sefidi & Sadeghi, 2021)، هنوز اطلاعات درباره این اثرات در رویشگاه‌های ارسبارانی ناکافی است. ازاین‌رو، پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی اثرات آشفتگی‌های انسانی بر تنوع اندازه‌ای درختان براساس شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری‌های فاصله‌ای در جنگل‌های ارسباران انجام شد. نتایج این پژوهش می‌توانند بینشی درمورد مدیریت جنگل‌های موجود ارائه دهند که برای مناطق جنگلی دیگر تحت فشار جمعیت و الگوهای مختلف استفاده آن‌ها نیز کاربرد داشته باشند. همچنین، این یافته‌ها در ارائه اطلاعات برای توسعه اقدامات حفاظتی و درنتیجه، بهینه‌سازی استفاده از منابع محدود حفاظتی مؤثر هستند.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ذخیره‌گاه جنگلی حاتم مشه‌سی در جنوب غربی شهر مشگین‌شهر در استان اردبیل قرار دارد. محدوده مطالعاتی مربوط به سامان عرفی قینرجه است که در حوضه مشگین غربی و در عرض جغرافیایی ′۲۰°۳۸ شمالی و طول جغرافیایی ′۲۵°۴۷ شرقی واقع شده است. کمینه و بیشینه ارتفاع در این سامان عرفی به‌ترتیب ۱۳۰۶ و ۲۰۲۹ متر از سطح دریا هستند. بیشتر از ۱۱/۷ درصد از این عرصه با جنگل به‌نسبت متراکم پوشیده شده است (Sefidi & Sadeghi, 2021). این سامان ۹۵/۵ هکتار جنگل و ۱۱۰ هکتار مرتع را در خود جای داده است. همه مناطق آن ازنظر مالکیت، جزء اراضی حفاظت‌شده هستند و تحت نظر سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور اداره می‌شوند. اقلیم این ناحیه براساس روش دومارتن، سرد و نیمه‌خشک است و میانگین سالانه دما ۷/۵ درجه سلسیوس و بارندگی به‌ترتیب حدود ۴۰۰ میلی‌متر برآورد شده است (Jahdi *et al.*, 2020). جهت عمومی شیب، جنوبی و درصد شیب کلی در این منطقه حدود ۲۵ درصد است. وجود تنوع قابل‌توجه از گونه‌های چوبی در منطقه مورد مطالعه سبب شکل‌گیری تیپ‌های مختلف جنگلی شده است. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تیپ خالص اوری (*Quercus macranthera* Fisch. & C.A.Mey.) و تیپ اوری- کرب (*Acer campestre* L.) همراه با گونه‌های دیگر اشاره کرد. بلوط سفید (*Q. petraea*)، هفت‌کول (*Viburnum Lantana* L.) و ون (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) نیز از مهم‌ترین گونه‌های چوبی در منطقه مورد مطالعه هستند.

روش پژوهش

پس از بررسی میدانی، به‌منظور تحلیل اثرات

آشفتگی‌های انسانی بر ویژگی‌های کمی ساختار توده‌های جنگلی بلوط اوری منطقه حاتم مشه‌سی با استفاده از نقشه‌های با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، محدوده مورد مطالعه تعیین شد. سپس، سه ناحیه با وضعیت متفاوت آشفتگی انتخاب شد. انتخاب این نواحی با در نظر گرفتن شاخص‌ها و معیارهای معرفی‌شده برای جنگل‌های طبیعی و نیز سابقه جنگل، مشاهده‌های میدانی و فاصله از کانون بحرانی آشفتگی مانند تجمع گردشگر و چراگاه محلی، درجه تاج‌پوشش و وجود نشانه‌های قطع درخت و نیز حضور و فراوانی گونه‌های مهاجم و خرابه‌روی مانند زالزالک (*Crataegus orientalis* (Mill.) M.Bieb.) و ازگیل (*Mespilus germanica* L.) انجام شد. این نواحی ازنظر شرایط رویشگاهی مانند ویژگی‌های فیزیوگرافیک، یکسان بودند و تنها تفاوت موجود در بین آن‌ها، شدت دخالت‌های انسانی بود (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصه‌های اصلی سه ناحیه با شدت آشفتگی متفاوت براساس شاخص‌های معرف طبیعی بودن جنگل (Sefidi, 2023)

Table 1. The main characteristics of three study area with different disturbance intensities based on naturalness representative indexes (Sefidi, 2023)

| Disturbance intensity | Distance from roads (m) | Canopy coverage (%) | Tree removal (%) | Other Criteria |
|---|---|---|---|---|
| Low | >200 | >25 | <10 | Low intensity of ruderal species, without touristic pathway |
| Medium | 100-200 | 15-25 | 10-20 | Presence of ruderal species, with touristic pathway |
| High | <100 | <15 | >20 | High intensity of ruderal species, with touristic pathway |

جمع‌آوری داده‌ها

در هر ناحیه با شدت متفاوت از آشفتگی، چهار قطعه‌نمونه یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر مربعی) انتخاب شد. محدوده هر قطعه‌نمونه از طریق متر لیزری و ژالون چوبی مشخص شد. سپس، آماربرداری صددرصد از همه پایه‌های درختی و درختچه‌ای موجود انجام گرفت و مشخصه‌هایی مانند قطر برابر سینه (گونه‌های با قطر مساوی و بیشتر از پنج سانتی‌متر)، ارتفاع و تعداد در هکتار گونه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شدند.

