

## Research Paper

# Tree Distribution Patterns in High Stands, Coppice Stands, and Coppice-high Stands in Zagros Forests (Case Study of Qalajeh Forest, Kermanshah Province)

Niknam Soleymani<sup>1</sup>, Kambiz Abrari Vajari <sup>2</sup> and Morteza Pourreza<sup>3</sup>

1- Ph.D. student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, Iran

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, Iran,  
(Corresponding author: kambiz.abrari2003@yahoo.com)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 25 January, 2025

Revised: 10 April, 2025

Accepted: 20 May, 2025

## Extended Abstract

**Background:** Zagros forests, as the second natural forest ecosystem in Iran, play an important role in water supply, soil conservation, climate adjustment, and socioeconomic balance in the country. These forests have always been subject to destruction and prone to decline throughout history due to various socioeconomic reasons prevailing in the region. Definitely, the continued destruction process of Zagros forests will impose irreparable damage to this unique ecosystem and the natural resources of the country. Planning for their preservation, protection, and restoration is crucial and necessary, and this issue requires detailed silviculture and related ecological studies. Today, information about the distribution of plant populations in the community is of great importance for management programs and studies. Any program will face problems without having information about the distribution of people in the community, which, in the Zagros forest, can also depend on the spatial distribution of Iranian oak trees and search groups playing an important role in the dynamics of those ecosystems and their optimal management. Therefore, knowledge of the distribution patterns of trees and oak trees and understanding their relationships with each other can be used in protection, restoration, and breeding operations for the forests, which can play an important role in understanding the dynamics of ecosystems and their optimal management. This research aimed to investigate and understand the differences and similarities of the spatial structure, as well as to understand the distribution patterns of the dominant forest stands in the protected forests of the Qalajah Mountain in Kermanshah Province. The results can provide important points to forest scientists and those involved in forest revitalization.

**Methods:** To carry out this research, a part of the oak habitat in the forests of the Qalajah Mountain in Gilangarb City was considered in Kermanshah Province. In this research, while identifying three forest high stands, the coppice stand, the coppice-high stand, three sample plots of one hectare were randomly taken in each. The distance-azimuth method was used to determine the position of each stand. Then, the structural characteristics of species name, growth form, the number of sprouts, the diameter at breast height, the height of trees, the dominant height of the coppice trees, and two perpendicular diameters of the crown were recorded in this study. In the next step, while calculating the structural characteristics of the stands, the function related to the distance between points  $L$  was used to model the spatial distribution patterns of trees and search groups in the studied forest stands. Moreover, the spatial dependence of the size of trees and search groups was investigated using the  $K_{mm}(r)$  correlation function.

**Result:** The densities of Iranian oak trees and the species high stand, high-coppice stand, and coppice stand were 117, 129, and 126 trees per hectare, respectively, and their canopy covers were 30.9, 30.63, and 19.8%, respectively. The results also showed that the spatial distribution patterns of trees and the sprout clump of Iranian oak in all three studied forest stands mainly followed a random spatial distribution pattern, except for limited distances with a uniform pattern or a clumped pattern due to habitat heterogeneity. Considering the importance of the crown in the structure of trees and sprout clump, the results of the analysis of the signed correlation function about the characteristics of the crown diameter of trees and Iranian oak trees in the studied stands showed that the value of the  $K_{mm}$  function was within the Monte Carlo range for all three stands, according to the other trees and trees in the stands. In terms of the crown diameter characteristic, the above stands are randomly placed next to each other, and there is no significant correlation

between the spatial distribution of trees and sprout clumps in terms of the size of the crown diameter.

**Conclusion:** The spatial distribution pattern of the studied trees and sprout stands mainly follows a random spatial pattern. The random pattern in all three stands can be caused by the lack of natural reproduction or its disruption, reaching the maturity stage and not needing maternal bases, as well as the excessive exploitation of the forest. Furthermore, the trees and sprout stands are mainly located next to each other with different crown diameters, and therefore, there is no spatial correlation between them. Only at very limited intervals, in patches, and due to specific environmental conditions, trees and sprout clump have correlations and similarities in terms of crown diameter characteristics. In general, the results of the marked correlation function study indicate that the effect of the structural characteristic of the crown diameter in the sprout clump of trees in the studied stands on each other cannot mainly indicate their positive or negative facilitating effect on each other. In other words, the results of the correlation function of the sign indicate that the effect of the crown diameter characteristic in the trees and the sprout clump in the investigated stands on each other cannot indicate their positive or negative facilitating effect on each other.

**Keywords:** Ghalajeh, Marked correlation function, Sprout clump, Spatial pattern, Zagros ecosystem

**How to Cite This Article:** Soleymani, N., Abrari Vajari, K., & Pourreza, M. (2025). Tree Distribution Patterns in High Stands, Coppice Stands, and Coppice-high Stands in Zagros Forests (Case Study of Qalajeh Forest, Kermanshah Province). *Ecol Iran For*, 13(2), 28-40. DOI: 10.61882/ifej.2025.566



## مقاله پژوهشی

## الگوهای پراکنش درختان در توده‌های دانه‌زاد، شاخه‌زاد و شاخه و دانه‌زاد در جنگل‌های زاگرس (پژوهش موردی جنگل قلاجه استان کرمانشاه)

نیکنام سلیمانی<sup>۱</sup>، کامبیز ابراری واجاری<sup>۲</sup> و مرتضی پوررضا<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
 ۲- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، (نویسنده مسئول: kambiz.abrari2003@yahoo.com)  
 ۳- استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱  
صفحه ۴۰ تا ۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** جنگل‌های زاگرس به‌عنوان دومین بوم‌سازگان طبیعی جنگلی ایران نقش مهمی در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی اجتماعی در کشور ایفا می‌کنند. این جنگل‌ها همواره در طول تاریخ به دلایل مختلف اقتصادی و اجتماعی حاکم بر منطقه در معرض تخریب بوده‌اند و سیر قهقرائی به‌خود گرفته‌اند. قطعاً ادامه روند تخریب جنگل‌های زاگرس خسارات جبران‌ناپذیری را برای این اکوسیستم بی‌نظیر و منابع طبیعی کشور به‌همراه خواهد داشت. بنا بر این، برنامه‌ریزی جهت حفظ و احیای جنگل‌های زاگرس بسیار مهم و ضروری است و این موضوع مستلزم انجام مطالعات دقیق جنگل‌شناسی و بوم‌شناختی در آن‌ها است. امروزه برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و مطالعات بوم‌شناختی اطلاع از نحوه پراکنش افراد جامعه از اهمیت بالایی برخوردار است و بدون داشتن اطلاعات مکانی و الگوی پراکنش افراد در جوامع، اجرای هر برنامه‌ای با مشکل مواجه خواهد شد که این موضوع می‌تواند نقش مهمی را در درک پویایی بوم‌سازگان و نیز مدیریت بهینه آن‌ها ایفا نماید. این پژوهش با هدف بررسی و درک تفاوت‌ها و شباهت‌های ساختار مکانی و نیز درک الگوی پراکنش توده‌های جنگلی غالب در جنگل‌های حفاظت‌شده کوهستان قلاجه در استان کرمانشاه صورت گرفته است و نتایج آن می‌تواند نکات مهمی را در اختیار جنگل‌شناسان و دست‌اندرکاران بخش احیاء جنگل قرار دهند.

**مواد و روش‌ها:** جهت انجام این پژوهش، بخشی از رویشگاه بلوط در جنگل‌های کوهستان قلاجه در شهرستان گیلانغرب از توابع استان کرمانشاه در نظر گرفته شد. در این پژوهش، ضمن شناسایی سه توده جنگلی دانه‌زاد، شاخه‌زاد و شاخه-دانه‌زاد به‌صورت تصادفی در هر کدام از توده‌ها، سه قطعه نمونه یک هکتاری برداشت گردید و در هر کدام ویژگی‌های ساختاری تمام درختان و جست‌گروه‌ها شامل نام گونه، فرم رویشی، تعداد جست‌ها، قطر برابر سینه، ارتفاع درختان و ارتفاع غالب جست‌گروه‌ها و دو قطر عمود برهم تاج برداشت شدند. جهت تعیین موقعیت هر کدام از پایه‌ها از روش فاصله آزیموت استفاده شد. در مرحله بعد، ضمن محاسبه ویژگی‌های ساختاری توده‌ها، به‌منظور مدل‌سازی الگوی پراکنش مکانی درختان و جست‌گروه‌ها در آن‌ها از تابع مربوط به فاصله بین نقاط  $L$  استفاده شد. همچنین، وابستگی مکانی اندازه درختان و جست‌گروه‌ها با به‌کارگیری تابع همبستگی نشاندار  $K_{mm}(r)$  بررسی گردید.

