

ارزیابی کارایی شاخص‌های فاصله‌ای در برآورد الگوی پراکنش مکانی در توده‌های آمیخته جنگل ارسباران

رویا عابدی*^۱، راهله استاد هاشمی^۲

۱ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران
۲ استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۹؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹)

چکیده

نحوه پراکنش مکانی درختان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری توده جنگلی است که به‌عنوان شاخصی از مراحل توسعه، تنوع زیستی، ثبات اکولوژیکی، فرآیندهای رقابت و عملکرد کلی اکوسیستم‌های جنگلی محسوب می‌شود. از این رو هرگونه تغییر در پراکنش مکانی درختان، نقش مهمی در اکوسیستم جنگل دارد. هدف پژوهش حاضر بررسی کارایی شاخص‌های فاصله تا همسایه، ابرهات، هاپکینز و جانسون-زایمر در برآورد پراکنش الگوی مکانی توده‌های طبیعی جنگلی در منطقه ارسباران بود. برای جمع‌آوری اطلاعات از عرصه، از روش فاصله‌ای نزدیکترین همسایه‌ها در ۶۰ نقطه نمونه برداری استفاده شد. در هر نقطه قطر و ارتفاع درختان مرجع و سه درخت همسایه در نزدیکترین فاصله از درخت مرجع و فاصله و آزیموت بین آنها اندازه‌گیری و ثبت شد. شاخص فاصله همسایگی بین درختان نشان داد که میانگین فاصله‌های اندازه‌گیری شده $۰/۰۸ \pm ۴/۲$ متر بود و طبقه ۴ تا ۶ متر دارای بیشترین فراوانی در بین فواصل اندازه‌گیری شده بود. مقدار شاخص ابرهات $۱/۰۸$ ، شاخص هاپکینز $۰/۶۳$ و شاخص جانسون-زایمر $۱/۲۹$ و در نهایت الگوی پراکنش درختان، یکنواخت نشان داده شد. آزمون‌های آماری در مطالعه حاضر الگوهای پیش‌بینی شده توسط این شاخص‌ها را در سطح ۹۵٪ تایید کردند. به دلیل اقدامات حفاظتی صورت گرفته در جنگل ارسباران، این منطقه می‌تواند نشان‌دهنده الگوی واقعی پراکنش گونه‌ها باشد بنابراین الگوی به‌دست آمده تا حدود زیادی قابل اطمینان خواهد بود به این ترتیب پیشنهاد می‌شود که نقشه الگوی پراکنش برای هرگونه درختی در منطقه تهیه شود، تا ضمن در اختیار قرار دادن نتایج مناسب‌تر و دقیق‌تری از ساختار توده و امکان تکمیل بانک اطلاعات اکولوژیکی منطقه، داده‌های با ارزشی در کمک به برنامه‌های مدیریتی منطقه فراهم شود.

کلید واژه‌ها: الگوی پراکنش مکانی، شاخص ابرهات، شاخص هاپکینز، شاخص جانسون-زایمر، شاخص فاصله تا همسایه، جنگل ارسباران

سرآغاز

در یک اکوسیستم جنگلی، نحوه پراکنش مکانی درختان به وسیله ترسیم نقطه‌ای موقعیت درختان در یک صفحه افقی نشان داده می‌شود. نحوه پراکنش مکانی درختان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری توده است و ساختار جنگل به‌عنوان شاخصی از مراحل توسعه پایدار، تنوع زیستی، ثبات اکولوژیکی، فرآیندهای رقابت و عملکرد کلی اکوسیستم‌های جنگلی محسوب می‌شود از این رو هرگونه تغییر در پراکنش مکانی درختان، نقش مهمی در اکوسیستم دارد (Stamatellos & Panourgias, 2005; Gradel et al., 2015). الگوی مکانی پیامد پاسخ‌های چندگانه زیستی جمعیت‌ها، روابط بین گونه‌ای، درون گونه‌ای و عوامل محیطی است و نشان‌دهنده الگوی پراکنش گونه‌ها در محیط است که تاثیر عمیقی بر بقای آنها در محیط‌های با شرایط گوناگون دارد و شناخت این الگوها در بررسی نحوه عملکرد بوم‌شناختی توده استفاده می‌شود (Basiri et al., 2006; Farhadi et al., 2017). مطالعه الگوی پراکنش مکانی از آن جهت دارای اهمیت است که از مقدمات و ضروریات بررسی‌های پوشش گیاهی و به‌عنوان یکی از جنبه‌های مهم اکولوژی گیاهی محسوب می‌شود. شناخت نحوه پراکنش مکانی درختان کاربرد فراوانی در تعیین نحوه دخالت مدیریتی و جنگل‌شناسی توده‌های جنگلی، شناسایی ویژگی‌های ارزیابی توان رویشگاه، شناخت الگوی مناسب در استقرار زادآوری به‌عنوان بقای جنگل‌ها و کلید راهنمایی برای شناسایی متغیرهای اکولوژیک بوده و مرحله‌ای اساسی برای فهم پویایی جنگل و اکولوژی کمی است (Alavi et al., 2005). از این رو، برای تعیین خطوط راهنما در اندازه‌گیری آشیان اکولوژیک و مطالعه چگونگی توسعه و تحول اختلالات به‌منظور بررسی رویش جنگل استفاده می‌شود. این نوع مطالعه‌ها در تشریح پایداری اکوسیستم، اقدام‌های حفاظتی و احیایی مفید است و به درک صحیحی از ارتباط بین گونه‌ها منجر می‌شود (Pourbabaei et al., 2012). شناخت وضعیت الگوی پراکنش در شناسایی فرآیندهای طبیعی توده شامل تعاملات بین گیاهان و درک نوع همزیستی بین آنها در توده‌های جنگلی، شناسایی روش مناسب آماربرداری و نمونه‌برداری توده، راهنمای اعمال تکنیک‌های مدیریتی در توده‌های طبیعی و شناسایی مدل‌های پویایی جنگل کمک خواهد کرد (Stamatellos & Panourgias, 2005; Basiri et al., 2011; Carrer et al., 2018; Guo et al., 2013). بررسی

ساختار و الگوی پراکنش مکانی شواهد تجربی دقیقی برای بهبود روش‌های بازسازی جمعیت در اختیار قرار می‌دهد. چرا که جوامع گیاهی تحت تغییر در شرایط مختلف زنده و غیرزنده شامل جوامع میکروبی خاک، تراکم توده، چرای دام، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، میکروتوپوگرافی و عوامل محیطی، الگوهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. بنابراین مطالعه الگوی مکانی در جوامع گیاهی دارای پتانسیل فراوانی در پاسخ به سوال‌هایی در زمینه‌های خاک، رقابت و پویایی توالی گیاهی است (Pinno, 2018; Gupta & 2018).

با مشاهده عینی و بدون تحقیق نمی‌توان به الگوی پراکنش گیاهان دست یافت. زیرا، الگوی پراکنش یک ویژگی کیفی است که باید به کمیّت تبدیل شود (Basiri et al., 2006; Farhadi et al., 2017). محاسبه‌های مربوط به ساختار جنگل به وسیله شاخص‌های کاربردی به‌راحتی انجام می‌شود و به دو دسته کلی، ساختار مکانی و ساختار غیرمکانی تقسیم می‌شوند. شاخص‌های غیرمکانی شامل محاسبه‌های مربوط به تعداد در هکتار، سطح مقطع و فراوانی نسبی گونه‌ها است. اما، ساختار مکانی افقی مربوط به پراکنش مکانی گونه‌ها، غلبه درختان همسایه و ترکیب گونه‌ها است (Gradel et al., 2015). به این ترتیب الگوی پراکنش تعیین شده، به دو بخش تصادفی و غیرتصادفی (منظم/یکنواخت) و کپه‌ای تقسیم می‌شود.