به‌منظور کمی‌سازی ویژگی‌های اندازه‌ای درختان در جوامع درختی اوری در این سه ناحیه از شیوه مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه و اندازه‌گیری‌های بدون قطعه‌نمونه استفاده شد. در هر ناحیه، سه خط‌نمونه (ترانسکت) به‌شکل موازی و عمود بر جاده (مسیر) فرعی پیاده شد و در فاصله‌های منظم ۲۵ متری، نمونه‌برداری انجام گرفت. انتخاب محل نمونه‌برداری به‌شیوه تصادفی- سیستماتیک بود. به این صورت که پس از انتخاب تصادفی نخستین محل، در فاصله‌های منظم ۲۵ متری، نزدیک‌ترین درخت به خط‌نمونه به‌عنوان درخت شاهد انتخاب شد. سپس، چهار اصله از نزدیک‌ترین همسایه‌های درختان شاهد نیز مشخص شدند. برای هریک از درختان شاهد و همسایه، مشخصه‌های قطر برابر سینه با کالیپر و ارتفاع و فاصله بین درختان با استفاده از متر لیزری لایکا مدل D810 اندازه‌گیری شد و براساس آن شاخص‌های مرتبط محاسبه شد.

تحلیل داده‌ها

برای تحلیل تنوع اندازه‌ای درختان، گروهی از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه شامل شاخص‌های محاسباتی برپایه اندازه‌گیری فاصله استفاده شد. در این پژوهش، شاخص‌های فاصله از نزدیک‌ترین

همسایه، میانگین و ضریب تغییرات قطر در ارتفاع برابر سینه، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، ضریب جینی و تنوع اندازه‌ای درختان شانون محاسبه شد.

شاخص فاصله از نزدیک‌ترین همسایه ($D_i$) با استفاده از رابطه (۱) و براساس اندازه‌گیری فاصله بین درختان به دست می‌آید (Ruprecht *et al.*, 2010). در این معادله، $s_{ij}$ بیانگر فاصله درختان همسایه (j) از درخت شاهد (i) است.

$$D_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} s_{ij}$$ رابطه (۱)

قطر، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ابعادی درختان است که می‌تواند بر پیچیدگی ساختار در جنگل‌ها اثرگذار باشد. میانگین قطر درختان در ارتفاع برابر سینه (DBH) می‌تواند نشانگر رشد قطری، سن تقریبی و حتی غلبه آن در توده باشد. علاوه‌بر میانگین قطر درختان، نحوه تغییرات قطر در بین درختان توده، نقش مهمی در کارکردهای جنگل ایفا می‌کند و اهمیت زیادی در تعیین تنوع ساختاری دارد. ازاین‌رو، شاخص ضریب تغییرات قطر ($CV_{DBH}$) به‌عنوان ساده‌ترین معیار از تغییرات اندازه‌ای درختان توده مورد توجه بوده است که از طریق رابطه (۲) برآورد می‌شود:

$$CV_{DBH} = \frac{SDD}{D_m}$$ رابطه (۲)

که در آن، SDD بیانگر انحراف معیار قطر و $D_m$ نشان‌دهنده میانگین قطر برابر سینه درختان است.

شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی ($T_i$) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای نشان‌دهنده تمایز بین درختان در این پژوهش به‌کار گرفته شد (رابطه ۳) (Ruprecht *et al.*, 2010):

$$T_i = 1 - \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}\frac{\min(m_i, m_j)}{\max(m_i, m_j)}; \qquad T_i \in [0, 1]$$ رابطه (۳)

که در آن، k بیانگر تعداد درختان همسایه، $m_i$ قطر یا ارتفاع درخت شاهد و $m_j$ قطر یا ارتفاع درخت همسایه هستند.

شاخص تنوع اندازه‌ای درختان براساس شاخص شانون (H′) به‌عنوان یکی از شاخص‌های معرف تغییرات اندازه‌ای درختان از طریق رابطه (۴) محاسبه شد (Ruprecht *et al.*, 2010).

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln(p_i)$$ رابطه (۴)

که در آن، S نشان‌دهنده تعداد کلاسه‌های قطر و $p_i$ بیانگر نسبت تعداد درختان در کلاسه قطری i به تعداد کل درختان است.

به‌منظور تعیین ناهمگنی در پراکنش درختان در کلاسه‌های قطری از شاخص ضریب جینی قطر درختان (GC) استفاده شد (رابطه ۵).

$$GC = \frac{\sum_{j=1}^{n}(2j - 1 - n)ba_j}{\sum_{j=1}^{n} ba_j(n-1)}$$ رابطه (۵)

که در آن، n تعداد درختان در قطعه‌نمونه، j عدد طبقه‌بندی صعودی قطر برابر سینه و $ba_j$ نشان‌دهنده رویه‌زمینی مربوط به هر درخت یا طبقه قطری است (Sefidi, 2023).

درنهایت، به‌منظور کمی‌سازی شدت آشفتگی در مناطق سه‌گانه مختلف از رابطه (۶) استفاده شد. براین‌اساس در هر محل نمونه‌برداری باتوجه‌به موقعیت محل و اثرات تخریب

انسانی، این شاخص برآورد شد.

