The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

The Essence of Nature as a Generator of Natural Landscape Relationship Between Tree Allometric Traits and the Spatial Configuration of Natural Landscapes in Hyrcanian Forests

Mahsa Salimi [1] and Mohammad Atashinbar [2] ✉

1. Department of Horticultural Sciences and Landscape Architecture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mahsa.salimi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences and Landscape Architecture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Corresponding Author. E-mail: atashinbar@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 27 December 2025

Received in revised form: 22 February 2026

Accepted: 9 April 2026

Published online: Saummer 2025

Keywords:

Natural landscape, ecological landscape, biomass, visual perception, Spatial configuration.

ABSTRACT

The natural forest landscape emerges from complex interactions among biological structures, ecological processes, and human perceptual patterns. Tree allometric traits, as quantitative indicators of growth, extend beyond conventional forest metrics and function as key generators of landscape spatial structure. This study aims to clarify the role of native tree allometric characteristics in shaping the quality of spatial structure in natural landscapes and in establishing the conditions necessary for coherent landscape perception.

The research follows an analytical–explanatory framework and relies on secondary allometric data. Diameter at breast height (DBH) and species specific allometric coefficients are considered independent variables, while root biomass and rooting depth serve as mediating variables. The dependent variable is the quality of landscape spatial structure. Root biomass of dominant Hyrcanian forest species was estimated using power law allometric models, and rooting depth data were derived from reliable empirical sources. The causal relationships among allometric traits, substrate stability, vegetation establishment patterns, and landscape spatial structure were subsequently examined.

The results demonstrate that increases in DBH lead to nonlinear growth in root biomass and root system extent. Through enhanced soil shear resistance, reduced erosion, and greater stabilization of vegetation cover, these changes contribute to the formation of spatially stable forest patterns. Such physical stability provides the foundation for continuity of vertical layering, visual legibility, and spatial scalability, which are essential prerequisites for coherent perception of natural landscapes. This study conceptualizes tree allometry not merely as a biological indicator, but as a fundamental structural mechanism in natural landscape formation, underscoring its significance for forest landscape analysis, conservation, and management.

Cite this article: Salimi, M. & Atashinbar, M. (2025). The Essence of Nature as a Generator of Natural Landscape Relationship Between Tree Allometric Traits and the Spatial Configuration of Natural Landscapes in Hyrcanian Forests. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (2), 247-264. DOI: https://doi.org/10.22059/IJHS.2026.408822.2314

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/IJHS.2026.408822.2314

Extended Abstract

Introduction

Forest landscapes are the outcome of complex interactions among biological structures, ecological processes, and human perceptual experiences. The Hyrcanian forests, due to their geological antiquity, high species diversity, and location on steep terrains, represent one of the most valuable forest ecosystems globally. These forests, among the oldest in the Northern Hemisphere, exhibit unique characteristics such as vertical stratification, heterogeneous species composition, and relative resilience to environmental changes. Tree allometric traits, including diameter at breast height (DBH), height, crown volume, and root depth, serve not only as indicators of growth and ecosystem performance but also play a critical role in shaping the spatial structure of natural landscapes. These traits are instrumental in assessing ecological health and, importantly, in determining the perceptual and experiential quality of forested spaces for humans. Despite extensive ecological and forest-science studies on Hyrcanian forests, few investigations have simultaneously examined the relationship between tree allometry and landscape perception. This study aims to elucidate the role of native tree allometric traits in forming spatial quality and facilitating an integrated perceptual experience of the natural landscape, providing a comprehensive conceptual and analytical framework for sustainable forest landscape management.

Material and Methods

This research employed an analytical–explanatory approach with a mixed quantitative–qualitative perspective. Allometric data were obtained from reliable secondary sources, including species-specific allometric coefficients and standardized DBH values. Sample sites included Shast Kalateh and Naharkhoran in Golestan Province, and Siah-Daran in Ramsar, representing diverse species composition and relatively undisturbed conditions. Independent variables included DBH and species-specific allometric coefficients, mediating variables included biomass and root depth, and the dependent variable was spatial structure quality. Root biomass was estimated using power allometric models, while root depth data were extracted from validated empirical sources. Environmental factors such as slope, soil type, and surface moisture were considered to ensure accurate spatial structure analysis from a substrate stability perspective. The causal chain among allometric variables, substrate stability, vegetation distribution patterns, and spatial structure quality was analyzed to examine both direct and indirect relationships.

Results and Discussion

The results indicated that increases in DBH non-linearly enhanced biomass accumulation and root system expansion, which, through improving soil shear resistance, reducing erosion, and stabilizing vegetation cover, contributed to the formation of sustainable spatial patterns in the forest. Dominant species, such as Quercus (oak) and Alnus (alder), exhibited the highest root biomass and most significant effects on soil stabilization and vegetation maintenance. This physical substrate stability facilitated vertical stratification continuity, visual legibility, and spatial scalability, serving as prerequisites for integrated landscape perception. Combined data analysis revealed that native species not only provide ecological functions but also shape perceptual experiences. The spatial distribution, crown form, and tree height, in combination with climatic factors such as light, mist, and humidity, generated structured visual patterns that create rhythm and predictability in spatial perception. Furthermore, analysis of height and species distribution patterns demonstrated that spatial arrangements significantly influence perceived landscape coherence, visual quality, and the sense of physical stability. These findings highlight that understanding natural landscapes extends beyond aesthetics, encompassing strong links between ecological stability, root depth, and biomass, which can guide practical conservation and management strategies.

Conclusion

This study demonstrates that tree allometric indicators in Hyrcanian forests are systematically and significantly related to spatial structure quality and landscape perception. Species such as Alnus and Quercus, due to their structural and growth characteristics, play key roles in soil stabilization, erosion control, and the perceptual organization of landscapes. The findings emphasize that the Hyrcanian natural environment is not merely a passive object of observation but an active agent in natural landscape formation. Practical applications include forest landscape design and sustainable management, where species selection based on allometric traits can simultaneously enhance ecological and perceptual objectives. Future research is recommended to include a wider range of species and employ advanced perceptual assessment methods, such as eye-tracking or realistic modeling, to further clarify the relationship between spatial structure and human experience.

Author Contributions

Salimi M. and Atashinbar M. conceived and planned the experiments. Salimi M. carried out the experiments, performed the laboratory work, and collected the data. Atashinbar M. contributed to data analysis

and interpretation of the results. All authors provided critical feedback and helped shape the research, analysis, and manuscript.

Data Availability Statement

The authors declare that all the data supporting the findings of this research are available within the article.

Ethical considerations

This article does not contain any studies involving human and animal subjects.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۶، شماره ۲

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

سرشت طبیعت به‌مثابه مولد منظر تحلیل نقش ویژگی‌های آلومتریک درختان در ساخت فضایی منظر طبیعی جنگل‌های هیرکانی

مهسا سلیمی[۱] | محمد آتشین‌بار[۲] ✉

۱. گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mahsa.salimi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: atashinbar@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۰
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
منظر طبیعی، منظر اکولوژیک، زیست‌توده، ادراک بصری، ساخت فضایی.

چکیده

منظر طبیعی جنگل‌ها حاصل برهم‌کنش پیچیده میان ساختارهای زیستی، فرآیندهای اکولوژیک و الگوهای ادراک انسانی است. ویژگی‌های آلومتریک درختان به‌عنوان شاخص‌های کمّی رشد، نقشی فراتر از سنجه‌های جنگل‌شناختی ایفا کرده و به‌مثابه مولد ساخت فضایی منظر عمل می‌کنند. جنگل‌های هیرکانی به‌دلیل قدمت زمین‌شناختی، تنوع گونه‌ای و استقرار بر بسترهای شیب‌دار، زمینه مناسبی برای بررسی این پیوند فراهم می‌کنند. این مقاله باتمرکزبر توده‌های جنگلی محدوده نهارخوران گرگان، به تبیین نقش ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی جنگل‌های هیرکانی در شکل‌گیری کیفیت ساخت فضایی منظر طبیعی و فراهم‌سازی پیش‌شرط‌های ادراک یکپارچه منظر می‌پردازد.

