Journal of Environmental Research
Vol. 15, No. 29, Spring & Summer 2024

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

The Effects of Topography on Species Composition and Stand Structure in Central Zagros Forests

Iman Zafarian[1], Ali Soltani[2], Ali Jafari[3*]

1. Graduated Student of forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran
2. Associate professor, Department of forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University , Iran
3. Associate professor, Department of environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University , Iran

Document Type
Research Paper

Received
2023/12/26

Accepted
2024/05/26

DOI: 10.22034/eiap.2024.393251.2500

Abstract

The study encompassed multiple forests within a 24,000-ha area in Ardal and Kiar counties, Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. It involved the analysis of tree and stand indices to assess the spatial characteristics of the forests along topographic gradients. The findings indicated that the forest stands exhibited irregular and heterogeneous patterns at the plot level, particularly in terms of diameter, height and uniformity indices. However, the density and tree species composition were consistent across all forest stands. The influence of slope on tree- and stand-based indices was generally not statistically significant, except for the height diversity index, which displayed higher values in forests situated on steep slopes. Changes in the geographic aspect and altitude did not exert significant effects on tree and forest indices, except for the tree diameter diversity index, which exhibited variations with altitude. The dominant tree species observed in all forests was *Quercus brantii*, followed by *Pistacia atlantica*. The presence of certain species was influenced by topographical factors, such as *Daphne mucronata* being exclusive to southern slopes and plains, Fraxinus angustifolia being limited to lower altitudes, and wild almond species being restricted to specific altitude ranges. Statistical analysis revealed no significant variation in plant species distribution across the topographical factors. Notably, families including Asteraceae, Poaceae, and Fabaceae exhibited the highest species counts within the entire study area.

Key words: Topography, Species composition, Stand structure, Zagros forests.

* Corresponding author: Email: jafari.ali@sku.ac.ir

Introduction

The Zagros Forest region is a critical natural resource area in Iran, covering a significant portion of the country's land surface and accommodating a substantial population. Spanning approximately 2.5 million hectares, these forests are inhabited by over 190 tree and shrub species. Apart from their socio-economic importance, they play a vital role in preserving water resources, conserving soil, regulating climate, and conserving genetic diversity (Khosravi et al., 2014; Jafari et al., 2018). However, the biodiversity of the Zagros forests has historically been at risk due to decentralized management, conflicting land ownership, and diverse land use practices.

Understanding the composition of plant species and the structure of forest stands is crucial for comprehending growth, performance, and ecological processes in these ecosystems. While the establishment and composition of plant species in these forests are primarily controlled by macro-scale climate factors, local-scale factors also come into play. Topography, particularly in areas with significant elevation changes, plays a pivotal role in influencing moisture availability for plant communities. Southern slopes in the northern hemisphere receive more solar radiation, resulting in higher temperatures, increased potential evaporation, and energy allocation to forested areas. Conversely, changes in geographic direction can moderate the impacts of climate change. Higher elevations cause steeper slopes, shallower soil depths, and stronger wind currents, leading to temperature reduction. This intricate interplay of factors underscores the essential role of topographic features in determining the establishment and composition of plant species in forest ecosystems.

Given the growing demand for spatial forest structure data and a comprehensive understanding of management practices, including forestry and harvesting, investigating species composition and spatial structure becomes crucial. Such studies are necessary for assessing the influence of topographic factors on forest ecosystems and informing management practices. While previous studies have explored various aspects of species composition and stand structure in forest ecosystems, including their relationship with different environmental factors, this research distinguishes itself by examining the simultaneous influence of topographic factors.

Material and Methods

Study Area

The study area encompasses a vast geographical region covering approximately 24,000 hectares. It is located within the Ardell County and a portion of the Kiarr County, situated between geographical latitudes ranging from 47°31' to 58°31' North and longitudes ranging from 28°50' to 40°50' East. The elevation in this region varies between 1400 to 2950 meters above sea level. The average annual precipitation in this area falls within the range of 400 to 800 millimeters.

Data Collection

Eleven forest stands, each characterized by diverse plant cover and varying topographical conditions, were identified based on forest reconnaissance and an examination of maps and archival documents. These forest stands were situated at elevations ranging from 1800 to 2200 meters above sea level.

One-hectare sample squares were selected using systematic random sampling for each forest stand. The sample square centers were determined by establishing a strip covering up to one-fourth of the stand's area at the highest elevation, selecting a random point within the strip, and laying out six to nine sample squares from that point to the stand's boundary. One square meter quadrats were placed systematically within each sample square to identify non-woody plants at the family level. Topographical characteristics and measurements of trees, shrubs, and plant size were recorded using calipers, a clinometer, and centimeter accuracy. Trees were classified into one or more strata based on crown height, with a minimum of 20% crown overlap, resulting in multiple strata per tree. Quantitative diversity indices, such as diameter diversity, height diversity, uniformity angle index, and species diversity index, were used to assess structural diversity.

Analysis

Initially, we examined whether there were differences in the measured indices among forest stands, disregarding topographical factors. One-way analysis of variance was used for this analysis. If no statistically significant differences were found, it was concluded that the sample squares were homogeneous, regardless of topographical variation. In such cases, the focus of the study shifted accordingly. However, if significant differences were observed, the forest stand factor was treated as a random variable, and the effect of

topographical factors (considered as fixed variables) on the indices was evaluated using a general linear model. An acceptable error rate of 5% was used for this analysis. In instances of significant differences, comparisons between means were conducted using the Tukey test with the assistance of Minitab software.

Results

The vegetation in the study area exhibited high irregularity and non-uniformity, with significant variations observed in diameter diversity, height diversity, uniform angle index, and species mixture. Sample plots with single-stem trees tended to contain mature trees, while those with more than 10 stems had younger trees. Among the twelve measured indices, only tree density and species mixture showed consistency across forest stands, indicating uniform variations not attributable to topographic factors. Consequently, these two indices were not further considered in topographic factor comparisons.

Analysis of variance on slope percentage indicated that, except for the height diversity index, other tree and forest indices remained statistically consistent across slope variations. Maximum uniformity was observed in average tree diameter and percentage of ground cover. Tukey's test revealed that the height diversity index was significantly higher in forests on very steep slopes (>65%). Aspect direction changes did not significantly affect tree and forest indices, with the highest uniformity observed in the percentage of ground cover.

Elevation above sea level had a limited impact on tree and forest indices, except for the tree diameter diversity index, which was significantly higher at elevations between 2100-2200 meters. No significant differences were observed among other elevation classes.

In terms of woody plant species diversity, Iranian oak (*Quercus brantii* Lindl.) dominated the studied forests, followed by several other species. Notably, non-woody plant species did not exhibit significant differences across topographic factors, with Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, and Apiaceae being the prominent plant families represented.

Discussion

The forest stands in this study displayed substantial irregularity and heterogeneity, indicative of the considerable human impact and diverse stressors on these ecosystems. While other research in the central Zagros forests reveals similar patterns, these forests have experienced notable threats like tree cutting, overgrazing, and shifting cultivation, leading to changes in species composition and forest structure (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003). Regarding slope, this study found that steep slopes primarily influenced tree height variation while not significantly altering other forest characteristics. This aligns with some findings in oak forests in Poland (Baran et al., 2020) but contrasts with results in broadleaf forests in Beijing, China (Lu et al., 2023). Research also suggests that the percentage of tree branching in oak forests in Ilam increases with higher elevations above sea level (Hoseini et al., 2008). Assuming that diameter diversity is generally greater in shade-tolerant tree groups than in light-demanding tree species, these results are consistent with the present study. Trees at higher elevations are likely less accessible and less affected by logging and branching, leading to greater vertical growth (Noshadi et al., 2014). It is worth noting that the study did not reveal any change in the average number of stems within the study's tree clusters along the elevational gradient.

Human-induced disturbances around protected areas affected the woody and non-woody species composition, similar to the impact seen in regions with higher disturbance levels (Rao et al., 1990; Daniels et al., 1995). The observed variation in tree and forest structure is due to human disturbances and environmental heterogeneity, as emphasized in previous studies by Fleming et al. (2009) and Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi (2003). Topographic and soil differences have a clear influence on forest structure, while human factors like grazing and tree cutting play a substantial role, even if differences were not statistically significant.

Research has indicated varied impacts of anthropogenic factors and management practices on different topographic characteristics. For instance, forests on gentler slopes tend to be younger, while oak trees in Zagros forests show different dimensions based on their orientation (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003; Valipour et al., 2013).

References

Baran, J.; Pielech, R.; Kauzal, P.; Kukla, W. & Bodziarczyk, J. 2020. Influence of forest management on stand structure in ravine forests. Forest Ecology and Management 463:118018.

Daniels, R. J.; Gadgil, M. & Joshi, N. V. 1995. Impact of human extraction on tropical humid forest in the Western Ghats in Uttara Kannada. South India. Journal of Applied Ecology. 32: 866-874.