$$D = X\,(m) \times DI \qquad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن، D نشان‌دهنده ارزش کمی مقدار آشفتگی انسانی در منطقه، X فاصله از کانون بحرانی آشفتگی (جاده و مسیر گردشگری) به متر و DI بیانگر مقدار عددی شدت آشفتگی است. در این مطالعه، مقادیر یک، دو و سه به‌ترتیب برای نواحی با آشفتگی کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شد. براین‌اساس، کمترین عدد به‌دست‌آمده (۱۵) در ناحیه با آشفتگی کم و بیشترین مقدار (۶۷۵) در ناحیه با آشفتگی زیاد با نشانه‌هایی از برش و نزدیک به کانون‌های بحرانی آشوب (جاده مالرو و محل تجمع گردشگر در اطراف چشمه موجود در منطقه مورد مطالعه) ثبت شد. توزیع نرمال داده‌ها با آزمون کولموگروف-سمیرنوف و برابری واریانس با آزمون لون ارزیابی شد. داده‌ها از طریق تصحیح لگاریتمی نرمال شدند. آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی همبستگی بین هریک از شاخص‌های مرتبط با تنوع اندازه‌ای درختان و شاخص شدت آشفتگی در منطقه به‌کار گرفته شد. از آزمون تحلیل واریانس نیز برای بررسی وجود اختلاف بین مناطق با شدت آشفتگی‌های متفاوت و از آزمون توکی برای تحلیل اختلاف‌های درون‌گروهی استفاده شد. گفتنی است که همه آزمون‌های آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در نرم‌افزار R (نسخه ۳,۵,۳) انجام گرفت. همچنین، بسته ggplot2 در نرم‌افزار R برای نمایش داده‌ها به‌شکل نمودار به‌کار گرفته شد.

جدول ۲- مقایسه برخی از مشخصه‌های ساختاری توده‌های جنگلی در نواحی با شدت متفاوت از آشفتگی انسانی

Table 2. Comparison of some structural characteristics in the forest stands with different anthropogenic disturbance intensity

| Characteristic | Disturbance intensity | | | Mean (± SE) | CV (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Low | Medium | High | | |
| Stem density (stem/ha) | 465 | 321 | 411 | 399 (± 42) | 18.2 |
| Diameter at breast height (cm) | 16.6 | 17.88 | 18.8 | 17.7 (± 0.61) | 5.9 |
| Mean of tree height (m) | 7.65 | 7.71 | 7.81 | 7.1 (± 0.48) | 11.01 |
| Mean of tree basal area ($m^2$/ha) | 10.9 | 10.7 | 11.2 | 11.17 (± 0.14) | 2.3 |

## نتایج

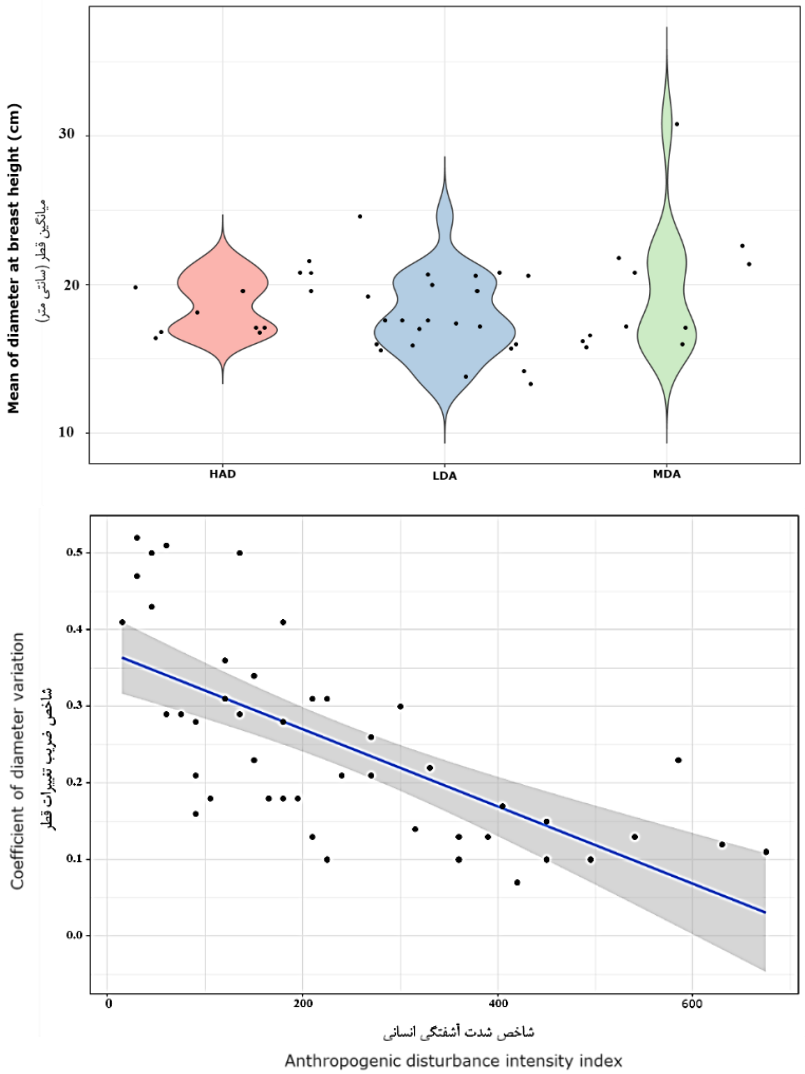
در این پژوهش، اثرات آشفتگی در ۴۵ گروه ساختاری در سه ناحیه با سابقه دخالت انسانی و سطوح آشفتگی متفاوت بررسی شد. براین‌اساس، نتایج متفاوتی ازنظر وضعیت درختان در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. به‌طور متوسط ۳۹۹ اصله درختان و درختچه ها در هر هکتار در این سه ناحیه ثبت شد که بیشترین تراکم متعلق به ناحیه با آشفتگی کم بود (جدول ۲). درعین‌حال، میانگین قطر در ارتفاع برابر سینه و ارتفاع کل درختان در ناحیه با آشفتگی زیاد در مقایسه با دو ناحیه دیگر (آشفتگی کم و متوسط) بیشتر به‌دست آمد (جدول ۲).