**یافته‌ها:** نتایج این تحقیق نشان دادند که تراکم‌های درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در توده‌های دانه‌زاد، شاخه، دانه‌زاد و شاخه‌زاد به‌ترتیب ۱۱۷، ۱۲۹ و ۱۲۶ پایه در هکتار بودند و سطوح تاج‌پوشش آن‌ها نیز در توده‌های فوق به‌ترتیب ۳۰/۹، ۳۰/۶۳ و ۱۹/۸ درصد برآورد شدند. همچنین، که الگوی پراکنش مکانی درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در هر سه توده جنگلی مورد بررسی، به‌غیر از فواصل محدودی که دارای الگوی یکپارخت و یا به‌دلیل ناهمگنی رویشگاه دارای الگوی کپه‌ای بودند، عمدتاً از الگوی پراکنش مکانی تصادفی پیروی می‌کرد. به‌عبارتی، بررسی مقدار تابع  $L$  در محدوده مونت‌کارلو برای توده‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که مقدار تابع یاد شده در اغلب فواصل اختلاف معنی‌داری را با الگوی پراکنش کاملاً تصادفی نشان نمی‌دهد؛ از طرف دیگر، با توجه به اهمیت تاج در ساختار درختان و جست‌گروه‌ها، نتایج تجزیه و تحلیل تابع همبستگی نشان‌دار درباره ویژگی قطر تاج‌پوشش درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در توده‌های مورد بررسی نشان دادند که مقدار تابع  $K_{mm}$  مربوط به هر سه توده در محدوده مونت‌کارلو قرار گرفته بود. به بیان دیگر، درختان و جست‌گروه‌های موجود در توده‌های فوق از نظر ویژگی قطر تاج به‌طور تصادفی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و در هر کدام از توده‌ها همبستگی معنی‌داری بین توزیع مکانی درختان و جست‌گروه‌ها از نظر اندازه قطر تاج وجود ندارد.

**نتیجه‌گیری کلی:** الگوهای پراکنش مکانی درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در سه توده مورد بررسی به‌طور عمده از الگوی مکانی تصادفی پیروی می‌کنند. الگوی تصادفی در هر سه توده می‌تواند ناشی از عدم زادآوری طبیعی یا اختلال در آن، رسیدن به مرحله بلوغ و عدم نیاز به پایه‌های مادری و نیز بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل باشد. همچنین، نتایج بیانگر آن هستند که درختان و جست‌گروه‌های موجود در توده‌های مورد بررسی عمدتاً با قطرهای تاجی متفاوت در کنار هم‌دیگر قرار گرفته‌اند و از این نظر همبستگی مکانی بین آن‌ها دیده نمی‌شود. فقط در فواصل بسیار محدودی به‌صورت لکه‌ای و به‌دلیل شرایط خاص محیطی درختان و جست‌گروه‌ها از نظر ویژگی قطر تاج دارای همبستگی و تشابه هستند. به‌طور کلی، نتایج بررسی تابع همبستگی نشان‌دار حاکی از آن هستند که اثر مشخصه ساختاری قطر تاج در درختان و جست‌گروه‌های موجود در توده‌های مورد بررسی بر یکدیگر عمدتاً نمی‌تواند بیانگر اثر تسهیل‌کنندگی مثبت یا منفی آن‌ها بر هم باشد.

واژه‌های کلیدی: بوم‌سازگان زاگرس، پراکنش مکانی، تابع همبستگی نشان‌دار، جست‌گروه، قلاجه

## مقدمه

بوم‌سازگان‌های طبیعی، از جمله جنگل‌ها دارای ویژگی‌های متفاوت و متمایزی نسبت به هم هستند و بر همین اساس تفاوت‌هایی بعضاً اساسی در آن‌ها وجود دارند (Delfan & Sagheb-Talebi, 2007). اما با تمام تفاوت‌هایی که بین آن‌ها دیده می‌شوند، یک اصل کلی و ثابت در تمام آن‌ها مشاهده می‌شود که در واقع پایه و اساس تمام اکوسیستم‌های طبیعی به‌شمار می‌آید. این اصل که بر مبنای

قوانین ترموپویایی پایه‌گذاری شده‌است تحت عنوان «پویایی» یا تحول‌پذیری از آن نام برده می‌شود (Delfan Abazari & Sagheb Talebi, 2007). الگوی پراکنش مکانی را می‌توان نمایه ارزشمندی برای بررسی توالی جوامع گیاهی به‌شمار آورد زیرا چگونگی پراکنش یک گونه در یک بوم‌سازگان، به پراکنش افراد سایر گونه‌هایی وابسته است که در یک دامنه زمانی در همسایگی آن هستند (Felinks & Wiegand, 2008; Fibich Lepš et al., 2016). بنا بر این، شناسایی ارتباط

جامعه از اهمیت بالایی برخوردار است و بدون داشتن اطلاعات مکانی والگوی پراکنش افراد در جوامع، اجرای هر برنامه‌ای با مشکل مواجه خواهد شد (Karimi & Fallah, 2017)؛ برنامه‌ریزی جهت مدیریت بهینه جنگل‌های زاگرس نیز از این قاعده مستثنی نیست. غالب توده‌های جنگلی در زاگرس به‌ویژه در بخش مرکزی و جنوبی را توده‌های جنگلی خالص بلوط با فرم‌های رویشی شاخه‌زاد، دانه‌زاد و یا ترکیبی از آن‌ها تشکیل می‌دهند. بنا بر این، آگاهی از الگوی پراکنش درختان و جست‌گروه‌های بلوط و درک ارتباط آن‌ها با همدیگر را می‌توان در برنامه‌ها به‌منظور حفظ و احیای جنگل‌های زاگرس به‌کار گرفت. تاکنون روش‌های متعددی برای بررسی الگوی پراکنش و ساختار مکانی درختان معرفی شده‌اند. در برخی از این روش‌ها، از شاخص‌هایی که تنها به‌طور ساده الگوی پراکنش را بیان می‌کنند (پراکنده، تصادفی و کپه‌ای) استفاده می‌شود. اما با تکامل این روش‌ها برای تحلیل دقیق و بهتر الگوهای پراکنش و ساختار مکانی، به‌جای شاخص‌ها توابعی ارائه شدند که اطلاعات ارزشمندتری را از تغییرات الگوی پراکنش و وابستگی ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها در فواصل مختلف ارائه می‌دهند (Szymt, 2014). با استفاده از این روش‌ها در ایران و سایر کشورها، پژوهش‌هایی درباره الگوی پراکنش مکانی و برهم‌کنش درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای در رویشگاه‌های مختلف انجام شده‌اند. لدو مونتس و همکاران (Ledo Montes et al., 2012) الگوی پراکنش مکانی گونه‌های درختان را در جنگل‌های مونتانی پرو در آمریکای جنوبی در کلاس سنی مسن (بالغ) با قطر بیش از ۷۹ سانتی‌متر، جوان با قطر بین ۲/۵ تا ۷۹ سانتی‌متر و زیراشکوب با قطر کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر با استفاده از تابع L راییلی بررسی کردند و الگوی پراکنش درختان بالغ را تصادفی و الگوی پراکنش پایه‌های جوان و همچنین پایه‌های زیراشکوب را کپه‌ای تعیین کردند. (Akhtari Mataji et al., 2023) در تحقیقی، الگوی پراکنش مکانی جنگل‌های بلوط استان لرستان را عمدتاً تصادفی و در فواصل محدودی کپه‌ای عنوان کردند. نظریانی فلاح و همکاران (Nazariani et al., 2019) در بررسی الگوی مکانی گونه بلوط ایرانی در غرب استان لرستان، نتیجه گرفتند که الگوی پراکنش این گونه در فواصل کوتاه به‌دلیل شاخه‌زاد بودن کپه‌ای و در فواصل زیاد یکنواخت بود. از جمله پژوهش‌های دیگر می‌توان به تحقیقات (Khanhasani Akhavan et al., 2013; Erfanifard & Kariminejad, 2015; Pourhashemi, 2018; Rostami, 2015) اشاره نمود. با توجه به تفاوت در ماهیت توده‌های بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس و نیز لزوم برنامه‌ریزی‌های جنگل‌شناسی براساس توده‌های منطقه و از آنجایی که در همه تحقیقات صورت گرفته در زمینه بررسی الگوی پراکنش مکانی بلوط تاکنون به توده‌های جنگلی آن اشاره نشده است، در این پژوهش به بررسی الگوی پراکنش مکانی به تفکیک توده‌های اصلی منطقه پرداخته شده است با این امید که مورد توجه صاحب‌نظران، مدیران و جنگل‌شناسان جنگل قرار گیرد. در این مطالعه، علاوه بر بررسی الگوی مکانی گونه‌ها، ارتباط ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها نیز با استفاده از تابع‌های واریوگرام همبستگی نشان‌دار و واریوگرام نشان‌دار که اطلاعات ارزشمندی را درباره روابط اندازه و سن افراد داخل یک

