Urmia University

Forest Research and Development

Vol. 11, Issue 4, 2026, 445-478

Review Paper

Analyzing forest structure in Iran: A review of research insights and findings across forest ecosystems

Masomeh Khazaei poul[1], Javad Eshaghi Rad[*,2], Reza Akhavan[3] and Jerzy Szwagrzyk[4]

1- Ph.D. Student in Forest Biological Sciences, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (khazaeimasoomeh65@yahoo.com)
2,*- (Corresponding author) Professor., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (j.eshagh@urmia.ac.ir)
3- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (akhavan@rifr-ac.ir)
4- Professor, Department of Forest Botany and Nature Conservation, Agricultural University of Krakow, Krakow, Poland. (rlszwagr@cyf-kr.edu.pl)

Received: 06 February 2025 Revised: 27 June 2025 Accepted: 14 July 2025

Extended Abstract

Background and Objective: Forest structure represents the distribution of tree characteristics within forest ecosystems, encompassing factors such as age, size, and species composition. Analyzing this structure is essential for effective management and biodiversity conservation, as it guides the selection of appropriate strategies for forest sustainability. Furthermore, stand structure serves as a key indicator for assessing forest quality, wildlife habitats, and environmental values. Various methods are employed to measure forest structure, including nearest-neighbor indices, which analyze spatial distribution patterns and tree dimension diversity. Numerous studies have explored forest stand structure across Iran's diverse vegetative regions. Therefore, this research aims to collect, synthesize, evaluate, and summarize all existing studies in this field, with no time constraints, up to the year 2024.

Material and Methods: This study presents a review of published literature on the structure of natural forest stands across Iran's diverse vegetative regions. Comprehensive searches were conducted in national and international databases, including Scopus, Magiran, Web of Science Core Collection, SciELO Citation Index, SID, Google Scholar, ScienceDirect, and Biological Abstracts. The search encompassed peer-reviewed articles in both domestic and international journals up to 2024, without time constraints. Key topics included the effects of physiographic factors (elevation, slope, and aspect) and management practices on stand structure, forest structure quantification, species diversity, species mingling, and spatial patterns of forest stands. A total of 97 articles were analyzed, consisting of 47 studies from the Hyrcanian (northern) forests, 4 from the Arasbaran forests, 40 from the Zagros forests, and 6 from the Khalij-Omani forests. These studies were systematically collected and synthesized based on vertical and horizontal structure indices, species mingling, homogeneity, physiographical influences, and the impact of anthropogenic interventions on forest structure, with findings organized into distinct tables.

Results: Results from studies utilizing nearest-neighbor methods revealed that spatial patterns in the Hyrcanian and Zagros forest stands—dominated by Beech and Oak, respectively—are not entirely identical; however, most cases exhibited a clumped (aggregated) pattern. In contrast,

Hyrcanian stands dominated by species other than Beech showed random or intermediate (between random and clumped) spatial patterns. Similarly, other structural analysis methods predominantly identified clumped spatial patterns in both Hyrcanian and Zagros forests. Vertical structure across the Hyrcanian, Zagros, and Khalij-Omani forests did not follow a uniform trend, with the highest and lowest number of canopy layers recorded in the Hyrcanian and Khalij-Omani forests, respectively. Furthermore, most studies employing nearest-neighbor indices in the Zagros, Arasbaran, and Khalij-Omani forests reported low species mingling and a homogeneous forest structure. Analysis of physiographic factors (slope, aspect, and elevation) on non-spatial structural characteristics (DBH, height, basal area, crown area, and tree density) indicated that while most studies observed an increase in these indices on northern and eastern aspects, they tended to decrease with increasing slope and elevation. Additionally, the majority of research highlighted that management practices and anthropogenic interventions negatively impact the non-spatial structural characteristics of the studied forest stands, with the exception of tree density.

Conclusion: This review demonstrates that the horizontal structure of forest stands across Iran's diverse vegetative regions is significantly influenced by both natural and anthropogenic factors. Structural analysis of Hyrcanian (Beech) and Zagros (Oak) forests reveals a predominant clumped distribution pattern, largely shaped by ecological factors such as seed weight and patch regeneration. Furthermore, low mingling indices and tree dimension homogeneity in the studied areas suggest intense competition or advanced ecosystem degradation. Other key findings include the more complex vertical structure of Hyrcanian forests and the heterogeneous impact of physiographic factors on structural attributes. While forest management has positively influenced tree density, it has adversely affected non-spatial structural indices, highlighting the urgent need for strategies such as selective logging, preserving patch-based structures, and developing specialized conservation guidelines for sensitive regions, particularly the Zagros. Despite the limitation of temporal data, this research underscores the necessity for future studies to incorporate modeling for structural trend analysis and meta-analyses of forest stand structures.

Keywords: Beech and Oak, Hyrcanian forests, Stand structure, Zagros forests.

How to Cite This Article: Khazaei poul, M., Eshaghi Rad, J., Akhavan, R., and Szwagrzyk, J. (2026). Analyzing forest structure in Iran: A review of research insights and findings across forest ecosystems. Forest Research and Development, 11(4), 445-478. DOI: 10.30466/jfrd.2025.55950.1753

Copyright ©2024 Khazaei poul et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۱، شماره ۴، صفحه ۴۷۸-۴۴۵، (۱۴۰۴)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.55950.1753
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763551.1404.11.4.8.3

مقالهٔ مروری

تحلیل ساختار جنگل‌های ایران: مروری بر پژوهش‌ها و یافته‌ها در بوم‌سازگان‌های جنگلی ایران

معصومه خزائی‌پول[۱]، جواد اسحاقی‌راد*[۲]، رضا اخوان[۳] و جرزی سوآگزک[٤]

۱- دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (khazaeimasoomeh65@yahoo.com)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (j.eshagh@urmia.ac.ir)
۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (akhavan@rifr-ac.ir)
٤- استاد، گروه جنگل‌شناسی و حفاظت از طبیعت، دانشگاه کشاورزی کراکف، کراکف، لهستان. (rlszwagr@cyf-kr.edu.pl)

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۱۱/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱٤۰٤/۰٤/۰٦ تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰٤/۲۳

چکیده

مقدمه و هدف: ساختار جنگل نمایانگر توزیع ویژگی‌های درختان در بوم‌سازگان‌های جنگلی است و شامل عواملی مانند سن، اندازه و نوع گونه‌ها می‌شود. بررسی ساختار جنگل برای مدیریت صحیح و حفظ تنوع زیستی ضروری است، زیرا به انتخاب روش‌های مناسب برای پایداری جنگل کمک می‌کند. همچنین، ساختار توده‌های جنگلی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کیفیت جنگل، زیستگاه حیات‌وحش و ارزش‌های زیست‌محیطی مورد توجه قرار می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ساختار جنگل وجود دارد که شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه یکی از آنهاست که به تحلیل الگوهای پراکنش و تنوع ابعاد درختان می‌پردازد. پژوهش‌های متعددی در زمینه ساختار توده‌های جنگلی در مناطق مختلف رویشی ایران انجام شده و هدف از این پژوهش، گردآوری، ترکیب، ارزیابی و جمع‌بندی تمام پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه بدون محدودیت زمانی تا سال ۲۰۲٤ میلادی است.

مواد و روش‌ها: این نوشتار، مروری بر مقالات منتشرشده در حوزه بررسی ساختار توده‌های طبیعی مناطق رویشی مختلف ایران است. در پایگاه‌های ملی و بین المللی Scopus, Magiran, Science Core Collection, SciELO Citation Index, Sid, Google Scholar, Science Direct, Biological Abstract مقالاتی بدون محدودیت زمانی تا سال ۲۰۲٤ میلادی در مجلات داخلی و خارجی در زمینه ساختار جنگل و با موضوعاتی مانند اثر عوامل فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت) و اثر مدیریت بر ساختار توده‌ها، کمّی‌سازی ساختار جنگل‌ها، تنوع گونه‌ای و ساختار جنگل، آمیختگی گونه‌ای و الگوی مکانی توده‌های جنگلی جستجو شد. در مجموع ۹۷ مقاله در زمینه ساختار توده‌های جنگلی مورد بررسی قرار گرفت که از این تعداد ٤۷ مورد مربوط به پژوهش‌های انجام‌شده در جنگل‌های شمال کشور (هیرکانی)، چهار مورد مربوط به جنگل‌های ارسباران، ٤۰ مورد مربوط به جنگل‌های زاگرس و شش مورد مربوط به

جنگل‌های خلیج و عمانی است. این مقالات بر اساس شاخص‌های ساختار عمودی و افقی، آمیختگی و وضعیت همگنی، تأثیر عوامل فیزیوگرافی و همچنین تاثیر مدیریت و دخالت‌های انسانی بر ساختار توده‌های مناطق مختلف رویشی ایران، گردآوری، جمع‌بندی و در جداول جداگانه سازماندهی شدند.

یافته‌ها: نتایج پژوهش‌های بررسی‌شده با روش‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه نشان داد الگوی مکانی در توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس به‌ترتیب با گونه غالب راش و بلوط، کاملا مشابه نبوده ولی در بیشتر آنها، الگوی کپه‌ای ارزیابی شده است. در مقابل در توده‌های جنگلی هیرکانی با گونه غالب غیر از راش، الگوی مکانی تصادفی یا مابین تصادفی و کپه‌ای به‌دست آمد. همچنین در بررسی الگوی مکانی با دیگر روش‌های بررسی ساختار در توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس در بیشتر پژوهش‌ها الگوی مکانی کپه‌ای ارزیابی شد. ساختار عمودی در توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و خلیج و عمانی نیز روند مشابهی را نشان نداد و بیشترین و کمترین تعداد آشکوب به‌ترتیب مربوط به توده‌های جنگلی هیرکانی و خلیج و عمانی است. همچنین در بیشتر پژوهش‌های بررسی‌شده با روش‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه در جنگل‌های زاگرس، ارسباران و خلیج عمانی آمیختگی کم و ساختار جنگل همگن ارزیابی شد. نتایج بررسی تأثیر عوامل فیزیوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار درختان (قطر برابرسینه، ارتفاع، سطح مقطع، سطح تاج، تعداد درختان) نشان داد که در بیشتر پژوهش‌ها در جهت‌های شمالی و شرقی میانگین شاخص‌های مورد بررسی افزایش یافته ولی با افزایش شیب و ارتفاع از سطح دریا، میانگین این مشخصه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین در بیشتر پژوهش‌ها، مدیریت و دخالت‌های انسانی بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی بررسی‌شده (به‌جز تعداد درختان) اثر منفی دارد.

نتیجه‌گیری: بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که ساختار افقی توده‌های جنگلی در مناطق مختلف رویشی ایران متاثر از عوامل طبیعی و انسانی است. تحلیل ساختار جنگل‌های هیرکانی (راش) و زاگرس (بلوط) نشان داد الگوی غالب پراکنش افقی به‌صورت کپه‌ای است که تحت تأثیر عوامل بوم‌شناسی مانند سنگینی بذر و زادآوری لکه‌ای شکل می‌گیرد. شاخص آمیختگی پایین و همگنی ابعاد درختان در مناطق مورد بررسی، حاکی از غلبه رقابت شدید یا تخریب بوم‌سازگانی است. ساختار عمودی پیچیده‌تر در جنگل‌های هیرکانی و تأثیر ناهمگون عوامل فیزیوگرافی بر مشخصه‌های ساختاری از دیگر یافته‌ها است. مدیریت جنگل با تأثیر مثبت بر تراکم، اثرات منفی بر شاخص‌های غیرمکانی داشته که لزوم به‌کارگیری روش‌هایی مانند قطع گزینشی، حفظ ساختار لکه‌ای و تدوین دستورالعمل‌های حفاظتی ویژه برای مناطق حساس (به‌ویژه زاگرس) را پررنگ می‌سازد. این پژوهش با محدودیت داده‌های زمانی، نیازمند تکمیل با مدلسازی برای تحلیل روند تغییرات ساختاری و پژوهش‌های متاآنالیز بررسی‌های ساختار توده‌ها در پژوهش‌های آتی است.