مقایسه میانگین شاخص‌های تغییرات اندازه‌ای درختان و شاخص فاصله از نزدیک‌ترین همسایه در سه ناحیه، اختلاف‌هایی را نشان داد (جدول ۳). براین‌اساس، شاخص فاصله از نزدیک‌ترین همسایه در منطقه تحت تأثیر آشفتگی‌های شدید و پرتکرار (ناحیه با شدت آشفتگی زیاد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ناحیه دیگر است (F=۴۱/۴۹، sig<۰/۰۰۱). ضریب تغییرات قطر نیز تفاوت‌های آشکاری را بین نواحی مختلف نشان می‌دهد. در ناحیه با آشفتگی کم، بیشینه ضریب تغییرات قطر مشاهده شد که به‌شکل معنی‌داری بیشتر از هر دو ناحیه دیگر بود (F=۱۷/۱۱، sig<۰/۰۰۱). درعین‌حال، رابطه منفی (معکوس) و معنی‌داری ($r$=-۰/۶۸۲ ، sig<۰/۰۰۱) بین ضریب تغییرات قطر و شاخص شدت آشفتگی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۱).

جدول ۳- میانگین (± اشتباه معیار) شاخص‌های تغییرات اندازه‌ای درختان در توده‌های جنگلی با شدت متفاوت از آشفتگی انسانی

Table 3. Mean (± SE) of tree size variation indexes in the forest stands with different anthropogenic disturbance intensity

| Disturbance intensity | Distance to nearest neighbor (m) | Tree size variation indexes | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mean of diameter (cm) | Coefficient of diameter variations | Diameter differentiation | Gini coefficient | Height differentiation |
| Low | 1.9 ±0.7 | 16.6 ± 0.2 | 0.33 ±0.02 | 0.31 ±0.02 | 0.36 ±0.02 | 0.28 ±0.01 |
| Medium | 2.5 ±0.1 | 17.88 ± 0.53 | 0.24 ±0.02 | 0.23 ±0.97 | 0.24 ±0.02 | 0.25 ±0.02 |
| High | 3.3 ±0.1 | 18.8 ± 0.23 | 0.12 ±0.01 | 0.14 ±0.01 | 0.15 ±0.01 | 0.17 ±0.01 |
| Average | 2.4 ±0.7 | 17.7 ± 0.61 | 0.24 ±0.01 | 0.24 ±0.01 | 0.27 ±0.01 | 0.24 ±0.01 |




شکل ۱- نمودار ویولنی پراکنش قطر درختان در ارتفاع برابر سینه (بالا) و همبستگی بین شاخص آشفتگی و ضریب تغییرات قطر درختان در ارتفاع برابر سینه (پایین)

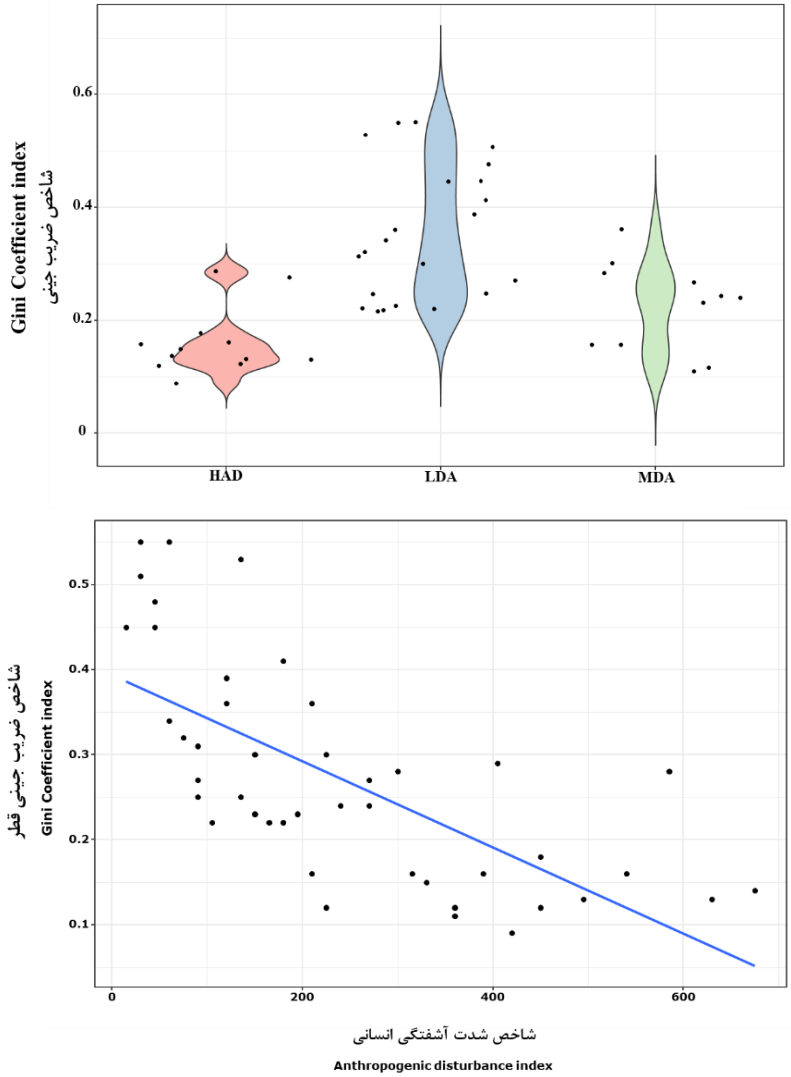
HDA، MDA و LDA به‌ترتیب نشان‌دهنده ناحیه‌های با شدت آشفتگی زیاد، متوسط و کم هستند.