مکانی درختان در جنگل و تأثیر متقابل آن‌ها در شناخت فرایندهای مختلف بوم‌سازگان و در نتیجه مدیریت بهینه آن‌ها بسیار با ارزش است (Sefidi, Firouzi et al., 2018). در بوم‌شناسی، به پراکنش جغرافیایی یا به موقعیت استقرار افراد، الگوی پراکنش مکانی گفته می‌شود که ما آن را تحت عنوان الگوی پراکنش یا الگو به‌منظور توصیف توزیع جغرافیایی افراد استفاده می‌کنیم (Dale & Dale, 2000). ساختار مکانی از سه جنبه مختلف شامل تنوع موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و همچنین تنوع ابعاد درختان مورد بررسی قرار می‌گیرد (Pommerening, 2002; Aguirre, Hui et al., 2003; Kint & Noël, 2004). نخست، تنوع موقعیت مکانی درختان به الگوی پراکنش آن‌ها مربوط می‌شود و به حالات، کپه‌ای، تصادفی، منظم و یا حالتی بینابینی دیده می‌شود. فرایندها و نیروهای مختلفی مانند توزیع بذر، رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای، آشفته‌گی و نظم محیط زیستی پراکنش مکانی گونه‌ها را تغییر می‌دهند (Kang Guo et al., 2014). به‌طور مثال، الگوی مکانی کپه‌ای افراد یک گونه، ممکن است پیامد عواملی مانند توانایی محدود در پراکنش بذر (Clark, Silman et al., 1999; Hao, Huang et al., 2017; Gratzer & Waagepetersen, 2018) ناهمگنی محیط (شرایط توپوگرافی یا تغییرپذیری) (Getzin Wiegand et al., 2008)، برهم‌کنش مثبت میان افراد (Fibich Lepš et al., 2016) و یا برآیند همه این عوامل باشد (Ripley & Thompson, 1987). از سوی دیگر، وجود الگوی پراکنش یکنواخت افراد یک گونه می‌تواند پیامد رقابت درون‌گونه‌ای (Stoll & Bergius, 2005) و یا مرگ و میر ناشی از بیماری باشد (Janzen, 1970) و پراکنش تصادفی نیز می‌تواند هنگامی رخ دهد که حضور یک فرد تأثیر زیادی بر حضور دیگری نداشته باشد (Alavi Amiri et al., 2005). دوم، تنوع گونه‌ای به بررسی موقعیت مکانی گونه‌های مختلف در ارتباط با همسایه‌های مجاور می‌پردازد و در نهایت تنوع ابعاد درختان که شامل آرایش مکانی مشخصه‌هایی نظیر قطر برابر سینه و ارتفاع است (Pommerening, 2002).

جنگل‌های زاگرس به‌عنوان دومین بوم‌سازگان طبیعی جنگلی ایران نقش مهمی را در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی اجتماعی در کشور ایفا می‌کنند (Sagheb-Talebi Sajedi et al., 2004). این جنگل‌ها همواره در طول تاریخ به‌دلیل مختلف اقتصادی و اجتماعی حاکم بر منطقه در معرض تخریب بوده‌اند و سیر قهقرائی به‌خود گرفته‌اند. امروزه نیز این موضوع با توجه به پیچیدگی‌های خاص بوم‌سازگان از جمله چرای بیش از حد دام، مصارف سوخت و روستائی، توسعه اراضی زراعی، وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر و خشک‌سالی‌های با دوره‌ی بازگشت کوتاه روند فزاینده‌ای به‌خود گرفته است. قطعاً ادامه روند تخریب جنگل‌های زاگرس خسارات جبران‌ناپذیری را برای این اکوسیستم بی‌نظیر و منابع طبیعی کشور به‌همراه خواهد داشت. بنا بر این، برنامه‌ریزی جهت حفظ و احیای جنگل‌های زاگرس بسیار مهم و ضروری است و این موضوع مستلزم انجام مطالعات دقیق جنگل‌شناسی و اکولوژیکی در آن‌ها است. امروزه برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و مطالعات بوم‌شناختی اطلاع از نحوه پراکنش افراد

جهت انجام این پژوهش بخشی از رویشگاه بلوط در جنگل‌های کوهستان قلاجه در شهرستان گیلانغرب از توابع استان کرمانشاه که دارای شرایط بوم‌شناختی مناسبی از جمله تنوع گونه‌ای و توده‌های بلوط با فرم رویشی متنوع بود، انتخاب گردید. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه به ترتیب معادل ۱۵۸۰ و ۲۰۴۵ متر هستند و در طول جغرافیایی ۲۵° ۴۶' تا ۳۰° ۴۶' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵° ۳۴' تا ۳۴° ۴۰' شمالی واقع شده است. بر اساس داده‌های ۳۰ ساله، نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک منطقه دارای متوسط دمای ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۴۳۳ میلی‌متر است. نوع اقلیم آب و هوای منطقه براساس روش دومارتن ( $I=18/02$ ) و اقلیم‌نگار تجربی آمبرژه ( $Q=32/9$ ) نیمه‌خشک سرد تعیین شده است. طول فصل خشک با توجه به منحنی از وسط بهار تا اواخر پاییز است و دیگر ماه‌های سال فصل مرطوب به حساب می‌آیند. از نظر زمین‌شناسی، منطقه دارای سنگ مادر آهکی و مارنی با خاک‌های کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت متوسط بر روی سنگ‌ریزه و سنگ است.

گونه یا افراد گونه‌های مختلف با هم ارائه می‌دهند مورد بررسی قرار گرفته است (Akhavan Parhizkar *et al.*, 2017; Kariminejad Erfanifard *et al.*, 2017).

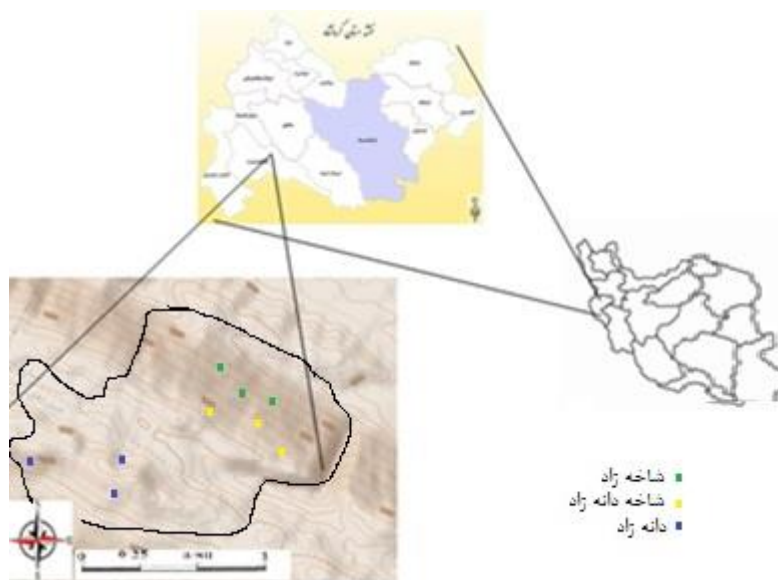
این پژوهش با هدف بررسی و درک تفاوت‌ها و شباهت‌های ساختار مکانی و الگوی پراکنش توده‌های جنگلی غالب جنگل‌های حفاظت‌شده کوهستان قلاجه در استان کرمانشاه و به‌منظور پاسخ به سؤالات ذیل صورت گرفته است.

۱- الگوی پراکنش گونه بلوط ایرانی در توده‌های اصلی جنگل‌های زاگرس چگونه است؟

۲- تفاوت‌ها و شباهت‌های الگوهای به‌دست آمده با استفاده توابع مختلف در توده‌های مورد بررسی چگونه هستند؟

۳- ساختار مکانی توده‌های جنگلی مورد بررسی در منطقه چگونه است؟

## مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه  
Figure 1. Geographical location of the study area

با دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیای GPS ثبت و مختصات سایر درختان و جست‌گروه‌ها با توجه به فاصله و آزمون آن‌ها نسبت به نقطه شروع تعیین شدند.

