



نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل  
جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## تحلیل اثر رقابت درون‌گونه‌ای بر ویژگی‌های زیست‌سنجی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی با استفاده از تابع‌های همبستگی جفتی و نشان‌دار در جنگل‌های خشک زاگرس

\*سید یوسف عرفانی‌فرد

دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۰۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** رقابت درون‌گونه‌ای بین درختان یک برهمکنش کلیدی در شکل‌گیری توده‌های جنگلی است و تحلیل فرایندهای نهفته بوم‌شناختی در جنگل ممکن می‌سازد. این برهمکنش بر رویش و توزیع مکانی درختان تأثیر گذاشته و منجر به یک ساختار افقی و عمودی خاص در توده می‌شود. به همین دلیل، رقابت به‌عنوان یکی از نخستین فرایندهایی شناخته می‌شود که تراکم جمعیت، ساختار جامعه و تنوع آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌منظور درک برهمکنش رقابتی درختان در جنگل، روش‌های متعددی توسعه یافته‌اند که مقیاس مکانی رقابت را بین تک درختان ارزیابی کرده و تأثیر رقابت را بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به نقش مهم رقابت بر رویش درختان و ساختار مکانی آن‌ها، این پژوهش با هدف بررسی اثر رقابت درون‌گونه‌ای بین جست‌گروه‌های بلوط ایرانی بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک زاگرس با استفاده از تحلیل مکانی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** یک قطعه‌نمونه با ابعاد ۳۰۰ متر × ۳۰۰ متر که به‌طور خالص پوشیده از بلوط ایرانی بود در نزدیکی شهر یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد انتخاب شد. نقشه نقطه‌ای همه ۱۱۱۳ جست‌گروه با استفاده از روش آزیموت و فاصله تهیه گردید. ابتدا از آزمون کولموگروف اسمیرنوف

\*مسئول مکاتبه: [erfanifard@shirazu.ac.ir](mailto:erfanifard@shirazu.ac.ir)

برای بررسی اختلاف توزیع جست‌گروه‌ها با توزیع پواسون همگن استفاده شد. سپس تحلیل مکانی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی با استفاده از تابع همبستگی جفتی،  $g(r)$ ؛ تابع  $O$ -ring،  $O(r)$  و تابع همبستگی نشان‌دار،  $k_{mm}(r)$  انجام شد. در تابع همبستگی نشان‌دار، ویژگی‌های زیست‌سنجی ارتفاع کل، ارتفاع تاج، قطر یقه، قطر متوسط و مساحت تاج به‌عنوان نشان به‌کار رفتند. همچنین از آزمون مونت کارلو برای بررسی معنی‌داری نتایج به‌دست آمده استفاده شد.

**یافته‌ها:** مقایسه با فرایند پواسون همگن نشان داد که الگوی مشاهده شده بلوط‌های ایرانی به‌طور معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) همگن بود. نتایج تابع همبستگی جفتی و تابع  $O$ -ring نشان دادند که بین جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه رقابت درون‌گونه‌ای وجود داشته که این رقابت تا مقیاس مکانی ۵ متر معنی‌دار بود (در سطح ۰/۰۵). همچنین نتایج تابع همبستگی نشان‌دار نیز بیانگر این بود که ارتفاع کل، ارتفاع تاج و قطر یقه به رقابت درون‌گونه‌ای بسیار حساس بوده در حالی که ویژگی‌های تاج (قطر متوسط و مساحت) حساسیت کمتری به رقابت نشان دادند.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی، نتیجه‌گیری شد که در توده خالص مورد مطالعه بین بلوط‌های ایرانی برهمکنش‌های رقابتی وجود داشته که این رقابت بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها تأثیر منفی داشته است. رقابت بین جست‌گروه‌ها بر رویش آن‌ها تأثیر منفی گذاشته اگرچه این برهمکنش منفی تأثیر کمتری بر مشخصات تاج داشته است زیرا فاصله بین جست‌گروه‌ها در نتیجه تراکم کم آن‌ها (۱۲۳/۷ جست‌گروه در هکتار) رقابت تاجی را کاهش داده است.