این مقاله دارای ماهیت تحلیلی-تبیینی بوده و بر تحلیل داده‌های ثانویه آلومتریک استوار است. متغیرهای مستقل شامل قطر برابر سینه و ضرایب آلومتریک گونه‌ای، متغیرهای میانجی شامل زیست‌توده و عمق ریشه، و متغیر وابسته، کیفیت ساخت فضایی منظر تعریف شدند. زیست‌توده ریشه گونه‌های غالب جنگل‌های هیرکانی توسط مدل‌های آلومتریک توانی برآورد شد و داده‌های عمق ریشه براساس منابع تجربی معتبر استخراج گردید. سپس زنجیره عِلّی میان متغیرهای آلومتریک، پایداری بستر، الگوهای استقرار پوشش گیاهی و ساخت فضایی منظر تحلیل شد.

براساس نتایج، افزایش قطر برابر سینه به‌صورت غیرخطی موجب افزایش زیست‌توده و گسترش سیستم ریشه شده و ازطریق تقویت مقاومت برشی خاک، کاهش فرسایش و تثبیت پوشش گیاهی، به شکل‌گیری الگوهای پایدار فضایی در جنگل می‌انجامد. این پایداری فیزیکی بستر، زمینه‌ساز تداوم لایه‌بندی عمودی، خوانایی بصری و مقیاس‌پذیری فضاست که پیش‌شرط ادراک منسجم منظر طبیعی محسوب می‌شود.

این مقاله آلومتری درختان را نه صرفاً شاخصی زیستی، بلکه سازوکاری ساختاری در تولید منظر طبیعی معرفی کرده و بر ضرورت توجه به آن در تحلیل، حفاظت و مدیریت منظر جنگلی تأکید می‌کند.

استناد: *سلیمی، مهسا و آتشین بار، محمد*(۱۴۰۴). سرشت طبیعت به‌مثابه مولد منظر تحلیل نقش ویژگی‌های آلومتریک درختان در ساخت فضایی منظر طبیعی جنگل‌های هیرکانی. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۶ (۲)، ۲۶۴-۲۴۷. DOI: https://doi.org/10.22059/IJHS.2026.408822.2314

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/IJHS.2026.408822.2314

مقدمه

جنگل‌های هیرکانی به‌عنوان یکی از کهن‌ترین و ارزشمندترین زیست‌بوم‌های جنگلی جهان، واجد ساختاری پیچیده و چندلایه‌اند که در آن، فرآیندهای زیستی و اقلیمی در تعامل مستمر با یکدیگر قرار دارند. این جنگل‌ها که درحاشیه جنوبی دریای خزر و دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز گسترش یافته‌اند، به‌واسطه شرایط اقلیمی مرطوب، تنوع بالای گونه‌های بومی و حضور درختان دیرزیست، جایگاهی منحصربه‌فرد از تنوع زیستی، پایداری اکولوژیک و کارکردهای اکوسیستمی را به خود اختصاص داده‌اند. گونه‌هایی چون راش، بلوط و توسکا با ویژگی‌های ساختاری و رشدی متفاوت، نقش تعیین‌کننده‌ای در تثبیت خاک، تنظیم چرخه آب و حفظ تعادل زیست‌محیطی این سامانه جنگلی ایفا می‌کنند.

در کنار این کارکردهای زیست‌محیطی، جنگل‌های هیرکانی واجد کیفیت‌های ادراکی و زیبایی‌شناختی قابل‌توجهی هستند که در شکل‌گیری تجربه فضایی انسان با طبیعت نقش اساسی دارند. ساختار عمودی درختان، تراکم و گسترش تاج، نحوه استقرار گونه‌ها بر بسترهای شیب‌دار و حضور عناصر اقلیمی چون مه و رطوبت، منظرهایی پویا و چندبعدی پدید می‌آورد که تجربه‌ای ادراکی را برای مخاطب رقم می‌زند. لذا جنگل‌های هیرکانی نه صرفاً یک بستر طبیعی، بلکه یک سامانه مولد منظر به‌شمار می‌رود که فرم و ساختار آن به‌طور فعال در تولید معنا و کیفیت فضایی مشارکت می‌کند.

با وجود این، بخش عمده‌ای از مطالعات پیشین درباره جنگل‌های هیرکانی صرفاً بر کارکردهای اکولوژیک و جنگل‌شناختی متمرکز بوده یا به توصیف کیفی منظرهای طبیعی بدون آن‌که پیوندی نظام‌مند میان ویژگی‌های زیستی درختان و ادراک منظر برقرار شود، پرداخته‌اند. در این میان، ویژگی‌های آلومتریک درختان ازجمله قطر برابر سینه، ارتفاع، حجم و فرم تاج و عمق ریشه به‌عنوان شاخص‌هایی کمّی از ساختار درخت، علاوه‌بر تعیین عملکردهای زیست‌محیطی نظیر تثبیت خاک و کنترل فرسایش، به‌مثابه متغیرهای مولد در شکل‌گیری منظر طبیعی و تجربه ادراکی، کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند. ارزیابی این مؤلفه‌ها می‌تواند به درک عمیق‌تری از چگونگی هم‌زمانی پایداری اکولوژیک و کیفیت منظر هیرکانی بینجامد و مبنایی برای رویکردهای طراحی و مدیریت منظر طبیعی فراهم آورد. براین‌اساس، مسئله اصلی مقاله حاضر بررسی رابطه‌ای معنادار میان ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی جنگل‌های هیرکانی و ادراک منظر طبیعی این جنگل‌هاست که به‌طورخاص بر نقش درختانی با شاخص قطر برابر سینه و ساختار ریشه‌ای بالا در تثبیت خاک و شکل‌دهی به ساخت فضایی منظر تمرکز دارد.

هدف مقاله، تبیین رابطه‌ای معنادار میان ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی جنگل‌های هیرکانی و ادراک منظر طبیعی این جنگل‌هاست تا نشان دهد شاخص‌های آلومتریک درختان چگونه توأمان بر کارکردهای زیست‌محیطی فضا و کیفیت ادراکی منظر طبیعی اثر می‌گذارند.

سؤال اصلی

چه رابطه‌ای معنادار و نظام‌مند میان ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی جنگل‌های هیرکانی و ادراک منظر طبیعی این جنگل‌ها وجود دارد؟

پیشینه

مطالعات مرتبط با جنگل‌ها را می‌توان به‌طورکلی در سه حوزه اصلی طبقه‌بندی کرد:

نخست، پژوهش‌هایی که بر کارکردهای اکولوژیک و زیست‌محیطی جنگل‌ها تمرکز دارند؛ دوم، مطالعاتی که به ویژگی‌های بصری منظرهای طبیعی می‌پردازند؛ و سوم، تحقیقات مربوط به آلومتری درختان به‌عنوان ابزاری برای سنجش رشد و پایداری اکوسیستم‌های جنگلی. باوجود گستردگی این پژوهش‌ها، پیوند نظام‌مند میان این سه حوزه، به‌ویژه در زمینه جنگل‌های هیرکانی، همچنان محدود و پراکنده باقی مانده است.

در حوزه اکولوژی جنگل، پژوهش‌های متعددی نقش جنگل‌ها را در تثبیت خاک، کاهش فرسایش، تنظیم چرخه آب و کاهش مخاطرات طبیعی نظیر سیلاب بررسی کرده‌اند. در این میان، جنگل‌های هیرکانی به‌دلیل ساختار کهن، تنوع گونه‌ای بالا و استقرار بر دامنه‌های شیب‌دار، توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده‌اند (Zolfaghari & Hajabbasi, 2022; Pourmajidian *et al.*,

2010). تمرکز این پژوهش‌ها عمدتاً بر پیامدهای زیست‌محیطی بوده و کمتر به تأثیر این فرایندها بر ساخت فضایی و کیفیت منظر طبیعی پرداخته شده است.