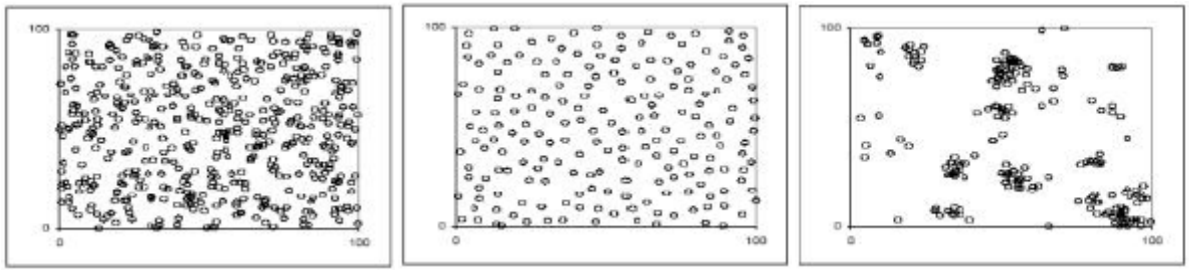
واژه‌های کلیدی: راش و بلوط، جنگل‌های هیرکانی، ساختار توده، جنگل‌های زاگرس.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۴۴۳۲۷۷۰۴۸۹

مقدمه

ساختار جنگل، چگونگی توزیع ویژگی‌های مختلف درختان در بوم‌سازگان‌های جنگلی را نشان می‌دهد (Gadow et al., 2012). به‌طورکلی، واژه "ساختار" به ویژگی‌های جوامع درختی از نظر سن درخت، ابعاد، نوع گونه، چیدمان توده یا الگوی مکانی یا نحوه توزیع درختان در آن، مرتبط است (Graz, 2006). تشریح ساختار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای کلیدی در تشریح بوم‌سازگان‌های جنگلی و تنوع زیستی به‌کار رفته و در فرآیند مدیریت جنگل، برای برآورد وضعیت فعلی و طراحی برنامه‌های آینده اهمیت فراوانی دارد (Kint et al., 2004; Ahmadiyan et al., 2017). همچنین بررسی ساختار جنگل برای درک درست و تصمیم‌گیری صحیح در فعالیت‌های مدیریتی جنگل مانند فعالیت‌های پرورشی و بهره‌برداری ضروری است (Corral et al., 2010; Daneshvar et al., 2007). بررسی ساختار توده‌های طبیعی و شناخت مراحل تحولی و روند پویایی در جنگل این امکان را فراهم می‌سازد که با توجه به قابلیت رویشگاه، روش مناسبی برای حفظ اصل استمرار تولید و پایداری جنگل اتخاذ شود؛ زیرا به‌کارگیری روش‌های همگام با طبیعت، وظایف چندگانه جنگل مانند تعادل بوم‌شناسی و تامین نیازهای اقتصادی- اجتماعی را تضمین می‌کند (Kint et al., 2000).

همچنین ساختار توده می‌تواند به‌عنوان شاخصی از مطلوبیت رویشگاه‌های جنگلی برای ارزش‌گذاری‌های متفاوت مانند کیفیت چوب تولیدی، ارزش‌های زیست‌محیطی، زیستگاه حیات‌وحش و حتی تفرج درنظر گرفته شود (Pommerening and Stoyan, 2008). ساختار جنگل شامل تنوع گونه‌ای، الگوی پراکنش مکانی و تنوع ویژگی‌های فیزیکی درختان و درختچه‌ها است (Aguirre et al., 2003). یکی از مؤلفه‌های اصلی ساختار تودهٔ جنگلی، نحوهٔ توزیع مکانی درختان است که نمایانگر موقعیت افراد یک جمعیت در محیط و نحوهٔ آرایش آن‌ها نسبت به یکدیگر است (Pommerening, 2006). کنش متقابل درختان اهمیت زیادی در الگوهای مکانی آنها در جوامع گیاهی دارد. الگوهای پراکنش درختان تحت تأثیر عوامل زیستی و شرایط محیطی مختلف مانند باد، جریان آب، شدت نور، جانوران، ویژگی‌های گونه‌ها مانند نوع زادآوری و پراکنش بذر، رقابت درون و بین-گونه‌ای، آشفتگی‌ها یا ناهمگنی‌های محیطی قرار می‌گیرند (Pommerening and Stoyan, 2008). موقعیت مکانی درختان نشان‌دهنده الگوی پراکنش آنها است که از یکی از الگوهای کپه‌ای، تصادفی، منظم و یا حالتی بین آن‌ها پیروی می‌کند (شکل ۱). به‌طورکلی الگوی مکانی گیاهان در هر رویشگاه به دو صورت تصادفی یا غیرتصادفی است که پراکنش غیرتصادفی به دو شکل یکنواخت و کپه‌ای تقسیم می‌شود. الگوی تصادفی معمولا به همگنی محیط اشاره دارد و الگوی غیرتصادفی بیانگر برخی محدودیت‌ها (آب، نور وغذا) و شرایط محیطی نامساعد در جامعه است. الگوی پراکنش کپه‌ای عمومی‌ترین الگوی پراکنش مشاهدشده در طبیعت است که ناشی از دو عامل اصلی است: ناهمگنی محیطی و محدودیت پراکنش بذر (Erfanifard et al., 2008).



کپه‌ای یا تجمعی — منظم یا یکنواخت — تصادفی

Clumped or Aggregated — Regular or Uniform — Random

شکل ۱- الگوی پراکنش درختان (برگرفته از Ground et al, 1997)

Figure 1. Tree Distribution Pattern (Adapted from Ground et al., 1997)

برای بررسی و کمی‌سازی ساختار جنگل‌ها روش‌های اندازه‌گیری و محاسباتی متفاوتی وجود دارد؛ در سال‌های اخیر با هدف ساده‌تر کردن این اندازه‌گیری‌ها، شاخص‌هایی توسعه یافته‌اند که اندازه‌گیری آنها نسبت به دیگر شاخص‌ها به‌مراتب ساده‌تر است. یکی از این شاخص‌ها، شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه (Nearest neighbor) است که به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین روش‌ها ذکر می‌شود (Nouri et al., 2015). این شاخص‌ها ارتباط بین درخت مرجع را با پایه‌های همسایه به‌دقت مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد که شامل شاخص‌های زاویه یکنواخت (Uniform angle)، کلارک و ایوانز (Clark and Evans)، آمیختگی گونه‌ای (Species Mingling Index)، چیرگی قطری (DBH dominance) و تمایز قطری (DBH differentiation) است (Alijani1 et al., 2012; Jafari Afrapoly et al., 2019). این مجموعه از شاخص‌ها به دلیل دقت زیاد اندازه‌گیری، ارزان بودن، سهولت اندازه‌گیری و توانایی کافی در تشریح توده‌های جنگلی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی مورد توجه قرار گرفته است.

شاخص زاویه یکنواخت با مقایسه زاویه بین درختان همسایه با زاویه استاندارد به بررسی درجه منظم بودن موقعیت مکانی درخت مرجع نسبت به درختان همسایه خود می‌پردازد. مقدار شاخص زاویه یکنواخت در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه یکی از ارزش‌های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و یک به‌دست می‌آید که با میانگین‌گیری از این ارزش‌ها مقدار متوسط تجمع ($\bar{W}$) برای کل توده قابل محاسبه است. ارزش پایین $\bar{W}$ نشان‌دهنده الگوی منظم و ارزش بالای آن نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای درختان است (کپه‌ای $\bar{W}$>تصادفی $\bar{W}$>منظم $\bar{W}$) (Corral et al., 2010). شاخص دیگر برای بررسی موقعیت مکانی درختان، شاخص کلارک و ایوانز است. در این شاخص میانگین فاصله بین یک درخت و نزدیک‌ترین همسایه آن (rA) با میانگین مورد انتظار (rE)، درصورتی‌که موقعیت درختان به‌طور تصادفی پراکنده شده باشند، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. زمانی که توزیع درختان در توده مورد بررسی از الگوی تصادفی پیروی کند، مقدار این شاخص برابر یک می‌شود. اگر اعداد کمتر از یک باشد نشان‌دهنده حالت کپه‌ای؛ و بیشتر از یک بیان‌کننده موقعیت یکنواخت یا منظم درختان است (Nouri et al., 2015). برای بررسی آمیختگی گونه‌ای از شاخص آمیختگی مینگلینگ استفاده می‌شود که به بررسی مقدار آمیختگی گونه‌ای بین گونه‌های درختی موجود در منطقه می‌پردازد که اساس کار آن مقایسه نوع گونه درخت مرجع نسبت به

درختان همسایه است و مقدار این شاخص دارای ارزشی بین صفر و یک است (Nouri et al., 2015).

برای بررسی تنوع ابعاد درختان از شاخص‌های چیرگی قطری و تمایز قطری استفاده می‌شود. شاخص چیرگی قطری به بررسی نسبت قطر برابرسینه درختان مجاور هم می‌پردازد. ارزش‌های به‌دست‌آمده از این شاخص در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از پنج مقدار صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و یک است. زمانی که درختان مرجع از نظر قطربرابر سینه نسبت به سایر گونه‌های مجاور خود چیره باشند، ارزش این شاخص به سمت یک میل می‌کند و به‌عکس (Graz, 2006). شاخص تمایز قطری که بر اساس اختلاف قطربرابر سینه درختان همسایه محاسبه می‌شود، توزیع ابعاد قطر درختان نسبت به یکدیگر صرف‌نظر از نوع گونه را بررسی می‌کند. زمانی که درختان همسایه دارای اختلاف اندکی باشند این شاخص به سمت صفر میل می‌کند؛ درحالی‌که اگر ناهمگنی زیاد در میان درختان همسایه مشاهده شود ارزش این شاخص به‌سمت یک میل می‌کند. برای سهولت در تفسیر نتایج این دو شاخص، ارزش‌های آن به چهار طبقه اختلاف کم (۰/۳–۰)، اختلاف متوسط (۰/۵–۰/۳)، اختلاف آشکار (۰/۷–۰/۵) و اختلاف زیاد (یک–۰/۷) تقسیم می‌شوند (Ruprecht et al., 2010).

تنوع اقلیمی ایران موجب پیدایش پنج منطقه جنگلی اصلی شده است که شامل: ناحیه رویشی خزری که جنگل‌های مرطوب تجاری و صنعتی را در خود جای داده است؛ ناحیه رویشی ارسباران با جنگل‌های نیمه‌مرطوب که با برخورداری از تنوع گیاهی وسیع به‌عنوان ذخیره‌گاه جهانی بیوسفر شناسایی شده است؛ ناحیه رویشی زاگرس با جنگل‌های نیمه‌خشک تا معتدله خشک و مجموعه‌ای غنی از انواع گونه‌های بلوط؛ ناحیه رویشی ایران–تورانی که تحت عنوان جنگل‌های خشک سیمای دیگری از جنگل‌ها را با ارس، پسته وحشی و بادام به نمایش می‌گذارد و در نهایت ناحیه رویشی خلیج و عمانی که جنگل‌های خشک نیمه‌گرمسیری را به‌وجود آورده است. این مناطق به دلیل تفاوت در شرایط اقلیمی، توپوگرافی، ارتفاعی و غیره می‌توانند دارای ساختار متفاوتی باشند (Fallah et al., 2006). پژوهش‌های متعددی در زمینه ساختار توده‌های جنگلی در مناطق مختلف رویشی کشور انجام شده است و هدف از این پژوهش، گردآوری، ترکیب، ارزیابی و جمع‌بندی تمام پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه تا ۲۰۲٤ میلادی است. رویکرد این مقاله مروری است، به این معنا که اگر قرار است پژوهشی طولی و مشابه آنچه انجام گرفته را تکرار کنیم، نقایص بررسی‌های قبلی برطرف شده و مسیری را طی کنیم که داده‌های استخراجی به تکمیل وضعیت موجود کمک کرده و به تناقضات اضافه نکند.

روش پژوهش

این نوشتار، مروری بر مقالات منتشرشده در حوزه بررسی ساختار توده‌های طبیعی مناطق رویشی مختلف ایران است. در پایگاه‌های ملی و بین المللی Scopus, Collection, SciELO Magiran, Science Core Citation Index, Sid, Google Scholar, Science Direct, Biological Abstract مقالاتی بدون محدودیت زمانی تا سال ۲۰۲٤ میلادی در مجلات داخلی و خارجی در زمینه ساختار جنگل و با موضوعاتی مانند اثر عوامل فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت) و اثر مدیریت بر ساختار توده‌ها، کمّی‌سازی ساختار جنگل‌ها، تنوع گونه‌ای و ساختار جنگل، آمیختگی گونه‌ای و الگوی مکانی توده‌های جنگلی جستجو شد. در مجموع ۹۷ مقاله در زمینه ساختار توده‌های جنگلی مورد بررسی قرار گرفت که از

این تعداد ٤٧ مورد مربوط به پژوهش‌های انجام‌شده در جنگل‌های شمال کشور (هیرکانی)، چهار مورد مربوط به جنگل‌های ارسباران، ٤٠ مورد مربوط به جنگل‌های زاگرس و شش مورد مربوط به جنگل‌های خلیج و عمانی است. این مقالات بر اساس شاخص‌های ساختار عمودی و افقی، آمیختگی و وضعیت همگنی، تأثیر عوامل فیزیوگرافی و همچنین تاثیر مدیریت و دخالت‌های انسانی بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار (قطربرابر سینه، ارتفاع، حجم، سطح مقطع، سطح تاج، تعداد درختان، تنوع گونه‌ای) مناطق مختلف رویشی ایران گردآوری، جمع‌بندی و در جداول جداگانه سازماندهی شدند.