**واژه‌های کلیدی:** بلوط ایرانی، تابع همبستگی نشان‌دار، رقابت درون‌گونه‌ای، زاگرس، ویژگی زیست‌سنجی

### مقدمه

ساختار مکانی توده یکی از عوامل اصلی در شناخت فرایندهایی است که در بوم‌سازگان جنگل رخ می‌دهد و بررسی نیمرخ افقی آن که بیانگر نحوه قرار گرفتن درختان نسبت به یکدیگر و موقعیت مکانی آن‌ها است، شناسایی این فرایندها را ممکن می‌سازد (۱۶، ۲۲، ۳۲). تحلیل کمی ساختار مکانی توده و برهمکنش درختان بر یکدیگر، موجب کسب اطلاعات مفید و مؤثر از فرایندهای محیطی (مانند تجدید حیات، روابط متقابل درون و بین‌گونه‌ای، رقابت) می‌شود که وضعیت فعلی توده را به‌وجود آورده‌اند.

این اطلاعات می‌تواند در درک بهتر بوم‌شناسی جنگل، بوم‌شناسی فردی<sup>۱</sup> و گروهی<sup>۲</sup> گونه‌ها و همچنین در تنظیم راهکارهای مناسب به منظور دستیابی به اهداف مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد (۱۰ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۷).

بررسی برهمکنش درختان (مثبت: تسهیل‌کنندگی، منفی: رقابتی) یک توده با مطالعه الگوی مکانی درختان که به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم بوم‌شناختی آن‌ها شناخته شده، امکان‌پذیر است. الگوی مکانی درختان در یک توده از طریق نظریه فرایند نقطه‌ای<sup>۳</sup> تحلیل می‌شود که راهکاری مؤثر در نمایان ساختن واقعیت‌هایی در مورد فرایندهای مهم بوم‌شناختی است که در توزیع مکانی درختان نهفته است (۱۷). نظریه فرایند نقطه‌ای علاوه بر بهبود درک روابط مکانی بین درختان، امکان نمایش این ارتباط را در مقیاس فاصله‌ای با استفاده از آماره‌های اختصاری فراهم می‌آورد (۳۱). آماره‌های اختصاری مورد استفاده در تحلیل فرایندهای نقطه‌ای به این منظور طراحی شده‌اند تا با استفاده از اعداد و یا تابع‌ها، یک توصیف واضح و روشن در مورد الگوی مکانی نقاط (درختان) ارائه نمایند. شناخته‌شده‌ترین آماره اختصاری در تحلیل الگوهای مکانی، تابع  $K$  رایپلی است که تغییرات تعداد نقاط (درختان) در فاصله  $r$  از هر یک از نقاط (درختان) الگوی مورد مطالعه نشان می‌دهد (۲۰). تاکنون در بسیاری از مطالعات در داخل (۲، ۱۲) و خارج از ایران (۴ و ۹ و ۳۰) به بررسی الگوی مکانی درختان با استفاده از تابع  $K$  رایپلی پرداخته‌اند. تابع  $K$  رایپلی مانند آماره‌های اختصاری مبتنی بر نزدیکترین همسایه، تنها به تفسیر تغییرات الگوی مکانی در منطقه مورد مطالعه می‌پردازد زیرا این تابع ساختار تجمعی داشته و توانایی لازم در نمایش تغییرات موجود در توده را در هر مقیاس فاصله‌ای ندارد (۷ و ۲۸). به منظور رفع اشکال موجود در تابع  $K$  رایپلی، متخصصین آمار تابع همبستگی جفتی<sup>۴</sup> را طراحی کردند که امکان مشاهده و ارزیابی تغییرات الگوی مکانی را در هر مقیاس فاصله‌ای فراهم آورده و دامنه و میزان تجمع و یا پراکندگی درختان را در الگوی مکانی مورد مطالعه نشان می‌دهد (۳۷). علاوه بر تابع  $g$ ، در این پژوهش از تابع  $O$  نیز استفاده شد تا امکان مطالعه جزئی‌تر تغییرات توزیع درختان و در نتیجه درک بهتر ساختار مکانی توده‌های جست‌زاده<sup>۵</sup> بلوط ایرانی فراهم شود. اگرچه کارایی تابع  $g$  و  $O$  در پژوهش‌های معدودی

- 
- 1- Autecology
  - 2- Synecology
  - 3- Point process theory
  - 4- Pair-correlation function,  $g(r)$
  - 5- Coppice

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۲) ۱۳۹۵

در داخل (۱ و ۱۲ و ۲۱) و خارج از ایران (۶ و ۷ و ۳۶) تأیید شده است، ولی از آن‌ها در تحلیل نوع برهمکنش توده‌های جست‌زاد استفاده نشده و اطلاعات ارزشمندی که ارائه می‌کنند مورد بحث قرار نگرفته‌اند.