روش‌های عمده برای تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان به‌عنوان شاخه‌ای از آمار مکانی وجود دارد که شامل روش قطعه‌نمونه با مساحت ثابت و روش‌های فاصله‌ای است. روش قطعه نمونه ثابت اگرچه روشی مناسب و با قابلیت اجرایی در عرصه جنگل و برآوردها است اما بسیار وابسته به اندازه قطعه نمونه است. در روش فاصله‌ای که براساس یک نقطه صورت می‌گیرد، اطلاعات براساس فاصله درختان مرجع از همسایه‌هایشان ثبت می‌شود، این روش اطلاعات بهتری از الگوی مکانی درختان در اختیار قرار می‌دهد اما با این حال روشی است که در برداشت اطلاعات نیازمند کار دقیق در عرصه است (Panourgias, 2005; Akhavan et al., 2010). مشخصه توزیع پراکنش مکانی موضوعی است که رابطه نزدیکی با روش نمونه‌برداری دارد (Carrer et al., 2018). بر اساس مطالعات گذشته، الگوی پراکنش مکانی به وسیله سه روش قابل اندازه‌گیری است: -پراکنش تعداد درختان در قطعه نمونه با اندازه مشخص، - فاصله درختان نسبت به هم و نحوه پراکنش آنها، - زاویه هر

برای حفاظت و دوام آن ضروری است. بنابراین، در مطالعه حاضر توده‌های درختی در منطقه جنگلی ارسباران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های جنگلی کشور مطالعه شد و هدف پژوهش حاضر شناسایی پراکنش الگوی مکانی طبیعی توده‌های طبیعی جنگلی و ارزیابی کارایی شاخص‌های فاصله‌ای در منطقه ارسباران بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

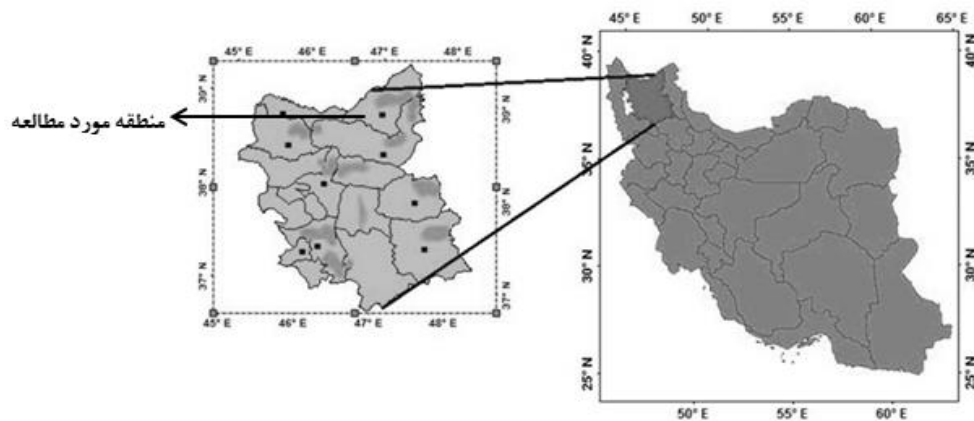
منطقه جنگلی ارسباران در شمال غرب کشور واقع در مختصات ۳۸ درجه عرض جغرافیایی و ۴۶ درجه طول جغرافیایی، با دامنه ارتفاعی ۳۵۰ تا ۲۸۵۰ متر بالاتر از سطح دریا، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق رویشی کشور با تنوع گونه‌ای بسیار بالا است (Jalili et al., 2003). آمار ۱۲ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۰) ایستگاه هواشناسی شهرستان کلبر نشان می‌دهد که متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۴۰۵/۱ میلی‌متر در سال است. بیشتر ریزش‌های جوی به‌صورت باران و برف بوده و با توجه به تعداد روزهای مه‌خیز در منطقه، مه نقش مهمی در بیان آبی این منطقه دارد. بالاترین میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۳/۲ سانتی‌گراد (۱۳۸۹) و پایین‌ترین میانگین ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد (۱۳۹۰) بوده است. متوسط دمای سالیانه ۱۲/۲۲ درجه سانتی‌گراد است. ضریب خشکی دومرتن ۲۳/۸۲ و منطقه اقلیم مدیترانه‌ای دارد. از نظر زمین‌شناسی متعلق به دوران سوم بوده و منشه صخره‌های منطقه مربوط به زمان کرتاسه است و قسمت عمده سنگ‌شناسی آن را واحدهای آهکی و آذرین از شیست، سنگ آهک و کنگلومرا تشکیل داده است. خاک از نوع لوم با pH بالا و میزان کم فسفر قابل دسترس است و در ارتفاعات بالا رسی و آهکی‌تر می‌باشد ولی در مناطق پست، ماسه‌ای با pH پایین‌تر بوده و در نقاط جنگلی نیز بیشتر از نوع خاک قهوه‌ای جنگلی و قهوه‌ای آهکی است (Hamzeh'ee et al., 2010; Ghanbari Sharafeh et al., 2010; Safari et al., 2018).

روش کار

به‌منظور مطالعه الگوی مکانی درختان، روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از معمول‌ترین آنها، روش فاصله‌ای است. شاخص‌ها در این روش براساس اندازه‌گیری فواصل و زاویه بین درختان محاسبه می‌شوند که روشی ساده و در عین حال با دقت محسوب می‌شود (Farhadi et al., 2017).

درخت نسبت به همسایه‌اش و پراکنش آنها. به‌این ترتیب مطالعه در این زمینه نیز بر اساس نتایج این روش‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: قطعه نمونه‌ای، فاصله‌ای و شاخص زاویه یکنواخت، که امروزه روش فاصله‌ای توسعه بیشتری در بررسی الگوی پراکنش یافته و روابط و توابع ریاضی کاربرد گسترده‌ای در این زمینه پیدا کرده است (Gangying et al., 2007).

(Gangying et al., 2007) از شاخص زاویه یکنواخت به‌منظور بررسی الگوی مکانی درختان در جنگل‌های کشور چین استفاده کرده و نشان دادند که این شاخص توانایی بالایی در تعیین الگوی پراکنش دارد. (Basiri et al., 2011) الگوی پراکنش مکانی را به‌عنوان مشخصه مهم اکولوژیکی در جوامع گیاهی در جنگل‌های استان کردستان بررسی کردند و الگوی کپه‌ای را برای گونه‌های مورد مطالعه در منطقه نشان دادند. (Gradel et al., 2015) ساختار افقی توده‌های جنگلی در منطقه تایگا را با الگوی پراکنش کلی توده غیرتصادفی و از نوع کپه‌ای به‌دست آوردند. (Ghalandarayeshi et al., 2017) جنگل‌های راش (*Fagus sylvatica*) در کشور دانمارک را مورد بررسی الگوی پراکنش مکانی قرار دادند و از شاخص‌های زاویه یکنواخت، اختلاط گونه و شاخص‌های تمایز استفاده کردند و الگوی پراکنش خوشه‌ای را برای منطقه مورد مطالعه نشان دادند. (Hajimirza Aghaei et al., 2010) الگوی پراکنش گونه‌ای را در واحدهای بوم‌شناختی در جنگل سردآبرود چالوس بررسی کرده و الگوی کپه‌ای را در منطقه با استفاده از شاخص‌های گرین، استاندارد شده و موربیسیتا معرفی کردند. (Soltanian et al., 2017) الگوی پراکنش مکانی را در جنگل‌های بانه کردستان با استفاده از شاخص‌های ابرهارت، هینز، هاپکینز و شاخص C، بررسی کرده و الگوی کپه‌ای را نشان دادند. همچنین گونه‌های مختلف چوبی در ذخیره‌گاه جنگلی چهارطاقی، اردل (Sohrabi, 2014)، توده‌های کمتر دست خورده و تخریب شده (Biabani et al., 2016)، توده‌های آمیخته گونه ممرز (Amanzadeh et al., 2015)، بررسی کارایی شاخص‌های فاصله‌ای و تراکمی (Erfanifard et al., 2012)، توده‌های راش (Karami et al., 2012; Akhavan et al., 2010; Nouri et al., 2013) در مناطق رویشی مختلف در کشور مورد بررسی الگوی پراکنش مکانی قرار گرفته‌اند. منطقه حفاظت‌شده ارسباران به‌عنوان یکی از رویشگاه‌های جنگلی مهم در کشور اما با اطلاعات تحقیقاتی محدود معرفی شده است (Jalili et al., 2003) زیستگاه گونه‌های بسیار مهم و کمیابی است که مطالعه‌های علمی