نتایج

ساختار افقی، آمیختگی و وضعیت همگنی توده‌های جنگل‌های هیرکانی، زاگرس، ارسباران و خلیج و عمانی پژوهش‌های انجام‌شده در مورد الگوی پراکنش مکانی گونه‌های درختی با استفاده از توابع و شاخص‌های مختلف و وضعیت آمیختگی و همگنی توده‌های جنگلی در مناطق رویشی مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

در پژوهش‌های بررسی‌شده برای تحلیل ساختار افقی و بررسی نوع پراکنش گونه‌ای (کپه‌ای، تصادفی، یکنواخت) با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه، بیشتر از شاخص‌های کلارک و ایوانز (Clark & Evans index) و شاخص زاویه یکنواخت (Uniform angle index) استفاده شد. همچنین در بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده از شاخص‌های تابع k رایپلی، تابع O-ring، شاخص‌های مختلف روش فاصله‌ای و کوادراتی، شاخص‌های مختلف روش فاصله‌ای و قطعه‌نمونه، فاصله-آزیموت، ترانسکت خطی برای بررسی الگوی پراکنش مکانی گونه‌ها استفاده شد. برای کمی‌سازی تنوع گونه‌های درختی از شاخص آمیختگی گونه‌ای (Mingling Index) و برای بررسی و کمی‌سازی تنوع ابعاد درختان (ویژگی سوم ساختار جنگل) در بیشتر پژوهش‌ها، شاخص‌های تمایز قطری (TDi) و ارتفاعی (THi) و در برخی دیگر از مشخصه سطح تاج پوشش (شاخص‌های اندازه مساحت تاج پوشش (Crown canopy dominance index) و تمایز مساحت تاج پوشش (Crown Canopy Differentiation index)) به‌کار گرفته شد.

جدول ۱- ساختار افقی، آمیختگی و وضعیت همگنی توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس، ارسباران و خلیج و عمانی

Table 1. Horizontal structure, mixture, and homogeneity status of Hyrcanian, Zagros, Arasbaran, and Khalij-Omani forest masses

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian forests	روش بررسی ساختار Structural analysis method	مقدار شاخص Index value	گونه غالب Dominant species	ساختار افقی Horizontal structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and diameter differentiation
Habashi et al. (2007)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.38	راش Beech	کپه‌ای Clumped	-	-

ادامهٔ جدول ۱.

Continued Table 1.

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian forests	روش بررسی ساختار Structural analysis method	مقدار شاخص Index value	گونه غالب Dominant species	ساختار افقی Horizontal structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and diameter differentiation
Habashi et al. (2007)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.38	راش Beech	کپه‌ای Clumped	–	–
Alijani et al. (2012a)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.53	راش، ممرز Beech, Hornbeam	مابین تصادفی و کپه‌ای Between random and clumped	کم Low	همگن Homogeneous
	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.86				
Alijani et al. (2012b)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.58	راش Beech	تصادفی Random	کم Low	همگن Homogeneous
Kakavand et al. (2014)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.76	راش Beech	کپه‌ای Clumped	زیاد High	همگن Homogeneous
Nouri et al. (2015)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.81	راش Beech	کپه‌ای Clumped	کم Low	ناهمگنی متوسط moderate heterogeneity
Farhadi et al. (2019b)	شاخص میانگین جهت Mean Directional Index	1.91	راش Beech	تصادفی Random	کم Low	همگن Homogeneous
	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.52				
Pour Gholi et al. (2019)	شاخص فاصله همسایگی neighbor distance index	4.87	راش Beech	کپه‌ای Clumped	کم Low	همگن Homogeneous
Esmaeilpour et al. (2020)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.5	راش Beech	تصادفی Random	کم Low	ناهمگن Heterogeneous
Babaei et al. (2018)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.55	ممرز Hornbeam	تصادفی مایل به کپه‌ای Random tending toward clumped	زیاد High	ناهمگن Heterogeneous

ادامهٔ جدول ۱.

Continued Table 1.

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	مقدار شاخص Index value	گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
Alijani et al. (2013)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.53	ممرز، بلندمازو Hornbeam, Chestnut-leaved oak	تصادفی Random	کم Low	همگن Homogeneous
Etemad et al. (2017)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.53	بلندمازو Chestnut-leaved oak	تصادفی Random	متوسط Moderate	همگن Homogeneous
Farhadi et al. (2019a)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.55	بلندمازو Chestnut-leaved oak	مابین تصادفی و کپه‌ای Between random and clumped	کم Low	همگن Homogeneous
	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.7				
Sefidi et al. (2018)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.45	ارس Juniper	یکنواخت و تصادفی Regular and Random	کم Low	همگن Homogeneous
	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	1.05				
Jafari et al. (2019)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.64	سرخدار Yew	تصادفی Random	زیاد High	همگن Homogeneous
	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	1				
جنگل‌های زاگرس Zagros Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	مقدار شاخص index value	گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
Farhadi et al. (2014)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.8	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	کم Low	ناهمگن Heterogeneous
	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.47				
Babaei et al. (2018)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.55	ممرز Hornbeam	تصادفی مایل به کپه‌ای Random tending toward clumped	زیاد High	ناهمگن Heterogeneous
Alijani et al. (2013)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.53	ممرز، بلندمازو Hornbeam, Chestnut-leaved oak	تصادفی Random	کم Low	همگن Homogeneous

ادامهٔ جدول ۱.

Continued Table 1.

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	مقدار شاخص Index value	گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
Etemad et al. (2017)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.53	بلندمازو Chestnut-leaved oak	تصادفی Random	متوسط Moderate	همگن Homogeneous
Farhadi et al. (2019a)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.55	بلندمازو Chestnut-leaved oak	مابین تصادفی و کپه‌ای Between random and clumped	کم Low	همگن Homogeneous
	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.7				
Sefidi et al. (2018)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.45	ارس Juniper	یکنواخت و تصادفی Regular and Random	کم Low	همگن Homogeneous
	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	1.05				
Jafari et al. (2019)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.64	سرخدار Yew	تصادفی Random	زیاد High	همگن Homogeneous
	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	1				
جنگل‌های زاگرس Zagros Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	مقدار شاخص index value	گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
Farhadi et al. (2014)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	0.8	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	کم Low	ناهمگن Heterogeneous
	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index	0.47				

ادامهٔ جدول ۱.

Continued Table 1.

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method		مقدار شاخص Index value	گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
Modaberi et al. (2017)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	قبل از زوال Before decline	0.62	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	کم Low	ناهمگن Heterogeneous
		بعد از زوال after decline	0.95		تصادفی Random	زیاد High	ناهمگن Heterogeneous
Pirmohammadi et al. (2019)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index		< 1	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Rahimi et al. (2023)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index		0.88	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	کم Low	همگن Homogeneous
Henareh et al.(2024)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index	سردشت	0.82	زالزالک Hawthorn	کپه‌ای Clumped	متوسط Moderate	همگن Homogeneous
		پیرانشهر	0.94	دارمازو Aleppo Oak		زیاد High	ناهمگنی متوسط moderate heterogeneity
Sefidi et al. (2020)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index		0.9	دارمازو Aleppo Oak	کپه‌ای Clumped	کم Low	همگن Homogeneous
Pilehvar et al. (2015)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index		0.74	زالزالک و کیکم Hawthorn and Maple	کپه‌ای Clumped	زیاد High	ناهمگن Heterogeneous
Mehdi-Karami et al. (2017)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index		0.58	شن Moneywort	تصادفی Random	زیاد High	همگن Homogeneous
Pakzad et al. (2021)	شاخص کلارک و ایوانز Clark and Evans Index		0.73	کیکم Maple	کپه‌ای Clumped	–	–
جنگل‌های ارسباران Arasbaran Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method		مقدار شاخص index value	گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
Dehghan et al. (2021)	شاخص زاویه یکنواخت uniform angle index		0.7	کاج سیاه Black Pine	کپه‌ای Clumped	متوسط Moderate	همگن Homogeneous

ادامهٔ جدول ۱.

Continued Table 1.

جنگل‌های هیرکانی و زاگرس Hyrcanian and Zagros Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
		سایر روش‌ها Other Methods			
Akhavan et al. (2010)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	راش Beech	تصادفی Random	–	–
Ebrahimi and Pourbabaei (2013)	شاخص‌های مختلف روش قطعه‌نمونه‌ای Different indices of sample plot method	راش Beech	کپه‌ای Clumped	–	–
Rahimiyan et al. (2014)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	راش Beech	کپه‌ای- تصادفی Clumped-Random	–	–
Nouri et al. (2015)	آماره O-ring O-ring statistic	راش Beech	کپه‌ای Clumped	–	–
Akhavan and Hassani (2023)	آماره O-ring O-ring statistic	راش Beech	تصادفی Random	کم Low	همگنی متوسط moderate Homogeneous
Vahedi et al. (2017)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	سفیدپلت-انجیلی Caspian Poplar, Persian Ironwood	کپه‌ای- تصادفی Clumped-Random	–	–
Akhavan et al. (2017)	آماره O-ring O-ring statistic	ارس Juniper	کپه‌ای Clumped	–	–
Alavi et al. (2014)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	ملج Wych elm	کپه‌ای- تصادفی Clumped-Random	–	–
Khanhasani et al. (2013)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	برودار، دارمازو، ویول Persian Oak, Aleppo Oak, Lebanon Oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Basiri et al. (2006)	شاخص‌های مختلف روش قطعه‌نمونه‌ای Different indices of sample plot method	گونه‌های مختلف بلوط Different species of oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Biabani et al. (2016)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	دارمازو و ویول Aleppo Oak, Lebanon Oak	کپه‌ای- تصادفی Clumped-Random	–	–
Akhavan et al. (2018)	آماره O-ring O-ring statistic	برودار، دارمازو، ویول Persian Oak, Aleppo Oak, Lebanon Oak	کپه‌ای- تصادفی Clumped-Random	–	همگن Homogeneous
Karimi et al. (2012)	آماره O-ring O-ring statistic	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	-	-

ادامهٔ جدول ۱.

Continued Table 1.

جنگل‌های هیرکانی و زاگرس Hyrcanian and Zagros Forests	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	سایر روش‌ها Other Methods			
		گونه غالب Dominant Species	ساختار افقی Horizontal Structure	آمیختگی Mixture	تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation
Safari et al. (2010a)	شاخص‌های مختلف روش قطعه‌نمونه‌ای Different indices of sample plot method	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Pourhashemi et al. (2015)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Heydari et al. (2016)	شاخص‌های مختلف روش قطعه‌نمونه‌ای Different indices of sample plot method	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Pirozi et al. (2017)	شاخص‌های مختلف روش‌های کوادراتی و فاصله‌ای Different indices of quadrate and distance methods	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Nazariani et al. (2019)	آماره O-ring O-ring statistic	برودار Persian Oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Omidvar Hosseini et al. (2015)	آماره O-ring O-ring statistic	بلندمازو Chestnut-leaved oak	کپه‌ای Clumped	–	–
Pourreza et al. (2012)	تابع k رایپلی Ripley's K- function	بنه Atlantic Pistachio	کپه‌ای Clumped	–	–
Safari et al. (2010b)	شاخص‌های مختلف روش قطعه‌نمونه‌ای Different indices of sample plot method	بنه Atlantic Pistachio	کپه‌ای Clumped	–	–
Garavand et al. (2015)	شاخص‌های مختلف روش کوادراتی Different indices of quadrate method	بنه Atlantic Pistachio	کپه‌ای Clumped	–	–
Gholami et al. (2018)	شاخص‌های مختلف روش قطعه‌نمونه‌ای Different indices of sample plot method	قره قاج Mediterranean Stinkbush	کپه‌ای Clumped	–	–
Rostami et al. (2021)	شاخص‌های مختلف روش‌های قطعه‌نمونه‌ای و فاصله‌ای Different indices of sample plot and distance methods	قره قاج Mediterranean Stinkbush	کپه‌ای Clumped	–	–
Kiani et al. (2020)	شاخص‌های مختلف روش‌های قطعه‌نمونه‌ای و فاصله‌ای Different indices of sample plot and distance methods	کهور Ghaf Tree	کپه‌ای Clumped	–	–

ادامهٔ جدول ۱.

Continued Table 1.