در حوزه ادراک بصری، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که منظرهای جنگلی متنوع، به‌واسطه ترکیب پوشش گیاهی متراکم، تغییرات فصلی، نورپردازی طبیعی و حضور عناصر اقلیمی، تأثیر مثبتی بر سلامت روان، آرامش ذهنی و حس مکان دارند (Kaplan & Kaplan, 1989). درمورد جنگل‌های هیرکانی نیز مطالعاتی به توصیف ارزش‌های دیداری، تجربه زیبایی‌شناختی گردشگران و نقش این منظرها در تقویت پیوند عاطفی انسان با طبیعت پرداخته‌اند (Etemadi *et al.*, 2021). بااین‌حال، بخش عمده این پژوهش‌ها کمتر به ریشه‌های ساختاری این کیفیت‌ها توجه کرده‌اند.

از سوی دیگر، آلومتری درختان به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی در مطالعات جنگل‌شناسی، به‌طورگسترده برای برآورد زیست‌توده، ذخیره کربن، پایش سلامت جنگل و تحلیل پایداری اکوسیستم به‌کار رفته است (Pretzsch, Forrester, & Bauhus, 2017). در جنگل‌های هیرکانی، مطالعات محدودی ضرایب آلومتریک گونه‌های بومی را استخراج کرده و به اهمیت این ویژگی‌ها در پایداری اکولوژیکی اشاره نموده‌اند. علی‌رغم آن، این پژوهش‌ها عمدتاً آلومتری را به‌عنوان شاخصی کمّی و مستقل از تجربه فضایی انسان درنظر گرفته‌اند.

مرور ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه هر یک از این سه حوزه اکولوژی جنگل، ادراک بصری و آلومتری درختان، به‌طورجداگانه توسعه یافته‌اند اما چارچوبی یکپارچه که بتواند روابط میان ویژگی‌های آلومتریک درختان و شکل‌گیری ساخت فضایی منظر طبیعی را تبیین کند، موردتوجه قرار نگرفته است. به‌ویژه نقش آلومتری درختان به‌عنوان سازوکاری مولد در سازمان‌دهی فضا و فراهم‌سازی پیش‌شرط‌های ادراک منظر، در مطالعات پیشین کمتر به‌صورت نظام‌مند بررسی شده است. براین‌اساس، مقاله حاضر می‌کوشد با تمرکز بر جنگل‌های هیرکانی، نشان دهد که چگونه ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی، ازطریق تأثیر بر الگوهای استقرار پوشش گیاهی، به شکل‌گیری کیفیت ساخت فضایی منظر طبیعی و درنهایت، ادراک یکپارچه آن منجر می‌شوند. این رویکرد، آلومتری را از سطح یک شاخص صرفاً زیستی فراتر برده و آن را به‌عنوان پیوندی میان فرآیندهای اکولوژیک و تجربه ادراکی منظر معرفی می‌کند.

چارچوب نظری

آلومتری[1] درختان به‌عنوان بنیان ساختاری اکوسیستم

آلومتری به مطالعه روابط کمّی و نسبی میان اجزای ساختاری موجود زنده اطلاق می‌شود و در مورد درختان، شامل شاخص‌هایی نظیر قطر برابر سینه[2]، ارتفاع، حجم و فرم تاج و عمق و گستره سیستم ریشه است. این شاخص‌ها بیان‌گر الگوهای رشد، پایداری مکانیکی و ظرفیت‌های عملکردی درختان در تعامل با محیط پیرامون هستند. این ویژگی‌ها معیارهایی مهم برای تحلیل رشد، توسعه و عملکردهای اکولوژیک درختان به‌شمار می‌روند شناخت روابط آلومتریک به درک بهتر کنش‌های متقابل درختان با محیط‌زیست و ایفای نقش آن‌ها در عملکرد اکوسیستم کمک می‌کند (Mbow et al., 2014). تحلیل ساختار آلومتریک به‌ویژه در اکوسیستم‌های جنگلی که متأثر از عوامل طبیعی و انسانی قرار دارند، ابزار کلیدی در ارزیابی سلامت و پایداری زیست‌بوم به‌شمار می‌آید (Pretzsch, Forrester, & Bauhus, 2017). در جنگل‌های هیرکانی که بر بسترهای شیب‌دار، خاک‌های عمیق و اغلب مرطوب استقرار یافته‌اند، ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی اهمیتی دوچندان می‌یابد. در چنین شرایطی، درختانی با شاخص قطر برابر سینه بالا و سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته، نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش مقاومت بستر، کاهش فرسایش و پایداری فیزیکی چشم‌انداز ایفا می‌کنند. از این رویکرد، آلومتری درختان صرفاً بیانگر ویژگی‌های زیستی نیست، بلکه شاخصی ساختاری برای فهم سازمان فضایی اکوسیستم جنگلی محسوب می‌شود.

ادراک منظر طبیعی و ساخت فضایی جنگل

1. Allometry
2. Diameter at Breast Height (DBH)

ادراک منظر طبیعی فرایندی پیچیده است که در آن انسان، ازطریق حواس و ذهن خود با محیط پیرامون تعامل می‌کند تا معنا و ارزش‌های زیبایی‌شناختی را درک کند (Meng *et al.*, 2024). تجربه ادراکی از منظر، علاوه‌بر تأثیر بر آرامش روانی و کیفیت زندگی انسان، پیوندی عمیق با حس مکان، هویت فضایی و انگیزه‌های حفاظتی دارد (Gao *et al.*, 2019). ویژگی‌های فیزیکی درختان ازجمله فرم تنه، نسبت ارتفاع به قطر، گستره تاج و بافت شاخه‌ها، عناصر اصلی سازمان‌دهنده این ساختار فضایی به‌شمار می‌روند. این ویژگی‌ها، در تعامل با عوامل محیطی نظیر توپوگرافی، نور، مه و رطوبت، موجب تولید منظرهایی می‌شوند که واجد عمق فضایی، خوانایی بصری و کیفیت‌های حسی متمایز هستند (Schirpke *et al.*, 2020) و در تجربه بازدیدکنندگان و جوامع محلی از منظر طبیعی نقش تعیین‌کننده دارند (de San Eugenio Vela, Nogué & Govers, 2017). لذا ادراک منظر جنگلی نه محصول عناصر منفرد، بلکه حاصل برهم‌کنش ساختارهای زیستی و شرایط محیطی است.

پیوند آلومتری و ادراک منظر

در این مقاله، پیوند میان آلومتری درختان و ادراک منظر طبیعی نه برمبنای توصیف‌های کیفی، بلکه براساس نقش ویژگی‌های آلومتریک در سازمان‌دهی ساختار فضایی جنگل تبیین می‌شود؛ این ویژگی‌ها به‌صورت مستقیم بر ساخت کالبدی فضا و به‌صورت غیرمستقیم بر شرایط ادراک بصری اثر می‌گذارند. در این چارچوب، درختانی با آلومتری شاخص، ازطریق افزایش مقاومت مکانیکی خاک و تثبیت دامنه‌ها، به تداوم الگوهای استقرار فضایی پوشش گیاهی کمک می‌کنند که زمینه‌ساز شکل‌گیری الگوهای پایدار دیداری و تجربه فضایی قابل پیش‌بینی برای ناظر است که از پیش‌شرط‌های ادراک کلی منظر محسوب می‌شود (شکل ۱). مؤلفه‌های اصلی این ادراک در جنگل‌های هیرکانی را می‌توان براساس ویژگی‌های زیر طبقه‌بندی نمود:

زمین (توپوگرافی، شیب و نوع خاک): پویایی و تغییر

ساختار طبیعی جنگل‌های هیرکانی متأثر از ویژگی‌های زمین‌شناسی پیچیده و توپوگرافی متغیر آن‌هاست که از دامنه‌های شیب‌دار رشته‌کوه البرز تا دشت‌های ساحلی دریای خزر امتداد می‌یابد. این تغییرات ارتفاعی، منجر به شکل‌گیری چشم‌اندازهایی پویا با تنوع فضایی چشم‌گیر شده‌اند. وجود شیب‌های مختلف باعث ایجاد الگوهای زه‌کشی طبیعی، فرورفتگی‌ها و دره‌هایی شده که در آن‌ها مه و رطوبت تجمع می‌یابد، و بدین ترتیب، شرایطی برای زیست‌پذیری و تنوع زیستی بیشتر فراهم می‌شود. خاک‌های موجود در این منطقه، عمدتاً از نوع رسی–شنی با منشأ آبرفتی هستند که به‌دلیل ظرفیت بالای نگهداری آب و مواد آلی، بستر مساعدی برای رشد پوشش گیاهی فراهم می‌آورند. چنین بستری زمینه‌ساز شکل‌گیری چشم‌اندازی با عمق فضایی و ساختار پلکانی است. در واقع، تفاوت‌های جزئی ارتفاعی در فواصل کوتاه باعث می‌شود ناظر درمواجهه‌با این زمین، حسی از پویایی، عمق و تغییر مستمر را تجربه کند (Fazlollahi Mohammadi *et al.*, 2022).

