

## Spatial pattern of trees in different dominant types along the elevation gradient of Hyrcanian Forests, Iran (Case study: Kheiroud Forest of Nowshahr)

N. Fanaei <sup>1</sup>, V. Etemad <sup>2\*</sup>, M. Matinizadeh <sup>3</sup>, Kh. Sagheb-Talebi <sup>4</sup> and A. Shirvany <sup>5</sup>

1- PhD Candidate of Forest Biology, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2\* - Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Vetemad@ut.ac.ir

3- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

5- Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 20.12.2023

Accepted: 03.03.2024

### Abstract

**Background and objectives:** To better understand forest types and implement management strategies that align with natural processes, studying their structure and spatial patterns is essential for addressing various ecological issues. Research on natural forests, particularly their spatial structure, provides pathways for developing forest management strategies to achieve desirable structures. The spatial pattern of trees and their mutual relationships offer valuable insights into forest structure. These patterns are qualitative characteristics that need to be quantified for more detailed analysis. This research aims to determine the spatial distribution pattern of trees in the dominant types of Hyrcanian forests in Iran to investigate forest dynamics.

**Methodology:** This research was conducted in the educational and research forest of Kheiroud Nowshahr. After identifying the primary forest types based on habitat potential and forest community characteristics—such as species appearance, predominance, mixture, diversity (overall abundance of all species), physiographic conditions (elevation, aspect, and slope), and species expansion area—four one-hectare sample plots of dominant types were studied. These included hornbeam-ironwood, hornbeam-beech with oak, mixed beech, and pure beech. In each plot, a 100% inventory was applied, and the diameter at breast height of all trees with a diameter over 7.5 cm was measured. The coordinates of the southwest corner of each plot were recorded using GPS. The distance and azimuth of the first tree were measured with a Vertex device and inclinometer, and its coordinates were calculated using trigonometric relations. The coordinates of other trees were obtained similarly relative to the previous tree. Ripley's K function was used to analyze the spatial pattern.

**Results:** The results showed that tree density in the studied types varied between 158 and 314 trees per hectare. For hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in the hornbeam-ironwood type, the L function value was higher than the Monte Carlo interval up to a distance of 32 meters, indicating a cumulative spatial pattern. Between 32 and 45 meters, the pattern was random due to being within the Monte Carlo interval. In this forest type, ironwood (*Parrotia persica* C.A.Mey.) exhibited a completely cumulative distribution pattern. In the hornbeam-beech with oak type, the L function for hornbeam and beech (*Fagus orientalis* Lipsky) was significantly above the Monte Carlo interval, showing a cumulative pattern. Due to the low number of oak (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) individuals, its spatial pattern could not be determined. In the mixed beech type, the L function was entirely within the Monte Carlo interval, indicating a random spatial pattern for beech. In the pure beech type, the distribution was random up to 4 meters,



cumulative from 4 to 30 meters, and random again beyond 30 meters.

**Conclusion:** The results of such studies can serve as models for implementing sustainable management in other forest types and as patterns for conducting breeding interventions to adjust tree locations and species mixtures. Additionally, for afforestation with different species, it is possible to use the natural structure of forests as a model.

**Keywords:** Forest type, k Ripley, spatial structure, sustainable management.



## الگوی پراکنش مکانی درختان در تیپ‌های غالب در نیم‌رخ ارتفاعی در جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی جنگل خیرود نوشهر)

نویسنده فنائی<sup>۱</sup>، وحید اعتماد<sup>۲\*</sup>، محمد متینی‌زاده<sup>۳</sup>، خسرو ثاقب‌طالبی<sup>۴</sup> و انوشیروان شیروانی<sup>۵</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
 ۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: Vetemad@ut.ac.ir  
 ۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
 ۴- استاد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
 ۵- دانشیار، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۹

### چکیده

سابقه و هدف: به منظور شناخت بهتر تیپ‌های جنگلی به منظور مدیریت همگام با طبیعت، مطالعه الگوی مکانی آن‌ها برای درک بسیاری از مسائل بوم‌شناسی ضروری است، بنابراین بررسی آن در جنگل‌های طبیعی به‌ویژه ساختار مکانی آن‌ها به منظور درک ویژگی‌های توده‌های جنگلی، مسیرهای توسعه مدیریت جنگل را برای رسیدن به یک ساختار مطلوب فراهم می‌کند. آگاهی از الگوی مکانی درختان و روابط متقابل آن‌ها، اطلاعات باارزشی از ساختار جنگل ارائه می‌دهند. این الگوها، یک ویژگی کیفی محسوب می‌شوند و برای مطالعه دقیق‌تر باید به صورت کمی درآیند. این پژوهش در نظر دارد تا الگوی پراکنش مکانی درختان در تیپ‌های غالب جنگل‌های هیرکانی را به منظور بررسی پویایی جنگل تعیین کند.

مواد و روش‌ها: پژوهش پیش‌رو در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر انجام شده است. برای اجرای این پژوهش، چهار قطعه نمونه یک هکتاری از تیپ‌های غالب جنگل‌های هیرکانی شامل مرمز-انجیلی، مرمز-راش همراه بلوط، راش آمیخته و راش خالص بررسی شدند. انتخاب این قطعه نمونه‌ها پس از جنگل‌گردشی‌های اولیه و براساس پتانسیل رویشگاه و جامعه جنگلی برپایه عوامل سیمای ظاهری، غلبه، آمیختگی گونه‌های درختی، تنوع آن‌ها (فراوانی کلی انواع گونه‌ها)، شرایط فیزیوگرافی رویشگاه (ارتفاع از سطح دریا، جهت و شیب) و مساحت گسترش تیپ انجام گرفت. در هر یک از قطعه نمونه‌ها، قطر برابر سینه همه پایه‌ها با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند. مختصات گوشه جنوب غربی هر قطعه نمونه با دستگاه GPS نیز برداشت شد. سپس، فاصله و آزمون درخت اول با استفاده از دستگاه ورتکس و شیب‌سنج سونتو اندازه‌گیری شد و با استفاده از روابط مثلثاتی، مختصات اولین درخت به دست آمد. مختصات درختان دیگر نیز به همین صورت نسبت به درخت قبلی اندازه‌گیری و محاسبه شد. از تابع K ریلی برای محاسبه الگوی مکانی استفاده شد.

نتایج: براساس یافته‌های به دست آمده، تراکم درختان در تیپ‌های مورد بررسی بین ۱۵۸ تا ۳۱۴ اصله در هکتار متغیر است. مقدار تابع L برای مرمز (*Carpinus betulus* L.) در تیپ مرمز-انجیلی تا فاصله ۳۲ متر، بیشتر از حدود مونت کارلو قرار دارد. در نتیجه، الگوی مکانی درختان در این تیپ، تجمعی است. فقط در فاصله‌های ۳۲ تا ۴۵ متری به علت قرارگیری در داخل حدود مونت کارلو، الگوی تصادفی را برای مرمز نشان می‌دهد. الگوی توزیع انجیلی (*Parrotia persica* C.A.Mey.) کاملاً تجمعی است. در تیپ مرمز-راش همراه بلوط، مقدار تابع L برای درختان مرمز و راش (*Fagus orientalis* Lipsky) با اختلاف زیادی بیشتر از حدود مونت کارلو حرکت می‌کند که بیانگر الگوی کاملاً تجمعی است. به علت تعداد کم پایه‌های بلوط (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) در این تیپ، امکان تعیین الگوی مکانی برای این گونه وجود ندارد. در تیپ راش آمیخته، تابع L به طور کامل در بین حدود مونت کارلو قرار گرفت که الگوی مکانی تصادفی برای گونه مذکور را نشان می‌دهد. در تیپ راش خالص نیز تا فاصله چهار متر، الگوی پراکنش این گونه، تصادفی



بود، اما پس از آن، مقدار تابع تا فاصله ۳۰ متری، الگوی تجمعی را نشان می‌دهد. پس از این فاصله نیز الگوی مشاهده شده دوباره تصادفی بود.