سایر روش‌ها Other Methods					
تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation	آمیختگی Mixture	ساختار افقی Horizontal Structure	گونه غالب Dominant Species	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	جنگل‌های هیرکانی و زاگرس Hyrcanian and Zagros Forests
_	_	کپه‌ای Clumped	زالزالک Hawthorn	تابع k رایپلی Ripley's K- function	Sohrabi (2014)
تمایز قطری (TDi) و تمایز ارتفاعی (THi) Height and Diameter Differentiation	آمیختگی Mixture	ساختار افقی Horizontal Structure	گونه غالب Dominant Species	روش بررسی ساختار Structural Analysis Method	جنگل‌های خلیج و عمانی Khalij Omani Forests
همگن Homogeneous	کم Low	_	حرا Gray Mangrove	ترانسکت خطی line transect	Danehkar and Jalali (2005)
همگن Homogeneous	کم Low	_	حرا Gray Mangrove	ترانسکت خطی line transect	Safai Isini et al. (2006)
همگن Homogeneous	کم Low	_	چندل Loop-root mangrove	ترانسکت خطی line transect	Danehkar and Jalali (2010)
ناهمگن Heterogeneous	زیاد High	_	حرا Gray Mangrove	ترانسکت خطی line transect	Jafarnia et al. (2013)
ناهمگن Heterogeneous	_	کپه‌ای Clumped	انار شیطان Desert Teak	تابع k رایپلی Ripley's K- function	Zolfaghari et al, (2022)

جدول ۲- بررسی ساختار عمودی توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و خلیج و عمانی

Table 2. Investigation of the Vertical Structure of Hyrcanian, Zagros, and Khalij-Omani Forest Stands

ساختار عمودی Vertical structure		گونه غالب Dominant species	نام جنگل Forest name	نام نویسندگان Authors' names
ارتفاع غالب توده (متر) Dominant stand height (m)	تعداد آشکوب Number of layers			
33.5	2	راش Beech	هیرکانی Hyrcanian	Akhavan and Hassani (2023)
>35	4	راش Beech	هیرکانی Hyrcanian	Nouri et al. (2015)
-	3	راش Beech	هیرکانی Hyrcanian	Amini et al. (2016)
>40	3	راش Beech	هیرکانی Hyrcanian	Habashi et al. (2007)
14.5	2	اوری Caucasian oak	هیرکانی Hyrcanian	Mahdiani et al. (2012)
8.4	3	برودار Persian Oak	زاگرس Zagros	Zafarian et al. (2023)

ادامهٔ جدول ۲.

Continued Table 2.

نام نویسندگان Authors' names	نام جنگل Forest name	گونه غالب Dominant species	ساختار عمودی Vertical structure	
			تعداد آشکوب Number of layers	ارتفاع غالب توده (متر) Dominant stand height (m)
Zabihollahi et al. (2021)	زاگرس Zagros	ویول Lebanon Oak	2-3	4
Kiani et al. (2020)	زاگرس Zagros	کهور ایرانی Ghaf Tree	2	10.45
Mirzaei-mollaahmad et al. (2015)	زاگرس Zagros	دارمازو Aleppo Oak	3	12.40
Pourhashemi et al. (2015)	زاگرس Zagros	برودار Persian Oak	1	<4
Jafarnia et al. (2013)	خلیج-عمانی Khalij Omani	حرا Gray Mangrove	1	7.35

تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس

در پژوهش‌های بررسی‌شده تاثیر شیب بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی (قطر برابرسینه، ارتفاع، سطح مقطع، سطح تاج، تعداد درختان) هیرکانی و زاگرس (جدول ۳) مشابه ارزیابی نشد، به‌طوری‌که در توده‌های جنگلی هیرکانی شیب تاثیر مثبتی بر روی آن‌ها داشت و با افزایش شیب این مشخصه‌ها افزایش یافتند (فقط تاثیر روی تعداد درختان منفی بود)، ولی در جنگل‌های زاگرس بی‌تأثیر بود. همچنین ارتفاع از سطح دریا نیز در پژوهش‌های بررسی شده بر روی تعدادی از مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس تاثیر مثبت و بر تعدادی دیگر تاثیر منفی داشت. در توده‌های جنگلی زاگرس ارتفاع از سطح دریا در تمام پژوهش‌های بررسی‌شده روی تعداد درختان تأثیر منفی داشت. تأثیر جهت نیز بر مشخصه‌های مختلف ساختاری توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس مشابه ارزیابی نشد. در تعدادی از پژوهش‌ها جهت‌های غربی تاثیر منفی بر روی مشخصه‌های مذکور داشتند، در تعدادی جهت‌های شمالی و شرقی تاثیر مثبت داشتند و در تعدادی نیز جهت‌های جغرافیایی بر روی مشخصه‌های مذکور بی‌تأثیر بودند. مطابق با نتایج جدول ۳، در توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس در تعدادی از پژوهش‌های بررسی‌شده تنها به بررسی یک عامل بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی ایران (قطر، ارتفاع، حجم، تنوع گونه‌ای، سطح تاج، سطح مقطع، تعداد درختان) پرداخته شده، درحالی‌که در تعدادی دیگر هر سه عامل مورد بررسی قرار گرفته است.

تأثیر مدیریت بر روی مشخصه‌های غیرمکانی

با توجه به نتایج پژوهش‌های بررسی‌شده مطابق جدول ٤ اثر مدیریت روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و ارسباران شامل قطر برابر سینه، ارتفاع، حجم، تنوع گونه، سطح تاج و سطح مقطع، در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده تأثیر منفی ، اما روی تعداد درختان تاثیر مثبت گزارش شد.

جدول ۳- بررسی تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس

Table 3. Investigation of the Impact of Physiographic Factors on Non-Spatial Characteristics of the Structure of Hyrcanian and Zagros Forest Stands

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian Forests	گونه غالب Dominant Species	تاثیر عوامل فیزیوگرافی روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار Impact of Physiographic Factors on Non-Spatial Characteristics of Structure														
		شیب Slope				جهت Direction				ارتفاع از سطح دریا Elevation Above Sea Level						
		قطر Diameter	ارتفاع Height	سطح مقطع Basal Area	سطح تاج Crown Area	تعداد درختان Number of Trees	قطر Diameter	ارتفاع Height	سطح مقطع Basal Area	سطح تاج Crown Area	تعداد درختان Number of Trees	قطر Diameter	ارتفاع Height	سطح مقطع Basal Area	سطح تاج Crown Area	تعداد درختان Number of Trees
Pourmajidian and Moradi (2009)	ارس Juniper	_	_	_	_	_	غربی (–) Western	شرقی (+) Eastern	غربی (+) Western	غربی (+) Western	غربی (+) Western	_	_	_	_	_
Momeni Moghaddam et al. (2012)	ارس Juniper	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	منفی Negative	غربی (–) Western	غربی (–) Western	غربی (–) Western	غربی (–) Western	بی‌تاثیر Ineffective	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	منفی Negative	منفی Negative
Fallah et al. (2016)	کاج بروسیا Turkish Pine	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive
Hassanzad Navroodi et al. (2017)	پلت Velvet Maple	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	_	منفی Negative	شمالی (+) Northern	شمالی (+) Northern	_	_	_	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	_	مثبت Positive
Hosseini and Aghajani. (2017)	توسکای ییلاقی Caucasian Alder	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	مثبت Positive	منفی Negative	منفی Negative	_	بی‌تاثیر
Naderi Varandi et al. (2018)	صنوبر دلتوئیدس Eastern Cottonwood	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	_	منفی Negative

ادامهٔ جدول ۳.

Continued Table 3.

جنگل‌های زاگرس Zagros Forests	گونه غالب Dominant Species	تاثیر عوامل فیزیوگرافی روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار Impact of Physiographic Factors on Non-Spatial Characteristics of Structure													
		شیب Slope					جهت Direction				ارتفاع از سطح دریا Elevation Above Sea Level				
		قطر Diameter	ارتفاع Height	سطح مقطع Basal Area	سطح تاج Crown Area	تعداد درختان Number of Trees	قطر Diameter	ارتفاع Height	سطح مقطع Basal Area	سطح تاج Crown Area	تعداد درختان Number of Trees	قطر Diameter	ارتفاع Height	سطح مقطع Basal Area	سطح تاج Crown Area	تعداد درختان Number of Trees
Mehdifar and SaghebTalebi (2005)	دارمازو Aleppo Oak	_	_	_	_	_	شمالی (+) Northern	شمالی (+) Northern	شمالی (+) Northern	شمالی (+) Northern	_	بی‌تاثیر Ineffective	منفی Negative	بی‌تاثیر Ineffective	منفی Negative	_
Hosseini et al. (2008)	بردار Persian Oak	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	منفی Negative	مثبت Positive	_	منفی Negative	منفی Negative
Soleymani et al. (2009)	بردار Persian Oak	_	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	موثر Effective	منفی Negative	_	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	شرقی (+) Eastern	_	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	منفی Negative
Bordbar et al. (2010)	بردار Persian Oak	_	_	_	_	_	شرقی (+) Eastern	شرقی (+) Eastern	شرقی (+) Eastern	شمالی (+) Northern	جنوبی (+) Southern	منفی Negative	_	منفی Negative	مثبت Positive	منفی Negative
Noshadi et al. (2015)	بردار Persian Oak	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	شرقی (+) Eastern	شرقی (+) Eastern	شمالی (+) Northern	جنوبی (+) Southern	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective	منفی Negative	مثبت Positive	منفی Negative

جدول ٤- تأثیر مدیریت روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و ارسباران

Table 4. The impact of management on the non-spatial characteristics of the structure of Hyrcanian, Zagros, and Arasbaran forest masses

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian forests	گونه غالب Dominant species	نوع مدیریت Management type	روش نمونه‌برداری Sampling method	مشخصه‌های غیرمکانی ساختار Non-spatial characteristics of the structure					
				قطر Diameter	ارتفاع Height	حجم Volume	تنوع گونه‌ای Species Diversity	سطح تاج Crown Area	سطح مقطع Basal Area	تعداد درختان Number of Trees
Anissi et al. (2010)	راش- ممرز Beech-Hornbeam	مدیریت‌شده (شیوه تک‌گزینی) Managed (single-selection system)	منظم تصادفی systematic random	_	_	بی‌تاثیر Ineffective	منفی Negative	_	مثبت Positive	مثبت Positive
Rahimiyan et al. (2014)	راش Beech	مدیریت‌شده (شیوه تک‌گزینی) Managed (single-selection system)	صد در صد full-callipering method	منفی Negative	مثبت Positive	_	_	_	_	مثبت Positive
Yousefpoor et al. (2015)	راش Beech	مدیریت‌نشده (منطقه شاهد) Unmanaged (control area)	منظم تصادفی systematic random	مثبت Positive	_	منفی Negative	_	_	منفی Negative	بی‌تاثیر Ineffective
Hassanzad Navroodi et al. (2016)	راش Beech	مدیریت‌شده (شیوه تک‌گزینی) Managed (single-selection system)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	_	منفی Negative	مثبت Positive
Rezaei et al. (2016)	راش Beech	مدیریت‌شده (شیوه پناهی) Managed (Shelterwood Cuting)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	_	_	منفی Negative	مثبت Positive

ادامهٔ جدول ٤.

Continued Table 4.

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian forests	گونه غالب Dominant species	نوع مدیریت Management type	روش نمونه‌برداری Sampling method	مشخصه‌های غیرمکانی ساختار Non-spatial characteristics of the structure						
				قطر Diameter	ارتفاع Height	حجم Volume	تنوع گونه‌ای Species Diversity	سطح تاج Crown Area	سطح مقطع Basal Area	تعداد درختان Number of Trees
Vousoghian et al. (2017)	راش Beech	مدیریت‌شده (شیوه پناهی) Managed (Shelterwood Cuting)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	مثبت Positive	منفی Negative	منفی Negative
Javanmiripor et al. (2017)	راش Beech	مدیریت‌شده (شیوه تک‌گزینی) Managed (single-selection system)	فاصله–آزیموت azimuth-distance	بی‌تاثیر Ineffective	_	_	_	_	بی‌تاثیر Ineffective	بی‌تاثیر Ineffective
Amiri (2019)	راش Beech	مدیریت‌شده (شیوه تک‌گزینی) Managed (single-selection system)	منظم تصادفی systematic random	_	_	منفی Negative	_	_	_	منفی Negative
Esmaeilpour et al. (2020)	راش Beech	مدیریت‌شده (مدیریت سنتی) Managed (traditional management)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	_	_	_	منفی Negative	منفی Negative
Lotfi et al. (2023)	راش Beech	مدیریت‌شده (شیوه‌های تک‌گزینی و پناهی) Managed (single -selection and shelterwood methods)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	_	_	منفی Negative	مثبت Positive
Parsakhoo et al. (2008)	توسکا Alder	مدیریت‌شده (شیوه تک‌گزینی) Managed (single-selection system)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative		مثبت Positive	_	_	_	مثبت Positive

ادامهٔ جدول ٤.

Continued Table 4.

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian forests	گونه غالب Dominant species	نوع مدیریت Management type	روش نمونه‌برداری Sampling method	مشخصه‌های غیرمکانی ساختار Non-spatial characteristics of the structure						
				قطر Diameter	ارتفاع Height	حجم Volume	تنوع گونه‌ای Species Diversity	سطح تاج Crown Area	سطح مقطع Basal Area	تعداد درختان Number of Trees
Amiri et al. (2009)	بلندمازو Chestnut-leaved oak	مدیریت‌شده (شیوه پناهی) Managed (Shelterwood Cuting)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	مثبت Positive	منفی Negative	منفی Negative	مثبت Positive
Barzin et al. (2017)	ممرز- بلندمازو Hornbeam-Chestnut-leaved oak	مدیریت‌شده (شیوه پناهی) Managed (Shelter-wood method)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	مثبت Positive	_	منفی Negative	مثبت Positive
Nemati et al. (2019)	بلندمازو Chestnut-leaved oak	مدیریت‌نشده (منطقه شاهد) Unmanaged (control area)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	_	_	_	_	منفی Negative	منفی Negative
جنگل‌های زاگرس Zagros Forests										
Mirzaei-mollaahmad et al. (2015)	دارمازو Aleppo Oak	مدیریت‌شده (بهره‌برداری سنتی) Managed (traditional logging system)	صد در صد full-callipering	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative
Eildermi et al. (2018)	برودار Persian Oak	مدیریت‌نشده (منطقه شاهد) Unmanaged (control area)	ترانسکت خطی line transect	منفی Negative	منفی Negative	_	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	_

ادامهٔ جدول ٤.