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

مرطوب گسترش دارد (Nagy & Ducci, 2004). از آنجا که توده مورد مطالعه دارای گونه‌های آمیخته بوده و از طرف دیگر الگوی پراکنش گونه کرب در کشور بررسی نشده است، این گونه به عنوان گونه مرجع و سایر گونه‌ها به عنوان گونه‌های همسایه در مطالعه حاضر انتخاب شدند.

در مرحله تحلیل داده‌ها از شاخص‌های پراکنش شامل شاخص فاصله تا همسایه، شاخص ابره‌ارت، شاخص هاپکینز و شاخص پراکنش جانسون-زایمر با استفاده از روابط (۱ تا ۶) استفاده شد. سپس هر یک از شاخص‌ها در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد با استفاده از آزمون‌های مربوط به هر شاخص مورد آزمون قرار گرفتند (Heydari et al., 2011; Mirjalili et al., 2008; Kiani et al., 2013 Erfanifard & Mahdian, 2012; Soltanian et al., 2017; Zabiollahi et al., 2015).

شاخص فاصله تا همسایه: مقدار این شاخص که بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود نشان‌دهنده تعداد پایه‌های درختی در واحد سطح و میانگین فاصله درختان همسایه بر اساس متوسط فاصله‌های اندازه‌گیری شده است.

$$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j \quad (1)$$

D_i شاخص فاصله تا همسایه، n اندازه نمونه، S_j فاصله j امین درخت همسایه تا درخت مرجع.

شاخص ابره‌ارت: مقادیر محاسبه شده این شاخص برای حالت‌های پراکنش کپه‌ای، یکنواخت و تصادفی به ترتیب باید از مقدار مبنای ۱/۲۷ بیشتر، کمتر و برابر باشد. همچنین به منظور آزمون این شاخص از جدول هینز (جدول ۱) که جدولی دو عامله بر اساس n و سطح احتمال است استفاده می‌شود، به این ترتیب که اگر مقدار شاخص بیشتر از مقدار استخراج شده باشد الگوی

بنابراین در مطالعه حاضر به منظور محاسبه شاخص‌های الگوی پراکنش مکانی از روش فاصله‌ای نزدیکترین همسایه‌ها استفاده شد که در مطالعه‌های مختلف تایید صحت این روش در تعیین الگوی مکانی درختان گزارش شده است (Sefidi et al., 2018; Farhadi et al., 2017; Hoseinpoor et al., 2017; Erfanifard et al., 2012; Mirzaei et al., 2016). به منظور پراکنش مناسب نقاط نمونه‌برداری در روش فاصله‌ای، از یک شبکه منظم به ابعاد ۳۰ متر × ۳۰ متر استفاده شد که در شش قطعه نمونه به مساحت یک هکتار (به عنوان مساحت بهینه در مطالعه‌های ساختار توده) در منطقه پیاده شدند (Etemad et al., 2017) به این ترتیب در مجموع از ۶۰ نقطه نمونه‌برداری استفاده شد. در هر نقطه قطر، ارتفاع، فاصله و آزمون درختان مرجع و سه درخت همسایه در نزدیکترین فاصله از درخت مرجع اندازه‌گیری و در فرم‌های آماربرداری ثبت شد. در این پژوهش گونه کرب جنگل ارسباران به عنوان گونه مرجع انتخاب شد. دامنه پراکنش این گونه در بیشتر نقاط اروپا از شمال انگلستان تا جنوب سوئد، از قسمت‌های جنوبی روسیه و به ندرت در منطقه مدیترانه، در شمال آفریقا تا قفقاز و سواحل جنوبی دریای خزر، به طور کلی از عرض جغرافیایی ۳۸ تا ۵۵ درجه شمالی گزارش شده است. گونه‌ای خزان‌کننده با ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ متر با برگ‌های متقابل دارای ۳ تا ۵ لوب که لوب بالا دارای یک دندان بزرگ در هر دو طرف است. این گونه اغلب در ارتفاعات بالا ظاهر می‌شود به طوری که در اروپا در ارتفاع ۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریا در سوئیس در ارتفاع ۱۴۰۰ متر و در حوزه قفقاز در ارتفاع ۱۸۰۰ متر پراکنش دارد. اغلب این گونه به عنوان گونه همراه با بلوط مشاهده می‌شود و در مناطق

کپه‌ای و کمتر از مقدار استخراج شده از جدول باشد الگوی یکنواخت مورد پذیرش است (رابطه ۲).
 I_E شاخص ابرهات، n اندازه نمونه، S انحراف معیار مشاهده شده فاصله‌ها، \bar{X} میانگین فاصله‌های مشاهده شده.

$$I_E = \left(\frac{S}{\bar{X}}\right)^2 + 1 \quad (2)$$

جدول (۱): مقادیر جدول هینز برای تعداد قطعه نمونه و سطوح احتمال (Krebs, 1999)

n	Regular alternative				Aggregated alternative			
	0.005	0.01	0.025	0.05	0.05	0.025	0.01	0.005
5	1.0340	1.0488	1.0719	1.0932	1.4593	1.5211	1.6054	1.6727
6	1.0501	1.0644	1.0865	1.1069	1.4472	1.5025	1.5769	1.6354
7	1.0632	1.0769	1.0983	1.1178	1.4368	1.4872	1.5540	1.6060
8	1.0740	1.0873	1.1080	1.1268	1.4280	1.4743	1.4743	1.5821
9	1.0832	1.0962	1.1162	1.1344	1.4203	1.4633	1.4539	1.5623
10	1.0912	1.1038	1.1232	1.1409	1.4136	1.4539	1.4456	1.5456
11	1.0982	1.1105	1.1293	1.1465	1.4078	1.4456	1.4384	1.5313
12	1.1044	1.1164	1.1348	1.1515	1.4025	1.4384	1.4319	1.5189
13	1.1099	1.1216	1.1396	1.1559	1.3978	1.4319	1.4261	1.5080
14	1.1149	1.1264	1.1439	1.1598	1.3936	1.4261	1.4209	1.4983
15	1.1195	1.1307	1.1479	1.1634	1.3898	1.4209	1.4098	1.4897
17	1.1292	1.1399	1.1563	1.1710	1.3815	1.4098	1.4008	1.4715
20	1.1372	1.1475	1.1631	1.1772	1.3748	1.4008	1.3870	1.4571
25	1.1498	1.1593	1.1738	1.1868	1.3644	1.3870	1.3768	1.4354
30	1.1593	1.1682	1.1818	1.1940	1.3565	1.3768	1.3689	1.4197
35	1.1668	1.1753	1.1882	1.1996	1.3504	1.3689	1.3625	1.4077
40	1.1730	1.1811	1.1933	1.2042	1.3455	1.3625	1.3572	1.3981
45	1.1782	1.1859	1.1976	1.2080	1.3414	1.3572	1.3528	1.3903
50	1.1826	1.1900	1.2013	1.2112	1.3379	1.3528	1.3377	1.3837
75	1.1979	1.2043	1.2139	1.2223	1.3260	1.3377	1.3260	1.3619
100	1.2073	1.2130	1.2215	1.2290	1.3189	1.3289	1.3189	1.3492
150	1.2187	1.2235	1.2307	1.2369	1.3105	1.3184	1.3105	1.3344
200	1.2257	1.2299	1.2362	1.2417	1.3055	1.3122	1.3055	1.3258
300	1.2341	1.2376	1.2429	1.2474	1.2995	1.3049	1.2995	1.3158
400	1.2391	1.2422	1.2468	1.2509	1.2960	1.3006	1.2960	1.3099
500	1.2426	1.2454	1.2496	1.2532	1.2936	1.2977	1.2936	1.3059