## تجزیه و تحلیل داده‌ها توابع الگوی پراکنش مکانی

در تکنیک‌های نوین آماری، بررسی الگوی مکانی نقطه‌ای و شناسایی روابط اکولوژیک گیاهان با به‌کارگیری توابعی انجام می‌گیرد که یا وابسته به فاصله‌های بین نقاط (در اینجا درختان) (مانند توابع:  $Ripley's K$ ،  $L$  و  $g$ ) و یا وابسته به فاصله‌ها تا نزدیک‌ترین همسایه هستند (مانند توابع:  $F$ ،  $G$  و  $J$ ) (Ripley, 2005; Illian Penttinen *et al.*, 2008; Szmyt, 2014). در این پژوهش، به‌منظور مدل‌سازی الگوی پراکنش مکانی درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در توده‌های مورد مطالعه

## روش جمع‌آوری داده‌ها

در ابتدا، توده‌های جنگلی بر اساس فرم رویشی (دانه‌زاد، شاخه‌زاد و دانه و شاخه‌زاد) تفکیک گردیدند و در هر توده جنگلی به‌صورت تصادفی دو قطعه نمونه ۱ هکتاری (Akhavan Parhizkar *et al.*, 2017; Churchill, Larson *et al.*, 2013)، با توجه به اهداف مطالعه پیاده شدند. در هر قطعه نمونه، ضمن ثبت تمامی گونه‌ها همه ویژگی‌های ساختاری آن‌ها شامل مبدأ رویشی، ارتفاع تمام درختان، قطر برابر سینه تمامی درختان و جست‌ها در هر جست‌گروه، دو قطر بزرگ و کوچک تاج درختان و جست‌گروه‌ها مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفتند. همچنین، جهت تعیین موقعیت جغرافیایی هر درخت و جست‌گروه در توده‌های مورد بررسی از روش فاصله- آزمون استفاده شد، به این‌صورت که نقطه شروع

$$k_{mm(r)} = \frac{E_{or}(m(o)*m(r))}{\mu^2} \quad \text{رابطه ۲:}$$

به‌طوری که Eor میانگین شرطی است در شرایطی که نشان دهد دو نقطه قطعی با فاصله  $r$  وجود دارند.  $o$  نقطه مبدا و  $r$  نقطه‌ای در فاصله از  $o$ ،  $m(r)$  و  $m(o)$  مقدار نشان اختصاص یافته در آن نقاط هستند و  $\mu$  نیز مربع میانگین علامت به‌عنوان عامل نرمال‌سازی است (Stoyan & Stoyan, 1994; Illian *et al.*, 2008; Velázquez Martínez *et al.*, 2016). در صورتی که  $k_{mm(r)} < 1$  باشد، قطرها همبستگی مثبت نسبت به هم دارند یعنی مشابه هم هستند. اگر  $k_{mm(r)} > 1$  باشد، قطرها (نشان‌ها) همبستگی منفی نسبت به هم دارند یعنی متفاوت هستند و در نهایت اگر  $k_{mm(r)} = 1$  باشد قطرها مستقل از هم و بدون همبستگی در نظر گرفته می‌شوند.

تفاوت معنی‌دار این همبستگی از توزیع مستقل (بدون همبستگی) به‌وسیله آزمون مونت کارلو تعیین می‌شود، به‌طوری که اگر نمودار تابع بالاتر از حد بالایی مونت کارلو قرار گیرد، همبستگی بین نشان‌ها مثبت است، یعنی نشان‌ها در فواصل نزدیک به هم شباهت دارند.

اگر نمودار تابع پایین‌تر از حد پایین مونت کارلو قرار گیرد، همبستگی بین نشان‌ها منفی است، یعنی نشان‌ها در فواصل نزدیک به هم تفاوت دارند. در صورتی که نمودار تابع بین دو حد مونت کارلو قرار گیرد، مارک‌ها یا نشان‌ها بدون همبستگی و مستقل از هم هستند (Khan Sharma *et al.*, 2013).

در این پژوهش، ابتدا نرمال بودن داده‌های آماری با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر توصیفی توده‌ها در محیط Excel برآورد گردید. برای آزمون نتایج به‌دست‌آمده از توابع مورد بررسی برای الگو و ساختار مکانی، بازه شبیه‌سازی شده مونت کارلو به کار گرفته شد. در این پژوهش، تجزیه و تحلیل الگوی پراکنش و ساختار مکانی با استفاده از بسته Spatstat (Baddeley, Rubak *et al.*, 2015) (Baddeley & Turner, 2005) در برنامه R انجام گرفت (R Core TEAM, 2018).

## نتایج و بحث

در منطقه مورد مطالعه، تعداد هفت گونه درختی و جست‌گروهی به شرح جدول ۱ شناسایی شدند. گونه بلوط ایرانی با ۸۵/۶ درصد حضور، گونه غالب به‌شمار می‌رود که از این تعداد ۵۵/۶ درصد دارای فرم رویشی شاخه‌زاد و ۴۴/۴ درصد دارای فرم رویشی دانه‌زاد هستند. بر این اساس، سه توده اصلی منطقه شامل بلوط دانه‌زاد، بلوط شاخه-دانه‌زاد و توده شاخه‌زاد شناسایی و تفکیک شدند.

از تابع مربوط به فاصله بین نقاط  $L$  استفاده شد و همچنین وابستگی مکانی اندازه درختان و جست‌گروه‌ها با به‌کارگیری توابع همبستگی نشاندار  $k_{mm}(r)$  بررسی گردید.

## تابع همبستگی جفتی $L$

برای شناسایی الگوی مکانی درختان بیشتر از تابع  $k$  رایجی استفاده می‌شود. این تابع براساس تعداد نقاط موجود در یک شعاع مشخص ( $r$ )، به بررسی الگوهای مکانی می‌پردازد (Parhizkar, Hassani *et al.*, 2018). در این پژوهش، به‌جای تابع  $K$  رایجی از شکل اصلاح‌شده آن یعنی تابع  $L$  که توسط بیساگ (Besag, 1977) ارائه شد، استفاده می‌شود که حالت خطی تابع  $K$  است و نیز واریانس  $K$  را تثبیت می‌کند (Cressie, 2015). همچنین، نمایش و تفسیر تابع  $L$  نسبت به  $K$  ساده‌تر است، بنا بر این، پژوهشگران بوم‌شناسی مکانی در حوزه جنگل ترجیح می‌دهند از آن به‌جای تابع  $K$  رایجی استفاده کنند (Dagley, 2008; Akhavan Sagheb-Talebi *et al.*, 2010; Piao Comita *et al.*, 2013). تابع  $L$  به‌صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}} - r \quad \text{رابطه ۱:}$$

در روش رایجی، برای آزمون معنی‌دار بودن تفاوت الگوی مشاهده شده با الگوی تصادفی (فرض صفر)، حدود اعتماد با استفاده از آزمون مونت کارلو محاسبه و ترسیم می‌شود؛ به‌طوری که اگر تابع  $L$  در داخل این محدوده قرار گیرد، الگوی پراکنش مشاهده‌شده با الگوی تصادفی تفاوت معنی‌داری نخواهد داشت. اما اگر تابع  $L$  بالاتر از این محدوده قرار گیرد، نشانه وجود الگوی خوشه‌ای و اگر پایین‌تر از این محدوده واقع شود، نشان‌دهنده الگوی منظم است. در رابطه فوق،  $K(r)$  تابع  $K$  رایجی و  $r(d)$  فاصله هر درخت تا درخت مجاورش بر حسب متر هستند.

## تابع همبستگی نشان‌دار $k_{mm}(r)$

به‌منظور بررسی همبستگی فضایی بین اندازه درختان، از تابع همبستگی نشان‌دار  $k_{mm}(r)$  استفاده گردید. قطر تاج درختان به‌دلیل اهمیت آن در برنامه‌ریزی‌های جنگل‌شناسی به‌عنوان نشان اندازه در نظر گرفته شد. تابع همبستگی نشان‌دار، همبستگی فضایی بین درختان را توصیف می‌کند و هدف از آن، ارزیابی همبستگی مکانی مارک‌ها یا نشان‌ها به‌عنوان تابعی از فاصله است. در این تابع، برای تشابه یا عدم تشابه بین یک مشخصه کمی (مانند قطر تاج) از دو درخت که به فاصله  $r$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند از تابع زیر استفاده می‌شود:

جدول ۱- فهرست گونه‌های درختی و درختچه‌ای شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

Table 1. Species identified in the study area

| ردیف | نام ایرانی  | نام گونه                                                         |
|------|-------------|------------------------------------------------------------------|
| 1    | بلوط ایرانی | <i>Quercus brantii</i> L. Var. <i>persica</i>                    |
| 2    | راناس       | <i>Cerasus microcarpa</i> (C.A.Mey.) Boiss                       |
| 3    | زالزالک     | <i>Crataegus azarolus</i> L. var. <i>pontica</i> (Koch)          |
| 4    | شن          | <i>Lonisera nommularifolia</i> Jaub. & Spach                     |
| 5    | بنه         | <i>Pistacia atlantica</i> Subsp. <i>kurdica</i> (Zohary) Rech.f. |
| 6    | کیکم        | <i>Acer monspessulanum</i> L.                                    |
| 7    | ارژن        | <i>Amygdalus orientalis</i> Spach                                |

شاخه‌زاد بودند. در این توده، سطح تاج‌پوشش ۳۰۶۲/۷۶ متر مربع در هکتار برآورد شد که از این مقدار ۵۰/۶۶ درصد به درختان دانه‌زاد و ۴۹/۳۶ درصد مربوط به جست‌گروه‌ها هستند. سایر مشخصات توده یادشده در جدول ۲ شرح داده شده‌اند. در توده بلوط شاخه‌زاد نیز به‌طور متوسط در هر هکتار ۱۲۹ درخت و جست‌گروه وجود دارند که ۹۱/۳ درصد آن‌ها دارای فرم رویشی شاخه‌زاد هستند و تعداد جست‌های مربوط به جست‌گروه‌ها ۷۰۳/۳ پایه محاسبه شده است که به‌طور میانگین سهم هر جست‌گروه ۶/۱ جست است. سطح پوشش و سطح مقطع برابر سینه به‌ترتیب ۱۹۸۶/۳۴ و ۳/۸۵ مترمربع در هکتار محاسبه شدند. سایر ویژگی‌های ساختاری توده مذکور در جدول ۲ ذکر شده‌اند.