Continued Table 4.

جنگل‌های هیرکانی Hyrcanian forests	گونه غالب Dominant species	نوع مدیریت Management type	روش نمونه‌برداری Sampling method	مشخصه‌های غیرمکانی ساختار Non-spatial characteristics of the structure						
				قطر Diameter	ارتفاع Height	حجم Volume	تنوع گونه‌ای Species Diversity	سطح تاج Crown Area	سطح مقطع Basal Area	تعداد درختان Number of Trees
Eildermi et al. (2018)	برودار Persian Oak	مدیریت‌نشده (منطقه شاهد) Unmanaged (control area)	ترانسکت خطی line transect	منفی Negative	منفی Negative	_	منفی Negative	منفی Negative	منفی Negative	_
Zabihollahi et al. (2021)	ویول Lebanon Oak	مدیریت‌شده (بهره‌برداری سنتی) Managed (traditional logging system)	منظم تصادفی systematic random	منفی Negative	منفی Negative	_	_	منفی Negative	_	_
جنگل‌های ارسباران Arasbaran Forests										
Alijanpour et al. (2004)	کل توده جنگلی The entire forest mass	مدیریت‌شده (حفاظتی) Managed (conservation)	خط نمونه Line Samples	_	_	_	_	_	مثبت Positive	مثبت Positive
Abedi (2019)	کرب Field Maple	مدیریت‌نشده (منطقه شاهد) Unmanaged (control area)	منظم تصادفی systematic random	_	_	_	منفی Negative	منفی Negative	مثبت Positive	منفی Negative
Ghanbari et al. (2018)	ممرز Hornbeam	مدیریت‌شده (حفاظتی) Managed (conservation)	صد در صد full-callipering	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	_	مثبت Positive	مثبت Positive

بحث

ساختار افقی توده‌های جنگلی (الگوی پراکنش)

الگوی پراکنش در توده‌های جنگلی هیرکانی با گونه غالب راش که با روش‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه بررسی شده‌اند، در بیشتر پژوهش‌ها کپه‌ای ارزیابی شد که مشابه با الگوی پراکنش توده‌های جنگلی زاگرس با گونه غالب بلوط است (جدول ۱). همچنین الگوی پراکنش در پژوهش‌های بررسی‌شده در توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس با دیگر روش‌ها نیز در بیشتر پژوهش‌ها کپه‌ای ارزیابی شد. این الگوی پراکنش به عوامل متعددی بستگی دارد. پراکنش کپه‌ای گونه راش ناشی از ویژگی‌های بوم‌شناسی مانند بذرهای سنگین، سایه‌پسندی و زادآوری لکه‌ای است (Hassani et al., 2009, Habashi et al., 2007, Pommerening, 2006). شرایط رویشگاهی مانند ناهمگنی رویشگاه و نحوه مدیریت توده‌ها نیز بر پراکنش کپه‌ای گونه‌ها تاثیرگذار است (Habashi et al., 2007, Basiri et al., 2006, Heydari et al., 2016, Mousaei Sanjerehei and Basiri, 2007, Ebrahimi and Pourbabaei, 2013, Sohrabi, 2014). تاریخچه آشفتگی، روابط رقابتی و وجود گونه‌های مهاجم از دیگر عوامل مؤثر بر الگوهای مکانی درختان هستند (Frelich et al., 1993).

در جنگل‌های زاگرس به دلیل غالب‌بودن گونه‌های مختلف بلوط، با توجه به جست‌زایی و سنگینی بذر بلوط و ریزش آنها به زیر تاج درختان، تشکیل الگوی کپه‌ای قابل انتظار است. پژوهش‌های دیگر در خارج از کشور نیز الگوی مکانی درختان بلوط را کپه‌ای اعلام کردند (Kunstler et al., 2004, Mouro et al., 2007, Petritan et al., 2014, Hou et al., 2004, Rozas et al., 2009, Maltez-Mouro et al., 2007, Yuan et al., 2011, Zhang et al., 2009, Janík et al., 2016). همچنین Podlaski (2019) الگوی مکانی درختان راش و wei-dong et al., (2001) الگوی پراکنش درختان چیره در جنگل‌های بارانی Guangdong چین، Snakey et al., (2008) الگوی مکانی درختان صنوبر، Borges Silva et al., (2017) الگوی پراکنش درختان *Pittosporum undulatum* در جنگل‌های پرتغال، Gradel et al., (2015) ساختار افقی توده‌های جنگلی در منطقه تایگا، Ghalandarayeshi et al., (2017) الگوی پراکنش جنگل‌های راش در کشور دانمارک، Hanewinkel (2004) الگوی توده‌های ناهمسال جنگل‌های سیاه آلمان و Aakala et al. (2007) الگوی پراکنش درختان جنگل‌های بوره‌آل در کبک کانادا را کپه‌ای اعلام کردند.

نتایج این پژوهش (کپه‌ای‌بودن الگوی پراکنش راش) با یافته‌های (Akhavan et al. (2010), Farhadi et al, (2020b) که این الگو را تصادفی برآورد کرده‌اند، مغایرت دارد. تراکم توده‌ها و مقیاس پژوهش دو متغیر اصلی مؤثر بر الگوهای پراکنش هستند (Cressie, 1993). الگوی پراکنش در مقیاس‌های کوچک و بزرگ متفاوت است و با افزایش مقیاس، الگو از کپه‌ای به تصادفی تغییر می‌یابد. این تغییر به دلیل ازبین‌رفتن برخی نهال‌ها و افزایش فاصله بین آنها رخ می‌دهد. یافته‌ها در پژوهش‌های مختلف داخلی و خارجی نیز این تغییر الگو را تأیید کرده‌اند (Wang et al., 2010, Cheng et al., 2014, Lan et al., 2012, Zhang et al., 2017, Karimi et al., 2012, Biabani et al., 2016, Omidvar Hosseini et al., 2015).

ساختار افقی در توده‌های جنگلی هیرکانی با گونه غالب غیر از راش، مشابه نبوده (جدول ۱) و تصادفی یا مابین تصادفی و کپه‌ای ارزیابی شده است که ممکن است ناشی از عوامل مختلفی مانند نحوه مدیریت توده‌ها باشد که تأثیر مستقیمی بر الگوی پراکنش درختان دارد (Kint et al., 2000). تصادفی بودن الگو به همگنی رویشگاه، نبود رقابت و تراکم توده‌های بررسی‌شده نیز

بستگی دارد (Soltanian et al., 2017) و در پژوهش‌هایی که الگوی پراکنش تصادفی یا مابین تصادفی و کپه‌ای است، رویشگاه همگن ارزیابی شده است (Farhadi et al, 2020a, Farhadi et al, 2020b, Jafari et al, 2019, Alijani a et al, 2012, Alijani b et al, 2012, Alijani et al, 2013, Etemad et al., 2017, Babaei et al., 2018). همچنین این نتایج با نتایج پژوهش‌های (Veblen et al., 1980, Salas et al., 2006, Zhang et al., 2009, Clyatt et al., 2016, Rozas et al., 2009) مطابقت دارد.

آمیختگی

در بیشتر پژوهش‌های بررسی‌شده، توده‌های جنگلی راش هیرکانی، بلوط زاگرس و توده‌های جنگلی واقع در ناحیه خلیج و عمانی آمیختگی کمی داشته و تمایل کمی به قرارگرفتن در کنار گونه‌های دیگر نشان می‌دهند (جدول ۱). در توده‌های جنگلی که بیش از ۷۰ درصد توده را یک گونه تشکیل می‌دهد، شاخص آمیختگی کم است (Moridi et al. 2021)، که این وضعیت در جنگل‌های هیرکانی و زاگرس قابل انتظار است. تخریب بستر زادآوری جنگل‌های زاگرس، چرای دام، کمبود بارش و دمای نامناسب در فصل رویش نیز شرایط را برای استقرار گونه‌ها دشوار می‌کند. از طرف دیگر آمیختگی گونه‌ای درختان به موقعیت مکانی آنها وابسته است و تمایل گونه‌های راش و بلوط به الگوی کپه‌ای، منجر به هم‌گونه بودن درختان مجاور می‌شود (Pommerening, 2002). Habashi et al. (2007) نیز بر جامعه‌پذیری منفی راش تأکید کرده‌اند که با نتایج این بررسی همخوانی دارد.

تنوع ابعاد درختان

تمایز قطری (TD_i) و تمایز ارتفاعی (TH_i) در توده‌های جنگلی راش هیرکانی، زاگرس، ارسباران و ناحیه خلیج و عمانی، در بیشتر پژوهش‌ها همگن ارزیابی شد که نشان‌دهنده اختلاف کم در ابعاد درختان است. عوامل متعددی مانند ماهیت حفاظتی جنگل، حذف دام و دخالت انسان می‌توانند به این پدیده کمک کنند (Sefidi et al., 2018). همگنی رویشگاه در توده‌های جنگلی هیرکانی ناشی از رقابت شدید میان درختان در مرحله کاهش پایه‌های توده راش است. در جنگل‌های زاگرس، عوامل تخریبی مانع از تکامل توده‌ها می‌شوند، در نتیجه درختان و جست‌ها به‌طور مداوم تحت تأثیر تنش‌های تخریبی قرار گرفته که در نتیجه تمایزهای قطری و ارتفاعی محدود ایجاد می‌شود.

بررسی ساختار عمودی توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و خلیج و عمانی

بررسی ساختار عمودی (تعداد آشکوب و ارتفاع غالب توده) در توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و خلیج و عمانی روند مشابهی را نشان نداد (جدول ۲). بیشترین و کمترین تعداد آشکوب به‌ترتیب مربوط به توده‌های جنگلی هیرکانی و خلیج و عمانی است. ارتفاع غالب توده نیز در توده‌های جنگلی هیرکانی بیشتر از توده‌های جنگلی زاگرس و خلیج و عمانی است.

تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس

روند مشابهی در تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر مشخصه‌های غیرمکانی ساختار در توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس گزارش نشد (جدول ۳). عامل ارتفاع از سطح دریا با این مشخصه‌ها همبستگی معناداری دارد ولی در برخی پژوهش‌ها رابطه معکوسی بین آنها مشاهده می‌شود (Hassanzad Navroodi et al., 2017, Hosseini and Aghajani (2017), Naderi Varandi et al., 2018, Mehdifar and Sagheb-Talebi (2005), Soleymani et al., 2009, Noshadi et al., 2015, Bordbar et al., 2010, Hosseini et al., 2008). این کاهش می‌تواند ناشی از عوامل متعددی مانند کاهش دما، افزایش اشعه ماوراء بنفش، شدت نور، کاهش فشار هوا، تغییر نوع و کمیت بارش، و کوتاه شدن فصل رشد

باشد (Marvi Mohajer, 2006). همچنین در ارتفاعات بالا به علت شیب زیاد، فرسایش شدید خاک و در نتیجه سنگلاخی‌بودن منطقه، امکان استقرار نهال کاهش می‌یابد (Noshadi et al., 2015). در برخی پژوهش‌ها (Fallah et al., 2016, Momeni Moghaddam et al., 2012) میانگین این مشخصات با افزایش ارتفاع از سطح دریا افزایش یافته که به دلیل کاهش دما، کاهش تبخیر و تعرق و افزایش بارندگی در ارتفاعات بالاتر است که منجر به افزایش رطوبت خاک شده (Marvi Mohajer, 2006) و در نتیجه، درختان رشد بیشتری دارند (Khosrojerdi et al., 2008). همچنین قطع غیرمجاز درختان در ارتفاعات پایین‌تر می‌تواند دلیل جوان‌تر بودن پایه‌های موجود در این مناطق نسبت به پایه‌های ارتفاعات بالاتر مرتبط باشد. تأثیر شیب بر مشخصه‌های ساختاری توده‌های جنگلی هیرکانی و زاگرس متفاوت بوده؛ به‌طوری‌که در جنگل‌های هیرکانی با افزایش شیب، بیشتر مشخصه‌های ساختاری افزایش یافته ولی در جنگل‌های زاگرس این تأثیر معنی‌دار نیست. در برخی پژوهش‌ها (Momeni Moghaddam et al., 2012, Hassanzad Navroodi et al., 2017) با افزایش شیب، فراوانی درختان کاهش یافته که ممکن است به دلیل کاهش عمق خاک در مناطق کوهستانی باشد که بر زادآوری، فراوانی و پراکنش گونه‌های گیاهی تاثیر منفی می‌گذارد. در برخی پژوهش‌ها نیز (Fallah et al. (2016), Momeni Moghaddam et al. (2012)) میانگین این مشخصات با افزایش شیب، افزایش می‌یابند که دلیل آن عدم تخریب بیشتر این مناطق به علت دشواری دسترسی و فرصت‌های بیشتر رشد درختان گزارش شد.