نتیجه‌گیری کلی: بسته به نوع پژوهش و مقیاس آن، الگوی مکانی درختان در مراحل مختلف حیات جنگل ممکن است متفاوت باشد. این نوع پژوهش‌ها می‌تواند به عنوان الگو استفاده شود. به طوری که مطالعه الگوهای ساختاری به جنگل‌شناس کمک می‌کند تا ضمن شناخت کافی از ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه‌ها، به منظور انجام دخالت‌های پرورشی یا جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف از ساختارهای طبیعی الگوبرداری کند. در نهایت، با تنظیم موقعیت مکانی درختان و آمیختگی گونه‌ها می‌توان هرچه بیشتر به مدیریت پایدار و همگام با طبیعت در مناطق جنگلی نزدیک شد.

واژه‌های کلیدی: تپ جنگلی، ساختار مکانی، شاخص K ریلی، مدیریت پایدار.

## مقدمه

در مدیریت جنگل با دیدگاه نزدیک به طبیعت، اولین گام برای انتخاب دخالت‌های مناسب پرورشی و حفظ پایداری جنگل، شناخت ساختار توده‌های جنگلی است (Gokturk & Tiras, 2020; Sagheb-Talebi et al., 2021; Fallah et al., 2024). ساختار جنگل، نتیجه تعاملات همه‌جانبه فرایندهای مختلف طبیعی و بوم‌شناختی در مقیاس‌های زمانی و مکانی طولانی است (Pommerening & Meador, 2018). به منظور شناخت بهتر جوامع گیاهی، مطالعه الگوی مکانی آن‌ها برای درک بسیاری از مسائل بوم‌شناسی و مدیریت جنگل ضروری است (Paluch, 2007; Alibabaei Omran et al., 2023). چراکه الگوی مکانی درختان و تعاملات آن‌ها، اطلاعات باارزشی در ارتباط با ساختار جامعه و همزیستی گونه‌ها فراهم می‌کند و به طور چشمگیری، تعیین‌کننده تولیدمثل، رشد، مرگ و میر، پراکندگی، استفاده از منابع، ایجاد روشنیه و تحول زیرآشکوب است (Zhang et al., 2022). در یک جامعه گیاهی، عوامل متعددی در تعیین الگوی مکانی درختان، نقش حیاتی دارند. چنین الگوهایی می‌توانند ناشی از بسیاری از فرایندهای زیستی و غیرزیستی مانند زادآوری، ناهمگنی رویشگاه، محدودیت پراکندگی و آشفتنگی‌های موجود در رویشگاه باشند (Hai et al., 2014). الگوی توزیع گونه‌های درختی در جنگل می‌تواند به صورت تجمعی، تصادفی، منظم و یا حالتی بینابینی باشد. این

الگوها، یک ویژگی کیفی هستند و برای مطالعه دقیق‌تر آن‌ها باید به صورت کمی درآیند (Zhang et al., 2013)، بنابراین توجه بسیاری از بوم‌شناسان گیاهی به این شاخه از علوم طبیعی سبب معرفی روش‌ها و شاخص‌های مناسب ساختار برای کمی‌سازی الگوهای مکانی شده است (Ripley, 1977).

پژوهش‌های داخلی بسیاری به منظور بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان انجام شده‌اند. از جمله، نتایج پژوهش Habashi و همکاران (2007) در جنگل آمیخته راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در شصت‌کلاهی استان گرگان براساس آماره کلارک و ایوانز بیانگر الگوی توزیع تجمعی برای سه گونه راش، ممرز (*Carpinus betulus* L.) و انجیلی (*Parrotia persica* C.A.Mey.) بود، درحالی‌که الگوی پراکنش مکانی توسکا (*Alnus subcordata* C.A.Mey.)، منظم تجمعی و پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، تصادفی و تجمعی گزارش شد. کمی‌سازی ساختار مکانی در جنگل‌های میان‌بند خزری نشان داد که پراکنش گونه‌ها براساس میانگین شاخص‌های کلارک و ایوانز و زاویه یکنواخت، حالتی مابین تصادفی و تجمعی دارد (Alijani et al., 2012b). بررسی ساختار مکانی راش و بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) در جنگل‌های هیرکانی براساس شاخص اختلاط گونه‌ای نیز نشان داد که بلندمازو، تمایل به آمیختگی در کنار گونه‌های دیگر دارد، اما راش در کنار



گونه انجام شده‌اند. به طوری که براساس دانش نویسندگان، پژوهشی برای بررسی هم‌زمان الگوی مکانی درختان در تیپ‌های جنگلی غالب به منظور اقدام‌های مدیریتی آینده انجام نشده است و در این زمینه، نوعی شکاف اطلاعاتی وجود دارد. با توجه به نقش و اهمیت جنگل‌های هیرکانی و تنوع تیپ‌های جنگلی موجود در آن، پژوهش پیش‌رو در نظر دارد تا الگوی پراکنش مکانی درختان در تیپ‌های غالب جنگل‌های نوشهر را به منظور بررسی پویایی جنگل تعیین کند. نتایج این پژوهش در اقدام‌های اجرایی بعدی و مدیریت پایدار توده‌ها، قابل استفاده خواهد بود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