پوشش گیاهی (فرم، حجم، ساختار) : تعادل و قدرت

پوشش گیاهی جنگل‌های هیرکانی متشکل‌از گونه‌های بومی مانند راش شرقی[۱]، افرا[۲]، توسکا[۳]، نارون[۴] و بلوط[۵] است که هر یک دارای فرم، حجم و ساختار خاص خود هستند. این تنوع گونه‌ای، موجب شکل‌گیری لایه‌های عمودی گیاهی شده که نه‌تنها عملکرد بوم‌شناختی دارند، بلکه در سازمان‌دهی فضا و ادراک بصری نیز نقش‌آفرین‌اند (Haida, Rüdisser & Tappeiner, 2016). برای نمونه، راش با تنه ضخیم و تاج‌پوش منسجم، ایستایی و عظمت به فضا می‌بخشند؛ درحالی‌که فرم شاخه‌بندی افرا با چینش منظم و افقی خود، ریتمی متعادل در چشم‌انداز پدید می‌آورد؛ توسکا که در حواشی آب‌راهه‌ها رشد می‌کند، با فرم خمیده، به منظر نرمی و سیالیت می‌افزاید (Ataei *et al.*, 2023) که در شکل‌گیری تجربه ادراکی از فضا نقش تعیین‌کننده دارند.

1. Fagus orientalis
2. Acer velutinum
3. Alnus subcordata
4. Ulmus minor
5. Quercus castaneifolia

لذا درختان هیرکانی صرفاً عناصر طبیعی نیستند، بلکه به تعریف مسیرهای دید، مقیاس‌بندی فضا و فرم‌دهی به تجربه فضایی کمک می‌کنند (Jahani, Saffariha & Barzegar, 2022).

منظره‌پردازی بکر (لایه‌بندی، نور، کنتراست) : خاطره و پیوند

آنچه فضای جنگل‌های هیرکانی را از سایر منظرهای طبیعی متمایز می‌سازد، کیفیت بکر و دست‌نخورده‌ایست که در آن، تجربه ملموس چندبعدی از فضا شکل می‌گیرد (Jafari Khaledi, Khakzand & Faizi, 2022). حضور دائمی مه در میان لایه‌های جنگل، عبور نور از میان تاج‌پوش درختان، و کنتراست رنگی میان تنه‌های خاکستری و برگ‌های سبز یا پاییزی، فضایی غوطه‌ور و شاعرانه پدید می‌آورد که مخاطب را درگیر می‌کند (بیگی و اسماعیلی، ۱۴۰۴). در تغییرات فصلی، تنوع رنگ‌ها از سبزپررنگ در تابستان تا طیف‌های درخشان زرد و نارنجی در پاییز، چشم‌اندازی زنده و دگرگون‌شونده به‌نمایش می‌گذارد (Khare, Latifi & Khare, 2021). این پویایی فصلی، در کنار فقدان ساخت‌وسازهای انسانی، به حفظ یکپارچگی اکولوژیک و زیبایی طبیعی منطقه کمک کرده است؛ منظرهایی که در چنین فضایی شکل می‌گیرند، نه‌تنها بازتابی از طبیعت، بلکه حامل مفاهیمی همچون آرامش، خاطره و پیوند عاطفی با محیط هستند؛ مفاهیمی که در ذهن مخاطب ماندگار می‌شوند و تجربه‌ای اصیل و درونی از فضا خلق می‌کنند (Nili & Soltanzadeh, 2013).

شکل ۱. ویژگی‌های آلومتریک درختان در تثبیت شیب، سازمان‌دهی لایه‌های عمودی پوشش گیاهی، شکل‌دهی به عمق میدان‌دید و تنظیم الگوهای نور و رطوبت در ساختار فضایی منظر طبیعی جنگل‌های نهاخواران (نگارندگان، ۱۴۰۳).

براین‌اساس، چارچوب نظری مقاله تأکید دارد ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی ازطریق اثرگذاری بر ساختار فضایی، هم‌زمان دو کارکرد مکمل را محقق می‌سازند: نخست، پایداری زیست‌محیطی بستر جنگل و دوم، شکل‌دهی به الگوهای ادراک منظر طبیعی. این رویکرد، امکان تحلیل منظر طبیعی جنگل را نه صرفاً به‌عنوان پدیده‌ای بصری–توصیفی، بلکه درقالب روابط قابل‌تحلیل میان شاخص‌های آلومتریک و مؤلفه‌های ادراکی فراهم می‌سازد (شکل ۲).

شکل ۲. مدل ساختاری چندسطحی ارتباط شاخص‌های آلومتریک با کیفیت ساخت فضایی منظر در جنگل‌های هیرکانی (نگارندگان، ۱۴۰۴)

روش‌شناسی

مقاله حاضر با ماهیت تحلیلی-تبیینی و رویکرد ترکیبی (کمّی–کیفی) انجام شده است؛ منطق روش‌شناسی پژوهش بر بررسی ارتباط میان ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی و ادراک منظر طبیعی جنگل‌های هیرکانی استوار است. بدین‌منظور، داده‌های آلومتریک با تحلیل ساختار فضایی و ارزیابی ادراک منظر تلفیق شده‌اند.

مطالعه در محدوده‌ای از جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، از کهن‌ترین و غنی‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی جهان که در فهرست میراث طبیعی یونسکو نیز ثبت شده، انجام گرفته است. بخش‌هایی از جنگل‌های منطقه «شصت‌کلاته» و «نهارخوران» در استان گلستان، و «سیاه‌داران» در رامسر به‌عنوان نمونه‌های موردی انتخاب شدند. این نواحی به‌لحاظ حضور گونه‌های متنوع و دست‌نخورده، شیب‌های متفاوت، دسترسی فیزیکی و مواجهه مستقیم با جوامع محلی موقعیت مناسبی برای مطالعهٔ هم‌زمان ویژگی‌های آلومتریک درختان و بازتاب ادراکی آن‌ها فراهم می‌کند.

باتوجه‌به محدودیت‌های میدانی شامل عدم‌دسترسی فصلی به بخش‌هایی از جنگل‌های هیرکانی، دشواری اخذ مجوزهای برداشت مستقیم و محدودیت‌های زمانی و مالی، این مقاله بر تحلیل داده‌های ثانویه و مدل‌سازی آماری مبتنی‌بر روابط آلومتریک استوار است. این رویکرد که در ادبیات علمی به‌عنوان تحلیل غیرمداخله‌ای[1]شناخته می‌شود، به‌طورگسترده در مطالعات مناطق حفاظت‌شده و اکوسیستم‌های حساس به‌کارگرفته می‌شود. داده‌های مورداستفاده از منابع معتبر جنگل‌شناسی ایران و مطالعات بین‌المللی استخراج شده و شامل ضرایب آلومتریک گونه‌ای، مقادیر استاندارد قطر برابر سینه و برآوردهای تجربی عمق ریشه می‌باشد.

متغیرها و چارچوب تحلیلی

در این مقاله، متغیرها در سه سطح مفهومی-تحلیلی تعریف شدند:

متغیرهای آلومتریک مستقل: ورودی اصلی مدل و قابل‌سنجش کمّی هستند که ویژگی زیستی درخت را نشان می‌دهند.