در جدول ۲ ویژگی‌های زیست‌سنجی سه توده مورد بررسی به تفکیک فرم رویشی خلاصه شده‌اند. بررسی ویژگی‌های ساختاری توده بلوط دانه‌زاد (جدول ۲) نشان می‌دهد که در توده یادشده به‌طور متوسط در هر هکتار ۱۲۳/۳۳ درخت و جست‌گروه وجود دارد و سطح تاج پوشش درختان، جست‌گروه‌ها و درختچه‌ها در آن ۳۱۷۹/۲۵ متر مربع در هکتار و مجموع سطح مقطع آن‌ها ۱۳/۰۵ متر مربع در هکتار هستند که در این میان سهم گونه بلوط ایرانی دانه‌زاد به‌ترتیب ۹۰/۲ و ۸۳/۸ درصد است. سایر مشخصه‌های ساختاری توده یادشده در جدول ذیل آورده شده‌اند. در توده بلوط شاخه‌زاد به‌طور متوسط در هر هکتار ۱۲۹ درخت و جست‌گروه وجود دارند که از این تعداد ۴۸/۸ درصد دارای فرم رویشی دانه‌زاد و ۵۱/۲ درصد دارای فرم رویشی

جدول ۲- آمار توصیفی و متوسط ویژگی‌های زیست‌سنجی توده‌های مورد بررسی

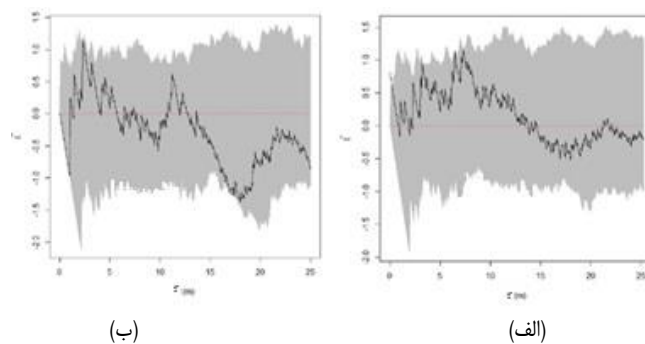
Table 2. Descriptive statistics and biometric characteristics of the investigated stands

| نام توده<br>Stand                        | شکل رویشی<br>Growth<br>form | تراکم<br>(اصلی در ha)<br>Density | تعداد جست<br>(اصلی در ha)<br>Sprout Number | قطر برابر سینه<br>(Cm)<br>Diameter at the<br>breast | سطح مقطع<br>(m <sup>2</sup> /ha)<br>Basal area | ارتفاع (m)<br>Height | قطر تاج<br>(m)<br>Crown<br>Diameter | پوشش<br>(ha/m)<br>Crown<br>area |
|------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| توده دانه‌زاد<br>High stand              | فرم دانه‌زاد                | 120                              | 0                                          | 18.55                                               | 12.97                                          | 6                    | 5.43                                | 3063                            |
|                                          | فرم شاخه‌زاد                | 3.33                             | 11                                         | 11.37                                               | 0.08                                           | 5.4                  | 6.37                                | 116.25                          |
|                                          | مجموع در هکتار              | 123.33                           | 11                                         | 18.31                                               | 13.05                                          | 5.98                 | 5.46                                | 3179.25                         |
| توده شاخه‌دانه‌زاد<br>High-Coppice stand | فرم دانه‌زاد                | 63.01                            | 0                                          | 21.36                                               | 4.1672                                         | 5.65                 | 5.36                                | 1551.76                         |
|                                          | فرم شاخه‌زاد                | 65.99                            | 342                                        | 11.06                                               | 1.0198                                         | 5.57                 | 4.55                                | 1511.52                         |
|                                          | مجموع در هکتار              | 129                              | 342                                        | 15.72                                               | 5.187                                          | 5.61                 | 4.88                                | 3062.76                         |
| توده شاخه‌زاد<br>Coppice stand           | فرم دانه‌زاد                | 10.33                            | 0                                          | 15.49                                               | 0.34                                           | 5.65                 | 4.30                                | 99.6                            |
|                                          | فرم شاخه‌زاد                | 116                              | 703                                        | 7.87                                                | 3.41                                           | 5.57                 | 4.53                                | 1917                            |
|                                          | مجموع در هکتار              | 126.33                           | 703                                        | 8.37                                                | 3.85                                           | 5.61                 | 4.44                                | 2016                            |

قرار می‌گیرد و نتیجه می‌گیریم که الگوی پراکنش مکانی درختان در قطعه نمونه‌ها و فواصل یادشده اختلاف معنی‌داری را با توزیع کاملاً تصادفی نشان نمی‌دهد.

تحلیل الگوی مکانی در توده بلوط دانه‌زاد در شکل شماره ۲ حاکی از آن است که الگوی یادشده در فواصل مختلف این توده به‌صورت تصادفی است. به عبارتی، در شکل مذکور مقدار محاسبه شده تابع  $L$  در تمامی فواصل در محدوده مونت‌کارلو





شکل ۲- نمودار تابع  $L$  و حدود مونت کارلو (محدوده خاکستری) در سه قطعه نمونه برداشت‌شده توده دانه‌زاد. خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه شده تابع  $L$ ، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حدود بالا و پایین محدوده مونت کارلو هستند.

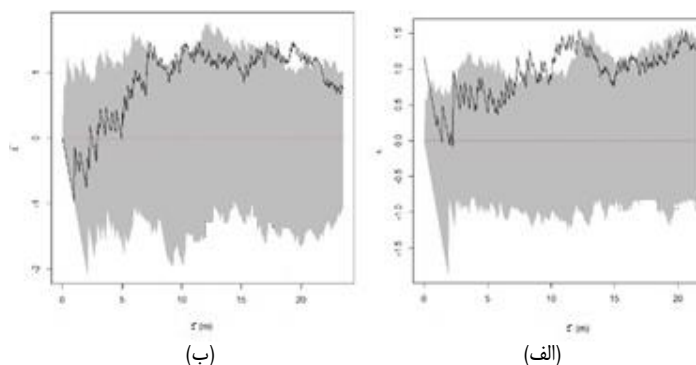
Figure 2. The graph of the L function and Monte Carlo limits (gray area) in the harvested plots of the High stand.

The bold black line indicates the calculated value of the L function, the dotted line indicates the theoretical value or the random pattern, and the gray lines indicate the upper and lower limits of the Monte Carlo range.

حالی است که در سایر فواصل تابع محاسبه شده اختلاف معنی‌داری را با الگوی پراکنش کاملاً تصادفی نشان نمی‌دهد. در قطعه نمونه (ب) به‌صورت محدود در فاصله ۱۸ تا ۲۰ متری مقدار تابع  $L$  بالاتر از محدوده مونت کارلو قرار می‌گیرد ولی در سایر فواصل محدوده فوق قرار می‌گیرد و این موضوع نشان می‌دهد که توزیع مکانی درختان و جست‌گروه‌های توده فوق نیز عمدتاً در این توده از الگوی تصادفی پیروی می‌کند.

شکل ۳ مقدار محاسبه شده تابع  $L$  در قالب نمودارهای (الف) و (ب) برای قطعات نمونه برداشت‌شده در توده شاخه‌زاد را نشان می‌دهد. در این توده نیز در اکثر فواصل الگوی مکانی گونه‌ها به‌صورت تصادفی است.

در شکل الف مقدار تابع بررسی شده فقط در فاصله ۱۰ تا ۱۳ متری در بالای محدوده مونت کارلو قرار گرفته است که نشان‌دهنده الگوی پراکنش مکانی کپه‌ای درختان و جست‌گروه‌های آن قطعه نمونه در فاصله فوق است. این در

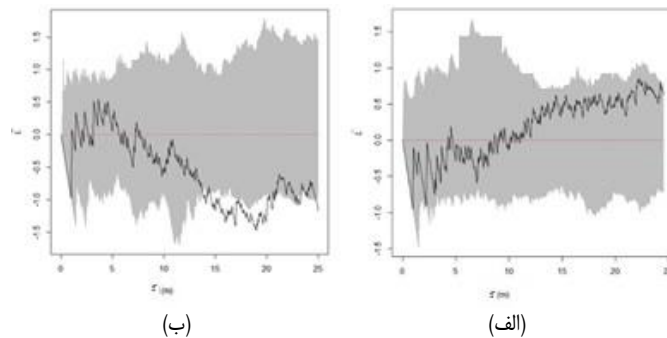


شکل ۳- نمودار تابع  $L$  و حدود مونت کارلو (محدوده خاکستری) در سه قطعه نمونه برداشت‌شده توده شاخه‌زاد: خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه شده تابع  $L$ ، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حدود بالا و پایین محدوده مونت کارلو هستند.