Fleming, G. M.; Diffendorfer, J. E. & Aedler, P. H. 2009. The relative importance of disturbance and exotic-plant abundance in California coastal sage scrub. Ecological Applications. 19: 2210- 2227.

Jafari, A.; Kaji, H. S.; Azadi, H., Gebrehiwot, K.; Aghamir, F. & Van Passel, S. 2018. Assessing the sustainability of community forest management: a case study from Iran. Forest Policy and Economics, 96:1–8.

Hoseini, A.; Moayeri, M.H. & Haidari, H. 2008. Effect of site elevation on natural regeneration and other characteristics of oak (*Quercus brantii*) in the Hyanan's forest, Ilam. Journal of Agriculture Science and Natural Resources 15(1):1-10. (In Persian)

Jazirehi, M. H. & Ebrahimi Rostaghi, M. 2003. Silviculture in zagros. Tehran University Press. 558p. (In Persian)

Khosravi, S.; Maleknia, R. & Khedrizadeh, M. 2014. Economic role of forests in rural livelihoods in northern Zagros. Forest Sustainable Development, 1(3), 251-268.

Lu, S.; Zhang, D.; Wang, L.; Dong, L.; Liu, C.; Hou, D.; Chen, G.; Qiao, X.; Wang, Y. & Guo, K. 2023. Comparison of plant diversity-carbon storage relationships along altitudinal gradients in temperate forests and shrublands. Frontiers in Plant Science.14:1120050.

Noshadi, H.; Namiranian, M.; Attarod, P. & Hoseinzadeh, J. 2014. Effect of Physiographic Factors on Mortality of Persian Oak in the Middle of Forests (Case study: Ilam). Forest and Wood Products, 67(1), 73-84. (In Persian)

Rao, P.; Barik, S. K.; Pandey, H. N. & Tripathi, R.S. 1990. Community composition and tree population structure in a sub-tropical broadleaved forest along a disturbance gradient. Vegetatio. 88: 151-162.

Valipour, A.; Namiranian, M.; Ghazanfari, H.; Heshmatol-Vaezin, S., Lexer, M. & Plieninger, T. 2013. Relationships between forest structure and tree's dimensions with physiographical factors in Armardeh forests (Northern Zagros). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(1), 30-4. (In Persian)

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۵، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۳، از صفحه ۹۷ تا ۱۱۳

تاثیر توپوگرافی بر ترکیب گونه‌ای و ساختار توده در جنگل‌های زاگرس مرکزی

ایمان ظفریان ریگکی[۱]، علی سلطانی[۲]، علی جعفری*[۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران
۲. دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران
۳. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

چکیده

این مطالعه در منطقه‌ای با مساحت ۲۴۰۰۰ هکتار در شهرستان‌های اردل و کیار، استان چهارمحال‌وبختیاری انجام شد. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی ویژگی‌های شاخص‌های درختی و ساختاری جنگل‌ها در طول تغییرات توپوگرافی منطقه بود. نتایج نشان داد که توده‌های جنگلی در سطح قطعات نمونه، به خصوص در مورد قطر، تنوع ارتفاع و شاخص‌های یکنواختی، الگوهای نامنظم و ناهمگنی را نشان می‌دهند. اما در کل، تراکم و آمیختگی گونه‌های درختی در تمام جنگل‌ها بسیار یکنواخت بود. اثر شیب بر شاخص‌های درختی و توده‌ای به طور کلی معنی‌دار نبود، به جز شاخص تنوع ارتفاع که در جنگل‌های واقع در دامنه‌های با شیب تند، مقادیر بالاتری را نشان داد. همچنین، تغییرات در ارتفاع از سطح دریا و جهت جغرافیایی تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های درخت و جنگل نداشتند، به جز شاخص تنوع قطر درخت که تغییرات وابسته به ارتفاع از سطح دریا را نشان داد. گونه‌های درختی اصلی در تمام جنگل‌ها *Quercus brantii* و *Pistacia atlantica* بودند، اما حضور گونه‌های خاصی تحت تاثیر عوامل توپوگرافی قرار گرفتند، مانند *Daphne mucronata* منحصر به ارتفاعات بالا، دامنه‌ها و دشت‌های جنوبی، *Fraxinus angustifolia* محدود به ارتفاعات پایین‌تر و گونه‌های بادام وحشی محدود به دامنه ارتفاع خاصی بودند. نامنظمی و آشفتگی شدید این جنگل‌ها در مقیاس‌های کوچک و یکنواخت بودن ترکیب گونه‌های گیاهی و شاخص‌های ساختاری جنگل در مقیاس‌های بزرگ، این‌گونه تفسیر شد که قبل از آن که این جنگل‌ها تحت تاثیر تغییرات توپوگرافی قرار گرفته باشند، دستخوش فشارهای انسانی هستند.

کلید واژه‌ها: توپوگرافی، ترکیب گونه‌ای، ساختار توده، جنگل‌های زاگرس

*نویسنده مسئول: Email: jafari.ali@sku.ac.ir
DOI: 10.22034/eiap.2024.393251.2500
DOR: 20.1001.1.20089597.1403.15.29.5.8

سرآغاز

منطقه رویشی زاگرس از جمله مناطق مهم و با ارزش منابع‌طبیعی کشور ایران است که وسعتی بیش از یک پنجم سطح، در حدود یک سوم جمعیت و بیش از ۵۰ درصد دام کشور را دارا می‌باشد. تعداد گونه‌های درختی و درختچه‌ای آن بیش از ۱۹۰ گونه می‌باشد که در سطح ۵/۲ میلیون هکتار جنگل‌های آن یافت می‌شوند. این جنگل‌ها ضمن برخورداری از اثرات اجتماعی- اقتصادی ویژه در حفظ منابع آبی، حفاظت خاک، تعدیل آب‌وهوا و حفظ ذخایر ژنتیکی اهمیت قابل توجهی دارند (Khosravi et al., 2014; Jafari et al., 2018). این در شرایطی است که جنگل‌های زاگرس به واسطه عدم مدیریت متمرکز، ملی بودن اراضی و تعارض با اراضی شخصی همیشه در معرض از بین رفتن ارزش‌های تنوع زیستی خود بوده‌اند (Ghazanfari et al., 2004). دامنه به نسبت وسیعی از کاربری‌ها و کاربردهای محلی از گذشته‌های دور در این جنگل‌ها وجود داشته که بر ترکیب و ساختار جنگل و ویژگی‌های درختان تاثیر می‌گذارند. شدت و نحوه تاثیر این فعالیت‌ها به طور مستقیم به رفتار مدیران سنتی (Zandebasiri & Ghazanfari, 2010) و عوامل محیطی رویشگاه همچون فیزیوگرافی، اقلیم و غیره نیز وابسته است (Mohsennezhad et al., 2010; Fakhimi Abarghoie et al., 2011).

ترکیب گونه‌های گیاهی و ساختار توده عوامل کلیدی در رشد، عملکرد و چگونگی تغییر و تحولات در جنگل‌ها هستند و در برنامه‌های اصلاح و مدیریت جنگل، درک درست و دانستن نقش آن‌ها در فرایندهای مهم اکوسیستم، بسیار حایز اهمیت است (Boyden et al., 2005; Pommerening, 2006; Rouhi-Moghaddam et al., 2011; Nero and Opoku, 2022). با توجه به نیاز روز افزون به اطلاعات ساختار مکانی جنگل و همچنین به منظور درک صحیح و تشریح فعالیت‌های مدیریتی، از جمله فعالیت‌های پرورشی و بهره‌برداری، بررسی ترکیب گونه‌ای و ساختار فضایی جنگل امری ضروری است (Corral, et al., 2010). ترکیب گونه‌ای و ساختار جنگل همچنین بر روی ارزش‌های زیبایی‌شناختی، تفریحی- گردشگری و نیز فون و فلور گونه‌ها اثر می‌گذارند و فاکتورهای مهم در تحلیل اکوسیستم‌های جنگلی هستند (Zenner & Hibbs, 2000; Su et al., 2012)؛ لذا می‌توان از آن به عنوان یک شاخص برای بررسی تنوع کلی و تناسب رویشگاه استفاده کرد (Staudhammer & LeMay, 2001). الگوهای استقرار و ترکیب گیاهان در مقیاس کلان و در وهله اول توسط اقلیم کنترل می‌شوند، ولی در مقیاس محلی تحت تاثیر عوامل دیگری هستند. توپوگرافی یکی از مهمترین مولفه‌هاست که بیشترین تاثیر را بر جوامع گیاهی، به‌خصوص جنگل‌ها می‌گذارد (Bowman & Seastedt, 2001). جهت جغرافیایی، به‌ویژه در یک رویشگاه با تغییرات ارتفاعی قابل توجه، اثرات کلیدی بر رطوبت قابل دسترس گیاهان دارد. در نیمکره شمالی، شیب‌های جنوبی اشعه خورشید بیشتری دریافت کرده، گرما، پتانسیل تبخیر و تعرق و انرژی بیشتری را نصیب توده‌های جنگلی می‌کنند. از سوی دیگر تغییر جهت جغرافیایی می‌تواند ملایم‌کننده اثرات تغییر اقلیم باشد (Hawthorne & Miniat, 2018). شیب‌های زیاد، عمق‌های کمتر خاک و جریانات شدیدتر بادی را سبب شده و ارتفاعات بیشتر سبب کاهش دمایی می‌شوند. مجموعه این عوامل سبب می‌شوند تا عوامل توپوگرافی یکی از پیچیده‌ترین اثرات را بر استقرار گیاهان در یک رویشگاه جنگلی داشته باشند. از این‌رو در پژوهش حاضر به بررسی تاثیر شرایط توپوگرافی مختلف بر ترکیب گونه‌های چوبی (درختی و درختچه‌ای) و غیرچوبی (علفی و بوته‌ای) و چیدمان فضایی (ساختار) این گونه‌ها در توده‌های جنگلی واقع در بخشی از جنگل‌های شهرستان اردل استان چهارمحال‌وبختیاری پرداخته شد.