قطر برابر سینه درخت (DBH)

به‌منظور تحلیل ساختاری و مقایسه‌پذیری نتایج، مقادیر استاندارد DBH براساس طبقه‌بندی‌های متداول جنگل‌داری انتخاب شدند. درختان براساس DBH در دسته‌های صفر تا ده سانتی‌متر (درختچه‌ها و درختان جوان)، ده تا بیست سانتی‌متر (درختان در حال رشد)، بیست تا چهل سانتی‌متر (درختان بالغ کوچک)، چهل تا شصت سانتی‌متر (درختان بالغ متوسط)، شصت تا هشتاد سانتی‌متر (درختان بالغ بزرگ) و بیش از هشتاد سانتی‌متر (درختان مسن) طبقه‌بندی می‌شوند. این دسته‌بندی‌ها امکان تحلیل بهتر ساختار سنی و اکولوژیک جنگل را فراهم می‌کنند (Pretzsch *et al*., 2015). در برخی مناطق مانند جنگل‌های هیرکانی، درختان جوان دارای DBH بین ده تا بیست سانتی‌متر، بالغ بین بیست تا پنجاه سانتی‌متر و کهن‌سال بیش از شصت سانتی‌متر هستند (Haida, Rüdisser & Tappeiner, 2016)؛ درحالی‌که در جنگل‌های استوایی، معمولاً همین شاخص در اعداد بالاتر از پنجاه سانتی‌متر نیز مشاهده می‌شوند (Poorter et al., 2015). استفاده‌از مقادیر استاندارد DBH سبب افزایش دقت محاسبات می‌شود و امکان مقایسه بین مطالعات و نمایش بهتر تنوع زیستی را فراهم می‌سازد (Mbow *et al.*, 2014). به‌طورمعمول، مقادیر ده، بیست، سی، چهل، پنجاه، شصت و هفتاد سانتی‌متر به‌عنوان نقاط مرزی رایج در مطالعات جنگل‌شناسی به‌کار می‌روند که بسته‌به‌نوع پوشش و مرحلهٔ رشد درخت متغیر هستند (Gonçalves *et al.*, 2017). این انتخاب امکان بررسی تغییرات غیرخطی زیست‌توده ریشه و اثرات آن بر پایداری بستر را فراهم می‌کند.

ضرایب آلومتریک گونه‌ای (a و b)

ضرایب آلومتریک گونه‌های غالب و سازگار جنگل‌های هیرکانی براساس داده‌های منتشرشده در Rezaei & Karimi (2019) استخراج و در جدول ۱ ارائه شده‌اند. این ضرایب به‌عنوان پارامترهای ثابت گونه‌ای در محاسبات لحاظ شدند.

---

1 Non-invasive approach

جدول ۱. ضرایب آلومتریک برای گونه‌های درختی غالب و سازگار در جنگل‌های هیرکانی (Rezaei and Karimi, 2019)

نام علمی گونه‌های درختی	نام فارسی گونه‌های درختی	ضریب a	ضریب b
Fagus orientalis	راش	0.2	2.3
Quercus spp.	بلوط	0.25	2.35
Carpinus betulus	ممرز	0.18	2.25
Acer spp.	افرا	0.22	2.28
Alnus spp.	توسکا	0.24	2.33
Tilia spp.	نمدار	0.21	2.3
Parrotia persica	انجیلی	0.19	2.27
Zelkova spp.	آزاد	0.23	2.32
Taxus baccata	سرخدار	0.17	2.2
Buxus hyrcana	شمشاد	0.15	2.18

متغیرهای میانجی اکولوژیک: اثرات مستقیم آلومتریک‌ها بر عملکرد محیطی (تثبیت خاک، کنترل فرسایش) را نشان می‌دهند.

- زیست‌توده ریشه[1]

برای برآورد زیست‌توده ریشه درختان، از مدل‌های آلومتریک توانی که رایج‌ترین و معتبرترین الگو در مطالعات جنگل‌شناسی هستند استفاده شد. ابتدا قطر برابر سینه بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$DBH = Circumference / \pi$$

سپس زیست‌توده ریشه هر گونه با استفاده از مدل‌های آلومتریک توانی محاسبه شد:

$$rB = a*(DBH^b)$$

که در آن:

rB زیست‌توده ریشه (کیلوگرم)

DBH قطر برابر سینه (سانتی‌متر)

a و b ضرایب آلومتریک وابسته به گونه هستند.

عمق ریشه گونه‌ای

عمق ریشه در این مقاله نه براساس مدل ریاضی مستقل

$$D = e*(DBH)$$

(e ضریبی که باتوجه‌به گونه درخت، نوع خاک، و شرایط اقلیمی تعیین می‌شود)، بلکه به‌عنوان متغیر میانجی، براساس داده‌های تجربی منتشرشده در Rezaei & Karimi (2019) تعیین شد و به‌صورت بازه‌ای در مدل پژوهش وارد گردید. این مقادیر مستقیماً استخراج شده و برای تحلیل اثرات بر پایداری خاک و کیفیت ساخت فضایی منظر استفاده شدند. در این مقاله، عمق ریشه گونه‌های منتخب از داده‌های مرجع استخراج و به‌صورت مقادیر بازه‌ای وارد مدل شد (جدول ۲). انتخاب گونه‌ها براساس معیارهای زیر صورت گرفت:

بومی یا سازگاربودن با جنگل‌های هیرکانی

فراوانی نسبی در توده‌های جنگلی میان‌بند

نقش شناخته‌شده در تثبیت خاک و کنترل فرسایش

جدول ۲. بررسی عمق ریشه گونه‌های درختی غالب و سازگار در جنگل‌های هیرکانی (Rezaei and Karimi, 2019)

نام علمی گونه‌های درختی	نام فارسی گونه‌های درختی	عمق ریشه (سانتیمتر)	ویژگی اکولوژیک غالب

1. Root biomass

Fagus orientalis	راش	90–120	تثبیت خاک در دامنه‌های مرطوب
Quercus spp.	بلوط	100–150	کاهش فرسایش در شیب‌های متوسط
Carpinus betulus	ممرز	60–90	افزایش انسجام لایه سطحی خاک
Acer spp.	افرا	50–80	کاهش سرعت رواناب سطحی
Alnus spp.	توسکا	70–90	جذب آب اضافی و کنترل فرسایش
Tilia spp.	نمدار	60–90	بهبود ساختار خاک و پایداری
Parrotia persica	انجیلی	80–100	مقاوم به رطوبت و تثبیت بستر
Zelkova spp.	آزاد	80–110	تقویت خاک و کاهش رسوب
Taxus baccata	سرخدار	70–100	پایداری زیستی در شیب‌ها
Buxus hyrcana	شمشاد	40–60	تثبیت خاک در شیب‌های تند

متغیر وابسته تحلیلی

کیفیت ساخت فضایی منظر (به‌عنوان پیش‌شرط ادراک منظر)

در چارچوب این مقاله، رابطه میان متغیرهای آلومتریک و ادراک منظر از طریق یک زنجیره عِلّی-ساختاری تبیین شد. افزایش DBH منجر به افزایش زیست‌توده و گستره سیستم ریشه می‌شود؛ این امر مقاومت برشی خاک و پایداری دامنه را تقویت کرده و در نتیجه، الگوهای استقرار پایدار پوشش گیاهی را تثبیت می‌کند. چنین پایداری فیزیکی، به شکل‌گیری ساخت فضایی قابل‌پیش‌بینی، تداوم لایه‌بندی عمودی و خوانایی بصری جنگل می‌انجامد که از پیش‌شرط‌های اصلی ادراک یکپارچه منظر طبیعی محسوب می‌شود. براین‌اساس، مدل تحلیلی پژوهش، آلومتری درختان را نه صرفاً به‌عنوان شاخص رشد زیستی، بلکه به‌عنوان مولدی ساختاری برای منظر طبیعی در نظر می‌گیرد.