Figure 3. The graph of the L function and the Monte Carlo limits (gray area) in the plots of the coppice-high stand.

The bold black line indicates the calculated value of the L function, the dotted line indicates the theoretical value or the random pattern, and the gray lines indicate the upper and lower limits of the Monte Carlo range.





شکل ۴- نمودار تابع  $L$  و حدود مونت کارلو (محدوده خاکستری) در سه قطعه نمونه برداشت‌شده توده شاخه‌زاد خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه‌شده تابع  $L$ ، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حدود بالا و پایین محدوده مونت کارلو هستند.

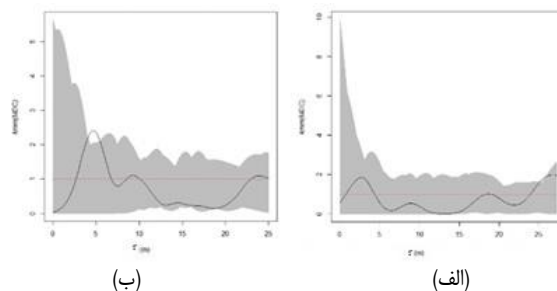
Figure 4- The diagram of the L function and the Monte Carlo limits (grey area) in the plots of the Coppice stand. The bold black line indicates the calculated value of the L function, the dotted line indicates the theoretical value or the random pattern, and the gray lines indicate the upper and lower limits of the Monte Carlo range.

بررسی نشان دادند که مقدار تابع همبستگی نشان‌دار  $K_{mm}$  مربوط در هر سه توده غالباً در محدوده مونت کارلو قرار گرفته است. این نشان می‌دهد که درختان و جست‌گروه‌های موجود در توده‌های فوق از نظر ویژگی قطر تاج به‌طور عمده به‌صورت تصادفی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و لذا بر این اساس در هر کدام از توده‌ها در اغلب فواصل همبستگی معنی‌داری بین توزیع مکانی درختان و جست‌گروه‌ها از نظر اندازه قطر تاج وجود ندارد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷). اما فقط در قطعه نمونه (ب) شکل ۵ در فواصل بسیار محدودی در توده دانه‌زاد ۴-۶ متری نمودار تابع فوق بالاتر از محدوده مونت کارلو را گرفته است و حاکی از آن است که درختان و جست‌گروه‌های توده فوق در فاصله یاد شده از نظر ویژگی ساختاری قطر تاج دارای همبستگی هستند و بین تاج درختان و جست‌گروه‌ها شباهت وجود دارد.

بررسی مقدار تابع  $L$  در محدوده مونت کارلو برای توده شاخه‌زاد در شکل ۴ نشان می‌دهد که مقدار تابع یادشده در قطعه نمونه‌های (الف) در تمامی فواصل اختلاف معنی‌داری را با الگوی پراکنش کاملاً تصادفی نشان نمی‌دهد و یا به عبارت دیگر، توزیع الگوی مکانی درختان و جست‌گروه‌ها در دو قطعه نمونه فوق عمدتاً تصادفی و در برخی فواصل محدود نیز یکنواخت است. این در حالی است که در قطعه نمونه (ب) مقدار تابع  $L$  در فاصله ۱۳ تا ۲۱ متری پایین‌تر از محدوده مونت کارلو قرار می‌گیرد و درختان و جست‌گروه‌ها در این فاصله دارای الگوی مکانی کپه‌ای هستند. در سایر فواصل بررسی شده در این قطعه نمونه نیز مانند سایر قطعه نمونه‌های توده مورد اشاره، آرایش درختان از الگوی مکانی تصادفی تبعیت می‌کند.

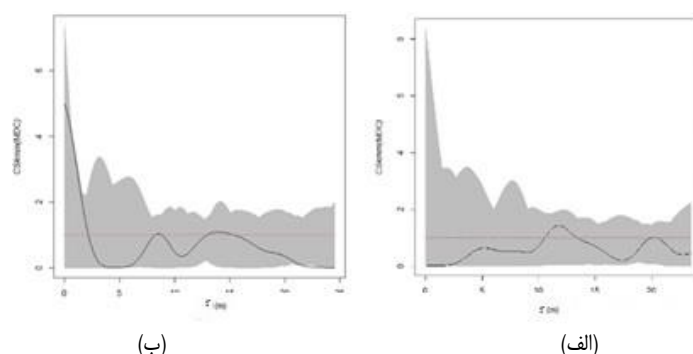
#### تابع همبستگی نشان‌دار ( $K_{mm}$ )

نتایج تجزیه و تحلیل تابع همبستگی نشان‌دار در باره ویژگی‌های قطر تاج درختان و جست‌گروه‌ها در توده‌های مورد



شکل ۵- تابع همبستگی نشان‌دار  $K_{mm}$  برای ویژگی‌های زیست‌سنجی اندازه‌گیری شده درختان توده دانه‌زاد خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه‌شده تابع همبستگی نشان‌دار، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حدود بالا و پایین محدوده مونت کارلو هستند.

Figure 8- The correlation function labeled  $K_{mm}$  for the measured trees' biometric characteristics of the High stand. The bold black line indicates the calculated value of the marked correlation function, the dotted line indicates the theoretical value or the random pattern, and the gray lines indicate the upper and lower limits of the Monte Carlo range.



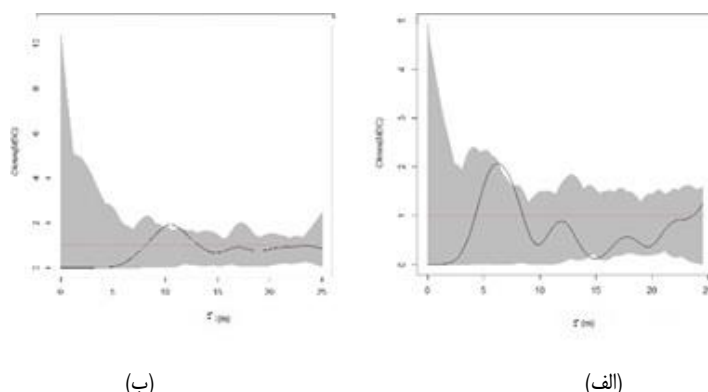
شکل ۶- تابع همبستگی نشان‌دار  $K_{mm}$  برای ویژگی‌های زیست‌سنجی اندازه‌گیری شده درختان توده شاخه-دانه‌زاد خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه شده تابع همبستگی نشان‌دار، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حدود بالا و پایین محدوده مونت کارلو هستند.

Figure 6. The correlation function labeled  $K_{mm}$  for the measured biometric characteristics of the Coppice-High stand

The bold black line indicates the calculated value of the marked correlation function, the dotted line indicates the theoretical value or the random pattern, and the gray lines indicate the upper and lower limits of the Monte Carlo range.

قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده همبستگی و شباهت درختان و جست‌گروه‌ها از نظر ویژگی ساختاری قطر تاج آنان در فواصل یاد شده هستند.

در توده شاخه‌زاد نیز به صورت بسیار محدود در دو قطعه نمونه (الف) و (ب) شکل ۷ به ترتیب در فواصل بسیار محدود ۹-۷ و ۱۱-۱۲ نمودار تابع  $K_{mm}$  بالاتر از محدوده مونت کارلو



شکل ۷- تابع همبستگی نشان‌دار  $K_{mm}$  برای ویژگی‌های زیست‌سنجی اندازه‌گیری شده درختان توده شاخه‌زاد خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه شده تابع همبستگی نشان‌دار، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حدود بالا و پایین محدوده مونت کارلو هستند.

Figure 7. The correlation function labeled  $K_{mm}$  for measured biometric characteristics of the Coppice stand  
The bold black line indicates the calculated value of the marked correlation function, the dotted line indicates the theoretical value or the random pattern, and the gray lines indicate the upper and lower limits of the Monte Carlo range.

آن‌ها به صورت شاخه‌زاد و یا شاخه و دانه‌زاد درآمده است و تنها در قسمت‌های محدودی می‌توان توده‌های دانه‌زاد را مشاهده نمود. لازمه شناخت و برنامه‌ریزی جهت مدیریت این جنگل‌ها آن است که هر کدام از توده‌های اصلی آن به صورت مجزا مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان طبق شرایط موجود در زمینه حفظ، احیاء و تغییر شکل آن‌ها اقدام نمود. تحقیق پیش رو الگوی پراکنش مکانی درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی را در توده‌های اصلی جنگل‌های بلوط زاگرس که براساس فرم رویشی تفکیک گردیده‌اند، مورد بررسی قرار می‌دهد.