مطالعات مختلف، جنبه‌های متفاوتی از نقش و اهمیت ترکیب گونه‌ای و ساختار توده و نیز تاثیر عوامل توپوگرافی بر ساختار و ترکیب گونه‌ای و روش‌های انجام پژوهش در این زمینه را مورد توجه قرار داده‌اند . بیشتر این مطالعات به بررسی رابطه غنا و تنوع گونه‌ای با عوامل فیزیوگرافی و توپوگرافی پرداخته‌اند (Taleshi & Akbarinia, 2011; Pourbabaei & Haghgooy, 2013; Sefidi et al., 2016; Jafari et al., 2021). برخی مطالعات نیز ارتباط بین ویژگی‌های کمی و کیفی ساختار توده‌های جنگلی را با عوامل توپوگرافی با استفاده از سایر مشخصه‌های توده نظیر خاک سنجیده‌اند (Ishii et al., 2004; Paluch, 2007; Torras & Ferreira, 2011; Pastorella and Paletto, 2013). توپوگرافی همیشه یکی از عوامل تاثیر گذار اصلی بر کاربرد روش‌های مختلف نمونه‌برداری یا شاخص‌های مختلف ترکیب گونه‌ای در تعیین ساختار توده‌های جنگلی (Rouhi-Moghaddam et al., 2011; Alijani et al., 2013; Heidari et al., 2013; Nouri et al., 2015) و یا تاثیر مدیریت‌های مختلف بر کیفیت ساختار توده‌های جنگلی (Onaindia et al., 2004; Rivas et al., 2005; Deal,

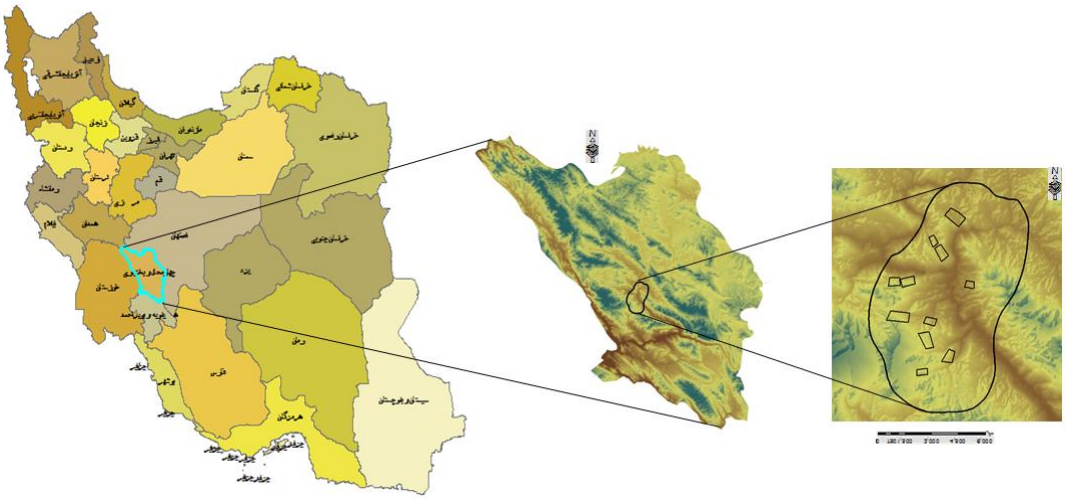
2007; Amiri et al., 2008; Sapkota et al., 2009; Kazemnezhad et al., 2012) مورد توجه قرار گرفته است.

همان‌طور که مرور منابع انجام شده نشان می‌دهد؛ بیشتر مطالعات انجام شده ارتباط بین ترکیب گونه‌ای و ساختار توده با عوامل مختلف محیطی را به طور جداگانه مورد توجه قرار داده‌اند و وجه تمایز مطالعه حاضر نسبت به مطالعات قبلی این است که تاثیر پذیری ترکیب گونه‌ای و ساختار توده از عوامل توپوگرافی را به طور توام مورد بررسی قرار داده است. همچنین بیشتر مطالعات فقط ترکیب گونه‌های چوبی (درختی و درختچه‌ای) را مورد توجه قرار داده‌اند، اما در تحقیق حاضر ترکیب و غنای گونه‌های غیرچوبی (علفی و بوته‌ای) زیر اشکوب توده‌های جنگلی را نیز مورد توجه و بررسی قرار داده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ناحیه‌ای با وسعت حدود ۲۴ هزار هکتار بین عرض‌های جغرافیایی ′۳۱°۴۷ تا ′۳۱°۵۸ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۵۰°۲۸ تا ″۴۰ ۵۰° شرقی، که در شهرستان اردل و بخشی از شهرستان کیار واقع شده شکل (۱) موضوع این پژوهش بود. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۴۰۰ و ۲۹۵۰ متر از سطح دریا است. همچنین بیشترین وسعت عرصه مورد مطالعه بین شیب‌های ۳۰- ۵ درصد قرار گرفته است. میانگین بارش سالانه در این منطقه ۴۰۰- ۸۰۰ میلی‌متر و میانگین دما در سردترین ماه سال (دی ماه) به ۲/۴ درجه سانتی‌گراد، در گرم‌ترین ماه سال (تیر ماه) ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانه آن ۱۴/۹ درجه سانتی گراد می‌رسد. بر این اساس به طورکلی منطقه از نظر ویژگی‌های اقلیم‌نمای دومارتن در دو منطقه اقلیمی آب و هوایی بسیار مرطوب و مرطوب قرار می‌گیرد، ولی اقلیم مرطوب بر اکثر بخش‌های منطقه حاکم است.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال‌وبختیاری و پراکنش توده‌های مورد مطالعه

انتخاب توده‌های جنگلی

بر اساس جنگل‌گردشی چندروزه و مطالعه نقشه‌ها و اسناد کتابخانه‌ای، یازده توده جنگلی با ریخت‌های گوناگون پوشش گیاهی و در شرایط مختلف توپوگرافی به عنوان مبنای کار مشخص شدند. این توده‌ها در ارتفاع بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا قرار داشتند. نام‌گذاری توده‌ها بر اساس نزدیک‌ترین روستا و یا شهرک به آنها انجام شد. محل جغرافیایی قرارگیری این یازده توده جنگلی در شکل (۱) و مختصات جغرافیایی آنها در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): نام محلی و مختصات جغرافیایی توده‌های جنگلی مورد مطالعه

نام محلی	مختصات جغرافیایی (UTM)		نام محلی	مختصات جغرافیایی (UTM)	
	X	Y		X	Y
بره مرده	۴۵۹۵۰۸	۳۵۲۲۹۹۶	اسلام‌آباد	۴۶۰۲۳۸	۳۵۲۷۴۲
هفت پیران ۱	۴۶۰۵۱۷	۳۵۳۴۱۶۶	کاوند	۴۵۷۲۴۳	۳۵۳۰۷۱۶
هفت پیران۲	۴۶۱۱۸۵	۳۵۳۳۱۸۶	دوپلان	۴۶۳۸۶۱	۳۵۳۰۴۲۵
سرتنگ محمود	۴۵۷۶۳۲	۳۵۲۷۷۷۶	بین بره مرده و فیروزآباد	۴۶۱۸۶۵	۳۵۲۴۲۷۳۳
فیروزآباد	۴۵۹۹۹۰	۳۵۲۵۵۸۲	دوتو	۴۵۸۱۶۶	۳۵۳۰۵۴۸
ده کهنه	۴۶۲۶۲۶	۳۵۳۶۱۰۲			

آماربرداری و شاخص‌های ساختار و تنوع

در هر توده، از قطعه‌های نمونه مربعی یک هکتاری بر اساس یک نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی استفاده شد. روش انتخاب مراکز قطعه‌های نمونه به این صورت بود که ابتدا یک نوار به مساحت حداکثر یک چهارم منطقه توده جنگلی در بالاترین ارتفاع از سطح دریا در نظر گرفته شد، سپس یک نقطه تصادفی در این باند تعیین و از آن نقطه تا مرز توده در جهت شیب غالب، تعداد شش تا نه قطعه نمونه طوری پیاده شدند تا آنها در فاصله یکسانی از یکدیگر قرار گیرند و تمام توده را پوشش دهند. کوادرات‌های یک در یک متری به طور تصادفی در سرتاسر هر قطعه نمونه پیاده شدند و تمام گیاهان غیرچوبی قرار گرفته در کف جنگل در حد خانواده مورد شناسایی قرار گرفتند. این شناسایی توسط کارشناسان و کتب مرتبط انجام شد (Bahmani et al., 2022).