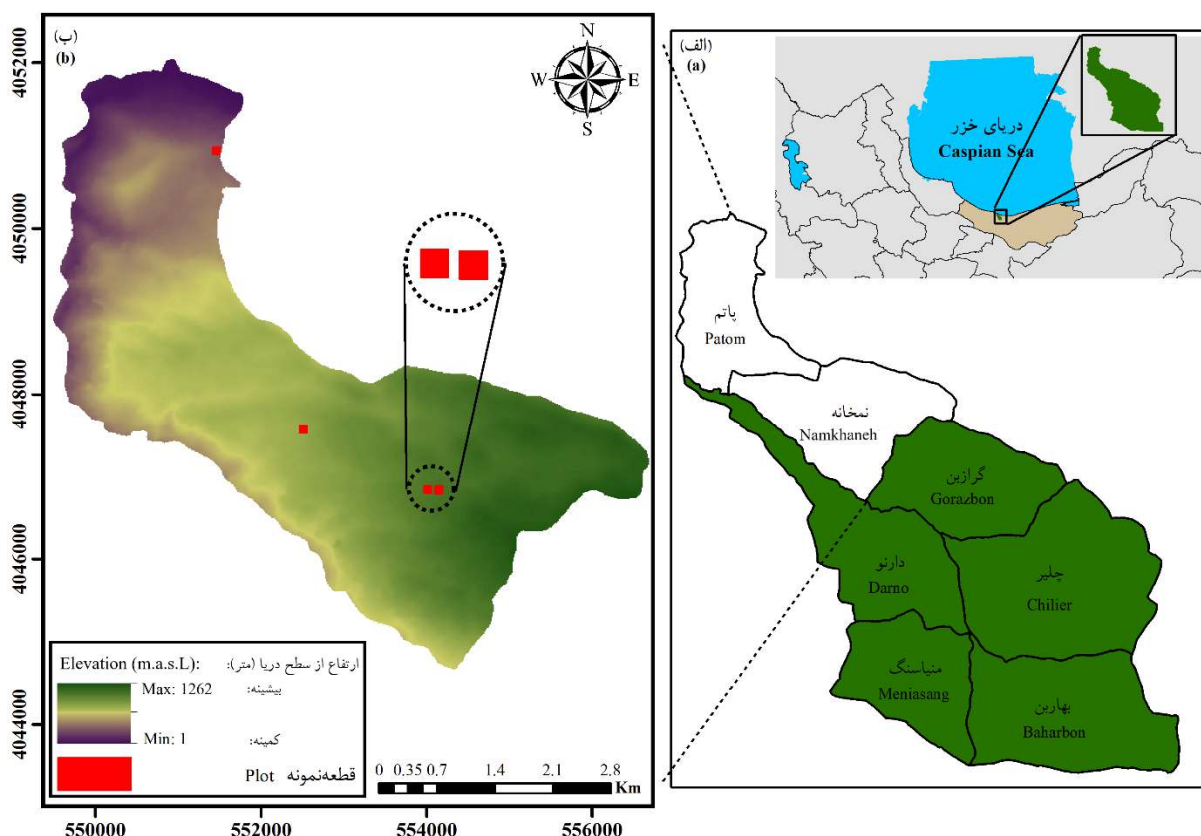
پژوهش پیش‌رو، بخشی از طرح ملی پایش جنگل‌های هیرکانی است که در بخش‌های پاتم و نمخانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر در مختصات ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض جغرافیایی شمالی انجام شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه در اقلیم خیلی مرطوب و با زمستان‌های خیلی خنک و بدون فصل خشک قرار می‌گیرد. براساس آمار ۱۰ ساله ایستگاه هواشناسی نوشهر (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵)، میانگین بارندگی سالانه  $9/1 \pm$  ۱۳۲۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه  $1/12 \pm$  ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد است (Dezhban *et al.*, 2019). کمینه و بیشینه ارتفاع بخش پاتم از سطح دریا به ترتیب ۱۰ و ۹۳۰ متر هستند، درحالی‌که پایین‌ترین نقطه بخش نم‌خانه، ۳۵۰ متر و مرتفع‌ترین نقطه آن دارای ۱۲۹۰ متر ارتفاع بیشتر از سطح دریا است (Forest Management Plan, 1995a,b).

درختان هم گونه خود قرار می‌گیرد (Alijani *et al.*, 2012a). تجزیه و تحلیل ساختار قطری توده‌های جنگلی در بخش گرازین جنگل خیرود با استفاده از یک شاخص مکانی غیرآشکار به نام شاخص جینی بیانگر الگوهای متفاوتی برای پارسل‌های مختلف بود (Javanmiri Pour *et al.*, 2018). به طوری که الگوهای همگن، ناهمگن و نزدیک به حالت بینابینی مشاهده شد. پژوهش Farhadi و همکاران (2019) در جنگل‌های ناو اسالم با استفاده از شاخص‌های میانگین جهت و زاویه یکنواخت نشان‌دهنده موقعیت مکانی تصادفی برای درختان بود.

از پژوهش‌های خارجی انجام گرفته می‌توان به بررسی الگوی توزیع مکانی در توده‌های کاج در آمریکا با استفاده از شاخص ریپلی اشاره کرد که بیانگر الگوهای تجمعی و یکنواخت در جنگل مورد مطالعه بود (Zenner & Peck, 2009). بررسی الگوی پراکنش اوجا (*Ulmus pumila* L.) در یک منطقه اکوتون جنگل - استپ در چین نشان داد که این درختان با قطر برابر سینه بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر، الگوی پراکنش تصادفی داشتند، درحالی‌که پایه‌های با قطر بین پنج تا ۲۰ سانتی‌متر از الگوی توزیع تجمعی پیروی می‌کردند (Wang *et al.*, 2015). بررسی ساختار توده و الگوهای مکانی در توده‌های آمیخته نوئل شرقی (*Picea orientalis* (L.) Peterm. کاج جنگلی) و نراد قفقازی (*Abies nordmanniana sylvestris* L.) در ترکیه نشان داد که کاج جنگلی و نراد قفقازی اغلب از الگوی تصادفی پیروی می‌کنند، درحالی‌که نوئل شرقی، توزیع تجمعی داشت (Gokturk & Tiras, 2020).

مرور پژوهش‌های داخلی در مورد ساختار و الگوی پراکنش مکانی نشان می‌دهد که اغلب آن‌ها یا در راشستان‌ها صورت گرفته‌اند و یا به طور موردی روی یک





شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه: الف) در نقشه ایران، ب) بخش‌های پاتم و نم‌خانه

Figure 1. Location of study area: a) on the map of Iran, b) Patom and Namkhaneh districts

روش پژوهش  
انتخاب قطعه‌نمونه‌ها

برای اجرای این پژوهش پس از بررسی‌ها و جنگل‌گردشی‌های اولیه براساس پتانسیل رویشگاه و جامعه جنگلی، چهار قطعه‌نمونه یک هکتاری (Sagheb-Talebi & Schütz, 2002) از تپ‌های غالب جنگل‌های هیرکانی شامل تپ‌های ممرز-انجیلی، ممرز-راش همراه بلوط، راش آمیخته و راش خالص که کم‌تر دست‌خورده بودند، انتخاب و بررسی شدند. ابتدا، تپ‌های جنگلی برپایه عوامل سیمای ظاهری، غلبه، آمیختگی (درصد آمیختگی درختان در یک توده جنگلی)، نوع گونه‌های درختی، تنوع آن‌ها (فراوانی کلی انواع گونه‌ها)، شرایط فیزیوگرافی رویشگاه (ارتفاع از سطح دریا، جهت و شیب) و مساحت گسترش تپ، براساس روش موجود

(Marvie Mohadjer, 2005) بررسی، طبقه‌بندی و نام‌گذاری شدند. ویژگی‌های قطعه‌های مورد بررسی در هر تپ در جدول (۱) ارائه شده است. گفتنی است که در تپ ممرز-راش همراه بلوط، آمیختگی گونه‌های غالب این تپ در گذشته به‌صورتی بوده که بلوط بلندمازو، گونه غالب بوده است، اما به‌دلیل بهره‌برداری‌های بی‌رویه، تراکم این گونه به‌شدت کاسته شده است. به‌طوری‌که ممرز به گونه غالب تبدیل شده است (Marvie Mohadjer, 2005). با توجه به آماربرداری انجام‌شده، پس از ممرز، راش بیشترین تراکم را دارد. در نتیجه، نام‌گذاری تپ باید تحت عنوان ممرز-راش باشد، اما به‌دلیل مستعد بودن این تپ برای حضور بلوط و اینکه به‌عنوان گونه سوم، فراوانی آن کمتر از ۱۰ درصد است، بنابراین تپ به‌صورت ممرز-راش همراه بلوط نام‌گذاری شد.