با توجه به پیشرفت روزافزون روش‌های تحلیل تأثیر تسهیل‌کنندگی یا رقابتی درختان بر یکدیگر در جنگل؛ علاوه بر آماره‌های اختصاری متداول (مانند تابع  $g$  و  $O$ ) که صرفاً مبتنی بر موقعیت مکانی درختان در توده هستند، تابع همبستگی نشان‌دار<sup>۱</sup> نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تابع  $k_{mm}$  امکان بررسی اثر تسهیل‌کنندگی یا رقابتی درختان بر نحوه رویش آن‌ها فراهم می‌گردد که اطلاعات بسیار ارزشمندی در مورد جنبه‌های مختلف روابط بین درختان در جنگل ارائه می‌نماید. این تابع می‌تواند نشان دهد که چگونه یک درخت بر ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان مجاورش تأثیر می‌گذارد (۲۰ و ۳۷). از آنجایی که این آماره اختصاری به تازگی ارائه شده، پژوهشی در داخل کشور در این زمینه انجام نشده و در خارج از کشور نیز مطالعات بسیار اندکی آن را مورد تأیید قرار دادند (۲۶ و ۲۹). با توجه به قابلیت تابع  $k_{mm}$  در تحلیل کمی روابط بین درختان، بیان نوع ارتباط بین آن‌ها و همچنین تأثیر این ارتباط بر ویژگی‌های زیست‌سنجی یکدیگر؛ توسعه کاربرد این آماره اختصاری مهم در پژوهش‌های بوم‌شناسی کمی ضروری به نظر می‌رسد.

پوشش گیاهی پراکنده در ناحیه رویشی زاگرس به لحاظ بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت زیادی برخوردار است و در حفاظت از منابع آب و خاک نقش موثری داشته و به‌عنوان یکی از ذخایر ژنتیک شناخته شده است. گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* var. *persica*) یکی از مهمترین درختان این ناحیه رویشی است که به‌همراه سایر گونه‌های جنس بلوط که در سرتاسر زاگرس حضور دارند، یکی از گیاهان شاخص در جنگل‌های زاگرس به شمار می‌آید. برداشت بی‌رویه چوب از این ناحیه رویشی علاوه بر کاهش مساحت آن، باعث گسترش فرم رویشی جست‌زاد در بخش‌های گسترده آن شده است (۳۴). با توجه به گستردگی حضور بلوط ایرانی با فرم رویشی جست‌زاد در زاگرس، مطالعه تأثیر تسهیل‌کنندگی یا رقابت درون‌گونه‌ای این درختان بر یکدیگر ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه در مطالعات پیشین در مورد بلوط ایرانی با فرم رویشی جست‌زاد (۳ و ۱۱ و ۱۴ و ۱۹ و ۳۳) به الگوی مکانی آن پرداخته شده است، ولی نوع برهمکنش جست‌گروه‌های بلوط ایرانی بر یکدیگر و تأثیر این

1- Mark-correlation function,  $k_{mm}(r)$

کنش‌ها بر ویژگی‌های زیست‌سنجی یکدیگر در بوم‌شناسی فردی این‌گونه مهم تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی نوع برهمکنش درون‌گونه‌ای جست‌گروه‌های بلوط ایرانی بر یکدیگر در زاگرس انجام شد. همچنین مطالعه اثر تسهیل‌کنندگی یا رقابتی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی بر ویژگی‌های زیست‌سنجی یکدیگر از اهداف دیگر این پژوهش بوده است. بهره‌گیری از تابع  $k_{mm}$  به‌عنوان یکی از آماره‌های اختصاری جدید در کنار تابع‌های متداول  $g$  و  $O$  دسترسی به اهداف این پژوهش را امکان‌پذیر نمود.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** برهمکنش درون‌گونه‌ای در بوم‌شناسی فردی باید در محدوده‌ای مطالعه شود که به‌طور خالص پوشیده از گونه موردنظر بوده و حضور گونه‌های دیگر تأثیری بر روابط درون‌گونه‌ای آن نداشته باشد (۱۵). بنابراین برای انجام این پژوهش بخشی از جنگل‌های زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد در فاصله ۲ کیلومتری جنوب شهرستان یاسوج انتخاب شد که به‌طور خالص پوشیده از جست‌گروه‌های بلوط ایرانی است. مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی، ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۱۸۸۰ متر، متوسط بارندگی سالیانه ۴۰۲/۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد (آمار سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۵ ایستگاه یاسوج) است. یک قطعه نمونه با ابعاد ۳۰۰ متر × ۳۰۰ متر با شرایط فیزیوگرافیک (شیب، جهت و ارتفاع) و نوع خاک یکسان انتخاب شد تا عوامل محیطی حداقل تأثیر را بر برهمکنش جست‌گروه‌ها بر یکدیگر داشته باشند.