در هر قطعه نمونه، علاوه بر مشخصه‌های توپوگرافی (جهت، شیب و ارتفاع از سطح دریا)، تعداد درختان و درختچه‌ها و متوسط تعداد جست در هر جست‌گروه، ارتفاع، قطر برابر سینه درختان و درختچه‌ها با دقت سانتی‌متر به وسیله نوار قطرسنج و سونتو اندازه‌گیری شدند. از این اطلاعات، ارتفاع غالب درختان توده به صورت متوسط ارتفاع ۲۰ اصله درخت از بلندترین درختان توده، محاسبه شدند. ارتفاع غالب قطعه نمونه‌های توده، به عنوان سقف ارتفاعی توده در نظر گرفته شد و بر آن اساس، تعداد سه لایه ارتفاعی (آشکوب) در هر توده تنظیم شد. درختان با در نظرگیری ارتفاع تاجشان و اینکه حداقل ۲۰ درصد تاجشان با یک یا چند آشکوب همپوشانی داشته باشد، در یک یا چند آشکوب دسته‌بندی شدند. تعداد اشکوب‌ها در هر قطعه‌نمونه برابر با تعداد لایه‌های ارتفاعی متمایز شده توسط درختان در نظر گرفته شد. در این روش الزامی به قرار گرفتن تاج توده‌ها بر روی یکدیگر نیست.

به جز اندازه‌های درختان، برای تعیین تنوع ساختار توده‌های جنگلی از شاخص‌های کمی تنوع قطر (TD_i)، تنوع ارتفاع (TH_i)، شاخص زاویه یکنواختی (Wi) و شاخص آمیختگی گونه‌ای (Mi) به شرح جدول (۲) استفاده شد. در شاخص‌های TD_i و TH_i نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه نمونه به عنوان درخت مرجع (i) انتخاب شد و سه درخت در نزدیکترین همسایه به آن درخت، بعلاوه دو درخت با بزرگترین و کوچکترین اندازه هر شاخص و در مجموع ($n = ۵$) درخت به عنوان درختان نماینده توده (J)، انتخاب شدند.

طبقه‌بندی عوامل توپوگرافی

این تحقیق با این پیش فرض انجام شد که پراکنش پوشش گیاهی و شاخص‌های کمی تنوع توده‌ها در یک اکوسیستم جنگلی کوهستانی تحت تاثیر تنوع توپوگرافی آن می‌باشد. از این رو پارامترهای توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت‌های جغرافیایی به عنوان مشخصه‌های فاکتورهای اثرگذار در نظر گرفته شدند. پس از تعیین گرادیانت‌های مختلف ارتفاع از سطح دریا، جهت دامنه (جبهه) و شیب در سطح قطعه‌نمونه‌ها، و در تلاشی برای درک تاثیر ات متقابل پوشش گیاهی و توپوگرافی، با توجه به حدود بیشینه و کمینه، قطعه‌نمونه‌ها در چهار طبقه درصد شیب، ارتفاع از سطح دریا و پنج طبقه جهت دامنه طبقه‌بندی شدند (جدول ۳).

جدول (۲): شاخص‌های مورد استفاده در برآورد تنوع ساختار توده‌های جنگلی

نام شاخص (منبع)	رابطه ریاضی شاخص	توضیح مولفه‌های شاخص
تنوع قطر (Ruprecht et al., 2010)	$TD_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(1-r_{ij})$	$r_{ij} = \frac{\text{قطر درخت کوچکتر}}{\text{قطر درخت بزرگتر}}$، مقدار این شاخص از صفر تا یک متغیر است و در توده‌های جنگلی با اختلاف قطری پایین نزدیک به صفر است (TD<۰/۳)، در صورتی که توده‌های با تفاوت قطری بالا مقداری بیشتر از ۰/۵ دارند.
تنوع ارتفاع (Graz, 2006)	$TH_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(1-r_{ij})$	$r_{ij} = \frac{\text{ارتفاع درخت کوتاه‌تر}}{\text{ارتفاع درخت بلندتر}}$، مقدار این شاخص از صفر تا یک متغیر است. در توده‌هایی که اختلاف ارتفاع بالا است مقدار این شاخص بیشتر است و برعکس. ارزش بالای این شاخص نشان دهنده غالبیت گونه مرجع (i) نسبت به درخت نماینده (j) است.
زاویه یکنواختی (پراکنش) (Corral, et al., 2010)	$Wi = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{K} S_{ij}$	S_{ij} فاصله درخت مرجع از درختان نماینده در چهار طرف (k=۴). ارزش پایین این شاخص نشان‌دهنده الگوی منظم و ارزش بالای آن نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای درختان است.
آمیختگی گونه‌های درختی (Gadow et al., 2012)	$Mi = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{K} V_{ij}$	V_{ij} برابر صفر است وقتی نزدیکترین درخت از همان گونه باشد و یک است، وقتی متفاوت باشند. (k= ۴ برای چهار جهت). مقدار نزدیک به صفر این شاخص اختلاط گونه‌ای پایین و مقدار بالای آن نشان‌دهنده اختلاط گونه‌ای بالا است.

جدول (۳): طبقه‌بندی در نظر گرفته شده برای عوامل توپوگرافی در تحقیق حاضر

شماره و حدود طبقات / عوامل توپوگرافی	شیب (درصد)	جهت	ارتفاع از سطح دریا
۱	۱۵–۰	دشت	۱۸۰۰–۱۹۰۰
۲	۳۰–۱۵	شمال	۱۹۰۰–۲۰۰۰
۳	۶۵–۳۰	شرق	۲۰۰۰–۲۱۰۰
۴	بیش از ۶۵	جنوب	۲۱۰۰–۲۲۰۰
۵	---	غرب	---

تجزیه و تحلیل

از آنجا که هدف از تحقیق حاضر، تعیین اثرگذاری عوامل توپوگرافی بر شاخص‌های ساختاری توده‌های جنگلی بود، ابتدا مشخص شد که آیا بدون در نظر گرفتن عوامل توپوگرافی، تفاوتی بین توده‌های جنگلی برای هر یک از شاخص‌های مورد اندازه‌گیری وجود دارد یا خیر. این هدف با انجام یک آنالیز واریانس یک طرفه محقق شد. در صورت عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری در هر یک از شاخص‌های ساختاری، این نتیجه گرفته شد که به‌طور پیش‌فرض، قطعات نمونه با یا بدون وارد کردن عامل تغییرات، کاملا یکنواخت هستند و شاخص مورد نظر از تحقیق کنار گذاشته شد. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار آماری بین توده‌ها، عامل توده جنگلی برای شاخص مورد نظر به عنوان بلوک (متغیر تصادفی) در نظر گرفته شد و اثر عوامل توپوگرافی (متغیر ثابت) بر شاخص در نظر گرفته شده توسط مدل خطی عمومی با سطح خطای قابل قبول ۵ درصد سنجیده شد. در صورت وجود تفاوت، مقایسه بین میانگین‌ها با آزمون Tukey انجام شد (نرم‌افزار Minitab).

نتایج

شاخص‌های ساختار توده

بازه اطلاعات به دست آمده از شاخص‌های اندازه‌گیری شده درخت و توده در تمام قطعه نمونه‌های مورد اندازه‌گیری در جدول (۴) نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهند که توده‌های موضوع این تحقیق در سطح قطعه نمونه، کاملا نامنظم و ناهمسال

هستند. بیشترین تغییرات در شاخص‌های تنوع قطر و ارتفاع، زاویه یکنواختی و آمیختگی گونه‌های درختی مشاهده شد. احتمالا قطعات نمونه با درختان تک ساقه (متوسط تعداد جست برابر ۱) دارای درختان مسن و قطعات نمونه با درختان با متوسط تعداد جست بیش از ۱۰، دارای درختان جوان بوده‌اند.