جدول ۱- اطلاعات قطعه‌های یک هکتاری مورد مطالعه

Table 1. Information of the studies one- hectare plots

Types	Hornbeam-ironwood	Hornbeam-beech with oak	Mixed beech	Pure beech
District No.	Patom	Namkhaneh	Namkhaneh	Namkhaneh
Compartment No.	111	206	217	217
Altitude (m.a.s.l.)	330	925	1100	1080
Aspect	Northern	Southwest	Northwest	Northwest

مکانی از سوی پژوهشگران مختلف پیشنهاد و بررسی شده‌اند. در منابع مختلف، شاخص K-Ripley بسیار توصیه شده است. زیرا این شاخص از اطلاعات بسیاری که مبتنی بر واریانس همه فاصله‌ها است، استفاده می‌کند. در واقع، هدف این نوع آنالیز، تعیین تصادفی بودن توزیع درختان و نیز نوع الگوی توزیع است. تابع K ریلی با استفاده از تعداد نقاط (درخت) موجود در دایره‌ای به شعاع  $r$ ، الگوهای مکانی را بررسی می‌کند. در این روش، فاصله بین همه جفت نقاط در یک فضای دو بعدی در نظر گرفته می‌شود. برای سهولت در تفسیر نتایج از تابع L که حالت خطی تابع K است، استفاده می‌شود، بنابراین معیار تعیین نوع الگوی پراکنش، مقایسه الگوی به‌دست آمده از رسم مقادیر در مقابل فاصله است. در صورتی که تابع L بین حدود مونت کارلو قرار گیرد، نمایانگر الگوی تصادفی است و اگر بالاتر و یا پایین‌تر از حدود مونت کارلو باشد، به ترتیب الگوی پراکنش تجمعی و یکنواخت را نشان می‌دهد (Ripley, 1977).

برای محاسبه و ترسیم نمودار تابع K ریلی از نرم‌افزار Past استفاده شد. همچنین، نقشه موقعیت مکانی گونه‌های غالب هر تیپ با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مشخص شد.

### نتایج

تراکم درختان در تیپ‌های مورد بررسی بین ۱۵۸ در تیپ راش آمیخته تا ۳۱۴ اصله در هکتار در تیپ ممرز- انجیلی متغیر بود (جدول ۲).

روش جمع‌آوری داده‌ها

در هر یک از قطعه‌نمونه‌ها، قطر برابر سینه همه پایه‌های درختی و درختچه‌ای با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین، مختصات گوشه جنوب غربی قطعه‌نمونه با دستگاه GPS برداشت و ثبت شد. به دلیل اینکه فاصله درختان در جنگل‌های هیرکانی، کم و دقت دستگاه GPS در بهترین شرایط پنج متر است، بنابراین برای ثبت مختصات درختان با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر در محدوده مورد نظر از روش فاصله- آزیموت (Moer, 1993) استفاده شد. بدین شکل که ابتدا فاصله و آزیموت درخت اول، نسبت به گوشه جنوب غربی قطعه‌نمونه با استفاده از دستگاه ورتکس و شیب سنج سونتو اندازه‌گیری شد. این اندازه‌ها با استفاده از روابط مثلثاتی به مختصات دکارتی تبدیل شد. سپس، مختصات دکارتی به مختصات نقطه مبنا اضافه شد. در نتیجه، مختصات اولین درخت به‌دست آمد. فاصله و آزیموت درختان دیگر به همین صورت نسبت به درخت قبلی اندازه‌گیری شد و در نهایت به مختصات UTM تبدیل شد. سپس، از اطلاعات موقعیت (مختصات) درختان برای بررسی و تعیین نوع الگوی پراکنش درختان استفاده شد.

تابع K ریلی

روش‌های آماری گوناگونی به منظور کمی‌سازی الگوهای



جدول ۲- ویژگی‌های کمی درختان تپ‌های مورد بررسی

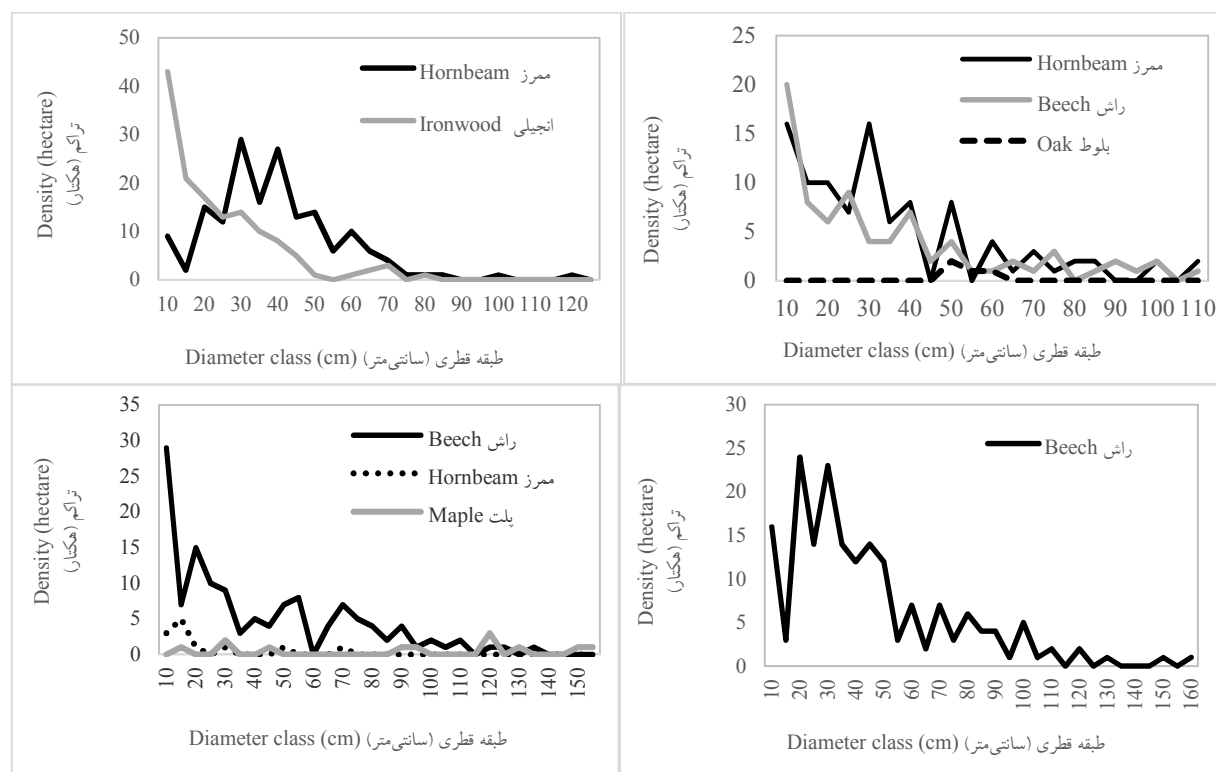
Table 2. Quantitative information of trees in studied forest types

Type	Density (ha <sup>-1</sup> )	Frequency of dominant species (%)	Diameter at breast height (cm)		
			Mean	Minimum	Maximum
Hornbeam-ironwood	314	Hornbeam (51.59) Ironwood (43.31)	31.87	8	120
Hornbeam-beech with oak	237	Hornbeam (40.51) Beech (33.33) Oak (1.69)	32.01	8	110
Mixed beech	158	Beech (82.91) Hornbeam & maple (7.45)	44.87	8	155
Pure beech	191	Beech (95.29)	44.6	8	160

Hornbeam (*Carpinus betulus* L.); Ironwood (*Parrotia persica* C.A.Mey.); Beech (*Fagus orientalis* Lipsky); Oak (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.); Maple (*Acer velutinum* Boiss.).

تا ۳۰ سانتی‌متر مشاهده شد که کمتر از ۳۰ اصله بود، اما در تپ مرمرز- انجیلی، بیشینه تعداد در طبقه ۱۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (۵۶ اصله) که تا حدودی نمایانگر جوان بودن این قطعه است. بیشترین حذف درختان نیز در طبقه‌های قطری ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر مشاهده شد.