جهت جغرافیایی نیز نقش مهمی در استقرار گونه‌های گیاهی دارد. در نیمکرهٔ شمالی دامنه‌های شمالی و شرقی شرایط بهتری نسبت به دامنه‌های جنوبی و غربی دارند که به دلیل رطوبت بیشتر، تأثیر کمتر نور خورشید و بیشتر بودن عمق خاک در این جهت‌ها است که با نتایج پژوهش‌های (Hassanzad Navroodi et al., (2017), Mehdifar and Sagheb-Talebi (2005), Momeni Moghaddam et al. (2012), Noshadi et al. (2015), Bordbar et al. (2010),) مطابقت دارد، اما مغایر با نتایج پژوهش Pourmajidian and Moradi (2008) است.

بررسی تأثیر مدیریت بر روی مشخصه‌های ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و ارسباران

تأثیر مدیریت بر روی مشخصه‌های غیرمکانی ساختار توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و ارسباران، در بیشتر پژوهش‌ها منفی ارزیابی شده است. تنها تأثیر مثبت این مدیریت‌ها در تعدادی از پژوهش‌ها بر تعداد درختان است. طبق نتایج، توده‌های طبیعی میانگین قطری بیشتری نسبت به توده‌های مدیریت‌شده دارند که به دلیل برداشت درختان قطور در توده‌های مدیریت‌شده است. این موضوع بر سطح مقطع برابرسینه توده نیز تأثیر می‌گذارد، زیرا قطر و سطح مقطع رابطه مستقیمی دارند. همچنین، تفاوت معنی‌داری در میانگین ارتفاع توده‌های طبیعی و مدیریت‌شده وجود دارد. رقابت برای نور در توده‌های طبیعی منجر به طول بیشتر تنه‌ها می‌شود. در مورد حجم، اختلاف در میانگین قطر و ارتفاع بین توده‌های بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده، منجر به تفاوت در حجم می‌شود. گرچه پژوهش Parsakhoo et al. (2008) نشان داد که ساخت جاده موجب افزایش حجم می‌شود، مغایرت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی ساختار افقی توده‌های جنگلی هیرکانی (گونه غالب راش) و زاگرس (گونه غالب بلوط) نشان داد که الگوی پراکنش در هر دو منطقه بیشتر کپه‌ای است، که

ناشی از ویژگی‌های بوم‌شناسی مانند سنگینی بذر، سایه‌پسندی، و زادآوری لکه‌ای است. در مقابل، برخی پژوهش‌ها، الگوی تصادفی را گزارش کرده‌اند که احتمالا ناشی از تفاوت در مقیاس پژوهش یا تراکم توده است. ساختار افقی در توده‌های جنگلی هیرکانی با گونه غالب غیر از راش، تصادفی یا مابین تصادفی و کپه‌ای ارزیابی شده است که ممکن است ناشی از عوامل مختلفی مانند نحوه مدیریت توده‌ها باشد که تأثیر مستقیمی بر الگوی پراکنش درختان دارد. شاخص آمیختگی در توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و توده‌های جنگلی واقع در ناحیه خلیج و عمانی در بیشتر پژوهش‌ها پایین بود، که نشان‌دهنده غلبه گونه‌های اصلی و هم‌گونه بودن درختان مجاور است. تنوع ابعاد درختان نیز در توده‌های جنگلی هیرکانی، زاگرس و ناحیه خلیج و عمانی نیز در بیشتر پژوهش‌ها همگن ارزیابی شد، که احتمالاً به دلیل رقابت شدید یا عوامل تخریبی است. همچنین ساختار عمودی در جنگل‌های هیرکانی پیچیده‌تر از زاگرس و خلیج و عمانی بود. عوامل فیزیوگرافی مانند ارتفاع از سطح دریا و شیب تأثیر معناداری بر مشخصه‌های غیرمکانی ساختاری داشتند، اما این تأثیر در مناطق مختلف یکسان نبود. مدیریت جنگل در بیشتر پژوهش‌ها تأثیر منفی بر مشخصه‌های غیرمکانی ساختار داشت، فقط روی تراکم در بیشتر پژوهش‌ها، تاثیر مثبت بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که عوامل طبیعی و انسانی به‌طور پیچیده‌ای ساختار جنگل‌های ایران را شکل می‌دهند و نیازمند مدیریت سازگار با بوم‌سازگان هستند. با توجه به الگوی کپه‌ای پراکنش و آمیختگی پایین گونه‌ها، پیشنهاد می‌شود از روش‌های مدیریتی مانند قطع گزینشی و حفظ ساختار لکه‌ای برای تقویت زادآوری طبیعی استفاده شود. محدودیت بهره‌برداری از درختان قطور و تدوین دستورالعمل‌های حفاظتی ویژه برای جنگل‌های زاگرس با حساسیت بالای بوم‌شناسی انجام شود.

به‌طورکلی با توجه به ماهیت توصیفی این بررسی که مبتنی بر تحلیل و دسته‌بندی پژوهش‌های موجود درباره ساختار جنگل‌های ایران تا سال ۲۰۲٤ است، لازم به تأکید است که محدودیت‌هایی مانند نبود داده‌های پیوسته زمانی و رویکرد غیرپیشبینانه، بررسی عمیق روند تغییرات بلندمدت، تأثیرات تغییرات اقلیمی و چالش‌های اجرایی مدیریت را محدود ساخته است. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی با بهره‌گیری از روش‌هایی مثل مدلسازی سری‌های زمانی برای تحلیل روند تغییرات ساختاری، توسعه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده برای ارزیابی تاثیرات اقلیمی، و انجام بررسی‌های موردی برای تبیین شکاف‌های سیاستی–اجرایی، نه‌تنها شکاف‌های دانش حاضر را پوشش دهند، بلکه ابزارهای عملیاتی برای تصمیم‌سازی مبتنی بر شواهد در اختیار مدیران جنگلداری قرار دهند.

References

Aakala, T.; Kuuluvainen, T.; De Grandpre, L.; Gauthier, S., Trees dying standing in the northeastern boreal old-growth forests of Quebec: spatial patterns, rates and temporal variation. *Canadian Journal of Forest Research* 2007, *37*, 50-61.

Abedi, R., The Impact of Nature-Based Tourism on Structure and Biodiversity Characteristics of Woody Species in Forest Ecosystem: Case Study of Arasbaran Forest. *Journal of Plant Research* 2019, *32*(2), 406-416 (In Persian).

Ahmadiyan, Z.; Gholami, Sh.; Sayad, E.; Taseh, M., Spatial evaluation of forest structural features in zagros forests (Gahvareh Forests, Kermanshah). *Ecology of Iranian Forests* 2017, *3*(6): 55-62 (In Persian).

Aguirre, O.; Hui, G.; von Gadow, K.; Jiménez, J., An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 2003, *183*(1-3), 137-145.

Alavi, S.J.; Zahedi Amiri, Gh.; Nouri, Z.; Marvi Mohajer, M.R., Application of Ripley's *K*function in detecting spatial pattern of wych elm species in Kheyrod forests, north of Iran. *Journal of and Wood & Forest Science and Technology* 2014, *20*(4): 21-39 (In Persian).

Alijanpour, A.; Zobeyri, M; Marvi Mohajer, M.R.; Zargham, N.; Feghhi, J., a comparison of forest stand quantitative factors in protected and nonprotected areas in arasbaran forests. Iranian Journal of Natural Resources 2004, 57(3), 447-454 (In Persian).

Akhavan, R.; Hassani, M., Quantifying the structure of pure beech forests using spatial structural indices (case study: Hyrcanian forests of Mazandaran province, Iran). *Forest Research and Development* 2023, 9(2), 221-235 (In Persian).

Akhavan, R.; Khanhasan, M.; Khodakarami, Y., Spatial patterns and inter-specific competition of three oak species in the Baneh forests of western Iran. *Journal of Forest and Wood Products* 2018, *71*(2), 149-159 (In Persian).

Akhavan, R.; Momeni Moghaddam, T.; Akbarinia, M.; Hoseini, S. M., Spatial Patterns and Intra-specific Competition of Juniper Tree in Different Life Stages Using O-Ring Statistic in Layen Forests, Iran. *Forest and Wood Products* 2017, 70(1), 111-125 (In Persian).

Akhavan, R.; Sagheb-Talebi, Kh.; Hassani, M.; Parhizkar, P., Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2010, *18*(2), 322-336 (In Persian).

Amini, M.; Amini, R.; Sagheb Talebi, Kh.; Khorankeh, S., Changes in Forest Stand Structure in a Permanent Plot Established in Neka-Zalemroud Forest Plan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2016, *24*(2), 260-272 (In Persian).

Amiri, M.; Dargahi, D.; Azadfar, D.; Habashi, H., Comparison Structure of the natural and managed Oak (*Quercus castaneifolia*) Stand (shelter wood system) in Forest of Loveh, Gorgan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 2009*, 15*(6), 63-54 (In Persian).

Amiri, M., Evaluation of quantitative forest stands changes during a Period of forest management Plan (Case study: 14 districts of Bandebon, Nowshahr). *First International Conference and Fourth National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment* 2019. 1-10 (In Persian).

Anissi, I.; Kia-Daliri, H.; Akhavan, R.; Babaei Kafaki, S., Impact of management on quantitative and qualitative characteristics of forest in comparison to unmanaged forest (Case study: Golband region). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2010, *17*(4), 615-626 (In Persian).

Alijani, V.; Feghhi, J.; Zobeiri, M.; Marvi Mohadjer, M., Quantifying the spatial structure in hyrcanian submountain forest (Case study: Gorazbon district of Kheirud Forest- Nowshahr-Iran). *Iranian Journal of Natural Resources* 2012a, *65*(1): 111-125 (In Persian).

Alijani b, V.; Feghhi, J.; Marvi-Mohadjer, M.R., 2012. Investigation on the beech and oak spatial structure in a mixed forest (Case study: Gorazbon district, Kheirud forest). *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2012b, *19* (3), 175-188 (In Persian).

Alijani, V.; Feghhi, J.; Zobeiri, M.; Marvi Mohadjer, M., Investigation of Different Forest Type's Structure with Applying Nearest Neighbor Indices (Case Study: Gorazon District, Kheyrud Forest). *Iranian Journal of Applied Ecology* 2013, *2*(3), 13-24 (In Persian).

Babaei, S.; Bayat, M.; Namiranian, M.; Heidari Masteali, S., Investigating structure monitoring indicators for wooden species of Northern forests of Iran. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2018, *25*(2), 65-79 (In Persian).

Barzin, M.; Mohammadi, J.; Shataei, Sh.; Mosavinejad, S.H., Comparison of Quantitative and Qualitative Characteristics of Forest Stands Structure in Managed and Unmanaged Forest Stands (Case Study: Loveh Forestes and Khandushan Forests Plans). *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2017, *24*(4), 217-236 (In Persian).

Basiri, R.; Sohrabi, H.; Mozayen, M., A Statistical Analysis of the Spatial Pattern of Trees Species in Ghamisheleh Marivan Region, Iran. *Journal of the Iranian Natural Res* 2006, *59*(2), 579-588 (In Persian).

Biabani, K.; Pilehvar, B.; and Safari, A., Comparison of spatial patterns and

interspecific association of Gall oak (*Quercus infectoria* Oliv.) and Lebanon oak (*Q. libani* Oliv.) in two less degraded and degraded oak stands in northern Zagros (case study: Khedr Abad, Sardasht). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2016, 24 (1): 77-88 (In Persian).

Bordbar, K.; Sagheb-Talebi, Kh.; Hamzehpour, M.; Joukar, L.; Pakparvar, M.; Abbasi, A.R., Impact of environmental factors on distribution and some quantitative characteristics of Manna Oak (*Quercus brantii Lindl.*) in Fars province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2010, *18*(3), 390-404. (In Persian).

Borges Silva, L.; Mário, A.; Rui Bento, E.; Silva, L., Comparison of *T*-Square, Point Centered Quarter, and *N*-Tree Sampling Methods in Pittosporum undulatum Invaded Woodlands. *International Journal of Forestry Research* 2017, *28*(13), 1-15.

Cheng, X.; Han, H.; Kang, F.; Song, Y.; Liu, K., Point pattern analysis of different life stages of *Quercus liaotungensis* in Lingkong Mountain, Shanxi Province, China. *Journal of Plant Interactions* 2014, *9*(1), 233-240.

Clyatt, K.A.; Crotteau, J.S.; Schaedel, M.S.; Wiggins, H.L.; Kelley, H.; Churchill, D.J.; Larson, A.J., Historical spatial patterns and contemporary tree mortality in dry mixed-conifer forests. *Forest Ecology and Management 2016*, 361(1), 23-37.

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

Cressie, N.A., Statistics for Spatial Data. *John Wiley and Sons, New York* 1993, 928 p.