جدول (۴): تغییرات متوسط مقادیر هریک از شاخص‌های درختی و توده‌ای اندازه‌گیری شده برای قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه

شاخص	بیشینه	کمینه	شاخص	بیشینه	کمینه
قطر (سانتی‌متر)	۲۸	۶	تعداد گونه‌های چوبی	۴	۱
ارتفاع (متر)	۸/۴	۲/۷	تعداد گونه‌های غیرچوبی	۲۸	۴
درصد پوشش	۷۶	۱۵	تنوع قطر	۰/۸۵	۰/۰۰۹
متوسط تعداد جست	۱۹/۲۵	۱	تنوع ارتفاع	۰/۷۶	۰/۰۱۳
تراکم (اصله در هکتار)	۱۹۵	۴۷	زاویه یکنواختی	۳/۲۹	۰/۰۴۶
تعداد اشکوب	۳	۱	آمیختگی گونه‌های درختی	۳/۶۲	۰/۰۶۷

جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس یک طرفه این شاخص‌ها را برای ۱۱ توده جنگلی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود از بین دوازده شاخص مورد اندازه‌گیری، تنها مقادیر دو شاخص تراکم و آمیختگی گونه درختی در بین توده‌های جنگلی ثابت است. این نتایج به این معنی است که تفاوت‌های قابل ملاحظه مشاهده شده در این دو شاخص جدول (۴) به طور یکنواخت در تمام جنگل منطقه مورد مطالعه وجود دارد و نمی‌توان سوگیری یا تمایزی را با در نظر گرفتن عوامل توپوگرافی در آنها جستجو کرد. لذا در ادامه، این دو شاخص در مقایسه عوامل توپوگرافی در نظر گرفته نشده و حذف شدند.

جدول (۵): نتیجه تجزیه واریانس شاخص‌های ساختاری جنگل در یازده توده جنگل مورد مطالعه (درجه آزادی عامل جنگل ۱۰ و خطا ۶۷ است). به جز دو شاخص، تفاوت آماری معنی‌دار تمام شاخص‌ها در جنگل‌ها مشاهده شد.

شاخص	منبع تغییرات	میانگین مربعات	P	شاخص	منبع تغییرات	میانگین مربعات	P
قطر	جنگل	۲۵۴/۹۳	۰/۰۰	تعداد گونه‌های چوبی	جنگل	۴/۹۱	۰/۰۰
	خطا	۷۷/۱۳			خطا	۰/۶۶	
ارتفاع	جنگل	۱۱/۶۹	۰/۰۰	تعداد گونه‌های غیرچوبی	جنگل	۷۹/۰۲	۰/۰۰
	خطا	۰/۸۵			خطا	۱۸/۳۳	
درصد پوشش	جنگل	۸۷۰/۴۰	۰/۰۰	تنوع قطر	جنگل	۰/۱۱	۰/۰۰
	خطا	۱۱۶/۲۰			خطا	۰/۰۴	
متوسط تعداد جست	جنگل	۱۴۳/۷۰	۰/۰۰	تنوع ارتفاع	جنگل	۰/۱۰	۰/۰۰
	خطا	۴/۶۰			خطا	۰/۰۳	
تراکم (اصله در هکتار)	جنگل	۱۴۰۶/۰۰	۰/۱۷۵^{NS}	زاویه یکنواختی	جنگل	۲/۴۴	۰/۰۰
	خطا	۹۶۴/۷۰			خطا	۰/۲۴	
تعداد اشکوب	جنگل	۰/۹۵	۰/۰۰	آمیختگی گونه درختی	جنگل	۰/۹۰	۰/۵۴^{NS}
	خطا	۰/۱۹			خطا	۱/۰۰	

NS. با حداقل ۹۵ درصد اطمینان، تفاوت آماری معنی‌داری ملاحظه نشد

نتایج تحلیل واریانس تغییرات درصد شیب رویشگاه در منطقه مورد مطالعه نشان داد که به جز شاخص تنوع ارتفاع درختان، دیگر شاخص‌های درخت و جنگل، در طول تغییرات عامل درصد شیب، تغییر آماری معنی‌داری را نشان ندادند. بیشترین یکنواختی در دامنه درصد شیب در شاخص‌های متوسط قطر درختان و درصد پوشش مشاهده شد (جدول ۶).

جدول (۶): نتایج تحلیل واریانس اثر درصد شیب بر شاخص‌های ساختاری جنگل با در نظر گرفتن عامل جنگل به عنوان بلوک

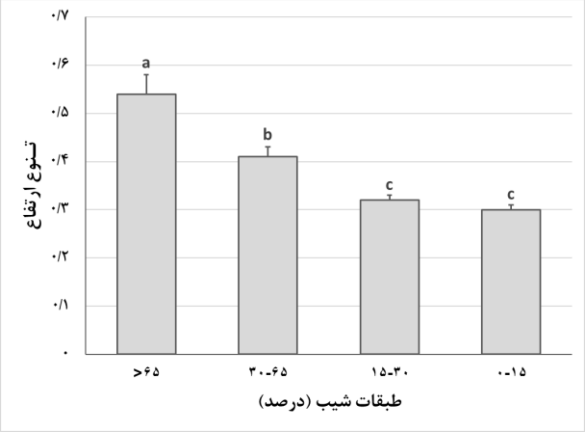
شاخص	میانگین مربعات	P	شاخص	میانگین مربعات	P
قطر	۱/۹۰	۰/۸۷	تعداد گونه‌های چوبی	۰/۶۹	۰/۳۴
جنگل	۵۸۵/۵۰	۰/۰۰	جنگل	۲۱/۱۳	۰/۰۰
ارتفاع	۰/۱۸	۰/۸۰	تعداد گونه‌های غیرچوبی	۴/۸۴	۰/۷۶
جنگل	۱۲/۸۲	۰/۰۰	جنگل	۲۲۵/۳۹	۰/۰۰
درصد پوشش	۱۰/۸۰	۰/۹۰	تنوع قطر	۰/۰۵۳	۰/۳۶
جنگل	۲۵۱۲/۸۰	۰/۰۰	جنگل	۰/۱۳	۰/۰۰
متوسط تعداد جست	۱/۸۳	۰/۷۲	تنوع ارتفاع	۰/۲۵	۰/۰۲*
جنگل	۲۷۸/۲۱	۰/۰۰	جنگل	۰/۰۶	۰/۰۰
تعداد اشکوب	۰/۱۶	۰/۴۴	زاویه یکنواختی	۱/۲۳	۰/۱۰
جنگل	۳/۸۱	۰/۰۰	جنگل	۲/۷۴	۰/۰۰

*. با ۹۵ درصد اطمینان، حداقل یک تفاوت آماری معنی‌داری ملاحظه شد.

نتایج آزمون Tukey نشان داد که با سطح اطمینان ۹۵ درصد، شاخص تنوع ارتفاع در جنگل‌های قرار گرفته بر شیب‌های خیلی تند (بیش از ۶۵ درصد) بیشتر از طبقه شیب ۶۵- ۳۰ درصد و آن هم بیشتر از طبقات شیب‌های کمتر است (شکل ۲).

نتایج تحلیل واریانس تغییرات جهت دامنه رویشگاه در منطقه مورد مطالعه نشان داد که هیچ یک از جهات پنج‌گانه مورد تحقیق عامل ایجاد کننده تغییر در شاخص‌های درخت و جنگل نیستند. بیشترین یکنواختی در دامنه جهات دامنه، در درصد پوشش مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج تحلیل واریانس تغییرات ارتفاع از سطح دریای جنگل‌های مورد مطالعه نشان داد که به جز شاخص تنوع قطر درختان، دیگر شاخص‌های درخت و جنگل، در طول تغییرات این عامل، تغییر آماری معنی‌داری را نشان ندادند. بیشترین یکنواختی در دامنه ارتفاع از سطح دریا در شاخص‌های درصد پوشش و ارتفاع درختان مشاهده شد (جدول ۸).



شکل (۲): مقایسه میانگین شاخص تنوع ارتفاع درختان در طبقات شیب منطقه مورد مطالعه. ستون‌های با حروف لاتین متفاوت با ۹۵ درصد اطمینان متفاوت هستند (آزمون Tuckey)

نتایج آزمون Tuckey نشان داد که تنوع قطر در ارتفاعات بالای سطح دریا (۲۲۰۰-۲۱۰۰ متر) با متوسط ۰/۵۶ به طور معنی‌داری از دیگر طبقات ارتفاع از سطح دریا بیشتر است. تفاوت آماری معنی‌داری بین سایر طبقات ارتفاعی دیده نشد.