در تپ‌های مورد مطالعه، افزایش تعداد (به‌عبارتی کوهان‌های افزایش تعداد) در بعضی از طبقه‌های قطری مشاهده می‌شود که بیانگر وجود ناهمگنی در تپ است. به‌طور کلی، ساختار توده‌ها تقریباً شبیه J وارونه است (شکل ۲). در قطعه‌های راش خالص، راش آمیخته و مرمرز- راش همراه بلوط، بیشینه تعداد در طبقه‌های قطری در طبقه‌های ۱۰



شکل ۲- پراکنش تعداد درختان در طبقه‌های قطری در تپ‌های جنگلی

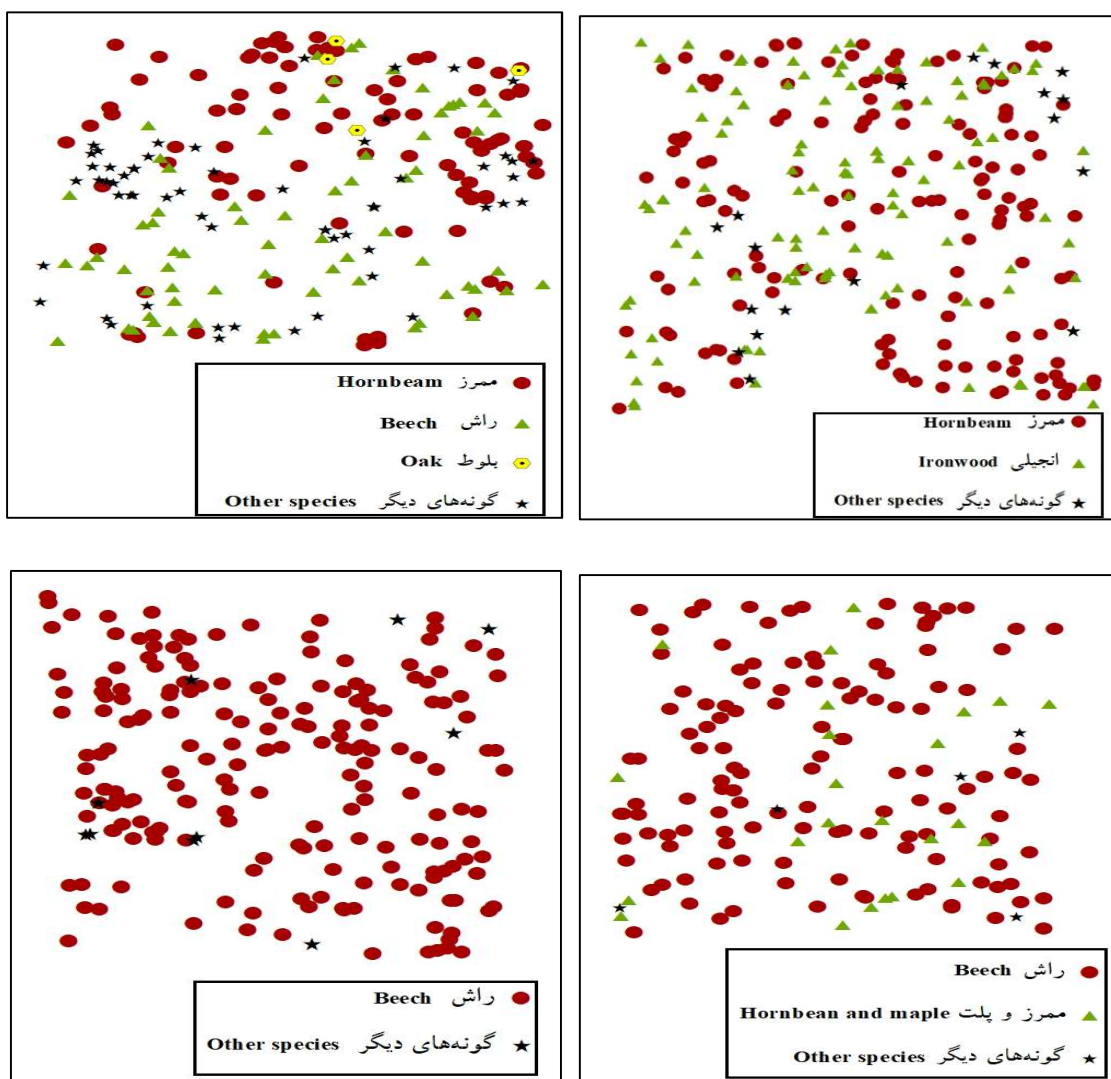
Figure 2. Distribution of the trees on diameter class in forest types Hornbeam (*Carpinus betulus* L.); Ironwood (*Parrotia persica* C.A.Mey.); Beech (*Fagus orientalis* Lipsky); Oak (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.); Maple (*Acer velutinum* Boiss.).





راش آمیخته بیشتر است، به عبارتی، تراکم درختان در این تیپ کمتر است. برعکس، در تیپ ممرز-انجیلی، فاصله بین پایه‌ها کم و تراکم زیاد بود. تیپ‌های راش خالص و ممرز-راش همراه بلوط نیز دارای تراکم بینابین هستند (شکل ۳).

موقعیت مکانی همه گونه‌های درختی موجود در قطعه‌های مورد مطالعه به تفکیک هر تیپ در شکل ۳ نمایش داده شده است. ابر نقاط در هر نمودار نشان‌دهنده پراکنش نقاط در تیپ‌های ممرز-انجیلی، ممرز-راش همراه بلوط، راش آمیخته و راش خالص است. فاصله بین پایه‌های راش در تیپ



شکل ۳- موقعیت مکانی درختان در تیپ‌های جنگلی

Figure 3. Spatial location of trees in forest types

Hornbeam (*Carpinus betulus* L.); Ironwood (*Parrotia persica* C.A.Mey.); Beech (*Fagus orientalis* Lipsky); Oak (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.); Maple (*Acer velutinum* Boiss.).

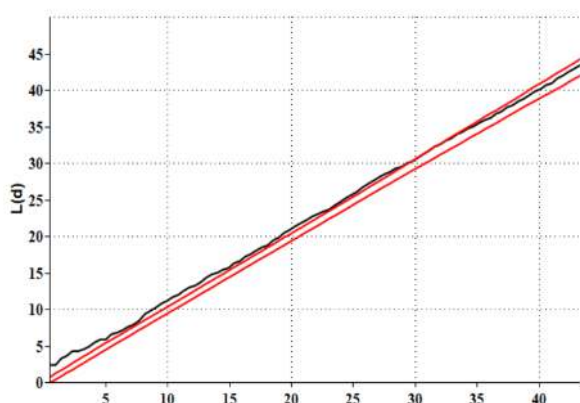
تیپ ممرز-انجیلی تا فاصله ۳۲ متر، بیشتر از حدود مونت کارلو قرار دارد. در نتیجه، الگوی مکانی این درختان، تجمعی است. فقط

در شکل ۴، نمودارهای L به همراه حدود مونت کارلو در تیپ‌های مورد مطالعه آمده است. مقدار تابع L برای ممرز در



در این قطعه، ممرز و افرا به دلیل اینکه تعداد پایه‌های مساوی داشتند، هر دو به‌عنوان گونه غالب دوم در نظر گرفته شدند. الگوی پراکنش هر دو گونه مذکور کاملاً تصادفی است. فقط در مورد ممرز در فاصله‌های ۱۰ و ۱۵ متر، تابع  $L$  از حدود مونت کارلو فاصله گرفته است و الگوی تجمع را نشان می‌دهد. در تپ راش خالص تا فاصله چهار متر، الگوی پراکنش راش تصادفی است، اما پس از آن تا فاصله ۳۰ متری، مقدار تابع از حدود مونت کارلو فاصله گرفته است و الگوی تجمع را نشان می‌دهد. پس از این فاصله دوباره با قرارگیری در بین حدود مونت کارلو، الگوی مشاهده‌شده برای راش، تصادفی است (شکل ۴).