r_i فاصله بین همسایه‌ها

- شاخص پراکنش جانسون-زایمر: اگر مقدار شاخص جانسون-زایمر بر اساس رابطه (۵) برابر، کمتر و یا بیشتر از مقدار مبنای ۲ باشد الگوی پراکنش براساس این شاخص به ترتیب تصادفی، یکنواخت و کپه‌ای خواهد بود. برای آزمون معنی‌داری شاخص جانسون-زایمر مقدار Z بنا بر رابطه (۶) محاسبه شده و چنانچه مقدار آن بین اعداد $+1/96$ و $-1/96$ باشد الگوی تصادفی و در غیر این صورت الگوی پراکنش غیر تصادفی مورد قبول است.

$$I = (N + 1) \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2)^2}{\left(\sum_{i=1}^N (x_i^2)\right)^2} \quad (5)$$

$$Z = \frac{I - 2}{\sqrt{4(N - 1)/(N + 2)(N + 3)}} \quad (6)$$

- شاخص‌های کینز: مقدار شاخص هاپکینز برای الگوی پراکنش تصادفی برابر با $0/5$ ، الگوی یکنواخت $0/5$ و الگوی کپه‌ای $1-0/5$ است (رابطه ۳). شاخص h بنا بر رابطه (۴) به منظور آزمون شاخص هاپکینز محاسبه می‌شود و در صورتی که مقدار آن بین دو حد $F_{0/5}$ و $F_{9/5}$ باشد توده دارای پراکنش تصادفی است در صورتی که کمتر از $F_{9/5}$ باشد، پراکنش یکنواخت یا پراکنده و بیشتر از مقدار $F_{0/5}$ باشد پراکنش کپه‌ای خواهد بود.

$$I_H = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2)}{\sum_{i=1}^N (x_i^2) + \sum_{i=1}^N (r_i^2)} \quad (3)$$

$$h = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2)}{\sum_{i=1}^N (r_i^2)} \quad (4)$$

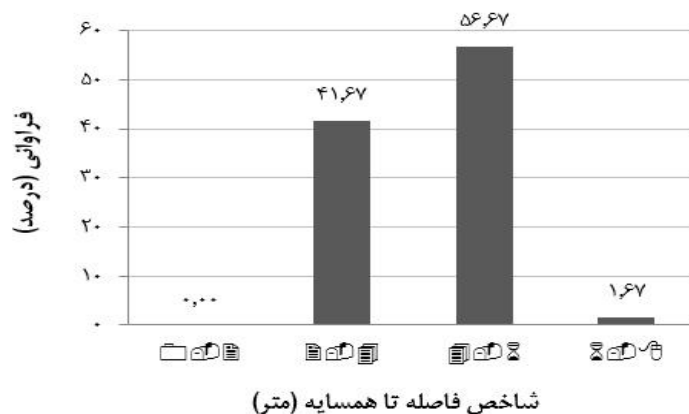
I_H شاخص هاپکینز، x_i فاصله از نقاط تصادفی تا نزدیک‌ترین فرد،

محاسبه این شاخص در شکل (۲) نشان داده شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود طبقه فاصله همسایگی ۴ تا ۶ متر دارای بیشترین فراوانی بوده به این مفهوم که درختان مرجع با همسایه‌های خود در ۵۶/۶۷ درصد فواصل اندازه‌گیری شده، ۴ تا ۶ متر فاصله داشتند و بعد از آن طبقه فاصله‌ای ۲ تا ۴ متر (۴۱/۶۷ درصد) قرار داشت و فاصله‌های خیلی نزدیک (طبقه ۰-۲ متر) و خیلی دور (طبقه ۸-۶ متر) بین درختان، دارای کمترین فراوانی در منطقه مورد مطالعه بودند (شکل ۲).

I شاخص جانسون-زایمر، n اندازه نمونه، x_i فاصله از نقاط تصادفی تا نزدیک‌ترین فرد

نتایج

مقدار میانگین شاخص همسایگی که نشان‌دهنده میانگین فاصله درخت مرجع با سه درخت همسایه نزدیک و ویژگی وابسته به تراکم توده است، نشان داد که فاصله‌های اندازه‌گیری شده بین درختان به طور متوسط $۰/۰۸ \pm ۴/۲$ متر بود. نتایج حاصل از



شکل (۲): نمودار توزیع ارزش‌های شاخص فاصله تا همسایه

جدول (۲): نتایج تعیین الگوی پراکنش مکانی براساس شاخص ابرهات

شاخص ابرهات	پارامترها
۱/۰۸	مقدار شاخص
۱/۲۲	مقدار مبنا
۱/۲۲	آزمون شاخص براساس جدول هینز
یکنواخت	نوع الگوی پراکنش
غیر معنی‌دار	نتیجه معنی‌داری
یکنواخت	پراکنش نهایی

F به منظور ارزیابی نتیجه این شاخص در تعیین الگوی پراکنش مکانی نشان داد که شاخص h برابر با $h=1/72$ بوده و با مقادیر $F_{(0.05,2n,2n)}=0/74$ و $F_{(0.95,2n,2n)}=1/35$ در جدول F مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به کمتر بودن مقدار محاسبه شده شاخص هاپکینز از مقدار $F_{0.95}$ ($0/74 < 0/63$)، بنابراین نتیجه شاخص هاپکینز مبنی بر الگوی کپه‌ای در سطح احتمال ۹۵ درصد تایید نشد و الگوی پراکنده یا یکنواخت مورد پذیرش قرار گرفت (جدول

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، مقدار عددی شاخص ابرهات برابر با $1/08$ محاسبه شد. این مقدار محاسبه شده، از مقدار مبنا برای این شاخص ($1/22$) کمتر بود بنابراین بیانگر الگوی پراکنش یکنواخت درختان توده است. اما همان‌طور که قبلاً شرح داده شد باید معنی‌داری الگوی مکانی تعیین شده، مورد آزمون قرار گیرد. آزمون این شاخص بر اساس جدول هینز (جدول ۱) برای n نمونه و در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با $1/22$ بود که از مقدار محاسبه شده شاخص ابرهات ($1/08 < 1/22$) بیشتر است و نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف بین مقدار محاسبه شده و مقدار جدول بوده و به این ترتیب مقدار محاسبه شده شاخص ابرهات می‌تواند ملاک مناسبی در تعیین الگوی پراکنش باشد. بنابراین، پراکنش یکنواخت بر اساس شاخص ابرهات قابل پذیرش است.