### روش کار

**ویژگی‌های زیست‌سنجی:** علاوه بر ثبت موقعیت مکانی هر یک از درختان با روش آزمون و فاصله، ویژگی‌های زیست‌سنجی هر کدام (ارتفاع جست‌گروه‌ها، ارتفاع تاج، قطر یقه، قطر متوسط و مساحت تاج) نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع کل و همچنین ارتفاع تاج از دستگاه آبنه‌لول استفاده شد که روش کار آن در زبیری (۲۰۰۹) آمده است (۳۸). با ثبت دو قطر کوچک و بزرگ عمود برهم تاج هر جست‌گروه، مساحت و قطر متوسط تاج نیز محاسبه شد. از آنجایی که قطر برابر سینه در درختان با فرم رویشی جست‌زاد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (۵)، در این پژوهش از قطر یقه استفاده

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۲) ۱۳۹۵

شد که کارایی آن در مطالعات گذشته در خارج (۵، ۲۳) و داخل کشور برای گونه بلوط ایرانی (۱۳) مورد تأیید قرار گرفته است (رابطه ۱).

$$DRC = \sqrt{\sum_{i=1}^n SD_i^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، DCR قطر یقه، SD قطر یقه هر جست و n تعداد جست در هر جست‌گروه است.

بررسی همگنی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی: نخستین گام در تحلیل الگوی نقطه‌ای درختان در یک توده، بررسی همگنی توزیع آن‌ها در محدوده مورد نظر است. در این پژوهش این کار با استفاده از برآزش توزیع آماری پواسون ناهمگن بر توزیع مکانی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی انجام شد. همچنین معنی‌داری اختلاف این دو توزیع از طریق آزمون نیکویی برآزش کولموگروف اسمیرنوف مطالعه شد (۲۰).

#### آماره‌های اختصاری

تابع همبستگی جفتی ( $g(r)$ ): این تابع، یکی از مشتقات تابع  $K$  رایپلی است که بیانگر تراکم جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در دایره با شعاع  $r$  و مرکز تصادفی در محدوده مورد بررسی است (رابطه ۲) (۲۰).

$$g(r) = \frac{dK(r)}{(2\pi r)(dr)} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲،  $dK(r)$  و  $dr$  مشتق تابع  $K$  رایپلی و  $r$  هستند. مقدار این تابع در یک الگوی مکانی تصادفی برابر یک بوده و بیشتر بودن این تابع از یک بیانگر الگو مکانی کپه‌ای و کمتر بودن آن نشان‌دهنده الگوی مکانی پراکنده<sup>۱</sup> است. متخصصین بوم‌شناسی از واژه «پراکنده» استفاده می‌کنند که در بوم‌سازگان‌های طبیعی مفهوم دارد، در حالی که واژه‌های «یکنواخت<sup>۲</sup>» و «منظم<sup>۳</sup>» غالباً توسط آماردانان استفاده می‌شوند که در تحلیل بوم‌شناسی پوشش گیاهی مناسب نیستند؛ زیرا با توجه به ناهمگنی‌های محیطی، توزیع مکانی گیاهان در طبیعت از یکنواختی و نظم برخوردار نیست (۱۶، ۲۱، ۳۸).