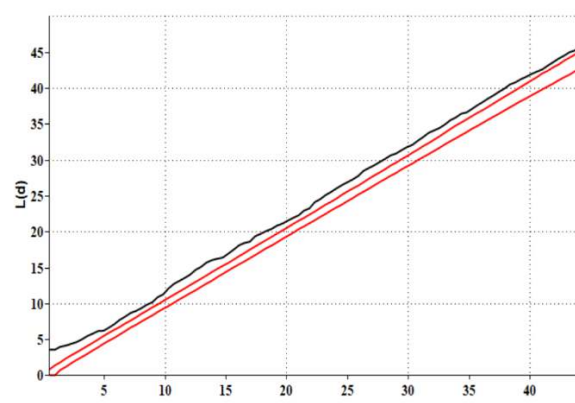
این تپ در فاصله‌های ۳۲ تا ۴۰ متری به‌علت قرارگیری در داخل حدود مونت کارلو، الگوی تصادفی را نشان می‌دهد. در صورتی که الگوی پراکنش مشاهده‌شده برای انجیلی در این تپ، کاملاً تجمع است. در تپ ممرز- راش همراه بلوط به‌علت تعداد کم پایه‌های بلوط، امکان تعیین الگوی مکانی برای این گونه وجود ندارد، اما برای هر دو گونه ممرز و راش، مقدار تابع  $L$  با اختلاف زیادی بیشتر از حدود مونت کارلو حرکت می‌کند. در نتیجه، الگوی پراکنش آن‌ها، کاملاً تجمع است. با افزایش ارتفاع از سطح دریا و مشاهده تپ راش آمیخته، الگوی مکانی تصادفی برای گونه راش در این تپ مشاهده می‌شود که نشان از قرارگیری کامل تابع  $L$  در بین حدود مونت کارلو است.



فاصله (متر) (Distance (m))

گونه ممرز- تپ ممرز- انجیلی

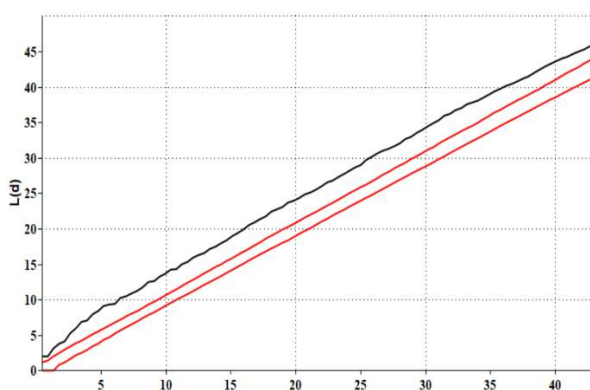
Hornbeam species- Hornbeam- ironwood type



فاصله (متر) (Distance (m))

گونه انجیلی- تپ ممرز- انجیلی

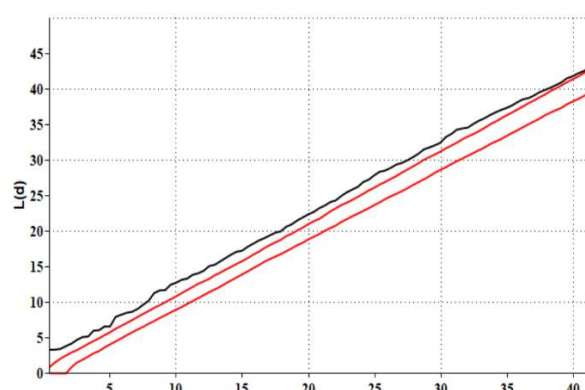
Ironwood species- Hornbeam- ironwood type



فاصله (متر) (Distance (m))

گونه ممرز- تپ ممرز- راش همراه بلوط

Hornbeam species- Hornbeam- beech with oak type

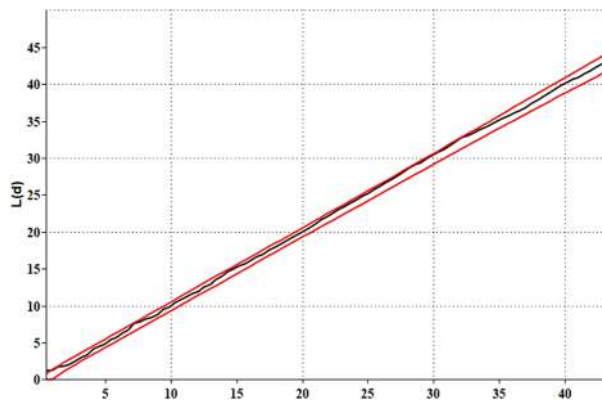


فاصله (متر) (Distance (m))

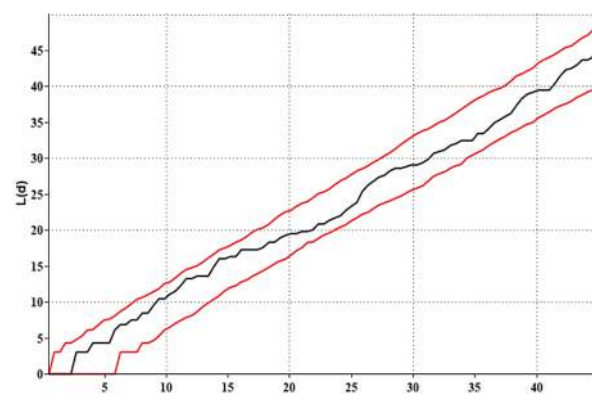
گونه راش- تپ ممرز- راش همراه بلوط

Beech species- Hornbeam- beech with oak type

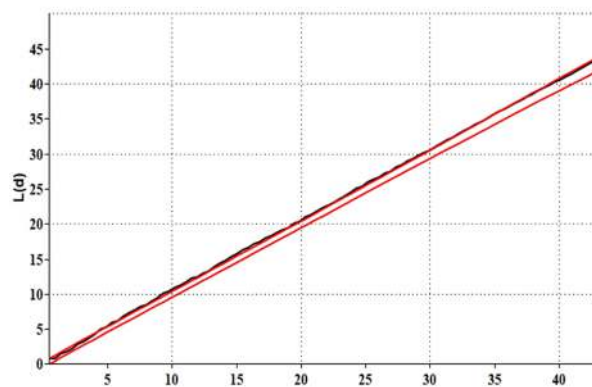




فاصله (متر) (Distance (m))  
گونه راش- تیپ راش آمیخته  
Beech species- Mixed beech type



فاصله (متر) (Distance (m))  
گونه ممرز و افرا- تیپ راش آمیخته  
Hornbeam and maple species- Mixed beech type



فاصله (متر) (Distance (m))  
گونه راش- تیپ راش خالص  
Beech species- Pure beech type

شکل ۴- تابع L (خطوط مشکی رنگ) و حدود مونت کارلو (خطوط قرمز رنگ)

**Figure 4. L function (black lines) and Monte Carlo interval (red lines)**  
Hornbeam (*Carpinus betulus* L.); Ironwood (*Parrotia persica* C.A.Mey.); Beech (*Fagus orientalis* Lipsky); Oak (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.); Maple (*Acer velutinum* Boiss.).