**Figure 1. The violon plot of trees diameter at breast height (top) and correlation of disturbance intensity index and coefficient variations of diameter at breast height (down)**

**HAD, MDA, and LDA show high, medium, and low disturbed areas, respectively.**

نتایج آزمون توکی نشان داد که برخی از شاخص ها مانند ضریب جینی قطر درختان اختلافاتی در هر سه ناحیه مورد مطالعه نشان می دهد و تفاوت‌هایی بین هریک از شاخص‌های معرف در نواحی مختلف وجود دارد. با وجود اینکه شاخص میانگین قطر در ارتفاع برابر سینه درختان در ناحیه با آشفتگی زیاد، بیشتر است، اما اختلاف بین سه ناحیه معنی‌دار نیست (F=۱/۰۶، sig=۰/۳۵۶). تحلیل همبستگی این شاخص با شدت آشفتگی نیز رابطه معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۲).

بیشینه ضریب جینی (۰/۰۲±۰/۳۶) در منطقه با شدت کم آشفتگی مشاهده شد (شکل ۲) که به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو منطقه دیگر بود (F=۱۷/۸۹، sig<۰/۰۰۱). این شاخص نیز رابطه منفی و معنی‌داری با شاخص شدت آشفتگی در منطقه نشان داد (r=−۰/۶۲۵، sig<۰/۰۰۱). همچنین شاخص تنوع اندازه‌ای شانون برای سه منطقه با شدت آشفتگی کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۱/۷، ۱/۴ و ۱/۵ به‌دست آمد.

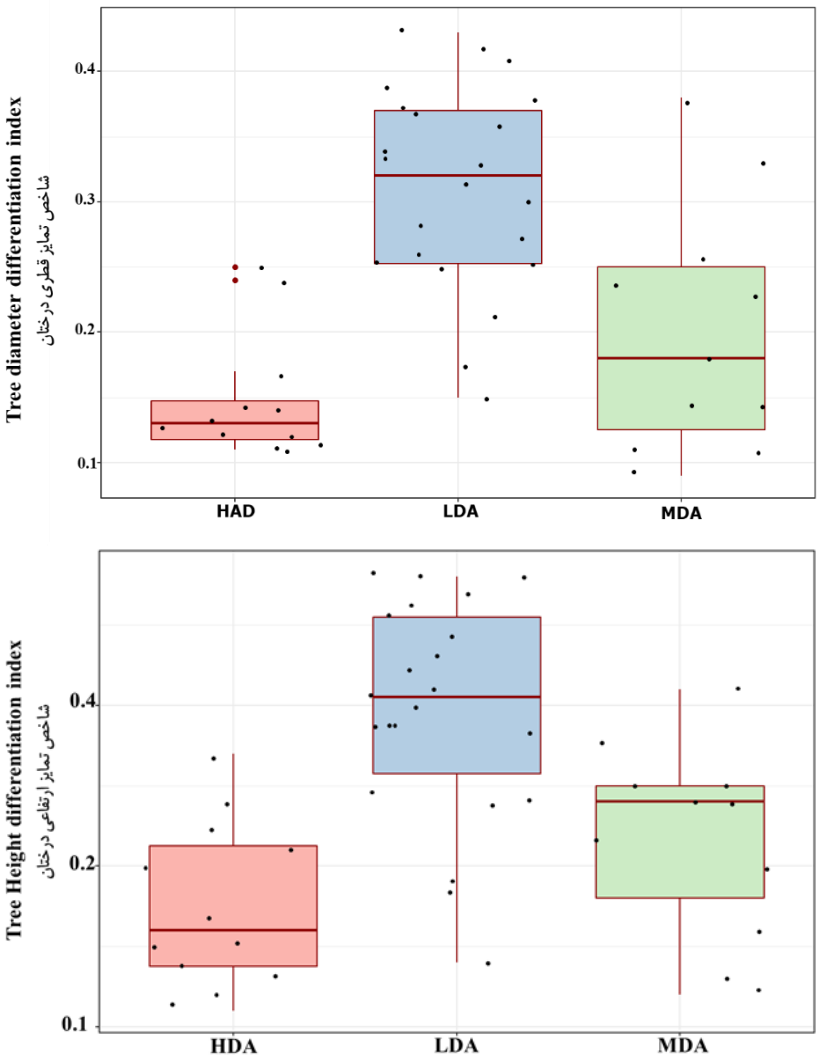



شکل ۲- نمودار ویولنی پراکنش شاخص ضریب جینی در سه ناحیه با شدت‌های مختلف آشفتگی (بالا) و همبستگی بین شاخص آشفتگی و ضریب جینی قطر درختان در ارتفاع برابر سینه (پایین)

HDA، MDA و LDA به‌ترتیب نشان‌دهنده ناحیه‌های با شدت آشفتگی زیاد، متوسط و کم هستند.

**(top) and Gini coefficient distribution in three areas with different disturbance intensities Figure 2. Violon plots correlation of disturbance intensity index and gini coefficient (down)**
**HAD, MDA, and LDA show high, medium, and low disturbed areas, respectively.**

تحلیل شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی درختان نیز نتایج متفاوتی را نشان داد (شکل ۳). براین‌اساس، شاخص تمایز قطری درختان در ناحیه با آشفتگی کم به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ناحیه دیگر هستند (F=۱۳/۸۶، sig<۰/۰۰۱). همچنین، این شاخص، رابطه منفی و معنی‌داری با شدت آشفتگی نشان داد (۰/۶۵۶- =r، sig<۰/۰۰۱). به‌طور مشابهی، اختلاف معنی‌داری بین نواحی مختلف ازنظر شاخص تمایز ارتفاعی مشاهده شد (F=۱۱/۵۵، sig<۰/۰۰۱) همچنین، این شاخص رابطه منفی و معنی‌داری با شدت آشفتگی نشان داد (۰/۶۱۲- =r، sig <۰/۰۰۱).




شکل ۳- نمودار جعبه‌ای پراکنش شاخص‌های تمایز قطری (بالا) و ارتفاعی درختان (پایین) در نواحی با شدت متفاوت از آشفتگی انسانی

HDA، MDA و LDA به‌ترتیب نشان‌دهنده ناحیه‌های با شدت آشفتگی زیاد، متوسط و کم هستند.