یافته‌ها

پیش از تفسیر مقادیر عددی زیست‌توده ریشه، لازم است نحوه گذار این متغیرهای کمّی به کیفیت ساخت فضایی منظر روشن شود. در این پژوهش، زیست‌توده و عمق ریشه نه صرفاً به‌عنوان شاخص‌های زیستی، بلکه به‌عنوان مؤلفه‌های سازنده بستر فیزیکی منظر درنظر گرفته شده‌اند. لازم‌به‌تأکید است که زیست‌توده ریشه به‌عنوان یک شاخص نامرئی، مستقیماً در قلمرو ادراک بصری قرار نمی‌گیرد. نقش آن در این پژوهش، نقشی زیرساختی و غیرمستقیم است؛ به‌این‌معناکه ازطریق افزایش مقاومت برشی خاک، کاهش ناپایداری دامنه و تثبیت استقرار پوشش گیاهی، شرایط کالبدی لازم برای تداوم لایه‌بندی عمودی، انسجام توده‌های گیاهی و پایداری ساخت فضایی قابل‌رؤیت را فراهم می‌سازد. بنابراین، ارتباط زیست‌توده ریشه با منظر، ارتباطی میانجی‌مند و ساختاری است، نه ادراکیِ مستقیم. افزایش زیست‌توده ریشه و توسعه عمقی سیستم ریشه، مقاومت برشی خاک و پایداری دامنه را تقویت کرده و ازطریق کاهش فرسایش، جابجایی رسوبات و ناپایداری سطحی، شرایط استقرار پایدار پوشش گیاهی را فراهم می‌آورد. این پایداری بستر، امکان تداوم الگوهای فضایی پوشش، تثبیت لایه‌بندی عمودی و شکل‌گیری ریتم‌های قابل‌پیش‌بینی در ساختار جنگل را ایجاد می‌کند؛ عواملی که همگی از پیش‌شرط‌های شکل‌گیری کیفیت ساخت فضایی منظر و درنهایت ادراک یکپارچه و خوانای منظر طبیعی محسوب می‌شوند. تحلیل نتایج کمّی زیست‌توده در این بخش، به‌منزله تبیین یکی از بنیان‌های فیزیکی کیفیت فضایی منظر تلقی می‌شود، نه تفسیر مستقیم ادراک ذهنی.

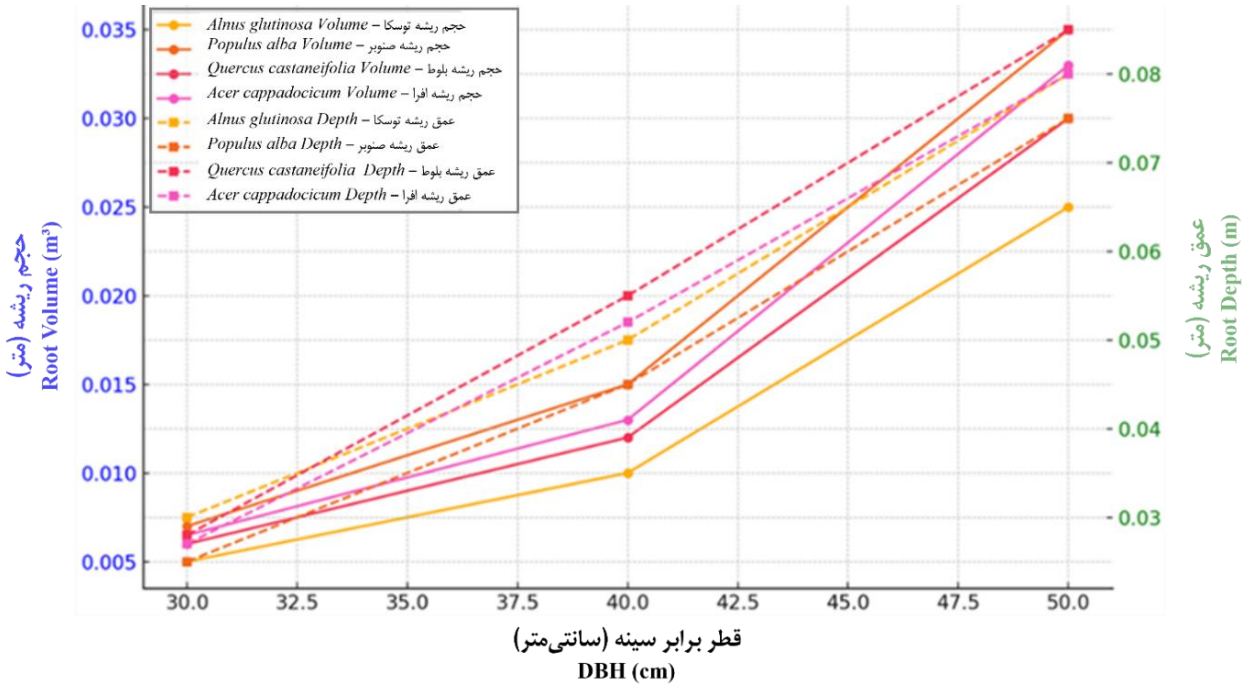
بر اساس داده‌های استاندارد DBH و ضرایب آلومتریک استخراج‌شده حجم زیست‌توده ریشه برای گونه‌های منتخب جنگل‌های هیرکانی محاسبه شد. نتایج نشان داد که گونه‌های بلوط و توسکا بیشترین زیست‌توده ریشه را دارا هستند و گونه‌هایی مانند شمشاد و سرخدار زیست‌توده کمتری دارند. مقادیر به‌دست آمده در جدول ۳ قابل‌مشاهده است.

جدول ۳. محاسبه حجم زیست‌توده ریشه گونه‌های درختی انتخابی (نگارندگان، ۱۴۰۴).

DBH (سانتی‌متر)	راش	بلوط	ممرز	افرا	توسکا	نمدار	انجیلی	آزاد	سرخدار	شمشاد

249.01	302.08	614.68	428.37	524.32	663.60	513.17	379.14	739.90	499.35	30
466.21	568.83	1198.14	823.06	1016.15	1297.21	988.83	724.28	1454.73	967.76	40
1128.39	1387.98	3069.30	2066.13	2582.06	3336.60	2492.34	1803.49	3772.21	2459.11	60
1579.08	1948.34	4388.90	2931.74	3680.82	4778.48	3541.98	2551.19	5419.02	3505.54	70

علاوه‌بر زیست‌توده، عمق ریشه نیز به‌عنوان شاخصی کلیدی در پایداری خاک و کنترل فرسایش موردتوجه قرار گرفت (جدول ۲). ترکیب حجم زیست‌توده و عمق ریشه، توانایی گونه‌ها در تثبیت خاک و مقاومت دامنه‌ها را نشان می‌دهد. به‌طورمثال، توسکا با عمق ریشه هفتاد تا نود سانتی‌متر و زیست‌توده بالا، بیشترین ظرفیت تثبیت خاک و کاهش فرسایش را داراست (شکل ۳).



شکل ۳. نمودار بررسی رابطه حجم زیست‌توده و عمق ریشه گونه‌های درختی انتخابی. برای تفسیر بهتر جدول ۳ به‌صورت گزینشی و باتوجه‌به مقادیر عمق ریشه و محاسبه حجم زیست‌توده گونه‌های درختی، برای چهار گونه بلوط، افرا، توسکا و سپیدار نمودار ۱ بااستفاده‌از نرم‌افزار اکسل رسم شده است (نگارندگان، ۱۴۰۴).

باتوجه‌به زنجیره عِلّی–ساختاری پژوهش، پایداری فیزیکی حاصل‌از زیست‌توده و عمق ریشه، ساخت فضایی پوشش گیاهی را تثبیت می‌کند. این تثبیت باعث حفظ تداوم لایه‌بندی عمودی و خوانایی بصری جنگل می‌شود، که پیش‌شرط ادراک یکپارچه منظر طبیعی است. بنابراین، متغیرهای میانجی (زیست‌توده و عمق ریشه) به‌طور غیرمستقیم بر کیفیت ساخت فضایی منظر تأثیرگذارند. با ترکیب داده‌های زیست‌توده و عمق ریشه، گونه‌ها براساس توانایی در تثبیت خاک و ایجاد ساخت فضایی مناسب برای منظر طبقه‌بندی تحلیلی شدند:

بلوط تثبیت قوی خاک، مناسب مناطق خشک‌تر

توسکا بیشترین تثبیت خاک و کیفیت ساخت فضایی بالا

گونه‌های دیگر، هرچند اثرات محدودی بر پایداری و منظر دارند، می‌توانند به‌عنوان گونه‌های مکمل در مدیریت اکولوژیک و زیبایی بصری جنگل به کار روند.