چنین روندی مشاهده شد.

در این پژوهش، تراکم درختان در تیپ ممرز- انجیلی بیانگر فراوانی بیشتر ممرز (۵۱/۵۹ درصد) در مقابل انجیلی (۴۳/۳۱ درصد) است. Sagheb-Talebi و همکاران (2021) با بررسی آمیختگی و فراوانی گونه‌ها در توده‌های جنگلی لوه دریافتند که بیشترین فراوانی به ممرز (۶۴/۴ درصد) و کمترین

## بحث

در پژوهش پیش‌رو، توده‌ها به‌جز مواردی که ناهمگنی در توده مشاهده شد، در بقیه موارد، ساختار تقریباً شبیه J وارونه و مشابه جنگل‌های ناهمسال دارند. Habashi و همکاران (2007) نیز برای گونه‌های راش، ممرز و انجیلی، چنین ساختاری را گزارش کردند. در پژوهش آن‌ها، توزیع پراکنش قطری پلت به‌شکل نامنظم بود که در پژوهش پیش‌رو نیز



چالوش، الگوی مکانی این دو گونه را تجمعی معرفی کردند. بررسی الگوی پراکنش انجیلی نشان داد که این گونه در جوانی و در زیراشکوب به دلیل دارا بودن جست‌گروه‌های زیاد، تراکم کپه‌ای دارد، اما در گذر زمان و رسیدن به اشکوب بالا از تراکم کپه‌ها کاسته می‌شود (Habashi *et al.*, 2007).

راش به دلیل ویژگی‌های بوم‌شناختی آن از جمله بذره‌های سنگین، سایه‌پسندی و زادآوری لکه‌ای، دارای پراکنش تجمعی است، اما درختان داخل کپه‌ها نسبت به یکدیگر، چیدمان تصادفی دارند. البته سرشت سایه‌پسندی راش و رقابت درون‌گونه‌ای آن در طول زمان و طی مراحل مختلف تحولی جنگل تغییر می‌کند که به همراه محدودیت پراکنش بذر سبب ایجاد الگوهای پراکنش مختلف می‌شود (Akhavan *et al.*, 2010). Mataji و همکاران (2008) نیز الگوی پراکنش درختان راش را در بخش‌های نم‌خانه و گرازبن جنگل خیرود تا شعاع ۸۰ متر به صورت یکنواخت و در فاصله‌های بیشتر به صورت تصادفی تعیین کردند. در تپ راش آمیخته، پلت در کنار ممرز به عنوان گونه غالب دوم که بیشترین فراوانی را داشتند، الگوی پراکنش تصادفی را نشان داد. این نتایج با یافته‌های FallahChay و Khoshmanzar (2019) در جنگل‌های ناو اسالم مطابقت دارد که با استفاده از شاخص هاپکینز، الگوی تصادفی را برای درختان افرا پلت گزارش کردند. البته Habashi و همکاران (2007) الگوی توزیع مکانی پلت را تجمعی، تصادفی و منظم به دست آوردند. چراکه این گونه جزو گونه‌های پیشگام در توالی محسوب می‌شود. در واقع، پلت با داشتن بذر سبک و بالدار و توانایی انتقال بذر به نقاط دور دست از یک طرف و نورپسند بودن از طرف دیگر می‌تواند الگوهای پراکنش متفاوتی داشته باشد. براساس یافته‌های پژوهشگران مذکور، راش در راشستان‌های آمیخته، تمایل زیادی برای غلبه بر گونه‌های دیگر رویشگاه دارد. به طوری که طبق الگوی به دست آمده، راش در مقیاس کوچک با ایجاد کپه‌های متراکم، اجازه استقرار را به گونه‌های دیگر نمی‌دهد و تنها با پلت، همزیستی مناسب‌تری دارد. اما در پژوهش پیش‌رو، هر دو گونه ممرز و پلت در تپ راش آمیخته، توانایی استقرار در کنار راش را داشتند.

فراوانی به انجیلی تعلق دارد. همچنین نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در توده بررسی شده، ممرز با دارا بودن زادآوری فراوان و قدرت استقرار زیاد در زیر سایه و نیم‌سایه درختان اصلی می‌تواند سبب حذف نهال‌های بلوط بلندمازو شود. به علاوه، دوره بذردهی بلوط بلندمازو، چهار تا پنج ساله است. در صورت زادآوری این گونه با توجه به نورپسند بودن نهال‌ها، بخش زیادی از زادآوری ایجاد شده به دلیل سایه زیاد در طی زمان به تدریج حذف می‌شود. با توجه به این نتایج، در پژوهش پیش‌رو نیز می‌توان چنین احتمالی را در مورد تپ ممرز-راش همراه بلوط در نظر گرفت. علاوه بر این، برداشت‌های غیرمجاز بلوط به علت دسترسی آسان‌تر آن در این ارتفاع از سطح دریا خود مزید بر علت نیز شده است.

تراکم درختان در تپ راش آمیخته ۱۵۸ اصله در هکتار ثبت شد. راش به عنوان گونه غالب، بیشترین تراکم را به خود اختصاص می‌دهد و در آشکوب برین بر درختان دیگر چیرگی دارد. به طوری که ۱۳۱ اصله درخت راش در هکتار شمارش شد. هم‌راستا با این نتایج، Habashi و همکاران (2007) تعداد پایه‌های راش در راشستان‌های آمیخته جنگل شصت‌کلا در استان گلستان را ۱۰۷ اصله درخت در هکتار گزارش کردند. Kakavand و همکاران (2015) در جنگل خیرود و Amiri و همکاران (۲۰۱۵) در جنگل شصت‌کلا نیز به ترتیب تراکم ۱۶۰ و ۲۸۸ اصله در هکتار را برای راش به دست آوردند. در پژوهش پیش‌رو، فراوانی درختان در تپ راش خالص ۱۹۱ اصله در هکتار بود. در بررسی ساختار طبیعی توده‌های راش خالص و آمیخته در منطقه نکا نیز فراوانی راش در توده راش خالص ۱۶۷ اصله در هکتار گزارش شد (Eslami & Sagheb Talebi, 2008).

در پژوهش پیش‌رو، الگوی پراکنش ممرز و انجیلی در تپ ممرز-انجیلی به ترتیب تجمعی تصادفی و تجمعی به دست آمد. Kooch و همکاران (2008) نیز با استفاده شاخص‌های گرین و استاندارد شده موربیتا در جنگل‌های پایین‌بند



به منظور جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف می‌توان از ساختار طبیعی الگوبرداری کرد. در پژوهش پیش‌رو نیز تیپ ممرز-راش همراه بلوط با پتانسیل رویشگاه که می‌توانست جامعه بلوط-ممرزستان باشد، فاصله زیادی دارد و به‌طورکلی دگرگون شده است. علت اصلی آن، برداشت‌های سنتی از گذشته بوده است. پیشنهاد می‌شود که در مدیریت نزدیک به طبیعت با جنگل‌کاری و یا با کمک به تجدیدحیات طبیعی بلوط، تیپ را به سمت پتانسیل رویشگاه هدایت کرد.