**Figure 4. Box plots of diameter (top) and height differentiation indexes (down) in areas with different disturbance intensities**

**HAD, MDA, and LDA showe high, medium, and low disturbed areas, respectively.**

## بحث

امروزه، افزایش پیچیدگی در ساختار جنگل‌ها و حفظ آمیختگی توده‌های جنگلی برخلاف رویکرد کلاسیک، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت این بوم‌سازگان‌ها دارد (Sefidi, 2023). پیچیدگی ساختار در جنگل‌ها، نتیجه وجود تنوع در ابعاد درختان است که تحت تأثیر دخالت‌های انسانی می‌تواند تغییر یابد (Bugmann & Seidl, 2022). هرگونه دخالت در ساختار جنگل مانند انجام عملیات پرورشی با اهداف زیستی یا اقتصادی و یا برداشت‌های غیرقانونی به‌عنوان یک آشفتگی با منشأ انسانی می‌تواند سبب تغییر در ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی شود. در سال‌های اخیر، اثرات معنی‌دار آشفتگی‌های انسانی بر ساختار جوامع درختی بلوط در غرب کشور گزارش شده است (Mirdavoodi *et al.*, 2013; Pourhashemi *et al.*, 2015; Shakeri *et al.*, 2021). در پژوهش پیش‌رو، تنوع اندازه‌ای درختان به‌عنوان مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری پیچیدگی ساختار (Seidel *et al.*, 2019) بررسی شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، اگرچه میانگین قطر درختان در ناحیه با آشفتگی زیاد، بیشینه بود، اما اختلاف معنی‌داری از این نظر بین سه ناحیه مورد مطالعه مشاهده نشد. براساس مشاهده‌های میدانی نگارندگان در نواحی تحت تأثیر آشفتگی، درختان کم‌قطر به‌علت سهولت در برش به‌راحتی از توده حذف می‌شوند. همین عامل سبب افزایش میانگین قطر شده است (۱۸/۷ سانتی‌متر در ناحیه با آشفتگی زیاد در برابر ۱۶/۶ سانتی‌متر در آشفتگی کم). همچنین، امکان زنده‌مانی و استقرار نهال در ناحیه با آشفتگی کم به افزایش تعداد در هکتار درختان و کاهش میانگین قطر در این ناحیه منجر شده بود. این موضوع با تحلیل شاخص فاصله از نزدیک‌ترین همسایه به‌درستی قابل‌تفسیر است. اگرچه تراکم درختان در منطقه با آشفتگی زیاد، بیشتر از منطقه با آشفتگی متوسط به‌دست آمد، اما شاخص فاصله از نزدیک‌ترین همسایه در ناحیه با آشفتگی زیاد به‌طور معنی‌داری، بیشتر از دو ناحیه دیگر بود. به‌عبارت دیگر، فاصله بین پایه‌های درختی درنتیجه افزایش دخالت‌های انسانی افزایش یافته است. حذف پایه‌های کم‌قطر و عدم استقرار نهال می‌تواند علت اصلی این پدیده باشد (Ruprecht *et al.*, 2010). در منطقه با آشفتگی شدید، حضور انسان به‌واسطه وجود چشمه آب و نیز رخداد آتش‌سوزی در سال‌های دور (براساس اطلاعات افراد بومی) سبب حذف زادآوری استقراریافته و پایه‌های جوان شده بود، درحالی‌که منطقه با شدت کم آشفتگی باتوجه‌به فاصله کافی از مسیر مالرو موجود و نزدیکی به دره، شرایط مناسبی برای استقرار گونه‌ها را نشان می‌دهد. بررسی تأثیر آشفتگی انسانی بر ترکیب پوشش گیاهی در جنگل‌های بلوط در زاگرس میانی نیز نشان داد که بیشترین تعداد گونه‌های بومی، تاج‌پوشش درختی، زی‌توده، تعداد درخت در هکتار و متوسط درصد تاج‌پوشش علفی متعلق به کاربری حفاظت‌شده با کمترین مداخله‌های انسانی است (Veiskarami *et al.*, 2018). به‌طورکلی، نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج گزارش‌ها در جنگل‌های بلوط زاگرس مبنی‌بر کاهش تعداد در هکتار و افزایش فاصله بین درختان درنتیجه آشفتگی‌ها مطابقت دارند.

از دلایل دیگر عدم استقرار زادآوری در منطقه مورد مطالعه می‌توان به حضور دام در سال‌های پیشین اشاره کرد که ممکن است یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تنوع گونه‌ای و درنتیجه، عدم حضور پایه‌های جوان در ناحیه با آشفتگی زیاد باشد (Sefidi & Sadeghi, 2021). پیش‌تر نیز تأثیر چرای دام بر حذف زادآوری و کاهش تنوع گونه‌ای در جنگل‌های ارسباران گزارش شده بود (Alijanpour *et al.*, 2009). در پژوهش پیش‌رو، رابطه معنی‌داری بین شاخص شدت آشفتگی و میانگین قطر مشاهده نشد. این موضوع می‌تواند به‌علت وجود پایه‌های به‌نسبت قطور (بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر) در هر سه ناحیه با شدت مختلف آشفتگی باشد. در مشاهده‌های میدانی، کاهش پایه‌های جوان و کم‌قطر اوری و عدم حضور گونه‌هایی مانند کرب و ون در منطقه با شدت آشفتگی