مقدار شاخص هاپکینز برابر با $0/63$ محاسبه شد که از مقدار مبنای $0/5$ برای این شاخص، بیشتر بوده بنابراین الگوی پراکنش به صورت کپه‌ای خواهد بود، اما محاسبه شاخص h و سپس آزمون

(۳)

جدول (۳): نتایج تعیین الگوی پراکنش مکانی براساس شاخص‌های پیکینز

پارامترها	شاخص‌های پیکینز
مقدار شاخص	۰/۶۳
مقدار مبنا	۰/۵
آزمون شاخص	$h=1/72$
نوع الگوی پراکنش	کپه‌ای
نتیجه معنی‌داری	معنی‌دار
پراکنش نهایی	یکنواخت

محاسبه شاخص پراکنش جانسون-زایمر، مقدار $1/29$ را نشان داد و از آنجا که این مقدار بیشتر از مقدار مبنا 2 بود الگوی پراکنش یکنواخت تعیین شد. همچنین آزمون این شاخص براساس مقدار Z ، الگوی پراکنش محاسبه شده را تایید کرد. زیرا، همان‌طور که قبلاً شرح داده شد مقدار $Z = -3/974$ ، که از مقدار $1/96$ - کمتر بوده و الگوی پراکنش محاسبه شده مورد تایید است (جدول ۴).

جدول (۴): نتایج تعیین الگوی پراکنش مکانی براساس شاخص جانسون-زایمر

پارامترها	شاخص پراکنش جانسون-زایمر
مقدار شاخص	$1/29$
مقدار مبنا	2
آزمون شاخص	$Z = -3/97$
نوع الگوی پراکنش	یکنواخت
نتیجه معنی‌داری	غیر معنی‌دار
پراکنش نهایی	یکنواخت

بحث

الگوی مکانی به توزیع و جایگزینی افقی تک درختان در یک توده اشاره دارد که رابطه بین افراد درختان در یک فضای افقی را منعکس می‌کند. این ویژگی اثر چندگانه ویژگی‌های بیولوژیکی جمعیت، رابطه درون و برون گونه‌ای و شرایط محیطی را نشان می‌دهد و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین ویژگی‌های کمی جمعیت است. مطالعه این ویژگی جمعیتی درختان به درک عمیق‌تری از ساختار توده، رویش تک درختان، حتی در عملیات بهره‌برداری و جنگل‌کاری تأثیر بسیار زیادی در قضاوت درباره روند تکامل و پیش‌بینی روند تغییرات توده می‌انجامد (Gangying et al., 2007).

هدف نهایی در بررسی الگوی پراکنش مکانی در توده‌های جنگلی شناخت وضعیت ساختار توده و همچنین عوامل اکولوژیکی موثر بر اکوسیستم جنگل است. نتایج این پژوهش‌ها می‌تواند در برنامه‌های مدیریتی و توسعه‌ای، جنگل‌کاری و احیای جنگل به‌منظور حفاظت بهتر، مفید باشد (Soltanian et al., 2017). قابلیت روش‌های فاصله‌ای در تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان در مطالعات متعددی تایید شده است. مهم‌ترین نقص این روش وابسته بودن به مقیاس مطالعاتی یعنی اندازه منطقه مورد مطالعه است به‌طوری که هرچه توده مورد مطالعه بزرگتر باشد الگو پراکنش نیز با این روش متفاوت خواهد بود. در حالی که همچنان زمان برداشت اطلاعات از عرصه و تعداد کمتر درختان اندازه‌گیری شده، از مهم‌ترین مزایای روش فاصله‌ای محسوب می‌شوند (Erfanifard & Mahdian, 2012).

شاخص همسایگی در مطالعه حاضر $4/2$ متر برآورد شد که مقدار این شاخص توسط (Etemad et al., 2017) برای گونه راش بیشتر از مطالعه حاضر و برابر با $6/38$ متر گزارش شد و این مقدار عددی را نشان‌دهنده تراکم کم، فشار رقابتی کم و قرارگیری توده در مرحله تکامل پیشرفته معرفی و بیان کردند که شاخص فاصله تا همسایه به تشریح وضعیت ساختار توده‌های با تراکم‌های مختلف می‌پردازد. این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده رقابت بین درختان توده باشد به‌طوری که با افزایش این شاخص از تراکم توده کاسته و رقابت کاهش می‌یابد. با استناد به این تحلیل، می‌توان بیان کرد که توده‌های مورد مطالعه حاضر هنوز به مراحل پیشرفته تکامل و کاهش تراکم نرسیده و در مرحله رقابت هستند، اما (Pinno & Gupta, 2018) مقدار فاصله همسایگی را در توده‌های مورد مطالعه خود با مقادیری کمتر از مطالعه حاضر و برابر با $0/46$ تا $1/57$ برآورد نموده و بیان کردند که شاخص فاصله تا همسایه پارامتری وابسته به تراکم است و فرآیندهای دخالت در توده مانند تنک کردن به‌عنوان یک عملیات پرورشی، با تغییر در تراکم و رقابت توده می‌توانند بر مقدار این شاخص اثر داشته باشند. همچنین مقدار شاخص همسایگی در مطالعه (Sefidi et al., 2018) در توده‌های ارس نیز دارای مقداری کمتر از مطالعه حاضر و برابر با $3/7$ متر بود. بنابراین به نظر می‌رسد که تفاوت در مقدار شاخص خواهد شد. بنابراین به نظر می‌رسد که تفاوت در مقدار شاخص فاصله همسایگی در مطالعات مختلف به دلیل نوع گونه، شرایط رویشگاهی و نوع عملیات پرورشی در جنگل اجتناب‌ناپذیر باشد چرا که این عوامل با تأثیر بر تراکم پایه‌های

درختی می‌توانند بر نوع الگوی پراکنش آنها موثر باشند. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، الگو پراکنش توده مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های ساختاری و آزمون آنها، یکنواخت تعیین شد. محققان مختلفی شرایط ایجاد هر یک از الگوها را به‌دقت بررسی و دلایل ایجاد هر نوع از الگوها را به تفصیل بیان کرده‌اند، به‌طوری‌که (Akhavan et al., 2010) نشان دادند که در مراحل اولیه و زمانی که نونهال‌های جوان شروع به نمو می‌کنند الگوی پراکنش به صورت خوشه‌ای است. با افزایش سن و رقابت توده از مراحل اولیه خارج شده و وارد مرحله اوج می‌شود که در این مرحله درختان دارای ابعاد مشابهی بوده و به بلوغ رسیده‌اند و به تدریج از رقابت خارج شده و الگوی یکنواخت به خود می‌گیرند. با افزایش سن از این مرحله به بعد و رسیدن به دیرزیستی فیزیولوژیکی و پوسیده شدن و حذف درختان، الگوی پراکنش گونه به صورت تصادفی خواهد بود و این چرخه به همین صورت ادامه می‌یابد. (Lou et al., 2009) نیز تاکید کردند که مراحل مختلف زندگی یک توده شامل جوانی، بلوغ و کهنسالی الگوی مختلفی را بر اثر رقابت نشان می‌دهد. بنابراین، در اکوسیستم‌های طبیعی، گونه‌ها تغییرات سیستماتیک در الگوی پراکنش مکانی خود در طول زمان نشان می‌دهند که معمولاً از الگوی کپه‌ای شروع شده و به الگوی منظم و در نهایت تصادفی می‌رسد که به دلیل رقابت، تغییرات تراکم، پویایی حفره‌ها، تخریب و عوامل متعددی از این دست اتفاق می‌افتد. بنابراین الگوی مکانی گونه‌ها یا فرآیندی طبیعی یک جامعه گیاهی است و یا فرآیندی پیچیده از سایر عوامل محسوب می‌شود (Gupta & Pinno, 2018) آنچه مسلم شده است، این است که ظهور هر یک از این الگوها در نتیجه وجود شرایط خاص در اکوسیستم است و گاهی در بررسی‌های مربوط به تعیین پراکنش الگو، به‌طور قطع یکی از انواع کپه‌ای، تصادفی و یکنواخت نخواهد بود بلکه درجات مختلفی از این الگوها را شامل می‌شود (Soltanian et al., 2017). از این رو، تعیین الگوی مکانی درختان، پویایی و مراحل توالی جنگل در طول زمان را نشان داده و دربردارنده اطلاعات مفیدی در مورد فرآیندهای طبیعی به ویژه در جنگل‌های ناهمسال در اختیار قرار می‌دهد (Akhavan et al., 2010). همان‌طور که گفته شد الگوی پراکنش مکانی در مطالعه حاضر، یکنواخت تشخیص داده شد و به‌نظر می‌رسد که استدلال (Soltanian et al., 2017) در مورد منطقه مطالعه حاضر نیز صادق باشد، آنها بیان کردند که در جوامع گیاهی عوامل درون