## References

- باتوجه به نتایج این پژوهش و پژوهش‌های مشابه، بسته به نوع مطالعه و مقیاس آن، الگوی مکانی درختان در مراحل مختلف حیات جنگل ممکن است متفاوت باشد، اما این نوع مطالعات می‌تواند به مثابه مرجع استفاده شود. به‌طوری‌که بررسی نتایج پیشین به جنگل‌شناس کمک می‌کند تا ضمن شناخت کافی از ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه‌ها، به‌عنوان معیاری برای انجام دخالت‌های پرورشی به تنظیم موقعیت مکانی درختان و درنهایت، آمیختگی گونه‌ها بپردازد (Moridi *et al.*, 2023) همگام با طبیعت در مناطق جنگلی نزدیک شد. همچنین،
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Hassani, M. and Parhizkar, P., 2010. 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*, 18(2): 322-336 (In Persian with English summary).
  - Alibabaei Omran, E., Etemad, V., Sagheb Talebi, Kh. and Namiranian, M., 2023. Spatial pattern and structural characteristics of *Fagus orientalis* forests in the optimal developmental stage (Case study: Kheyroud forest, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest*, 15(2): 155-165 (In Persian with English summary).
  - Alijani, V., Fegghi, J. and Marvi Mohadjer, M.R., 2012a. Investigation on the beech and oak spatial structure in a mixed forest (Case study: Gorazbon district, Kheiroud forest). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(3): 175-188 (In Persian with English summary).
  - Alijani, V., Fegghi, J., Zobeiri, M. and Marvi Mohadjer, M.R., 2012b. Quantifying the spatial structure in Hyrcanian submountain forest (Case study: Gorazbon District of Kheirud Forest-Noushahr-Iran). *Journal of Natural Environment*, 65(1): 111-125 (In Persian with English summary).
  - Amiri, M., Rahmani, R. and Sagheb-Talebi, Kh., 2015. Canopy gaps characteristics and structural dynamics in a natural unmanaged oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand in the north of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 13(3): 259-274.
  - Dezhban, A., Attarod, P., Zahedi Amiri, Gh., Pypker, T.G. and Nanko, K., 2019. Seasonal variability of throughfall spatial pattern under a natural *Fagus orientalis* stand using geostatistical method. *Iranian Journal of Forest*, 11(1): 13-28 (In Persian with English summary).
  - Eslami, A.R. and Sagheb Talebi, Kh., 2008. Investigation on the structure of pure and mixed beech forests in north of Iran. (Neka-ZaLemrud region). *Pajouhesh and Sazandegi*, 77: 39-46 (In Persian with English summary).
  - Fallah, M., Matkan, A.A. and Aghighi, H., 2024. Estimation of height and diameter at breast height of forest trees with multi-scale individual tree detection method and machine learning algorithms using airborne LiDAR data. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 32(2): 112-131 (In Persian with English summary).
  - FallahChay, M. and Khoshmanzar, S., 2019. Determination of spatial distribution pattern analysis of *Acer velutinum* species in two elevation classes using distance sampling methods (Case study: Asalem Nav Forests, Series No. 2). *Ecology of Iranian Forest*, 7(13): 83-90 (In Persian with English summary).
  - Farhadi, P., Soosani, J., Erfanifard, S.Y. and Akhtari, M.H., 2019. Analysis of different type's structure in Nave Asalem-Gilan forests by using nearest neighbor indices. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(1): 167-182 (In Persian with English summary).
  - Forest Management Plan of Namkhaneh district, 1995a. Forestry Department, University of Tehran, Tehran, Iran, 270p (In Persian).
  - Forest Management Plan of Patom district, 1995b. Forestry Department, University of Tehran, Tehran, Iran, 130p (In Persian).
  - Gokturk, A. and Tiras, H., 2020. Stand structure and spatial distribution of trees at different developmental stages and stand layers in mixed stands in Artvin region, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(5): 6163-6179.
  - Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J. and



- Rahmani, R., 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian beech forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(1): 55-64 (In Persian with English summary).
- Hai, N.H., Wiegand, K. and Getzin, S., 2014. Spatial distributions of tropical tree species in northern Vietnam under environmentally variable site conditions. *Journal of Forestry Research*, 25(2): 257-268.
  - Javanmiri Pour, M., Marvie Mohadjer, M.R., Zobeiri, M., Etemad, V. and Jourgholami, M., 2018. Determining the structural diversity of mixed oriental beech (*Fagus orientalis* L.) stands in Gorazbon district, Kheyroud forest. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(2): 143-155 (In Persian with English summary).
  - Kakavand, M., Marvi-Mohadjer, M.R., Sagheb-Talebi, Kh. and Sefidi, K., 2015. Structure and composition of oriental beech stands in the middle stage of ecological succession in the Hyrcanian region. *Journal of Forest and Wood Products*, 68(1): 31-45 (In Persian with English summary).
  - Kooch, Y., Jalilvand, H., Bahmanyar, M.A. and Poormajidian, M.R. 2008. Analysis of spatial pattern for *Carpinus betulus* and *Parrotia persica* using statistical indices (case study: Khanikan forests of Chalous). Abstract of the First International Conference of Climate Change and Dendrochronology in Caspian Ecosystems. Sari, Iran, 17 May 2008: 7p (In Persian).
  - Marvie Mohadjer, M.R., 2005. *Silviculture*. University of Tehran Press, Tehran, Iran, 387p (In Persian).
  - Mataji, A., Babaie Kafaki, S., Safaee, H. and Kiadaliri, H., 2008. Spatial pattern of regeneration gaps in managed and unmanaged stands in natural Beech (*Fagus orientalis*) forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(1): 149-157 (In Persian with English summary).
  - Moeur, M., 1993. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest Science*, 39(4): 756-775.
  - Moridi, M., Fallah, A., Pourmajidian, M.R. and Sefidi, K., 2023. Spatial pattern and intra-specific competition of beech trees in the development stage of volume accumulation in Hyrcanian forest (Case study: Kheyroud forest, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest*, 15(2): 167-178 (In Persian with English summary).
  - Paluch, J.G., 2007. The spatial pattern of a natural European beech (*Fagus sylvatica* L.)–silver fir (*Abies alba* Mill.) forest: A patch-mosaic perspective. *Forest Ecology and Management*, 253(1-3): 161-170.
  - Pommerening, A. and Meador, A.J.S., 2018. Tamm review: Tree interactions between myth and reality. *Forest Ecology and Management*, 424: 164-176.
  - Ripley, B.D., 1977. Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 39(2): 172-192.
  - Sagheb-Talebi, Kh. and Schütz, J.P., 2002. The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) forests in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry*, 75(4): 465-472.
  - Sagheb-Talebi, Kh., Parhizkar, P., Hassani, M., Pourhashemi, M., Mirkazemi, S.Z., Karimidoost, A., ... and Nourolahi, S.S., 2021. Structure of intact mixed broad-leaved stands in Hyrcanian Forests (case study: Loveh, Golestan province). *Forest and Wood Products*, 73(4): 439-453 (In Persian with English summary).
  - Wang, X., Zhang, B., Zhang, K., Zhou, J. and Ahmad, B., 2015. The spatial pattern and interactions of woody plants on the temperate Savanna of Inner Mongolia, China: The effects of alternating seasonal grazing-mowing regimes. *PLoS One*, 10(7): e0133277.
  - Zenner, E.K. and Peck, J.E., 2009. Characterizing structural conditions in mature managed red pine: spatial dependency of metrics and adequacy of plot size. *Forest Ecology and Management*, 257(1): 311-320.
  - Zhang, M., Wang, J. and Kang, X., 2022. Spatial distribution pattern of dominant tree species in different disturbance plots in the Changbai Mountain. *Scientific Reports*, 12(1): 14161.
  - Zhang, Z., Hu, G., Zhu, J. and Ni, J., 2013. Aggregated spatial distributions of species in a subtropical karst forest, southwestern China. *Journal of Plant Ecology*, 6(2): 131-140.