Daneshvar, A.; Rahmani, R.; Habashi, H.; The heterogeneity of structure in mixed beech forest (Case study: Shastkalateh, Gorgan). *Iranian Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources* 2007, 14(4), 20-31 (In Persian).

Danehkar, A.; Jalali, S.Gh.A., avicennia marina forest structure using line plot method. *Journal of Pajouhesh & Sazandegi* 2005, *67*(2), 18-24 (In Persian).

Danehkar, A.; Mahmoudi, B.; Taghizadeh, A.; Kamrani, E., Investigation of Mangrove communities' structure in Sirik area of Hormozgan province, Iran. *Journal of Forest and Wood Products (JFWP), Iranian Journal of Natural Resources* 2010, *62*(4), 359-369 (In Persian).

Dehghan, M.; Sefidi, K.; Sadeghi, S.M.M., Structure of mixed planted forests after management abandoning. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2021, *27*(4), 97-112 (In Persian).

Ebrahimi, S.S.; Pourbabaei, H., Effect of Conservation on Spatial Pattern of Dominant Trees in Beech (Fagus Orientalis Lipsky) Communities, (Case Study: Masal, Guilan). *Iranian Journal of Applied Ecology* 2013, *2*(4), 13-24 (In Persian).

Eildermi, A.; Ghasemi Aghbash, F.; Parsa, A.; Fattahi, B., Effects of Forest road construction on tree species diversity and forest soil macro faun in Qali kooh forest Lorestan ،Iran. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 2018; *5*(11) :163-176 (In Persian).

Erfanifard, Y.; Feghhi, J.; Zobeiri, M.; Namiranian, M., Investigation on spatial pattern of trees in Zagros forest. *Iranian Journal of Natural Resources* 2008, 60(4), 1319-1328 (In Persian).

Etemad, V.; Moridi, M.; Sefidi, K., Quantification of beech stands structure in the stem exclusion phase. *Forest and Wood Products* 2017, *69*(4), 647-656 (In Persian).

Esmaeilpour, M.; Sefidi, K., The Natural Reconstruction of Beech Stands Structure under the Traditional Management (Case Study: Eshkevarat, Roodsar). *Iranian Journal of Forest* 2020, 12(3), 435-448 (In Persian).

Fallah, A.; Zobeiri, M.; Marvie Mohajer, R., An appropriate model for distribution of diameter classes of natural Beech stands in the sangdeh and shastkolateh forests. *Iranian Journal natural research 2006*, 58(4), 813-821 (In Persian).

Fallah, A.; Kooch, Y.; Rostaghi, A.A., Effect of altitude changes on quantitative and qualitative characteristics and environmental afforestation stand of pinus brutia ten. *journal of environmental science and technology* 2016, *18*(2), 127-143.

Farhadi, P.; Soosani, J.; Esmaili, R.; Fallah, A., Analysis of Iran's northern forests structure using the nearest neighbor indices (Case study: Dashtenaz forest protected area in Mazandaran province). *Journal of Environmental Science and Technology* 2019a, 21(3), 167-179 (In Persian).

Farhadi, P.; Soosani, J.; Erfanifard, S.Y.; Akhtari, M.H., Analysis of different type's structure in Nave Asalem-Gilan forests by using nearest neighbor indices. *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal* 2019b, *32*(1): 167-182 (In Persian).

Farhadi, P.; Soosani, J.; Adeli, K.; Alijani, V., Analysis of Zagros forest structure using neighborhood-based indices (Case study: Ghalehgol forest, Khorramabad). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2014, *22*(2), 294-306 (In Persian).

Frelich, L.E.; Calcote, R.L.; Davis, M.B.; Pastor, J., Patch formation and maintenance in an old-growth hemlock-hardwood forest. *Journal of Ecology* 1993, *72*(2): 513-527.

Garavand, Y.; Irannezhad Parizi, M.H.; Kiani, B.; Hasanzadeh, M., Determining the Spatial Distribution of Pistacia Atlantica Trees in the Closed and Grazed Areas Using Distance Indicators and Quadrate (Bagh-e Shadi Protected Area of Yazd). *Research – Scientific Quarterly Plant and Ecosystem* 2015, *11*(43), 71-84 (In Persian).

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., Forest structure and diversity. In: Pukkala, T.; Gadow, K.V. (eds) Continuous cover forestry. Book series managing forest ecosystems, vol 23. Springer, Berlin 2012, pp 29–84.

Ghalandarayeshi, SH.; Nord-Larsen, T.; Kvist Johannsen, V.; Bo Larsen, J., Spatial patterns of tree species in Suserup Skov– a semi-natural forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* 2017, *406*, 391–401.

Gradel, A.; Nadaldorj, O.; Altaev, A.A.; Voinkov, A.A.; Bazarradnaa, E., Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning. *Journal of Agricultural Sciences* 2015, *15*, 91-99.

Gholami, M.; Haidari, R.H.; Masomei, S.M., Analysis of Spatial Pattern of Been trefoil *(Anagyris foetida* L.) with Different sampling methods (Case Study: Kaseh-karan, GilanGharb). *Natural Ecosystems of Iran* 2018, *9*(4), 62-74 (In Persian).

Graz, P.F., Spatial diversity of dry savanna woodlands. Biodiversity and Conservation 2006, *15*, 143-1157.

Ghanbari, S.; Moradi, Gh.; Nasiri, V., Quantitative characteristics and structure of tree species in two different conservation situations in Arasbaran Forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2018, *26*(3), 355-367 (In Persian).

Habashi, H.; Hosseini, S. M.; Mohammadi, J.; Rahmani, R., Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forest of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2007, *1*, 55-64.

Hassanzad Navroodi, L.; Zarkami, R.; Salehi, A.; Radkarimi, M., Quantitative and qualitative characteristics of trees and some site factors in natural habitats of Velvet maples (*Acer velutinum*) in Asalem. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 2017, *29*(2), 328-338 (In Persian).

Hassanzad Navroodi, L.; Hassannazhad S, S., Comparison of quantitative and qualitative characteristics in managed and unmanaged natural forest stands at district 7 - Shenrood (Siahkal). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 2016, *28*(1), 103-115 (In Persian).

Hassani, M.; Amani, M., Investigation on some qualitative and quantitative characteristics of oriental beech in the optimal phase (Case study: Sangdeh, Caspian forests of Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2009, *17*(1), 134-148 (In Persian).

Habashi, H.; Hosseini, S. M.; Mohammadi, J.; Rahmani, R., Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forest of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2007, *15*(1), 55-65 (In Persian).

Hanewinkel, M., Spatial patterns in mixed coniferous even-aged, uneven-aged and conversion stands. *European Journal of Forest Research* 2004, *123*, 139-155.

Henareh, J.; Bordbar, S. K.; Pourhashemi, M.; Ghasempour, S., Investigating the Structure of Degraded Oak Forest Stands in Northern Zagros Forests (Piranshahr and Sardasht Forests). *Forest Research and Development* 2024, 9(4), 535-552 (In Persian).

Heydari, M.; Karimikia, H.; Jafarzadeh, A.A.; Naderi, M. Study of Spatial Pattern of Indicator Plant Species in Ecological Species Groups (Case Study: Manesht Protected Area, Ilam Province). *Iranian Journal of Applied Ecology* 2016, *5*(17), 65-76 (In Persian).

Hosseini, S.; Aghajani, H., An investigation on the quantitative and qualitative characteristics of *Alnus subcordata* with

changing the elevation above sea level (Case study: Pahne Kolla district, Sari). *Forest and Wood Products* 2017, 70(2), 293-301 (In Persian).

Hosseini, A.; Moayeri, M.H.; Haidari, H., Effect of site elevation on natural regenereation and other characteristics of oak (*Quercus brantii*) in the Hyanan' s forests, Ilam. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 2008, *15*(1), 1-10 (In Persian).

Hou, J.H.; X.C. Mi, C.R.Liu.; K.P.Ma., Spatial patterns and associations in a *Quercus-Betula* forest in northern China. *Journal of Vegetation Science* 2004, *15*, 407-414.

Jafari Afrapoly, M.; Sefidi, K.; Varamesh, S.; Waez-Mousavi, S M., Structural Characteristic of English Yew (*Taxus baccata L.*) Stands in the Afratakhteh Forests Reserve. *Ecology of Iranian Forests* 2019, *7*(13), 11-19 (In Persian).

Jafarnia, S.; Hojati, S. M., Investigation of mangrove forests structure in Khamir area, Hormozgan province. *Journal of Renewable Natural Resources Research* 2013, (1), 9-18 (In Persian).

Janík, D.; Král, K.; Adam, D.; Hort, L.; Samonil, P.; Unar, P.; Vrska, T., Tree spatial patterns of Fagus sylvatica expansion over 37 years. *Forest Ecology and Management* 2016, *375*, 134-145.

Javanmiripor, M.; Marvi Mohajer, R.; Zobeiri, M.; Etemad, V.; Joorgholami, M.; Quantitive variation of Forest stand structure via full inventory (Case study: Gorazbon district of Kheiroud forest). *Iranain Journal of Forest*, 2017, 8(4), 493-505 (In Persian).

Kunstler, G.; T, Curt.; J, Lepart., 2004. Spatial pattern of beech (*Fagus sylvatica L.*) and oak (*Quercus pubescens Mill.*) seedling in natural pine (*Pinus sylvestris L.*) woodland, European Journal of Forest Research 2004, *123*, 331-337.

Kakavand, M.; Marvie Mohadjer, M.R.; Sagheb-Talebi, Kh.; Sefidi, K., Structural diversity of mixed beech stands in the middle stage of succession (Case study: Gorazbon District, Kheiroud Forest of Nowshahr). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2014, *22*(3), 411-422 (In Persian).

Karimi, M.; Pormajidian, M.R.; Jalilvand, H.; Safari, A., Preliminary study for application of *O*ring function in determination of small-scale spatial pattern and interaction species (Case study: Bayangan forests, Kermanshah). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2012, *20*(4): 608-621.

Khanhasani, M.; Akhavan, R.; Sagheb-Talebi, K.h.; Vardanyan, Z.H., Spatial patterns of oak species in the Zagrosian forests of Iran. *International Journal of Biosciences* 2013, 3(8), 66-75 (In Persian).

Khosrojerdi, E.; Darroudi, H.; Namdost, T., Effects of physiographical factors on some qualitative and quantitative characteristics of *Pistacia vera* L, (Case Study: at Khajeh Kalat forest in Khorasan Razavi province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2008, *17*(3), 337-347 (In Persian).

Kint, V.; Lust, N.; Ferris, R.; Olsthoorn, A.F.M., Quantification of forest stand structure applied to Scots pine (Pinus Sylvestris L.) forests. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 2000, *1*, 147-163.

Kint, V.; Wulf Robert, D.; Noel, L., Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modeling* 2004, 180, 461-476.

Kiani, B.; Rahiminia, Gh.; Emtehani, M.H., Investigation of the Structure, Distribution Pattern and Regeneration of Taradeh Desert Forest, Kerman. *Desert Management* 2020, *8*(15), 85-100 (In Persian).

Lan, G.; Getzin, S.; Wiegand, T.; Hu, Y.; Xie, G.; Zhu, H.; Cao, M., Spatial distribution and interspecific associations of tree species in a tropical seasonal rain forest of China. *Journal of PLOS ONE* 2012,*7*(9), e46074, 1-9.

Lotfi, R.; Hojjati, S. M.; Pourmajidian, M.R.; Espahbodi, K.,The Effect of Silvicultural Methods on the Structural Characteristics of Forest Stand and Soil Properties in the Intermediate Hyrcanian Beech Forests (Case study: Alandan-Sari Series Forests). *Ecology of Iranian Forests* 2023, *10*(20), 11-22 (In Persian).

Marvi Mohajer, M.R. 2006. Silviculture. TehranUniv. Press, 387p (In Persian).

Maltez-Mouro, S.; García, L.V.; Marañón, T.; Freitas, H., Recruitment patterns in a Mediterranean oak forest: A case study showing the importance of the spatial component. *Forest Science* 2007, 53(6), 645-652.

Mehdifar, D.; SaghebTalebi, Kh., Silvicultural characteristics and site demands of Gall Oak (*Quercus infectoria* Oliv.), (Case Study: Shineh, Lorestan province Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2005, *14*(3), 193-206 (In Persian).

Mahdiani, A. R.; Heydari, H.; Rahmani, R.; Azadfar, D., Structure of Oak (*Quercus macranthera*) Forest Stands in the Golestan Province. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2012, *19*(2), 23-42 (In Persian).

Modaberi, A.; Mirzaei, J., Study of decline effect on structure of central Zagros forests. *Journal of Forest Research and Development* 2017, *2*(4), 325-336 (In Persian).

Moridi, M.; Fallah, A.; Pourmajidian, M.; Sefidi, K., 'Quantitative Analysis of Forest Structure at Growing Up Volume Stage in the Evaluation of Natural Beech Stands (Case Study: Kheyroud Forest)', *Iranian Journal of Forest* 2021, *13* (2), 115-128 (In Persian).