گونه‌ای همچون رقابت برای کسب مواد غذایی، آب و نور سبب ایجاد الگوی پراکنش یکنواخت خواهد شد. آنها عامل دیگر را رسیدن به بلوغ و عدم نیاز به درختان مادری معرفی کردند چرا که با افزایش رشد و در عین حال ایجاد رقابت با پایه‌های مجاور برای کسب منابع سبب استقرار پایه‌ها بر اساس الگوی یکنواخت خواهد شد. از سویی دیگر (Karimi et al., 2012) نیز با ارایه استدلالی مشابه بیان کردند که حذف درختان در اثر رقابت برای منابع محدود مانند آب و مواد مغذی خاک سبب ایجاد الگوی منظم طی زمان می‌شود و به این ترتیب رقابت عامل ایجادکننده الگوی یکنواخت یا منظم است. تکنیک‌های مدیریتی در توده‌ها نیز توسط (Gradel et al., 2015) و همچنین (Biabani et al., 2016) بیشتر ارایه‌کننده الگوی پراکنش یکنواخت معرفی شدند. آنها اظهار داشتند که ساختار بهینه یک ساختار آمیخته است چرا که توده‌های طبیعی در طول چرخه حیاتی خود نیازهای متفاوتی دارند و این مراحل در توده‌های آمیخته به دلیل چند لایه بودن از پیچیدگی بیشتری برخوردار است.

شرایط ایجاد سایر الگوهای پراکنش نیز توسط محققان بخش اکولوژی جنگل بررسی شده است. (Gradel et al., 2015;) و (Biabani et al., 2016) در تشریح عوامل موثر بر ایجاد الگوی کپه‌ای بیان کردند که قطر بالا در یک توده نشان‌دهنده قرار گرفتن در مرحله زادآوری است، بنابراین در این مرحله ایجاد الگوی کپه‌ای مورد انتظار است، همچنین الگوی پراکنش کپه‌ای در توده‌های جوان با توزیع قطری کم نیز قابل مشاهده است. با تغییر تراکم، توزیع و پراکنش درختان در طی فرآیند تکامل، ساختار جنگل تغییر خواهد کرد و به این ترتیب الگوی پراکنش نیز دستخوش تغییر می‌شود. ساختار جنگل به‌طور مستقیم بر رویش و فرآیند رقابت اثر می‌گذارد و به‌این معنی است که بر پایداری توده موثر است. رویش تک درختان در توده وابسته به میزان تراکم توده است. بنابراین الگوی کپه‌ای ممکن است نتواند شرایط بهینه رویشی فراهم کند، اما می‌تواند بر پایداری توده موثر باشد. زیرا به نظر (Heydari et al., 2011) گونه‌های دارای الگوی پراکنش کپه‌ای در رویشگاه‌های کوچک دارای قدرت رقابتی بیشتری با سایر گونه‌ها هستند. الگوی تصادفی نیز بنابر نظر (Soltanian et al., 2017) به دلیل شرایط محیطی، منابع پایدار و دخالت‌های انسانی شدید ایجاد خواهد شد. (Hossein Haidari et al., 2016) نیز معتقدند که در اکوسیستم‌های طبیعی حضور الگوهای غیرتصادفی در پراکنش مکانی یک روال عادی است مگر در اکوسیستم‌های

(Akhavan et al., 2010; Guo et al., 2013; Luo et al., 2009) در مطالعات خود از دیگر عوامل موثر بر توزیع پراکنش درختان شامل ناهمگنی حاصل از توپوگرافی، دسترسی به منابع زیرزمینی، آفات و بیماری‌ها، استفاده از منابع خاکی و ایجاد روشنه نام بردند که به نظر می‌رسد که این عوامل تغییرات زیستگاهی در الگوی پراکنش در منطقه مورد مطالعه حاضر نیز اثر چشمگیری داشت، از این رو برای درک بهتر این روابط، بررسی‌های تکمیلی در زمینه اثر تغییرات محیطی بر الگوی پراکنش گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

شاخص‌های فاصله‌ای هر کدام در کشف الگوی خاصی توانایی دارند به‌عنوان مثال شاخص‌هاپکینز در کشف الگوی تصادفی و تشخیص الگوهای غیرکپه‌ای، شاخص جانسون-زایمر نسبت به الگوی یکنواخت ضعیف عمل می‌کند. زیرا، این شاخص فقط یک فاصله را ملاک محاسبه قرار می‌دهد که ممکن است این فاصله در داخل کپه‌ها یا حواشی آن قرار گرفته و به دلیل بزرگ بودن کپه‌ها یا وجود افراد تصادفی زیاد در بین کپه‌ها به دلایل مختلفی همچون قطع درختان و به هم زدن کپه‌ها آرایش به‌دست آمده یکنواخت معرفی شود حال آن که الگوی پراکنش واقعی، کپه‌ای است (Safari et al., 2010) اما شاخص جانسون-زایمر مستقل از تراکم است که در مطالعه‌های مختلف نیز این قابلیت تایید شده است. شاخص ابرهارت شاخصی مناسب برای تعیین الگوی پراکنش مکانی معرفی شده است چرا که از تراکم جامعه تاثیر کمتری می‌پذیرد (Hoseinpoor et al., 2017). Erfanifard (2012) و Mahdian) بر نقش مهم اجرای آزمون‌های آماری در میزان درست عمل کردن این شاخص‌ها تاکید کردند، به طوری که با انجام نشدن آزمون‌های آماری مربوط به هر شاخص و یا استفاده از آزمون نامناسب تایید صحت نتایج با مشکل مواجه می‌شود. در مطالعه حاضر نیز ضمن استفاده از شاخص‌های نامبرده شده در بالا و بررسی توانایی آنها در تشخیص الگوی پراکنش، به‌منظور رسیدن به نتایج دقیق و قابل استناد آزمون‌های مناسب برای هر شاخص نیز به کار برده شد که بنابر نتایج حاصل، آزمون‌های آماری الگوهای پیش‌بینی شده توسط این شاخص‌ها را در سطح ۹۵٪ تایید کردند و توانایی این شاخص‌ها در تعیین الگوی مکانی در منطقه مورد مطالعه را نشان دادند.

بنابر نظر (Gholami & Mesdaghi, 2012) بررسی پراکنش مکانی می‌تواند در تعیین روش نمونه‌برداری به‌ویژه در تعیین سطوح قطعات نمونه و نوع برنامه‌ریزی برای مدیریت و حفاظت از

غیرطبیعی و تحت دخالت‌ها و فعالیت‌های انسانی و آشوب‌های محیطی شدید. از سویی دیگر (Karimi et al., 2012) به این نتیجه‌گیری رسیدند که الگوی تصادفی در نتیجه مرگ و میر ایجاد شده و وابسته به تراکم است و در تمامی مراحل رقابت وجود دارد. (Gradel et al., 2015) بیان کردند که پراکنش تصادفی در توده‌های با توزیع قطری متوسط وجود دارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که با پیشرفت روند تکامل و توالی توده و افزایش فرآیند رقابت، رویش و زندمانی و در نتیجه پراکنش درختان تاثیر وارد می‌شود، به طوری که درختان در اثر رقابت از کپه‌ها خارج می‌شوند و از بین می‌روند و ساختار افقی آنها تحت تاثیر قرار می‌گیرد و اگر این فرآیند تکرار شود الگوی تصادفی غالب خواهد شد. همچنین توزیع تصادفی در روشنه‌های حاصل از تاج نیز ظاهر می‌شود. تخریب‌های انسان‌ساز، عوامل محیطی زنده و غیرزنده، آتش‌سوزی و قطع‌گزینی بر ساختار توده درختان باقیمانده اثر گذاشته و الگوی پراکنش را به سمت تصادفی پیش می‌برد. بنابر مطالعات این محققان می‌توان گفت که توده‌های مورد مطالعه در حال گذر از مراحل ذکر شده بوده و بررسی‌های زمانی به‌منظور تشخیص مراحل مختلف تکاملی و ظهور الگوی مکانی گونه در هر مرحله در توده‌های مورد مطالعه حاضر توصیه می‌شود.