1- Dispersed

2- Uniform

3- Regular

**تابع  $O(r)$  O-ring:** تابع  $O$  که با استفاده از تابع  $g$  به دست می آید، به جای اندازه گیری تعداد جست-گروه‌ها در دایره‌ای با شعاع  $r$ ، تعداد داخل حلقه‌ای با عرض معین، شعاع  $r$  و مرکز تصادفی شمارش می‌شوند (رابطه ۳).

$$O(r) = \lambda g(r) \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه ۳،  $\lambda$  تراکم نقاط در الگوی مورد بررسی است. مقدار این تابع برای یک الگوی تصادفی برابر تراکم جست‌گروه‌ها ( $\lambda$ ) است. بیشتر بودن این تابع از تراکم بیانگر الگو مکانی کپه‌ای و کمتر بودن آن نشان‌دهنده الگوی مکانی پراکنده است (۳۶).

**تابع  $E$ :** پیش از بررسی تأثیر نوع برهمکنش بلوط‌های ایرانی بر یکدیگر بر ویژگی‌های کمی آن‌ها (ارتفاع جست‌گروه‌ها، ارتفاع تاج، قطر یقه، قطر متوسط و مساحت تاج)، با استفاده از روش‌های مناسب باید تأیید نمود که بین ویژگی‌های کمی اشاره شده و موقعیت مکانی بلوط‌های ایرانی همبستگی مکانی وجود دارد که در این پژوهش از تابع  $E$  استفاده شد (رابطه ۴).

$$E(r) = N_r^{-1} \sum m_i \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه ۴،  $N_r$  تعداد جفت بلوط ایرانی در فاصله  $r$ ،  $m_i$  ویژگی کمی متعلق به نقطه  $i$  است. اگر مقدار این تابع صفر باشد و با تغییرات فاصله تغییر نکند، بین بلوط‌های ایرانی و ویژگی‌های کمی مورد مطالعه ارتباط مکانی وجود ندارد. اگر مقدار این تابع مثبت باشد بیانگر همبستگی مثبت و اگر منفی باشد، نشان‌دهنده همبستگی منفی بین ویژگی‌های کمی و مکان جست‌گروه‌ها است (۳۷).

**تابع همبستگی نشان‌دار  $(k_{mm}(r))$ :** تابع  $k_{mm}$  وابستگی بین نشان (مانند ارتفاع جست‌گروه) دو بلوط ایرانی که در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. با استفاده از مشخصه کمی جست‌گروه اول ( $m_1$ ) و دوم ( $m_2$ )، با استفاده از رابطه ۵ برای هر جفت بلوط ایرانی عددی محاسبه می‌شود که شباهت یا عدم شباهت نشان را مشخص می‌نماید. تابع  $k_{mm}$  در مقیاس مکانی  $r$ ، میانگین نرمال شده نتایج رابطه ۵ برای تمام جفت بلوط‌های ایرانی در مقیاس مکانی مذکور است.

$$f(m_1, m_2) = m_1 \times m_2 \quad \text{رابطه ۵}$$

اگر مقدار تابع  $k_{mm}$  برابر با یک باشد، ویژگی‌های کمی مورد بررسی مستقل از یکدیگر هستند. بیشتر بودن این تابع از یک بیانگر اثر تسهیل‌کنندگی و کمتر بودن آن از یک بیانگر اثر رقابتی درختان بر ویژگی‌های زیست‌سنجی است (۲۰ و ۳۷).

آزمون آماری نتایج: نتایج حاصل از تابع‌های  $g$ ،  $O$ ،  $E$  و  $k_{mm}$  در سطح ۰/۰۵ مورد آزمون آماری قرار گرفت. ابتدا یک بازه شبیه‌سازی با استفاده از توزیع پواسون مناسب (همگن یا ناهمگن با توجه به توزیع مکانی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در محدوده بررسی) و آزمون مونت‌کارلو با ۱۹۹ تکرار برای توزیع تصادفی بلوط‌های ایرانی ساخته شده و سپس نتایج هر کدام از آماره‌های اختصاری با آن‌ها مقایسه شدند تا معنی‌داری نوع برهمکنش آن‌ها در هر فاصله در سطح ۰/۰۵ ارزیابی شود.