کمی کردن و تجزیه و تحلیل الگوی مکانی درختان با ابعاد و شرایط رقابتی متفاوت می‌تواند در بازسازی ساختار گذشته توده و در تفسیر و شناخت مراحل تحولی که الگوی پراکنش

در کل، نتایج واریاگرام نشان‌دار برای ویژگی قطر تاج با توجه به شکل‌های فوق نشان دادند که مقدار واریوگرام محاسبه شده در اغلب فواصل در محدوده مونت کارلو قرار دارد که دلیلی بر عدم وجود ساختار مکانی معنی‌داری در توده‌های مورد بررسی از این نظر است. به بیان دیگر، درختان و جست‌گروه‌هایی که در کنار یکدیگر قرار دارند از نظر ویژگی تاج به طور تصادفی آرایش یافته‌اند و تا فاصله ۲۵ متری همچنان ساختار مکانی مشخص غیر برخی از فواصل بسیار محدود در توده شاخه‌زاد و دانه‌زاد را نشان نمی‌دهند.

در جنگل‌های واقع در کوهستان قلاجه، درختان بلوط ایرانی برای مدت‌ها در چارچوب یک برداشت سنتی تحت بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و به همین دلیل سطح گسترده‌ای از

شایان ذکر است که در حالت طبیعی الگوی پراکنش مکانی توسط فرایندهای متعددی تعیین می‌شود و فرایندهای کلیدی تعیین کننده بر حسب گونه متفاوت‌اند (He FangLiang, Legendre *et al.*, 1997). در جنگل معمولاً فرایندهای اکولوژیکی که حالت طبیعی خود را طی می‌کند الگوی کپه‌ای بسیار عمومی‌تر از الگوی یکنواخت و تصادفی است.

امروزه، تحلیل الگوی نقطه‌ای در گیاهان نه تنها کنش‌های متقابل آن‌ها با یکدیگر را با توجه به موقعیت مکانی تعیین می‌کند، بلکه تأثیر ویژگی‌های ظاهری هر گیاه بر نحوه استقرار و رشد گیاهان اطراف آن را نیز مورد مطالعه قرار می‌دهد که در بوم‌شناسی فردی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حال آن که تابع مورد استفاده نشان می‌دهد که درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در سه توده مورد بررسی به صورت تصادفی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. تأثیر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های کمی یکدیگر نیز باید مورد مطالعه قرار می‌گرفت. از آنجایی که تاج‌پوشش به عنوان یک مشخصه مهم و مناسب در آماربرداری جنگل‌های زاگرس معرفی می‌گردد و از طرفی با توجه به اینکه ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان و جست‌گروه‌ها ارتباط مستقیمی با قطر تاج دارند با استفاده از تابع  $K_{mm}$  که کمتر مورد توجه قرار گرفته است، نوع اثر تاج هر کدام از درختان و جست‌گروه‌ها بر درختان و جست‌گروه‌های اطراف آن مشخص شد. نتایج بیانگر آن هستند که درختان و جست‌گروه‌های با موجود در توده‌های مورد بررسی با قطرهای تاجی متفاوت در کنار همدیگر قرار گرفته‌اند و از این نظر به غیر از فواصل بسیار محدودی، همبستگی مکانی بین آن‌ها دیده نمی‌شود. به بیان دیگر، نتایج تابع همبستگی نشان‌دار حاکی از آن هستند که اثر مشخصه ساختاری قطر تاج در درختان و جست‌گروه‌های موجود در توده‌های مورد بررسی بر یکدیگر نمی‌تواند بیانگر اثر تسهیل‌کنندگی مثبت یا منفی آن‌ها بر هم باشد.

با توجه به اهمیت حفظ، احیاء و صیانت از جنگل‌های زاگرس به واسطه نقش بدون انکار آن‌ها در حفظ آب و خاک، تعدیل آب و هوا، تعادل اقتصادی اجتماعی و ... نتایج این تحقیق می‌تواند نکات مهمی را در اختیار جنگل‌شناسان و دست‌اندرکاران بخش احیاء جنگل در سازمان‌های ذی‌ربط قرار دهد. الگوی طبیعی جنگل‌های بلوط عموماً به صورت کپه‌ای است و فرم رویشی دانه‌زاد نیز فرم مطلوب طبیعت است و از طرفی متأسفانه امروزه به دلایل متعددی که قبلاً نیز به پاره‌ای از آن‌ها اشاره گردید ماهیت قسمت عمده این جنگل‌ها به توده‌های شاخه‌زاد تبدیل شده‌است. بنا بر این، پیشنهاد می‌گردد که مطالعات دیگری در سایر مناطق زاگرس به تفکیک توده‌های آن مناطق صورت گیرند تا با اطمینان بیشتری در خصوص الگوی مکانی آن‌ها نتیجه‌گیری کرد تا بتوان آن‌ها را در عملیات جنگل‌شناسی و جنگل‌کاری مورد استفاده قرار داد.

کنونی درختان را به وجود آورده‌اند، مفید باشند. همچنین، نحوه پراکنش پایه‌های درختی و درختچه‌ای یک جنگل و نحوه قرارگیری‌شان نسبت به درختان همان گونه و پایه‌های سایر گونه‌ها، اطلاعات فراوانی از جمله درک ارتباط بین گونه‌ها، اتخاذ شیوه‌های جنگل‌شناسی، انتخاب روش آماربرداری و بهبود مدل‌های پویایی را در اختیار جنگل‌داران و اکولوژیست‌های جنگل قرار می‌دهد (Pourbabaei, Navgaran *et al.*, 2012). مثلاً برای یک گونه، الگوی قرارگیری پایه‌های درختان در کنار یکدیگر می‌تواند از یک طرف به معنی تمرکز منطقه‌ای زادآوری باشد و از سوی دیگر ممکن است محدودیت رشدی برای آن گونه تلقی شود، بنا بر این، آشیان اکولوژیک حضور یک گونه گیاهی به طور مستقیم تحت تأثیر الگوی پراکنش افراد جمعیت‌های آن گونه قرار می‌گیرد (Mou Jones *et al.*, 2005).

بر اساس یافته‌های این پژوهش، تراکم‌های درختان و جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در توده‌های دانه‌زاد، شاخه-دانه‌زاد و شاخه‌زاد به ترتیب ۱۲۳، ۱۲۹ و ۱۲۹ پایه در هکتار هستند و سطوح تاج پوشش آن‌ها نیز در توده‌های فوق به ترتیب ۳۰/۶۳ و ۱۹/۸ درصد هستند.

نتایج پژوهش بیانگر آن هستند که هر سه توده مورد بررسی در منطقه از نظر الگوی پراکنش مکانی به طور عمده از الگوی مکانی تصادفی پیروی می‌کنند. در مطالعات گذشته (Erfanifard, 2016; Akhavan Parhizkar *et al.*, 2017; Karimi & Fallah, 2017; Salimi Aghbash *et al.*, 2019) نیز به الگوی پراکنش مکانی تصادفی دست یافته‌اند ولی این موضوع با برخی مطالعات (Heidari Zobeiri *et al.*, 2015; Pourhashemi, 2007) مطابقت ندارد. الگوی پراکنش مکانی تصادفی در جنگل‌های بلوط منطقه می‌تواند ناشی از عدم زادآوری طبیعی یا اختلال در آن یا به بیانی دیگر فشارها و دخالت‌های مختلف موجود در منطقه به خصوص چرای مفرط دام و قطع‌های بی‌رویه به منظور تأمین مصارف ساکنان این جنگل‌ها در گذشته و حال باشد (این جنگل‌ها محل چرای عشایر بزرگ استان در تابستان و همچنین محل تردد بسیاری از ایلات در کوچ‌های بهار و پاییز به مناطق ییلاقی و قشلاقی هستند). یکی دیگر از دلایلی که می‌تواند باعث ایجاد مدل تصادفی در جنگل شود رسیدن به مرحله بلوغ و عدم نیاز به پایه‌های مادری است. در این تحقیق، وجود بیشتر درختان و جست‌گروه‌هایی با قطر بالا نسبت به پایه‌هایی از آن‌ها با قطرهای پایین‌تر دلیلی بر این مدعا است. در سه توده مورد بررسی، فقط در فواصل بسیار محدودی و آن هم در فاصله‌های متفاوت به دلیل تفاوت‌های شرایط محیطی، الگوی پراکنش مکانی به صورت کپه‌ای و یکنواخت نیز یافت می‌شود. Safari (2011) Shabanian *et al.* نیز بهره‌برداری بی‌رویه جنگل را دلیل از بین رفتن حالت کپه‌ای جنگل به سمت پراکنش تصادفی می‌دانند.

## References

- Delfan Abazari, B., & Sagheb-Talebi, K. (2007). Diameter and height increment process of oriental beech (*Fagus orientalis*) in natural Caspian forests; Kelardasht region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4), 328-320.