عامل نوع پراکنش بذرها و نوع زادآوری یکی دیگر از عوامل موثر بر الگوی پراکنش گونه‌ها معرفی شده است که عامل موثری در شکل‌گیری الگوی یکنواخت در منطقه مورد مطالعه حاضر نیز بود چرا که اندازه میوه، وزن بذر و تجمع مکانی آنها رابطه مستقیمی با سطوح بالاتر تجمع دارد. به طوری که براساس گزارش تحقیقات (Safari et al., 2018; Karimi et al., 2012; Ebrahimi & Pourbabaei 2013; Heydari et al., 2011) قره‌قاج، بلوط، راش و نوئل به دلیل داشتن بذره‌های سنگین و ریختن آنها در زیر درختان دارای الگوی کپه‌ای هستند و درختان افرا و توسکا الگوی یکنواخت دارند. نتایج پژوهش حاضر با این نظرها مطابقت داشت. به طوری که گونه کرب از جنس افراها بوده و دارای بذر سبک می‌باشد و به این ترتیب الگوی یکنواخت برای این گونه قابل انتظار بود. از سویی دیگر با توجه به آمیخته بودن توده‌های مورد مطالعه و حضور گونه‌های بلوط، کرب و ممرز به‌عنوان گونه‌های غالب در منطقه و همچنین عامل وزن بذر، براساس نتایج حاصل از شاخص‌های محاسبه شده و آزمون دقیق آنها الگوی پراکنش یکنواخت در منطقه مورد مطالعه با توجه به مرجع قرار دادن گونه کرب به قطعیت رسید.

منطقه مورد مطالعه بود و شاخص‌های ابره‌ارت و جانسون-زایمر این الگو را به خوبی نشان دادند. این الگو با توجه به حفاظتی بودن منطقه ارسباران و اقداماتی که در این زمینه انجام شده است، می‌تواند نشان‌دهنده الگوی واقعی پراکنش باشد و ضمن تکمیل بانک اطلاعات اکولوژیکی، برای تعیین سرشت الگوی پراکنش درختان در این منطقه تا حدود زیادی قابل اطمینان و عملی خواهد بود و داده‌های باارزشی برای برنامه‌های مدیریتی منطقه فراهم می‌کند. همچنین در چنین حالتی امکان تهیه نقشه الگوی پراکنش به‌ویژه برای هرگونه نتایج مناسب‌تر و دقیق‌تری از ساختار توده و شاخص‌های مربوطه در اختیار قرار می‌دهد. عوامل مختلف محیطی با تاثیر بر تراکم پایه‌های درختی می‌توانند بر نوع الگوی پراکنش و پویایی آنها موثر باشند که پیشنهاد می‌شود این عوامل نیز در منطقه بررسی شوند چرا که دستاوردهای چنین مطالعاتی از اهمیت بالایی در مدیریت حفاظتی این اکوسیستم باارزش و حیاتی برخوردار است.

گونه‌ها نیز نقش مهمی ایفا کند و با این نوع مطالعه‌ها می‌توان اطلاعاتی در خصوص روابط بین گونه‌ای و درون گونه‌ای کسب کرد. از این رو پیشنهاد می‌شود که الگوی پراکنش مکانی با سایر روش‌های نمونه‌برداری و سایر شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه حاضر نیز انجام شود، چرا که نتایج مطالعه‌های مختلف نشان داده است که کارایی شاخص‌های فاصله‌ای در تعیین الگوهای مختلف پراکنش، متفاوت بوده که مستلزم استفاده از انواع بیشتر روش‌های فاصله‌ای در یک منطقه است تا نتایج مستدل و قابل اطمینان‌تری گزارش شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی برخی از مهم‌ترین شاخص‌های فاصله‌ای در برآورد الگوی پراکنش مکانی در توده‌های آمیخته جنگل ارسباران با انتخاب گونه *Acer campestre* به عنوان گونه مرجع مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از الگوی پراکنش یکنواخت در

فهرست منابع

- 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, 2 (40): 322-336. (In Persian)
- Alavi, S.J.; Zahedi Amiri, G. & Marvi Mohajer, M.R. 2005. An Investigation of Spatial Pattern in Wych Elm (*Ulmus glabra*) in-Hyrcanian Forest, Case Study: Kheyroudkenar Forest, Noshahr, Journal of Natural Environmenb, 58 (4): 793-804. (In Persian)
- Amanzadeh, B.; Pourmajidian, M.R.; Sagheb Talebi, K. & Hojjati, S.M. 2015. Spatial Pattern, competition and spatial association of trees in Mixed Hornbeam Stands using Univariate and bivariate Ripley's K-function (case study: Reserve area, district 3 of Asalem forests), Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23 (1): 37-52. (In Persian)
- Basiri, R.; Sohrabi, H. & Mozayan, M. 2006. A Statistical Analysis of the Spatial Pattern of Trees Species in Ghamisheleh Marivan Region, Iran. Quarterly Iranian Journal of Natural Resources, 59 (3): 579-588. (In Persian)
- Basiri, R.; Tabatabaee, S.A. & Bina, H. 2011. Satiatical analysis of spatial distribution pattern for five trees species in kurdestan region. World Journal of Science and Technology, 1(5), 36-42. Stamatellos, G.,
- Biabani, K.; Pilevar, B. & Safari, A. 2016. 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, 24 (4): 77-88. (In Persian)
- Carrer, M.; Castagneria, D.; Popa, I.; Pividori, M. & Lingua, E. 2018. Tree spatial patterns and stand attributes in temperate forests: The importance of plot size, sampling design, and null model. Forest Ecology and Management, 407(1): 125-134.
- Erfanfard, Y. & Mahdian, F. 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests (Case study: Wild pistachio research forest, Fars province, Iran), Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20 (1): 62-73. (In Persian)