جدول (۷): نتایج تحلیل واریانس اثر جهت دامنه بر شاخص‌های ساختاری جنگل با در نظر گرفتن عامل جنگل به عنوان بلوک

شاخص	میانگین مربعات	P	شاخص	میانگین مربعات	P
قطر	۶/۸۱	۰/۶۹	تعداد گونه‌های چوبی	۰/۵۸	۰/۴۴
جنگل	۶۸۹/۶۰	۰/۰۰	جنگل	۱۲/۷۶	۰/۰۰
ارتفاع	۰/۱۷	۰/۸۹	تعداد گونه‌های غیرچوبی	۷/۱۹	۰/۷۵
جنگل	۲۲/۱۹	۰/۰۰	جنگل	۳۳۰/۹۸	۰/۰۰
درصد پوشش	۱۰/۸۰	۰/۹۶	تنوع قطر	۰/۰۷	۰/۲۴
جنگل	۱۵۷۶/۱۰	۰/۰۰	جنگل	۰/۱۳	۰/۰۰
متوسط تعداد جست	۱۱/۲۷	۰/۰۹	تنوع ارتفاع	۰/۰۸	۰/۲۰
جنگل	۳۳۳/۵۶	۰/۰۰	جنگل	۰/۱۱	۰/۰۰
تعداد اشکوب	۰/۲۷	۰/۲۶	زاویه یکنواختی	۱/۴۰	۰/۰۷
جنگل	۳/۵۲	۰/۰۰	جنگل	۲/۸۸	۰/۰۰

جدول (۸): نتایج تحلیل واریانس اثر ارتفاع از سطح دریا بر شاخص‌های ساختاری جنگل با در نظر گرفتن عامل جنگل به عنوان بلوک.

شاخص	میانگین مربعات	P	شاخص	میانگین مربعات	P
قطر	۳۱/۸۳	۰/۰۹	تعداد گونه‌های چوبی	۰/۲۳	۰/۷۰
جنگل	۲۱۴/۱۸	۰/۰۰	جنگل	۱۲/۸۰	۰/۰۰
ارتفاع	۰/۲۷	۰/۷۱	تعداد گونه‌های غیرچوبی	۲۳/۰۰	۰/۲۶
جنگل	۲۵/۹۰	۰/۰۰	جنگل	۳۳۹/۸۶	۰/۰۰
درصد پوشش	۱۱/۶۰	۰/۹۰	تنوع قطر	۰/۲۸	۰/۰۱**
جنگل	۱۸۸۶/۱۰	۰/۰۰	جنگل	۰/۰۷	۰/۰۰
متوسط تعداد جست	۵/۱۴	۰/۳۹	تنوع ارتفاع	۰/۰۱	۰/۸۷
جنگل	۳۰۷/۲۹	۰/۰۰	جنگل	۰/۱۳	۰/۰۰
تعداد اشکوب	۰/۵۶	۰/۰۶	زاویه یکنواختی	۰/۴۴	۰/۴۳
جنگل	۱/۷۵	۰/۰۰	جنگل	۲/۹۴	۰/۰۰

**. با ۹۹ درصد اطمینان، حداقل یک تفاوت آماری معنی‌داری ملاحظه شد.

غنای گونه‌های گیاهی

نتایج تنوع گونه‌های چوبی نشان داد که گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در تمام جنگل‌های مورد مطالعه نسبت به سایر درختان غلبه کامل داشت و در وسعت‌های گسترده‌ای این گونه به صورت خالص دیده شد. این گونه در تمام قطعات نمونه دیده شد. گونه‌های درختی و درختچه‌ای دیگر رصد شده عبارت بودند از: بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، دافنه (*Daphne mucronata* Royle.)، کیکم (Acer *monspessulanum* L.)، دو گونه بادام وحشی (*Prunus haussknechtii* C.K.Schneid.; *P. elaeagnifolia* Fritsch)، زالزالک (*Crataegus monogyna* Jacq.) و زبان‌گنجشک (*Fraxinus angustifolia* Vahl.). به طورکلی درصد درختان در تمام یازده توده جنگلی مورد مطالعه، به صورت ۹۲ درصد بلوط، سه درصد زالزالک، یک درصد بنه و چهار درصد سایر درختان بود. هر چند از نظر آماری تفاوتی در تعداد گونه‌های گیاهان چوبی در هیچ یک از عوامل توپوگرافی دیده نشد (جدول‌های ۶ الی ۸)، ولی به تفکیک گونه، نتیجه حضور این گونه‌ها نشان داد که گونه دافنه تنها در ارتفاعات بالا و دامنه‌های جنوبی و دشت دیده می‌شود، ضمنا این گونه در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر نیز دیده نمی‌شود. زبان‌گنجشک تنها در جنگل‌های تا ارتفاع از سطح دریای متوسط (بین ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) و گونه‌های بادام وحشی تنها در ارتفاعات پایین‌تر از ۱۹۰۰ متر دیده شدند.

شمارش گونه‌های غیرچوبی در ناحیه مورد مطالعه نیز نشان داد که در مجموع ۵۸ گونه گیاه غیرچوبی در منطقه وجود دارد. همان‌طور که در نتایج بخش قبل ملاحظه شد، متوسط تعداد گونه‌های غیرچوبی در قطعات نمونه رصد شده، تفاوت آماری معنی‌داری را در طبقات عوامل توپوگرافی نشان ندادند. در تمام منطقه مورد مطالعه به تفکیک خانواده تعداد گیاهان عبارت بودند از: Asteraceae (۱۸ گونه)، Poaceae (۱۰ گونه)، Fabaceae (۱۰ گونه)، Apiacea (۹ گونه)، Labiatea (۴ گونه)، Caprifoliaceae (۳ گونه)، Amaryllidaceae (۲ گونه) و Brassicaceae Apiacea و Caryophyllaceae هر کدام یک گونه.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که توده‌های جنگلی مورد این مطالعه مانند اغلب جنگل‌های زاگرس مرکزی به طور قابل ملاحظه‌ای نامنظم و ناهمگن است. این ناهمگنی به واسطه دامنه بالای تغییرات شاخص‌های مورد تحقیق در سطح هر جنگل به دست آمد. این نتایج با برخی نتایج دیگر در منطقه که حجم بالای تخریب را نشان می‌دهند همخوانی دارد. واکنش‌های دفاعی این اکوسیستم‌ها سبب شده تا قبل از این که تحت تاثیر عوامل توپوگرافی قرار گرفته باشند، مشخصه‌های مقابله‌ای با تنش‌های محیطی را به دست آورده اند. پایداری جنگل‌های زاگرس به عنوان یکی از گسترده‌ترین و مهمترین مناطق رویشی کشور در دهه‌های اخیر به دلایل مختلف مانند قطع سرشاخه‌های درختان برای تأمین علوفه دام، استفاده از چوب هیزمی برای سوخت، چرای دام و زراعت در جنگل به خطر افتاده و ترکیب گونه‌ای و ساختار توده‌های جنگلی آن به دلیل کمبود زادآوری، از حالت طبیعی خود خارج شده است (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003). شدت این تغییرات بسته به نحوه و میزان دخالت در این جنگل‌ها در کنار تغییرات عوامل محیطی باعث ایجاد تغییرات متفاوت در ترکیب، ساختار و تنوع گونه‌ای این جنگل‌ها شده است. در این بین شناخت عوامل موثر بر تغییر ترکیب گونه‌ای و ساختار توده‌های جنگلی جهت مدیریت این جنگل‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

عامل شیب، تغییری بر هیچ یک از مشخصه‌های درخت و جنگل به وجود نیاورد؛ انتظار می‌رفت در شیب‌های خیلی بالا از پوشش جنگل کاسته شود، ولی این تفاوت دیده نشد. شیب تنها بر شاخص تنوع ارتفاع اثر گذاشت و در شیب‌های تند شاهد تنوع بالاتری از ارتفاع درختان بودیم. Sefidi et al., (2016) در جنگل‌های شمال ایران و Baran, et al., (2020) در جنگل‌های بلوط در دره‌های جنوب لهستان نتایج مشابهی به دست آوردند. Baran et al., (2020) عمق خاک کمتر در شیب‌های تندتر را به عنوان عامل ایجاد کننده عدم یکنواختی تفسیر کردند. با این حال این نتایج با مطالعه مشابه در جنگل‌های مخلوط پهن‌برگ در شمال پکن در چین در تناقض است (Lu et al., 2023). آنها در توده‌های جنگلی و درختچه‌زارهای قرار گرفته بر شیب‌های تند، یکنواختی بیشتر ارتفاع و قطر درختان را گزارش کردند.

نتایج همچنین نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، تنوع قطری درختان بیشتر شده و شاهد افزایش این شاخص هستیم. این نتایج را می‌توان به شرایط اقلیمی نامساعد در ارتفاعات بالا نسبت داد (Marvi-Mohajer, 2006). تحقیقی وجود دارد که می‌گوید درصد شاخه‌زادی درختان بلوط در ایلام با افزایش ارتفاع از سطح دریا، افزایش می‌یابد (Hoseini et al., 2008). با این فرض که عدم یکنواختی قطر در جست گروه‌های یک جنگل شاخه‌زاد بیشتر از درختان دانه‌زاد باشد، این نتایج را می‌توان همخوان با تحقیق حاضر دانست. در ارتفاعات بالاتر، کاهش دما، کاهش تبخیر و تعرق و همچنین افزایش میزان بارندگی باعث افزایش رطوبت خاک شده (Marvi-Mohajer, 2006) و در نتیجه درختان در ارتفاعات بالاتر به رشد بیشتری دست یافته‌اند، Noshadi et al. (2014) نیز در تحقیق خود به نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین می‌توان گفت درختان واقع در ارتفاعات بالاتر دور از دسترس‌تر بوده و کمتر دچار قطع و سرشاخه‌زنی قرار گرفته و لذا رشد ارتفاعی بیشتری داشته‌اند. خاطرنشان می‌شود که در تحقیق حاضر تغییری در متوسط تعداد جست‌ها در هر جست گروه‌ها در طول گرادیانت ارتفاعی دیده نشد.