- Aguirre, O., Hui, G., von Gadow, K., & Jiménez, J. (2003). An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183(1-3), 137-145.
- Akhavan, R., Parhizkar, P., Amanzadeh, B., & Mohammadnezhad Kiasari, S. (2017). Intra-specific competition of beech using Mark Correlation Function (MCF) in the Hyrcanian forests of Iran. *Forest and Wood Products*, 70(4), 637-648.
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, K., Hassani, M., & 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*, 322-336
- Akhtari, M. H., Mataji, A., Babaei Kafaki, S., & Kiadaliri, H. (2023). Spatiotemporal dynamics of trees distribution patterns following disturbance caused by decline in the oak forests of Lorestan province. *Forest Research and Development*, 9(3), 401-418.
- Alavi, S. J., Amiri, G. Z., & Mohajer, M. M. (2005). An investigation of spatial pattern in Wych elm (*Ulmus glabra*) in Hyrcanian forest, case study: Kheyroudkenar Forest, Noshahr. *Iranian Journal of Natural Resources*, 58(4), 793-804.
- Baddeley, A., Rubak, E., & Turner, R. (2016). *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R* (Vol. 1). Boca Raton: CRC press.
- Clark, J. S., Silman, M., Kern, R., Macklin, E., & HilleRisLambers, J. (1999). Seed dispersal near and far: patterns across temperate and tropical forests. *Ecology*, 80(5), 1475-1494.
- Churchill, D. J., Larson, A. J., Dahlgreen, M. C., Franklin, J. F., Hessburg, P. F., & Lutz, J. A. (2013). Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. *Forest Ecology and Management*, 291, 442-457.
- Cressie, N. (2015). Statistics for spatial data, John Wiley & Sons.
- Dagley, C. M. (2008). Spatial pattern of coast redwood in three alluvial flat old-growth forests in northern California. *Forest Science*, 54(3), 294-302.
- Dale, M. R., & Dale, M. R. T. (2000). *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. Cambridge university press.
- Erfanifard, Y. (2016). Analysing the effect of intraspecific competition on biometric attributes of Persian oak coppice trees using pair-and mark-correlation functions in Zagros forests. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 23(2), 89-109.
- Erfanifard, Y., & Kariminejad, N. (2015). Efficiency of different summary statistics in modelling spatial point patterns of Christ's thorn jujube trees (*Ziziphus spina-christi* (L.) Wild.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3), 413-423.
- Erfanifard, Y., & Naziry, F. (2017). Comparison of Ripley's K-, pair correlation, and O-ring functions in spatial pattern analysis of Christ's thorn jujube trees (*Ziziphus spina-christi*) in Fars province. *Forest and Wood Products*, 70(1), 1-9.
- Felinks, B., & Wiegand, T. (2008). Exploring spatiotemporal patterns in early stages of primary succession on former lignite mining sites. *Journal of Vegetation Science*, 19(2), 267-276.
- Fibich, P., Lepš, J., Novotný, V., Klimeš, P., Těšitel, J., Molem, K., ... & Weiblen, G. D. (2016). Spatial patterns of tree species distribution in New Guinea primary and secondary lowland rain forest. *Journal of Vegetation Science*, 27(2), 328-339.
- Getzin, S., Wiegand, T., Wiegand, K., & He, F. (2008). Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *Journal of Ecology*, 96(4), 807-820.
- Gratzer, G., & Waagepetersen, R. P. (2018). Seed dispersal, microsites or competition—What drives gap regeneration in an old-growth forest? An application of spatial point process modelling. *Forests*, 9(5), 230.
- Hao, H. M., Huang, Z., Lu, R., Jia, C., Liu, Y., Liu, B. R., & Wu, G. L. (2017). Patches structure succession based on spatial point pattern features in semi-arid ecosystems of the water-wind erosion crisscross region. *Global Ecology and Conservation*, 12, 158-165.
- Fangliang, H., Legendre, P., & LaFrankie, J. V. (1997). Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science*, 8(1), 105-114.
- Heidari, R. H., Zobeiri, M., Namiranian, M., & Sobhani, H. (2007). Application of T-square sampling method in Zagross forests (Case Study: Kermanshah province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(1), 42-32.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., & Stoyan, D. (2008). Statistical analysis and modelling of spatial point patterns. John Wiley & Sons.
- Janzen, D. H. (1970). Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist*, 104(940), 501-528.
- Ledo, A., Montes, F., & Condés, S. (2012). Different spatial organisation strategies of woody plant species in a montane cloud forest. *Acta Oecologica*, 38, 49-57.
- Kang, D., Guo, Y., Ren, C., Zhao, F., Feng, Y., Han, X., & Yang, G. (2014). Population structure and spatial pattern of main tree species in secondary *Betula platyphylla* forest in Ziwuling Mountains, China. *Scientific Reports*, 4(1), 6873.

- Karimi, M., & Fallah, A. (2017). Spatial Pattern and Interaction Analysis of *Quercus Brantii* Lindl. and *Pistacia Atlantica* Desf. in Qalajeh Forests of Kermanshah using K2 Function. *Ecology of Iranian Forest*, 5(9), 8-16. [In Persian]
- Kariminejad, N., Erfanifard, S. Y., Shamsi, S. R. F., & Sadeghi, H. (2017). Analyzing the effect of clustered spatial distribution of mount Atlas mastic (*Pistacia atlantica* Desf.) trees on their biometric characteristics using mark-correlation function in Baneh Research Forest, Fars province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(2), Pe264-Pe273.
- Khan, M. N. I., Sharma, S., Berger, U., Koedam, N., Dahdouh-Guebas, F., & Hagihara, A. (2013). How do tree competition and stand dynamics lead to spatial patterns in monospecific mangroves?. *Biogeosciences*, 10(4), 2803-2814.
- Khanhasani, M., Akhavan, R., Sagheb-Talebi, K., & Vardanyan, Z. H. (2013). Spatial patterns of oak species in the Zagrosian forests of Iran. *International Journal of Biosciences*, 3(8), 68-75.
- Kint, V., & Noël, L. (2004). Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modelling*, 180(4), 461-476.
- Mou, P., Jones, R. H., Guo, D., & Lister, A. (2005). Regeneration strategies, disturbance and plant interactions as organizers of vegetation spatial patterns in a pine forest. *Landscape Ecology*, 20(8), 971-987.
- Nazariani, N., Fallah, A., Ramezani Moziraji, H., Naghavi, H., & Jalilvand, H. (2019). Explanation of Spatial Pattern of Species (*Quercus persica* J. & Sp.) In Zagros Vegetative Zone Using the O-ring Statistics. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 26(3), 83-96.
- Parhizkar, P., Hassani, M., & Hallaj, M. H. S. (2018). Gap characteristics under oriental beech forest development stages in Kelardasht forests, northern Iran. *Journal of Forest Science*, 64(2), 59.
- Piao, T., Comita, L. S., Jin, G., & Kim, J. H. (2013). Density dependence across multiple life stages in a temperate old-growth forest of northeast China. *Oecologia*, 172(1), 207-217.
- Pommerening, A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 75(3), 305-324.
- Pourbabaei, H., Navgaran, S. Z., & Adel, M. N. (2012). Spatial pattern of three Oak species in Chenare forest of Marivan, Kordestan. *Journal of Natural Environment*, 65(3), 329-339.
- Pourhashemi, M. (2015). Spatial pattern of sprout-clumps of Brants oak (*Quercus brantii* Lindl.) in utilized forest stands of Marivan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(4), 534-543.
- Ripley, B. D. (2005). Spatial statistics. John Wiley & Sons.
- Ripley, B. D., & Thompson, M. (1987). Regression techniques for the detection of analytical bias. *Analyst*, 112(4), 377-383.
- Rostami, A. (2018). The evaluation of spatial distribution pattern of Indicator species forests of Ghalarang protected area in Ilam province. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(4), 843-852.
- Safari, A., Shabanian, N., Heidari, R. H., Erfanifard, S. Y., & Pourreza, M. (2010). Spatial pattern of Manna Oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) in Bayangan forests of Kermanshah. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(4), 608-596.
- Sagheb-Talebi, K. H., Sajedi, T., & Yazdian, F. (2004). Forests of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands. *Forest Research Division*, 339, 28.
- Salimi, A., Aghbash, F. G., & Pourreza, M. (2019). Spatial pattern of *Anagyris foetida* L. shrubs in the Zagros forests. *Iranian Journal of Forest*, 11(1), 135-150.
- Sefidi, K., Firouzi, Y., Keivan Behju, F., Sharari, M., & Rostamikia, Y. (2018). Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region. *Iranian Journal of Forest*, 10(2), 207-220. [In Persian]
- Stoll, P., & Bergius, E. (2005). Pattern and process: competition causes regular spacing of individuals within plant populations. *Journal of Ecology*, 395-403.
- Khan, M. N. I., Sharma, S., Berger, U., Koedam, N., Dahdouh-Guebas, F., & Hagihara, A. (2013). How do tree competition and stand dynamics lead to spatial patterns in monospecific mangroves?. *Biogeosciences*, 10(4), 2803-2814.
- Stoyan, D. (1984). On correlations of marked point processes. *Mathematische Nachrichten*, 116(1), 197-207.
- Szmyt, J. (2014). Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica*, 48(1).