- Erfanifard, Y.; Mahdian, F.; Fallah Shamsi, R. & Bordbar, K. 2012. The efficiency of distance- and density-based indices in estimating the spatial pattern of trees in forests (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars province, Iran), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20 (3): 379-392. (In Persian)
- Ebrahimi, S.S. & Pourbabaei, H. 2013. Effect of Conservation on Spatial Pattern of Dominant Trees in Beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) Communities (Case Study: Masal, Guilan). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2 (4):13-24. (In Persian)
- Etemad, V.; Morteza, M. & Sefidi, K. 2017. Quantification of beech stands structure in the stem exclusion phase, *Journal of Forest and Wood Product*, 69 (4): 647-656. (In Persian)
- Farhadi, P.; Soosani, J. & Erfanifard, S.Y. 2017. Evaluation level of tree diversity in the Hyrcanian forests using complex structural diversity index (Case study: beech-hornbeam type, Nav-e Asalem, Gilan), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25 (3): 495-505. (In Persian)
- Gangying, H.; Li, L.; Zhonghua, Z. & Puxing, D. 2007. Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 27(11): 4717-4728.
- Ghanbari Sharafteh, A.; Marvie Mohajer, M.R. & Zobeiri, M. 2010. Natural regeneration of Yew in Arasbaran forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18 (3): 380-389. (In Persian)
- Gholami, N. & Mesdaghi, M. 2012. An investigation of spatial pattern of woody plants in shrublands of Golestan National Park, *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 18 (4): 515-525. (In Persian)
- Ghalandarayeshi, Sh.; Nord-Larsen, T.; Johannsen, V.K. & Larsen, J.B. 2017. Spatial patterns of tree species in Suserup Skov – a semi-natural forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 406: 391-401.
- Gradel, A.; Nadaldorj, O.; Altaev, A.A.; Voinkov, A.A. & Bazarradnaa, E. 2015. Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning. *Journal of Agricultural Sciences*, 15: 91-99.
- Guo, Y.; Lu, J.; Franklin, S.B.; Wang, Q.; Xu, Y.; Zhang, K.; Bao, D.; Qiao, X.; Huang, H.; Lu, Zh. & Jiang, M. 2013. Spatial distribution of tree species in a species-rich subtropical mountain forest in central China. *Canadian Journal Forest Research*, 43: 826-835.
- Gupta, S.D. & Pinno, B.D. 2018. Spatial patterns and competition in trees in early successional reclaimed and natural boreal forests. *Acta Oecologica*, 92: 138-147.
- Hajimirza Aghaei S.; Jalilvand H.; Kouch Y. & Pourmajidian M.R. 2010. Analysis of Important Value and Spatial Pattern of Woody Species in Ecological Units (Case Study: Sardabrood Forests of Chalous), 2 (1): 51-60. (In Persian)
- Hamzeh'ee, B.; Safavi, S.R.; Asri, Y. & Jalili, A. 2010. Floristic analysis and a preliminary vegetation description of Arasbaran Biosphere Reserve, NW Iran, *Rostaniha*, 11 (1): 1-16. (In Persian)
- Heydari, R.H.; Zobeyri, M.; Namiranian, M.; Sobhani, H. & Safari, A. 2011. Study of Accuracy of Nearest Individual Sampling Method in Zagross Forests, *Quarterly Iranian Journal of Forest*, 2 (4): 323-230.
- Hoseinpoor, L.; Jafarian, Z.; Rastgar, S. & Ghlichnia, H. 2017. Determination of spatial pattern of *Berberis integerrima* using hundred percent sampling methods, distance and point indices in Asbchar woody rangeland in Mazandaran province, 5 (10): 139-153. (In Persian)
- Hossein Haidari, R.; Gholami, M. & Masomei, S.M. 2016. Study of Distance Sampling Methods Accuracy to Estimation of Mediterranean Stinkbush Species (*Anagyris Foetida* L.) Density (Case Study: Forests of Kasakaran, Gilanegharb). *Ecology of Iranian Forest*, 4 (7): 26-34.
- Jalili, A.; Hamzeh'ee, B.; Asri, Y.; Shirvanya, A.; Yazdani, Sh.; Khoshnevis, M.; Zarrinkamar, F.; Ghahramania, M.A.; Safavi, R.; Shaw, S.; GHodgson, J.; Thompson, K.; Akbarzadeh, M. & Pakparvar M. 2003. Soil seed banks in the Arasbaran Protected Area of Iran and their significance for conservation management. *Biological Conservation*, 109(3): 425-431.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological Methodology*. 2nd Edition, Benjamin Cummings, Menlo Park, 620 p.

- Karami, A.; Feghhi, J.; Marvie Mohajer, M.R. & Namiranian, M. 2012. Investigation on the Spatial Pattern Of Regeneration Patches In Natural Beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) Forests (Case Study: Gorazbon District, Kheyroud Forest), Quarterly Iranian Journal of Forest, 4 (1): 77-87. (In Persian)
- Karimi, M.; Pormajidian, M.R.; Jalilvand, H. & Safari, A. 2012. 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, 20 (4): 608-621. (In Persian)
- Kiani, B.; Fallah, A.; Tabari, M.; Hosseini, S.M. & Iran-Nejad Parizi, M.H. 2013. Comparing Distance-based and Quadrature-based Methods to Identify Spatial Pattern of Saxaul *Haloxylon ammodendron* C.A.Mey (Siah-Kooh Region, Yazd Province), Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 65 (4): 475-486. (In Persian)
- Luo, Z.; Ding, B.; Mi, X.; Yu, J. & Wu, Y. 2009. Distribution patterns of tree species in an evergreen broadleaved forest in eastern China. *Front. Biol. China*, 4(4): 531-538.
- Mirjalili, A.B.; Tilaki, G.A.D. & Baghestani, N. 2008. Comparison of five distance methods for estimating density on Shrub Communities in Tang-Laybid Yazd, Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 15 (3): 295-303. (In Persian)
- Mirzaei, M.; Bonyad, A.E. & Aziz, J. 2016. Investigation comparison of K-Ripley and distance indices in order to determinate of spatial pattern of *Quercus Brantii* Lindl. in Zagros forests, Journal of Forest Research and Development, 1 (3): 231-240. (In Persian)
- Nagy, L. & Ducci, F. 2004. EUFORGEN technical guidelines for genetic conservation and use for field maple (*Acer campestre*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 pages.
- Nouri, Z.; Zobeiri, M.; Feghhi, J. & Marvie Mohadjer, M.R. 2013. An Investigation on the Forest Structure and Trees Spatial Pattern in *Fagus orientalis* Stands of Hyrcanian Forests of Iran (Case Study: Gorazbon District of Kheyroud Forest), Journal of Natiral Environment, 66 (1): 113-125. (In Persian)
- Panourgias, G. 2005. Simulating spatial distributions of forest trees by using data from fixed area plots. *Forestry*, 78(3): 305-312.
- Pourbabaei, H.; Zandi Navzgaran, S. & Adel, M.N. 2012. Spatial Pattern of Three Oak Species in Chenare Forest of Marivan, Kordestan, Journal of Natural Environment, 65 (3): 329-339. (In Persian)
- Safari, A.; Shaabani, N.; Erfanifard, S.Y.; Heydari, R.H. & Pourreza, M. 2010. Investigation of spatial pattern of wild pistachio (*Pistacia atlantica* desf.) (Case study: Bayangan forests, Kirmanshah), Quarterly Iranian Journal of Forest, 2 (2): 177-185. (In Persian)
- Safari, M.; Sefidi, K.; Alijanpour, A. & Elahian, M. 2018. Study of Natural Regeneration in *Quercus macranthera* Stands in Different Physiographic Conditions in Arasbaran Forests, *Ecology of Iranian Forest*, 6 (12): 1-8. (In Persian)
- Sefidi, K.; Firouzi, Y.; Sharari, M.; Behjou F.K. & Rostamikia, Y. 2018. Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region, Quarterly Iranian Journal of Forest, 10 (2): 207-220. (In Persian)
- Sohrabi, H. 2014. Spatial pattern of woody species in Chartagh forest reserve, Ardal. Iranian of Forest and Poplar Research, 22 (1): 27-38. (In Persian)
- Soltanian, S.; Heydari, M. & Khosropour, E. 2017. Spatial pattern of Lebanon oak (*Quercus libani* Oliv.) in Baneh forests, Kurdistan province, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25 (3): 463-473. (In Persian)
- Stamatellos, G. & Panourgias, G. 2005. Simulating spatial distributions of forest trees by using data from fixed area plots. *Forestry*, 78(3): 305-312.
- Zabiolahe, S.; Shabani, N.; Namiranian, M.; Heudari, M. 2015. Spatial distribution of wooden species in Northern Zagros forests (Case study: Havare-khol forests), Journal of Forest research and Development, 1 (1): 17-29. (In Persian)