بی‌نظمی و ناهمگونی‌های مشاهده شده در سطح قطعات نمونه توده‌های جنگلی منطقه نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه انسان بر این اکوسیستم‌ها است که پیامدهای عمیقی برای تنوع زیستی، خدمات اکوسیستم و سلامت کلی محیط‌زیست داشته است. لذا برای مثال در پژوهش حاضر علی‌رغم قرارگیری توده‌های مورد بررسی در مجاورت دو منطقه حفاظت شده سبزکوه و هلن با تنوع گیاهی بالا، ترکیب گونه‌های گیاهی چوبی و غیرچوبی بالایی دیده نشد. شاید بتوان گفت تنوع بالای انواع کاربری‌های اراضی که عمدتاً به صورت عوامل تنش‌زا بر عرصه‌های جنگلی عمل می‌کنند، عامل این کاهش بوده است. مطالعات مشابه نیز نشان داده‌اند که

در مناطقی که عوامل تخریب بیشتر است، کاهش غنای گونه‌ای در مقیاس منطقه‌ای و ناحیه‌ای رخ می‌دهد (Rao et al., 1990; Daniels et al., 1995). بیشترین تعداد گونه‌های گیاهی غیرچوبی مشاهده شده در توده‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر متعلق به خانواده Asteraceae بوده و در بین گونه‌های دیگر به ترتیب خانواده‌های Poaceae،Fabaceae و Apiaceae بیشترین تعداد گونه را به خود اختصاص داده‌اند . بیشتر این خانواده‌ها شاخص مناطق دارای چرای دام و تخریب می‌باشند (Ahmadi et al., 2013). با توجه به این که منطقه مورد مطالعه در این پژوهش نیز از چرا و تخریب در امان نبوده است، لذا می‌توان حضور بیشتر این گونه‌ها را با این موضوع مرتبط دانست.

دلیل بارز تمایز در ساختار توده و اندازه‌های درختان در توده‌های جنگلی مورد بررسی در پژوهش حاضر را می‌توان ناشی از وجود عوامل مختلف بروز آشفتگی و تنوع شرایط محیطی دانست. Fleming et al., (2009) بیان داشتند که ساختار جنگل تحت تاثیر عوامل محیطی و آشفتگی‌های طبیعی و انسانی تغییر می‌کند. Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, (2003) نیز اظهار نموده‌اند که پایداری جنگل‌های زاگرس در بیشتر مناطق به خطر افتاده و ساختار قطری توده‌های بلوط به دلیل کمبود زادآوری، از حالت طبیعی خود خارج شده است و فاکتورهای محیطی به همراه آشفتگی‌های موجود به خصوص چرای دام در این مناطق نقش مهمی در ایجاد این تغییرات داشته‌اند. همچنین تحقیقات بسیاری در خصوص تاثیر عوامل توپوگرافی بر تنوع گونه‌ای و ساختار توده‌های جنگلی صورت گرفته است که می‌توان پژوهش‌های Valipour et al., (2013)، Pourhashemi et al., (2007) و Soleimani et al., (2007) را به عنوان مثال نام برد. در مورد مطالعه حاضر با توجه به محدود بودن گستره جغرافیایی آن به نظر نمی‌رسد تغییر اقلیم به عنوان عامل ایجاد تنوع در ترکیب گونه‌ای و ساختار توده مطرح باشد اما تاثیر تفاوت‌های توپوگرافی و خاکی وجود دارد، پس به نظر می‌رسد در نظر گرفتن توده به عنوان بلوک در این پژوهش صحیح باشد. اما آنچه از نتایج و روابط بررسی شده بین ترکیب گونه‌ای و خصوصا ساختار توده‌ها و عوامل توپوگرافی در این پژوهش می‌توان استنباط نمود این است که تاثیر عوامل انسانی مانند چرای دام، زراعت زیراشکوب، سرشاخه‌زنی، قطع درختان و تبدیل توده‌ها از دانه‌زاد به شاخه‌زاد بسیاری از روابط طبیعی بین عوامل توپوگرافی و ترکیب و ساختار توده‌ها را دچار اختلال کرده است و به همین دلیل اگرچه تفاوت‌هایی در ترکیب و ساختار توده‌ها در شرایط توپوگرافی مختلف مشاهده شد ولی به حدی نبود که از نظر آماری به صورت معنی‌دار نمایان شوند.

نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اثر عوامل انسان‌ساز و دسترسی بیشتر برای برش و یکدست‌سازی سنی توده، می‌تواند در توده‌ها قرار گرفته بر عوارض توپوگرافی مختلف، متفاوت باشد (Zafarian et al., 2023). مثلا توده‌های جنگلی در شیب‌های کم نسبت به شیب‌های تند اغلب همسال‌ترند (Lindenmayer et al., 1999) و یا درختان زاگرس در توده‌هایی که بر جهت‌های شمالی و جنوبی قرار گرفته‌اند ابعاد بزرگتری نسبت به جهات شرقی و غربی داشتند (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003; Valipour et al., 2013, Zafarian et al., 2023). با این حال به نظر می‌رسد نتایج این دست مطالعات بستگی به مقیاس منطقه مورد تحقیق دارد.

منابع

Ahmadi, F.; Mansory, F.; Maroofi, H. & Karimi K. 2013. Study of Flora, Life form and Chorotypes of the Forest area of West Kurdistan (Iran). Bulletin of Environment. Pharmacology and Life Sciences. 2 (10): 33-40.

Alijani V.; Sagheb-Talebi, Kh. & Akhavan R. 2013. Quantifying structure of intact beech (Fagus orientalis Lipsky) stands at different development stages (Case study: Kelardasht area, Mazandaran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(3): 396-410. (In Persian)

Amiri M.; Dargahi, D.; Habashi, H.; Azadfar, D. & Soleymani, N. 2008. Comparison of Regeneration Density And Species Diversity In Managed And Natural Stands Of Loveh Oak Forest. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(6): 44-53. (In Persian)

Bahmani, F.; Soltani, A. & Mafi-Gholami, D. 2022. Floristic classification of large-scale ecological groups in the forests of Central Zagros. Iranian Journal of Applied Ecology 11(1): 27-43. (In Persian)

Baran, J.; Pielech, R.; Kauzal, P.; Kukla, W. & Bodziarczyk, J. 202). Influence of forest management on stand structure in ravine forests. Forest Ecology and Management 463:118018.

Bowman, W. D. & Seastedt, T. R. 2001. Structure and Function of an Alpine Ecosystem: Niwot Ridge, Colorado. Oxford University Press.

Corral, J. J.; Wehenkel, C.; Castelanos, H. A., Vargas, B. & Dieguez, U. 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. Journal of Forest Research, 15: 218-225.

Daniels, R. J.; Gadgil, M. & Joshi, N. V. 1995. Impact of human extraction on tropical humid forest in the Western Ghats in Uttara Kannada. South India. Journal of Applied Ecology. 32: 866-874.

Deal, R. L. 2007. Management strategies to increase stand structural diversity and enhance biodiversity in coastal rainforest of Alaska. Biological Conservation. 137: 520-532.

Fakhimi-Abarghoie, E.; Mesdaghi, M.; Gholami, P. & Naderi Nasrabad, H. 2011. The effect of some topographical properties in plant diversity in Steppic Rangelands of Nodushan, Yazd Province, Iran. Iranian Journal of Range and Desert Researches,18(3), 408-419. (In Persian)

Ferreira de lima, R.; Adalardo ,A.; Martini, A. M.; Souza, D. S. & Rodrigues, R. 2011. Structure, diversity and spatial pattern in a permanent plot of a Restinga forest in Southeastern Brazil. Acta Botanica Brasilica 25(3): 633-645.

Fleming, G. M.; Diffendorfer, J. E. & Aedler, P. H. 2009. The relative importance of disturbance and exotic-plant abundance in California coastal sage scrub. Ecological Applications. 19: 2210- 2227.

Gadow, K. V.; Zhang, C. Y.; Wehenkel, C.; Pommerening, A.; Corral-Rivas, J.; Korol, M.; Myklush, S.; Hui, G. Y.; Kiviste, A. & Zhao, X. H. 2012. Forest structure and diversity. In: Pukkala, T., von Gadow, K. (eds) Continuous Cover Forestry. Managing Forest Ecosystems, vol 23. Springer, Dordrecht. P 29-83.