بحث

نتایج محاسبات زیست‌توده نشان می‌دهد گونه‌هایی با حجم زیست‌توده ریشه بیشتر، ظرفیت بالاتری برای تثبیت خاک و کاهش فرسایش دارند. این ویژگی عملکردی، به‌طور غیرمستقیم در ارتقای کیفیت ساخت فضایی منظر نقش ایفا می‌کند؛ به‌گونه‌ای‌که پایداری بستر، امکان شکل‌گیری توده‌های متراکم‌تر، خواناتر و دارای تداوم فضایی بیشتر را فراهم می‌سازد. در چنین شرایطی، ساخت فضایی حاصل، نه‌تنها ازنظر اکولوژیک پایدارتر است، بلکه واجد کیفیت‌هایی است که زمینه ادراک منسجم‌تر و قابل پیش‌بینی‌تر منظر طبیعی را فراهم می‌کند. لذا رابطه میان زیست‌توده ریشه و کیفیت ساخت فضایی منظر، رابطه‌ای خطی و مستقیم نیست؛ بلکه رابطه‌ای ساختاری و واسطه‌مند است که از طریق تثبیت بستر و تداوم الگوهای پوشش گیاهی عمل می‌کند. بنابراین، تفاوت‌های آلومتریک میان گونه‌های درختی جنگل‌های هیرکانی می‌تواند به تفاوت در کیفیت ساخت فضایی منظر در مقیاس‌های مختلف منجر شود؛ امری که نشان می‌دهد سرشت فیزیکی گونه‌ها، نقشی فعال در تولید منظر طبیعی ایفا می‌کند. در این چارچوب، باید تأکید شود که شاخص‌های آلومتریک به‌ویژه زیست‌توده ریشه، نه به‌عنوان عناصر قابل‌مشاهده در منظر بصری، بلکه به‌عنوان عوامل تثبیت‌کننده زیرساخت کالبدی منظر تحلیل شده‌اند. آنچه در قلمرو ادراک قرار می‌گیرد، پیامد تثبیت این زیرساخت در قالب تداوم لایه‌بندی، ریتم فضایی و خوانایی ساختاری جنگل است.

براساس مدل مفهومی ارائه‌شده در شکل ۱، شاخص‌های آلومتریک مستقل به‌صورت مرحله‌مند از طریق متغیرهای میانجی اکولوژیک به کیفیت ساخت فضایی منظر متصل می‌شوند. این چارچوب نشان می‌دهد که نتایج کمّی به‌دست‌آمده در خصوص زیست‌توده و عمق ریشه، صرفاً مقادیر عددی نیستند، بلکه در یک زنجیره ساختاری به تثبیت الگوهای پوشش گیاهی و درنهایت به تداوم سازمان فضایی جنگل منجر می‌شوند. بنابراین، تحلیل شاخص‌ها باید درقالب این نظام علّی تفسیر شود.

گونه‌های توسکا و بلوط، از گونه‌های مؤثر در شکل‌گیری ادراک منظر طبیعی جنگل‌های هیرکانی هستند. از نگاه ریخت‌شناسی زمین، جنگل‌های هیرکانی بر دامنه‌های مرطوب با شیب متوسط تا تند، خاک‌های عمیق و اغلب نیمه‌اشباع واقع شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد گونه‌هایی نظیر توسکا که به‌طور طبیعی در مناطق دارای زه‌کش فعال و شیب‌دار می‌رویند، ازطریق ویژگی‌های آلومتریک خاص خود چون ریشه‌دوانی عمیق و قطر بالای تنه، نقش اساسی در حفظ پایداری زمین دارند. بلوط نیز با حضور در خاک‌های نسبتاً سنگین‌تر و ارتفاعات میانی، الگوی متفاوتی از تثبیت بستر را رقم می‌زند. درک کاربران محلی از این درختان در بستر ناهموار، اغلب با نوعی حس طبیعی بودن و دوام همراه است که در تقویت حس‌مکان مؤثر است (شکل ۴).

شکل ٤. توسکا در دامنه‌های شیب‌دار جنگل‌های هیرکانی با رشد سریع و الگوی استقرار پویا، بیانگر فرایندهای تدریجی تغییر ساخت فضایی، نوسازی بستر اکولوژیک و تحول تدریجی منظر طبیعی نزد مخاطب است، ماخذ تصویر (Salehi et al., 2025).

در سطح پوشش درختی، ترکیب ارتفاع، گستره تاج و فرم ایستایی توسکا و بلوط، ساختار فضایی جنگل را تعیین می‌کند. درخت توسکا با ارتفاع نسبتاً بالا و تاج افقی گسترده، چشم‌اندازهایی با بازتاب نور و فضاهای نیمه‌شفاف خلق می‌کند. درمقابل،

بلوط با قامت عمودی‌تر و فرم‌های منقطع‌تر، عمق فضایی بیشتری در ادراک افراد ایجاد می‌کند. حضور این دو گونه در کنار یکدیگر، به ساختار افقی و عمودی جنگل ریتم می‌دهد و موجب پدیدآمدن چشم‌اندازی متنوع می‌شود که توسط مخاطب به زیبایی طبیعی یا طبیعت اصیل تفسیر می‌شود.

همچنین ترکیب عناصر اقلیمی نظیر مه، نور نقطه‌ای و رطوبت بالا با تنوع رنگ تنه‌ها و پوشش سبز زمینه، تجربه ادراکی منحصربه‌فردی از جنگل خلق می‌کند. در این بستر، گونه‌هایی چون توسکا که پوست روشن‌تری دارند، در فضای مه‌آلود بیشتر جلوه می‌کنند و به‌عنوان عناصر بصری شاخص ادراک می‌شوند. بلوط با تنه‌های تیره و بافت زمخت‌تر، در خلق کنتراست رنگی و عمق بصری نقش دارد. تجربه کاربران از حضور در این فضا با رازآلودگی توصیف می‌شود (شکل ۵).

شکل ۵ . حضور توسکا و بلوط در فضاهای مه‌آلود و مرطوب جنگل‌های هیرکانی، همراه با تغییرات فصلی نور و رنگ، تجربه‌ای ماندگار و پیوندی عاطفی میان انسان و طبیعت ایجاد می‌کند که در حافظه ادراکی ناظر تثبیت می‌شود. ماخذ تصویر: http://whc.unesco.org/en/documents/166783

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه میان ویژگی‌های آلومتریک درختان بومی جنگل‌های هیرکانی و ادراک منظر طبیعی این جنگل‌ها، از دو مسیر موازی داده‌های کمّی آلومتریک و برداشت‌های کیفی از منظر، به تحلیل لایه‌های اکولوژیک و ادراکی این بوم‌سازه جنگلی پرداخت. نوآوری اصلی این پژوهش در ارائه چارچوبی تحلیلی است که در آن، شاخص‌های آلومتریک درختان به‌عنوان متغیرهای مولد ساخت فضایی منظر طبیعی و نه صرفاً شاخص‌های رشد زیستی تفسیر می‌شوند.

نتایج نشان داد که گونه‌هایی نظیر توسکا و بلوط، به‌واسطه ویژگی‌های سرشتی خود، نه‌تنها در تثبیت خاک، کنترل روان‌آب و حفظ پایداری اکولوژیک منطقه مؤثرند بلکه در ساختار ادراکی منظر طبیعی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کنند. یافته‌های

این مطالعه تأکید دارد رابطه‌ای نظام‌مند و معنادار میان آلومتری درختان و ساخت منظر طبیعی برقرار است؛ رابطه‌ای که از سطح عملکرد اکولوژیک فراتر رفته و به تجربه ادراکی منجر می‌شود؛ لذا طبیعت هیرکانی نه صرفاً موضوع مشاهده، بلکه کنش‌گری فعال در تولید منظر است.

مدل تحلیلی ارائه‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که رابطه میان شاخص‌های آلومتریک و منظر طبیعی، رابطه‌ای خطی و مستقیم نیست، بلکه ساختاری، مرحله‌مند و مبتنی‌بر متغیرهای میانجی اکولوژیک است. تبیین این زنجیره علّی، امکان فهم عمیق‌تر پیوند میان ویژگی‌های زیستی درختان و سازمان فضایی قابل رؤیت جنگل را فراهم می‌کند.