Mousaei Sanjerehei, M.; Basiri, R., Comparison and Evaluation of Indices of Dispersion Patterns of Plants on Artemisia Sieberi Shrublands in Yazd Province. *Journal of Hydrology and Soil Science* 2007, *11*(2), 483-494 (In Persian).

Mirzaei-mollaahmad, R.; Pato, M., A Study on structures in less and entire touched forest stands of Sardasht forests. *National Specialized Conference on Agricultural and Environmental Sciences of Iran* 2015, 1 (In Persian).

Mouro, S.M., García, L.V., Marañón, T. and Freitas H. 2007. Recruitment patterns in a Mediterranean oak forest: A case study showing the importance of the spatial component. Forest Science, *53*(6): 645-652.

Momeni Moghaddam, T.; Sagheb-Talebi, Kh.; Akbarinia, M.; Akhavan, R.; Hosseini, M., Impact of some physiographic and edaphic factors on quantitative and qualitative characteristics of Juniper forest (Case study: Layen region –Khorasan). *Iranian Journal of Forest* 2012, *4*(2), 143-156.

Mehdi-Karami, Sh.; Pilehvar, B.; Hosseinzadeh, R.; Abrari Vajari, H., Investigation of positioning, mixture and size diversity of *lonicera nummulariifolia* jaub. & spach in zagros forests (case study: parak area, khorramabad city). *Journal of natural ecosystems of iran* 2017, *7*(4), 59-68 (In Persian).

Naderi Varandi, M.; Kialashaki, A.; Veisi, R.; Sheykheslami, A., Effect of Altitude on some Quantitative and Qualitative Characteristics of *Populus Deltoids* Trees. *Ecology of Iranian Forests* 2018, *6*(12), 30-38 (In Persian).

Nemati, B.; Ghodskhah Daryaei, M.; Adel, M. N., Effect of fire on structure and natural regeneration in Shanderman forest, Guilan province. *Journal of Forest Research and Development* 2019, *5*(2), 181-194 (In Persian).

Noshadi, H.; Namiranian, M.; Attarod, P.; Hoseinzadeh, J., Effect of Physiographic Factors on Mortality of Persian Oak in the Middle of Forests (Case study: Ilam). *Journal of Forest and Wood Products* 2015, *67*(1), 73-84 (In Persian).

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

Nazariani, N.; Fallah, A.; Ramezani Moziraji, H.; Naghavi, H.; Jalilvand, H., Explanation of spatial pattern of Iranian oak species (*Quercus persica* J. & Sp.) in Zagros vegetative zone using O-ring statistic. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2019, *26*(3),83 -96 (In Persian).

Omidvar Hosseini, F.; Akhavan, R.; Kia-Daliri, H.; Mataji, A., Spatial patterns and intra-specific competition of Chestnut-leaved oak (Quercus castaneifolia CA Mey.) using O-ring statistic (Case study: Neka Forest, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2015, *23*(2), 294-306.

Pakzad, M.; Rostami Shahraji, T.; Ebrahimi Atani, R., Determination of Spatial Pattern of Woody Species using Point Pattern Analysis (Case Study: Chehel-tan Dehbakri Forest, Kerman Province). *Ecology of Iranian Forests* 2021, *9*(17), 152-162 (In Persian).

Parsakhoo, A.; Jalilvand, H.; Hosseini, S.A.; Sheikhi, M., Effect of asphalted and earthy forest roads on stock growth of edge and adjacent stands. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 2008, *15*(5), 10-17 (In persian).

Pourmajidian, M.R.; Moradi, M. Investigation on the site and silvicultural properties of *Juniperus excelsa* in natural forests of Ilan in Qazvin province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2009, *17*(3), 475-487 (In Persian).

Pilehvar, B.; Mirazadi, Z.; Alijani, V.; Jafari Sarabi, H., Investigation of Hawthorn and Maple's Stands Structures of Zagros Forest

Using Nearest Neighbors Indices. *Journal of Zagros Forests Researche* 2015, *1*(2), 1-14 (In Persian).

Pirmohammadi, Z.; Mahdavi, A.; The efficiency of sampling indices in estimating the spatial pattern of wooden species in central zagros forests (Kalkhani forest in Kouhdasht, Lorestan province, Iran). *Journal of plant ecosystem conservation* 2019; *7*(14), 327-343 (In Persian).

Pirozi, N.; Kohandel, A.; Jafari, M.; Tavili, A.; Mortezaii-Farizhendi G., Distribution pattern of oak species (*Quercus brantii*) and its relationship with some soil factors (case study: in Khanmirza region, Chaharmahal va Bakhtiari). *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 2017; *5*(10) :101-117 (In Persian).

Pourreza, M.; Hosseini, S.M.; Zohrevandi, A.A., Spatial variations of diameter of *Pistacia atlantica* (Desf.) trees in Zagros area (Case Study: Pirkashan, Kermanshah). *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2012, 19(3), 1-19 (In Persian).

Pourhashemi, M.; Mansouri, F.; Parhizkar, P.; Panahi, P.; Hassani, M., Spatial pattern of sprout-clumps of Brant`s oak (*Quercus brantii Lindl.*) in utilized forest stands of Marivan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 2015, 27(4), 534-543 (In Persian).

Pour-Gholi, Z.; Iran-Doost, F.; Sefidi, K.; Sagheb-Talebi, Kh.; Keivan-Behjo, F., Investigating the Structure of Beech Stands in the Gap Making Phase (Case study: Asalem Forests, Guilan). *Ecology of Iranian Forests* 2019, *7*(13), 29-35 (In Persian).

Podlaski, R., Models of the finescale spatial distributions of trees in managed and unmanaged forest patches with Abies alba Mill. and Fagus sylvatica L. *Forest Ecology and Management* 2019, *439*, 1-8.

Petritan, I.C.; Marzano, R.; Petritan, A.M.; Lingua, E., Overstory succession in a mixed *Quercus petraea- Fagus sylvatica* old growth forest revealed through the spatial pattern of competition and mortality. *Forest Ecology and Management* 2014, *326*, 9-17.

Pommerening, A., Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 2002, *3*, 305-324.

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

Pommerening, A.; Stoyan, D., Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbour summary statistics measured in small subwindows. *Canadian Journal of Forest Research* 2008, *38*(5), 1110-1122.

Rostami, A.; Javanmiri Pour, M.; Hasanzadeh, A.; Parviz, S., Structure of The Stinking Bean Trefoil (*Anagyris foetida L.*) in Zagros: Case Study of Gilan-e Gharb Forests. *Ecology of Iranian Forests* 2021, *9*(17), 207-218 (In Persian).

Rahimiyan, M.S.; Hassani, M.; Kia Daliri, H., Effect of marking on the spatial distribution and structure of beech stands (Case study: Safarood-Ramsar). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2014, *22*(4), 597-608 (In Persian).

Rahimi, H.; Bordbar, S.K.; Pourhashemi, M.; Khanhasani, M.; Safari, H.; Jalilian, N., Structure analysis of oak forest stands using neighborhood-based indices (case study: Chaharzebar and Barzeh forests, Kermanshah Province). *Forest Research and Development* 2023, *9*(1), 115-127 (In Persian).

Rozas, V.; Zas, R.; Solla, A., Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain. *European Journal of Forest Research* 2009, *128*, 273-285.

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

Rezaei Sangdehi, S.M.M.; Fallah, A.; Pourmajidian, M.R.; Hodjati, S.M., Quantitative characteristics of a forest compartment managed under unique-block with a control compartment (Case study: District 3, Sangdeh forests). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2016, *24*(1), 9-20 (In Persian).

Rozas, V.; Zas, R.; Solla, A., Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain. *European Journal of Forest Research* 2009, *128*, 273-285.

Safari, A.; Shabanian, N.; Erfanifard, S.Y.; Heidari, R.H.; Purreza, M., Investigation of spatial pattern of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) (case study: Bayangan forests, Kirmanshah). *Iranian Journal of Forest* 2010b, *2*(2), 177-185 (In Persian).

Safari, A.; Shabanian, N.; Heidari, R.H.; Erfanifard, S.Y.; Purreza, M., Spatial pattern of Manna Oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) in Bayangan forests of Kermanshah. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2010a, *18*(4), 596-608 (In Persian).

Safai Isini, H.; Danehkar, A; Kamrani, E., a study on the mangrove forest structure at the koolaghan, tiyab and kolahi regions in the strait of hormoz (north part of persian gulf). *Journal of Environmental Sciences* 2006, *3*(11), 1-10.

Sefidi, K.; Heidari, Z.; Ashraf Soltani, A.; Maleknia, R., Structural characteristics of oak communities (*Quercus infectoria*) in Shineh Galayie Forest, Lorestan province. *Journal of Forest Research and Development* 2020, *6*(1), 153-164 (In Persian).

Sefidi, K.; Firouzi, Y.; Sharari, M.; Behjou, F.K.; Rostamikia, Y., Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region. *Iranian Journal of Forest* 2018, 10(2), 207-220 (In Persian).

Soltanian, S.; Heydari, M.; Khosropour, E., Spatial pattern of Lebanon oak (Quercus libani Oliv.) in Baneh forests, Kurdistan province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2017, *25*(3), 463-473.

Salas, C.; LeMay, V.; Nunez, P.; Pacheco, P.; Espinosa, A., Spatial patterns in an old-growth Nothofagus oblique forest in south-central Chile. *Forest Ecology and Management* 2006, *231*, 38-46.

Soleymani, N.; Dargahi, D.; Pourhashemi, M.; Amiri, M., Effects of physiographical factors on oak sprout-clumps structure in Baba-Kooseh forest; Kermanshah province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Researc* 2009, *16*(3), 467-477 (In Persian).

Snakey, T.T., Spatial patterns of Douglas-fir and Aspen forest expansion. *New Forests Journal* 2008, *35*, 45-55.

Sohrabi, H., Spatial pattern of woody species in Chartagh forest reserve, Ardal. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2014, *22*(1), 27-38 (In Persian).

Vahedi, A. A.; Akhavan, R.; Bijani-Nejad, A. R., Analysis of Spatial Pattern and Association for Endemic Tree Species in the Different Developmental Stages of Nour Forest Park Natural Stands Through Function of K-Ripley. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 2017, *24*(1), 61-75 (In Persian).

Veblen, T.T.; Schlegel, F.M.; Escobar, B., Structure and dynamics of old growth Nothofagus forests in the Valdivian Andes, Chile. *Journal of Ecology* 1980, *68*(1), 1-31.

Vousoghian, A.; Shojaishami, A., investigation of structure and regeneration forest trees in logged and non-logged (case of study: darabkola forest of sari). *Journal of Natural Ecosystems of Iran* 2017, *7*(4), 69-81 (In Persian).

Wang, X.; Ye, J.; Li, B.; Zhang, J.; Lin, F.; Hao, Z., Spatial distributions of species in an oldgrowth temperate forest, northeastern China. *Canadian Journal of Forest Research* 2010, *40*(6),1011-1019.

Wei-dong, H.; Xiu-mei, G.; Lin-feng, L.; Chang-yi, L., Spatial pattern of dominant tree species of the secondary monsoon rain forest in Linjiang, Guangdong province. *Journal of Forestry Research* 2001, *12*(2), 101-104.

Yuan, Z.; Wang, T.; Zhu, X.; Sha, Y.; Ye, Y., Patterns of spatial distribution of Quercus variabilis in deciduous broadleaf forests in Baotianman Nature Reserve. *Biodiversity Science* 2011, *19*(2), 224-231.

Yousefpoor, M.; Rostami Shahraji, T.; Bonyad, A.E.; Salahi, M., Effects of population density on forest structure quantity characteristics Case study: Asalem forests in Guilan province. *Journal of Forest Sustainable Development* 2015, *1*(4), 321-328 (In Persian).

Zafarian Rigaki, I.; Soltani, A.; Jafari, A., The Effect of Some Anthropogenic Disturbances on the Structure of Oak Forests in the Central Zagros. *Iranian Journal of Forest* 2023, *15*(3), 361-376 (In Persian).

Zabihollahi, S.; Fathi Zadeh, O.; Jamshidi Bakhtar, A.; Shabanian, N.; Namiranian, M., Horizontal and vertical structure of Northern Zagros forests in relation to traditional forestry system (case study: Havare-Khol forests). *Ecology of Iranian Forests* 2021, 9(17), 62-74 (In Persian).

Zhang, M.T. Spatial association and optimum adjacent distribution of trees in a mixed coniferous-broadleaf forest in northeastern China. *Ecology and Environmental Research* 2017, 15(3), 1551-1564.

Zhang, Y.X.; Ma, K.M.; Qi, J.; Feng, Y.; Zhang, J.Y., Size structure and spatial pattern of Quercus liaotungensis population along elevation gradient in Dongling Mountain,

Beijing. *Acta Ecologica Sinica* 2009, *29*(6), 2789-2796.

Zolfaghari, Z.; Moradi, M.; Basiri, R.; Ghasemi, A., Evaluation of Tecomella undulata R. spatial distribution pattern in Bushehr province. *journal of environmental science and technology* 2022, *24*(3), 131-143. (In Persian).