Ghazanfari, H.; Namiranian, M.; Sobhani, H. & Mohajer, R. 2004. Traditional forest management and its application to encourage public participation for sustainable forest management in the northern Zagros Mountains of Kurdistan Province. Iran. Scandinavian Journal of Forest Research. 19 (S4):65-71.

Graz, P.F. 2006. Spatial diversity of dry savanna woodlands. Biodiversity and Conservation 15: 1143-1157.

Hawthorne, S. & Miniat, C. F. 2018. Topography may mitigate drought effects on vegetation along a hillslope gradient. Ecohydrology 11: e1825.

Heidari, M.; Namiranian, M.; Zobeiri, M. & Gharamani, L. 2013. Investigation on appropriate inventory method for determining structure of Northern Zagros Forests (Case study: Blake Forests, Baneh). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(3), 467-480. (In Persian)

Hoseini, A.; Moayeri, M. H. & Haidari, H. 2008. Effect of site elevation on natural regeneration and other characteristics of oak (*Quercus brantii*) in the Hyanan's forest, Ilam. Journal of Agriculture Science and Natural Resources 15(1):1-10. (In Persian)

Ishii, T. H.; Tanab,. S. H. & Hiura, T. 2004. Exploring the relationship among canopy structure. stand productivity and biodiversity of temperate forest ecosystem. Forest Science. 50(3): 342-354.

Jafari, A.; Kaji, H. S.; Azadi, H., Gebrehiwot, K.; Aghamir, F. & Van Passel, S. 2018. Assessing the sustainability of community forest management: a case study from Iran. Forest Policy and Economics, 96:1–8

Jafari, A.; Aliary, F. & Ahmadi K. 2021. Investigating the Effect of Topographic factors on the distribution of oriental beech in Hyrcanian forest, Iran. Journal of Plant Ecosystem Conservation, 8(17) :71-88. (In Persian)

Jazirehi, M. H. & Ebrahimi Rostaghi, M. 2003. Silviculture in zagros. Tehran University Press. 558p. (In Persian)

Kazemnezhad, F.; Dastanpour, M.; Shekholeslami, A. & Poormohammadali Habibi, S. 2012. Investigation the vegetation biodiversity in the management and unmanagement heaps of Parratio–Carpinetum in the north of Iran (the case study: series 5 Behsara). Biosience Journal 5(4) 169-177. (In Persian)

Khosravi, S.; Maleknia, R. & Khedrizadeh, M. 2014. Economic role of forests in rural livelihoods in northern Zagros. Forest Sustainable Development, 1(3), 251-268.

Kint, V. 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. Forest Ecology and Management. 214:237-250.

Lu, S.; Zhang, D.; Wang, L.; Dong, L.; Liu, C.; Hou, D.; Chen, G.; Qiao, X. Wang, Y. & Guo, K. 2023. Comparison of plant diversity-carbon storage relationships along altitudinal gradients in temperate forests and shrublands. Frontiers in Plant Science.14:1120050.

Marvi-Mohajer, M. R. 2006. Silviculture. Tehran University Press. First edition, 410 pp. (In Persian)

Mohsennezhad, M.; Shokri M.; Zali, H. & Jafarian, Z. 2010. The effects of soil properties and physiographic factors on plant communities distribution (Case study: Behrestagh Rangeland, Haraz). Rangeland, 4(2): 262-275. (In Persian)

Nero, B. F. & Opoku, J. 2022. Topography alters stand structure, carbon stocks and understorey species composition of Cedrela odorata plantation, in a semi-deciduous forest zone, Ghana. Trees, Forests and People,10: 100352.

Noshadi, H.; Namiranian, M.; Attarod, P. & Hoseinzadeh, J. 2014. Effect of Physiographic Factors on Mortality of Persian Oak in the Middle of Forests (Case study: Ilam). Forest and Wood Products, 67(1), 73-84. (In Persian)

Nouri, Z.; Zobeiri, M.; Feghhi, J. & Marvie-Mohadjer, M. R. 2015. Application of Nearest Neighbor Indices in Studying Structure of the Unlogged Beech (Fagus Orientalis Lipsky) Forests in Kheyrud, Nowshahr. Iranian Journal of Applied Ecology, 4 (12): 11-21. (In Persian)

Onaindia, M.; Dominguez, I.; Albizu, I.; Garbisu, C. & Amezaga, I. 2004. Vegetation diversity and vertical structure as indicators of forest disturbance. Forest Ecology and Management. 195: 341–354.

Paluch, J. G. 2007. The spatial pattern of a natural European beech (Fagus sylvatica L.) silver fir (*Abies alba* Mill.) forest: A patch - mosaic perspective. Forest Ecology and Management. 253: 161-170.

Pastorella, F. & Paletto, A. 2013. Stand structure indices as tools to support forest management: an application in Trentino forests (Italy). Journal of Forest Science. 59: 159-168.

Pourbabaei, H. & Haghgooy, T. 2013. Effect of physiographical factors on tree species diversity (case study: Kandelat Forest Park). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2): 243-255. (In Persian)

Pourhashemi, M.; Marvi-Mohajer, M. R.; Zobeiri, M.; Zahedi Amiri, Gh. & Panahi, P. 2007. A Study of the Factors Effective on Sprouting of Oak Species in Marivan Forests (Case study: Doveyse forest). Journal of the Iranian Natural Resources 59(4): 819-830. (In Persian)

Pommerening, A. 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. Forest Ecology and Management. 224: 266-277.

Rao, P.; Barik, S. K.; Pandey, H. N. & Tripathi, R.S. 1990. Community composition and tree population structure in a sub-tropical broadleaved forest along a disturbance gradient.Vegetatio. 88: 151-162.

Rivas, C. J.; Aguirre, C.; Jiménez, P. & Corral, R. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña «El Cielo». Tamaulipas, México. Sistemas y Recursos Forestales. 14(2): 217-228.

Rouhi-Moghaddam, E.; Hosseini, S.; Ebrahimi, E.; Rahmani, A. & Tabari, M. 2011. The Regeneration Structure and Biodiversity of Trees and Shrub Species in Understory of Pure and Mixed Oak Plantations. Environmental Sciences, 8(3):57-68. (In Persian)

Ruprecht, H.; Dhar, A.; Aigner, B.; Oitzinger, G.; Raphael, K. & Vacik, H. 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus bacata* L.) populations. European Journal of Forest Research. 129: 189-198.

Sapkota, I. P.; Tigabu, M. & Oden P. C. 2009. Spatial distribution, advanced regeneration and stand structure of Nepal Sal (Shorea robusta) forest subject to disturbances of different intensities. Forest Ecology and Management. 257: 1966-1975.

Sefidi, K.; Esfandiary Darabad, F. & Azaryan, M. 2016. Effect of topography on tree species composition and volume of coarse woody debris in an Oriental beech (*Fagus orientalis*, Lipsky) old growth forests, northern Iran. Biogeosciences and Forestry, 9(4): 658-665.

Simpson, G. G. 1964. Species diversity of North American recent mammals. Systematic Zoology, 13: 57-73.

Soleimani, K.; Kordsavadkooh, T. & Muosavi, S. R. 2008. The Effect of environmental factors on vegetation changes using GIS, (Case Study: Cherat Catchment, Iran). Journal of World Applied Sciences. 3: 95-100.

Staudhammer, C. L. & LeMay, V. M. 2001. Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. Canadian Journal of Forest Research. 31: 1105–1115.

Su, D.; Yu, D.; Zhou, L.; Xie, X.; Liu, Z. & Dai, L. 2012. Differences in the structure, species composition and diversity of primary and harvested forests on Changbai Mountain, Northeast China. Journal of Forest Science. 56: 285–293.

Taleshi, H. & Akbarinia, M. 2011. Biodiversity of Woody and Herbaceous Vegetation Species in Relation to Environmental Factors in Lowland Forests of Eastern Nowshahr. Iranian Journal of Biology, 24(5): 766-777. (In Persian)

Torras, O. & Saura, S. 2008. Effects of silvicultural treatments on forest biodiversity indicators in the Mediterranean. Forest Ecology and Management. 255: 3322-3330.

Valipour, A.; Namiranian, M.; Ghazanfari, H.; Heshmatol-Vaezin, S.; Lexer, M. & Plieninger, T. 2013. Relationships between forest structure and tree's dimensions with physiographical factors in Armardeh forests (Northern Zagros). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(1), 30-4. (In Persian)

Zafarian, I.; Soltani, A. & Jafari, A. 2023. The effect of some anthropogenic disturbances on the structure of oak forests in the Central Zagros. Iranian Journal of Forest, 15(3): 361-376. (In Persian)

Zandebasiri, M. & Ghazanfari, H. 2010. The main consequences of affecting factors on forest management of local settlers in the Zagross forests (case study: Ghalegol watershed in Lorestan province). Iranian Journal of Forest, 2(2): 127-138. (In Persian)

Zenner, E.K. & Hibbs, D.E. 2000. A new method for modelling the heterogeneity of forest structure. Forest Ecology and Management. 129: 75–87.