زیاد مشهود بود. در همین راستا، شاخص تمایز قطری درختان نیز تفاوت هایی در نواحی با آشفتگی مختلف را نشان می‌دهد. در ناحیه با شدت آشفتگی کم، بیشترین مقدار از تنوع اندازه‌ای درختان مشاهده شد (شکل ۴). هرچه شاخص تمایز قطری، بزرگ‌تر باشد، ناهمگنی و تغییرات اندازه‌ای درختان نیز بیشتر خواهد شد (Ruprecht *et al.*, 2010). تغییرات اندازه‌ای درختان به‌معنای حضور درختان در اندازه‌های مختلف مانند درختان قطور، کم‌قطر و میان‌قطر در کنار هم است، درحالی‌که مقدار کم این شاخص، نشان‌دهنده شباهت قطر درختان توده و قرار گرفتن اغلب درختان در طبقه‌های قطری یکسان است. برخلاف نتایج مطالعه در جنگل های کلیبر (Sefidi et al., 2022) در این مطالعه مقدار تمایز قطری در ناحیه با شدت بالای آشفتگی بالا است. علت این موضوع عدم حضور پایه‌های جوان در ناحیه با آشفتگی زیاد است که منجر به کاهش مقدار عددی شاخص تمایز شده است. در حالیکه در مطالعه فوق الذکر توده با حضور درختان با پایه های مختلف است که در مواردی برش انتخابی منجر به ناهمگنی در قطر شده است. شاخص تمایز ارتفاعی نیز روند مشابهی تمایز قطری در منطقه را نشان داد. به‌نظر می‌رسد که حضور درختان و درختچه‌هایی مانند هفت‌کول و سیاه‌تلو (*Paliurus spina-christi* Mill.) در زیراشکوب همراه با افزایش فراوانی ون و کرب در مناطق دور از دسترس سبب شکل‌گیری تنوع قابل‌قبولی در ساختار ارتفاعی جنگل‌های با آشفتگی کم شده است. درعین‌حال، مناطق دور از مسیر پیاده‌روی گردشگران، مشرف به دره است. وجود یک دامنه به‌نسبت پرشیب سبب تغییرات قابل‌توجه در شرایط فیزیوگرافیک و درنتیجه، تغییر در خرداقلیم می‌شود. در پژوهش‌های پیشین به اثرات خرداقلیم و فیزیوگرافی خرد بر انتشار درختان اشاره شده است. به‌عنوان مثال، بررسی تأثیر آشفتگی بر تنوع گیاهی و گونه‌های مهاجم در جنگل‌های بلوط ایلام نشان داد که چرای دام و فیزیوگرافی، مؤثرترین عوامل تغییر در ساختار جنگل هستند (Mirdavoodi *et al.*, 2013). براساس نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو، کاهش معنی‌دار تنوع ارتفاعی با افزایش شدت آشفتگی‌ها نشان‌دهنده اثر انسان بر تغییر در ساختار عمودی جنگل‌ها است. این موضوع می‌تواند ناشی از تنوع گونه‌ای بسیار کم در ناحیه با آشفتگی زیاد باشد. شکل‌گیری تنوع در ساختار عمودی جنگل، مستلزم حضور درختان از گونه‌های با سرشت نوری متفاوت است. یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تنوع گونه‌ای می‌تواند شدت دخالت‌های انسانی باشد. در بررسی تخریب انسانی در جنگل‌های شهرستان بانه در زاگرس شمالی نیز اثرات منفی و معنی‌دار این دخالت‌ها بر تنوع گونه‌ای جنگل گزارش شد (Salehzadeh *et al*., 2016).

در نتیجه‌گیری کلی می‌توان عنوان کرد که آشفتگی‌های انسانی، تأثیر منفی بر تنوع اندازه‌ای درختان و درنتیجه، ساختار توده‌های جنگلی دارند. این موضوع می‌تواند به کاهش پیچیدگی در ساختار توده‌های جنگلی منجر شود. براین‌اساس، توصیه می‌شود که ضمن برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش شدت آشفتگی‌های با منشأ انسانی در مناطق فاقد تنوع اندازه‌ای، درختان گونه‌های پیش‌آهنگ برای غنی‌سازی و افزایش پیچیدگی در ساختار عمودی کاشته شوند. همچنین، افزایش تنوع اندازه‌ای، مستلزم تهیه طرح و برنامه حفاظتی و پرورشی مناسب با توده و شرایط رویشگاهی است که این مهم باید در دستورکار سازمان‌های متولی مدیریت جنگل‌های مورد مطالعه قرار گیرد.

## منابع مورد استفاده

- Alijanpour, A., Eshaghi Rad, J. and Banej Shafiei, A., 2009. Comparison of woody plants diversity in protected and non-protected areas of Arasbaran forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(1): 125-133 (In Persian with English summary).
- Beche, D., Tack, A., Nemomissa, S., Warkineh, B., Lemessa, D., Rodrigues, P., ... and Hylander, K., 2022. Spatial variation in human disturbances and their effects on forest structure and biodiversity