کاربردهای عملی این پژوهش در دو حوزه طراحی منظر و مدیریت پایدار منابع جنگلی قابل‌تأمل است. نخست، نتایج ارائه‌شده می‌توانند در تدوین راهبردهای طراحی منظر در پروژه‌های بازسازی و احیای بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌ویژه در مناطق آسیب‌دیده از ساخت‌وساز یا تخریب طبیعی به‌کار رود. طراحان می‌توانند با بهره‌گیری از گونه‌هایی با فرم آلومتریک مشخص (نظیر توسکا در مناطق مرطوب یا بلوط در فضاهای میانی جنگل)، منظرهایی خلق کنند که هم‌زمان ازنظر ادراکی و اکولوژیک، آورنده بیشترین تأثیر باشند. دوم، این پژوهش یک مسیر تحلیلی میان‌رشته‌ای پیشنهاد می‌دهد که در آن، داده‌های زیستی و فرم‌شناختی گیاهان به‌عنوان ورودی تحلیل‌های ادراکی و اکتشافی فضا مورداستفاده قرار گیرد. چنین رویکردی می‌تواند منجر به کاهش شکاف میان علوم طبیعی و علوم انسانی شود و بستری برای درک پیچیدگی ادراک منظر فراهم آورد.

باتوجه‌به محدودیت‌های پژوهش، ازجمله نمونه‌برداری در بازه زمانی محدود و تمرکز بر دو گونه خاص؛ پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، گونه‌های متنوع‌تری از درختان هیرکانی با طیف‌های آلومتریک مختلف موردبررسی قرار گیرند. همچنین، تحلیل تجربه ادراکی با بهره‌گیری از فنون نوین مانند ردیابی چشم[1]، واقعیت افزوده، یا مدل‌سازی‌های واقع‌گرایانه[2] می‌تواند به فهم دقیق‌تری از رابطه فرم درختان و ادراک منظر منجر شود.

1. Eye Tracking
2. Realistic Rendering

منابع

بیگی، حمیده و اسماعیلی، سعیده. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر منظر صوتی طبیعت بر رضایت گردشگران و ادراک حس مکان در مقصدهای گردشگری (مطالعهٔ موردی: جنگل‌های هیرکانی گیلان). *پژوهش‌های بازاریابی و میهمان‌نوازی*، ۳(۱): ۲۲۲-۱۹۷. https://doi.org/10.22080/tmhr.2025.29248.1058

REFERENCES

Ataei, E.; Kazemnezhad, F.; Eshaghnimvari, M. & Sheykholeslami, A. (2023). Plant diversity along an elevation gradient in Hyrcanian forest of northern Iran. *Polish Journal of Ecology*, 70(2–3): 69–78. https://doi.org/10.3161/15052249PJE2020.70.2.001

Etemadi, M.; Jafari, S. & Arzani, H. (2021). Landscape perception and the aesthetic value of the Hyrcanian forests. *Environmental Management*, 67(3): 431-446. https://doi.org/10.1007/s00267-021-01476-3

Fazlollahi Mohammadi, M.; Tobin, B.; Jalali, S. G. A.; Kooch, Y. & Riemann, R. (2022). Fine-scale topographic influence on the spatial distribution of tree species diameter in old-growth beech forests, northern Iran. *Scientific Reports*, 12. https://doi.org/10.1038/s41598-022-10606-0

Gao, T.; Liang, H.; Chen, Y. & Qiu, L. (2019). Comparisons of landscape preferences through three different perceptual approaches: On-site survey, photo elicitation, and virtual reality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23): 4754. https://doi.org/10.3390/ijerph16234754

Gonçalves, F.; Treuhaft, R.; Law, B.; Almeida, A.; Walker, W.; Baccini, A.; Dos Santos, J. R. & Graça, P. (2017). Estimating aboveground biomass in tropical forests: Field methods and error analysis for the calibration of remote sensing observations. *Remote Sensing*, 9(1): 47. https://doi.org/10.3390/rs9010047

Haida, C.; Rüdisser, J. & Tappeiner, U. (2016). Ecosystem services in mountain regions: Experts' perceptions and research intensity. *Regional Environmental Change*, 16: 1989–2004. https://doi.org/10.1007/s10113-015-0759-4

Jafari Khaledi, H.; Khakzand, M. & Faizi, M. (2022). Landscape and perception: A systematic review. *Landscape Online*, 97. https://doi.org/10.3097/LO.2022.1098

Jahani, A.; Saffariha, M. & Barzegar, P. (2022). Landscape aesthetic quality assessment of forest lands: An application of machine learning approach. *Soft Computing*, 27: 19445–19460. https://doi.org/10.1007/s00500-022-07642-3

Kaplan, R. & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge University Press.

Khare, S.; Latifi, H. & Khare, S. (2021). Vegetation growth analysis of UNESCO World Heritage Hyrcanian forests using multi-sensor optical remote sensing data. *Remote Sensing*, 13(19): 3965. https://doi.org/10.3390/rs13193965

Mbow, C.; Verstraete, M. M.; Sambou, B.; Diaw, A. T. & Neufeldt, H. (2014). Allometric models for aboveground biomass in dry savanna trees of the Sudan and Sudan–Guinean ecosystems of Southern Senegal. *Journal of Forest Research*, 19(3): 340–347. https://doi.org/10.1007/s10310-013-0414-1

Meng, Y.; Shi, J.; Lyu, M.; Sun, D. & Fukuda, H. (2024). Research into the influence mechanisms of visual-comfort and landscape indicators of urban green spaces. *Land*, 13(10): 1688. https://doi.org/10.3390/land13101688

Nili, R. & Soltanzadeh, H. (2013). Studying the application of healing landscapes in Persian gardens. *Bagh-e Nazar*, 9(23): 65–74. https://www.bagh-sj.com/?_action=articleInfo&article=2456&vol=194&lang=en

Poorter, L.; van der Sande, M. T.; Thompson, J.; Arets, E. J. M. M. & Peña-Claros, M. (2015). Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 24(11), 1314–1328. https://doi.org/10.1111/geb.12364

Pourmajidian, M.; Jalali, S. G. & Mohammadi, F. (2010). The impact of forest degradation on biodiversity and ecosystem services in northern Iran. *Biodiversity and Conservation*, 19(4), 817-832. https://doi.org/10.1007/s10531-009-9741-2

Pretzsch, H.; Forrester, D. I. & Bauhus, J. (2017). *Mixed-species forests: Ecology and management*.

Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54553-9

Pretzsch, H.; Forrester, D. I.; Rötzer, T.; Seifert, T. & Kohnle, U. (2015). Representation of species mixing in forest growth models. *Forest Ecosystems*, 2(1): 6. https://doi.org/10.1186/s40663-015-0031-7

Rezaei, N. & Karimi, H. (2019). A green vehicle routing problem with time windows considering the heterogeneous fleet of vehicles: Two metaheuristic algorithms. *European Journal of Industrial Engineering*, 13(4): 507–535. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3476747

Salehi, A.; Tavankar, F. & Tsioras, P. A. (2025). Post-harvest evaluation of logging-induced compacted soils and the role of Caucasian alder (Alnus subcordata C.A.Mey) fine-root growth in soil recovery. *Forests*, 16(7): 1044. https://doi.org/10.3390/f16071044

San Eugenio Vela (de), J.; Nogué, J. & Govers, R. (2017). Visual landscape as a key element of place branding. *Journal of Place Management and Development*, 10(1): 23–44. https://doi.org/10.1108/JPMD-09-2016-0060

Schirpke, U.; Scolozzi, R.; Dean, G.; Haller, A.; Jäger, H.; Kister, J.; Kovács, B. O.; Sarmiento, F.; Sattler, B. & Schleyer, C. (2020). Cultural ecosystem services in mountain regions: Conceptualising conflicts among users and limitations of use. *Ecosystem Services*, 46: 101210. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101210

Zolfaghari, H. & Hajabbasi, M. A. (2022). The allometry of Alnus subcordata and its implications for forest sustainability. *Ecological Indicators*, 138: 108887. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108887