wildfire simulation using FARSITE model (case study: Yeylagh Gasre Dagh, Meshgin Shahr Municipality). Journal of Natural Environmental Hazards, 9(25): 171-190 (In Persian with English summary).
- Keenan, R.J., 2015. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. Annals of Forest Science, 72: 145-167.
- Kraus, D. and Krumm, F., 2013. Integrative Approaches as an Opportunity for the Conservation of Forest Biodiversity. European Forest Institute, Freiburg, Germany, 284p.
- Mirdavoodi, H., Marvi Mohadjer, M.R., Zahedi Amiri, Gh. and Etemad, V., 2013. Disturbance effects on plant diversity and invasive species in western oak communities of Iran (Case study: Dalab Forest, Ilam). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(1): 1-16 (In Persian with English summary).
- Nobakht, A.A., Hojjati, S.M., Pourmjidian, M.R. and Khorrami, R.A., 2018. Investigation on livestock presence in forest on plant biodiversity and soil properties in Zalemroud, Neka, Mazandaran province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 26(3): 382-392 (In Persian with English summary).
- Pourhashemi, M., Mansouri, F., Parhizkar, P., Panahi, P. and Hasani, M. 2015. Spatial pattern of sprout-clumps of Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) in utilized forest stands of Marivan. Journal of Plant Research, 27(4): 534-543 (In Persian with English summary).
- Rahayu, S., Pambudi, S., Permadi, D., Tata, H.L., Martini, E., Rasnovi, S., … and van Noordwijk, M., 2022. Functional trait profiles and diversity of trees regenerating in disturbed tropical forests and agroforests in Indonesia. Forest Ecosystems, 9: 100030.
- Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Klumpp, R. and Vacik, H., 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. European Journal of Forest Research, 129: 189-198.
- Salehzadeh, O., Es'haghi 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 with English summary).
- Sefidi, K. and Sadeghi, S.M.M., 2021. Anthropogenic disturbance impacts on spatial pattern of Caucasian oak (*Quercus macranthera*) stands in the Hatam Mashe Si forests, Arasbaran. Iranian Journal of Forest, 13(2): 155-168 (In Persian with English summary).
- Sefidi, K., 2023. Closer to Nature Silviculture, across an Afromontane forest. Landscape Ecology, 37: 493-510.
- Bugmann, H. and Seidl, R., 2022. The evolution, complexity and diversity of models of long-term forest dynamics. Journal of Ecology, 110(10): 2288-2307.
- Buma, B., 2015. Disturbance interactions: characterization, prediction, and the potential for cascading effects. Ecosphere, 6(4): 1-15.
- Burton, P.J., Jentsch, A. and Walker, L.R., 2020. The ecology of disturbance interactions. BioScience, 70(10): 854-870.
- Cao, Y. and Natuhara, Y., 2020. Effect of anthropogenic disturbance on floristic homogenization in the floodplain landscape: Insights from the taxonomic and functional perspectives. Forests, 11(10): 1036.
- Cardelús, C.L., Woods, C.L., Bitew Mekonnen, A., Dexter, S., Scull, P. and Tsegay, B.A., 2019. Human disturbance impacts the integrity of sacred church forests, Ethiopia. PLoS One, 14(3): e0212430.
- Caviedes, J. and Ibarra, J.T., 2017. Influence of anthropogenic disturbances on stand structural complexity in Andean temperate forests: Implications for managing key habitat for biodiversity. PLoS One, 12(1): e0169450.
- Ebrahimi, S.S. and Pourbabaei, H., 2013. Effect of conservation on spatial pattern of dominant trees in beech (*Fagus orientalis* Lipsky) communities, (Case study: Masal, Guilan). Iranian Journal of Applied Ecology, 2(4): 13-24 (In Persian with English summary).
- Ebrahimi, S.S., Pourbabaei, H., Potheir, D., Omidi, A. and Torkaman, J., 2014. Effect of livestock grazing and human uses on herbaceous species diversity in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests, Guilan, Masal, northern Iran. Journal of Forestry Research, 25: 455-462.
- Ghanbari, S., Sefidi, K. and Fathizadeh, O., 2019. Composition and structure of English yew forest stands (*Taxus baccata* L.) in different conservation systems of Arasbaran forests, Iran. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 26(2): 31-49 (In Persian with English summary).
- Gonçalves, A.C., 2022. Stand structure impacts on forest modelling. Applied Sciences, 12(14): 6963.
- Ildoromi, A., Ghasemi, F. and Bahmani, N., 2016. Investigation the role of socio-economic factors on the degradation of Zagros forests (Kakareza Lorestan). Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 13(2): 140-149 (In Persian with English summary).
- Jahdi, R., Ghorbani, A. and Sefidi, K., 2020. Survey of

- Valadi, G., Eshaghi-Rad, J. and Zargaran, M.R., 2017. Evaluation of disturbance impact on species diversity of oak forest using parametric method. Journal of Forest Research and Development, 2(4): 315-324 (In Persian with English summary).
- Veiskarami, Z., Pilehvar, B. and Haghizadeh, A., 2018. Effects of anthropogenic disturbance on flora, vegetation composition and floristic quality of middle Zagros Forest using conservatism coefficient (Shine Qelaii Forest, Lorestan province). Journal of Forest Research and Development, 4(3): 377-400 (In Persian with English summary).
- Willim, K., Ammer, C., Seidel, D., Annighöfer, P., Schmucker, J., Schall, P. and Ehbrecht, M., 2022. Short - term dynamics of structural complexity in differently managed and unmanaged European beech forests. Trees, Forests and People, 8: 100231.
Concepts to Ecological Management of Forest Ecosystems. University of Mohaghegh Ardabili Press, Ardabil, Iran, 388p.
- Sefidi, K., Copenheaver, C.A. and Sadeghi, S.M.M., 2022. Anthropogenic pressures decrease structural complexity in Caucasian forests of Iran. Écoscience, 29(3): 199-209.
- Seidel, D., Ehbrecht, M., Dorji, Y., Jambay, J., Ammer, C. and Annighöfer, P., 2019. Identifying architectural characteristics that determine tree structural complexity. Trees, 33(3): 911-919.
- Shakeri, Z., Mohammadi-Samani, K., Maarofi, H., Khoonsiavashan, S. and Sharifi, K., 2021. Species diversity, life form, and chorotypes of plant species in sacred groves and surrounding silvopastoral woodlands of Northern Zagros, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 29(2): 101-113 (In Persian with English summary).
- Thom, D., Ammer, C., Annighöfer, P., Aszalós, R., Dittrich, S., Hagge, J., ... and Seidl, R., 2023. Regeneration in European beech forests after drought: the effects of microclimate, deadwood and browsing. European Journal of Forest Research, 142: 259-273.