### نتایج و بحث

آماربرداری از قطعه‌نمونه مورد مطالعه (شکل ۱) نشان داد که ۱۱۱۳ جست‌گروه بلوط ایرانی با تراکم ۱۲۳/۷ پایه در هکتار در آن وجود داشتند که خلاصه نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها در جدول ۱ آمده است. با توجه به ضرورت ارزیابی برهمکنش درون‌گونه‌ای در توده‌های خالص (۱۵)، قطعه‌نمونه ۹ هکتاری مورد مطالعه نیز در بخشی انتخاب شد که علاوه بر یکنواختی شرایط محیطی (اعم از ویژگی‌های فیزیوگرافیک و خاک) به‌طور خالص پوشیده از جست‌گروه‌های بلوط ایرانی بود. نتایج آماربرداری نشان داد که به غیر از مساحت تاج، سایر ویژگی‌های زیست‌سنجی دارای خطای کمتر از ۳ درصد بوده و با دقت قابل قبولی اندازه‌گیری شدند. خطای ۵ درصدی مساحت تاج نیز به‌علت محاسبه غیرمستقیم آن به‌وسیله قطر متوسط تاج بوده است. انحراف معیار کم و مشابه در ارتفاع کل، ارتفاع تاج و قطر متوسط تاج بلوط‌های ایرانی نیز نشان داد که جست‌گروه‌ها از این جنبه‌ها به هم شباهت داشته و اختلاف زیادی نداشتند، برخلاف قطر یقه که بسیار متنوع بوده و دامنه تغییرات آن زیاد بوده است.

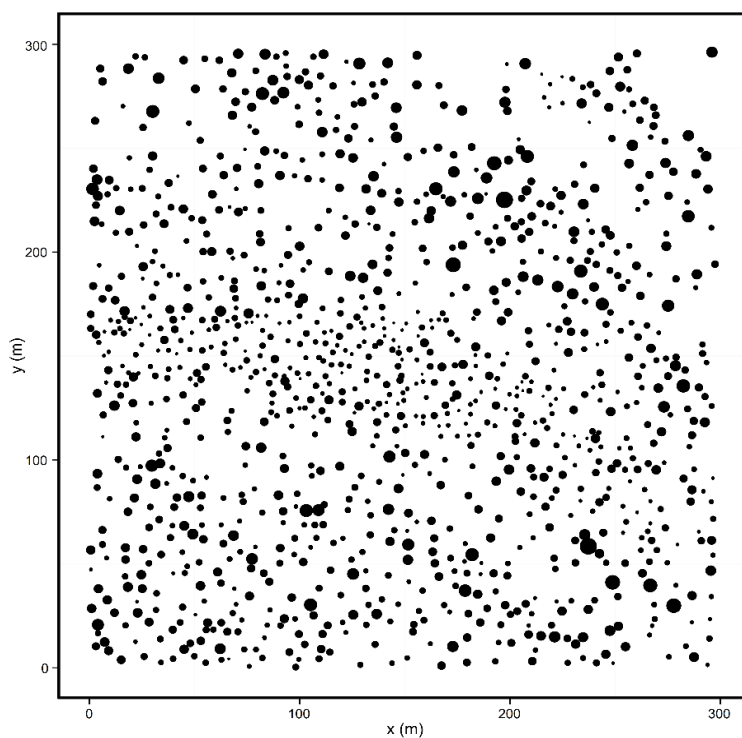
آزمون نیکویی برازش کولموگروف اسمیرنوف ( $D_{0.05} = 0.0435 < D = 0.0266$  و  $p\text{-value} = 0.412$ ) نشان داد که توزیع جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در قطعه‌نمونه مورد مطالعه با توزیع پواسون همگن اختلاف معنی‌داری نداشت (تأیید فرض صفر). دستیابی به تحلیل صحیح در ارزیابی برهمکنش جست‌گروه‌های بلوط ایرانی با یکدیگر منوط به بررسی همگنی توزیع آن‌ها در قطعه‌نمونه مورد مطالعه و در نتیجه کاربرد آماره‌های اختصاری مناسب است که در بسیاری از پژوهش‌های پیشین (۸، ۱۸) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. نتایج نشان داد بلوط‌های ایرانی در قطعه‌نمونه مورد مطالعه دارای توزیع همگن بودند که وجود شرایط محیطی نسبتاً یکنواخت و همچنین نوع ارتباط آن‌ها با هم (۱۵، ۲۰) از مهمترین دلایل توزیع همگن جست‌گروه‌های بلوط ایرانی می‌تواند باشد.

جدول ۱- نتایج آماربرداری از ویژگی‌های زیست‌سنجی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در قطعه‌نمونه مورد مطالعه.



Table 1. The results of measurement of biometric characteristics in Persian oak coppice trees in the study plot.

Inventory error percent	Coefficient of variation	Standard deviation	Mean	Biometric characteristic
2.3	39	3.22	8.21	ارتفاع جست گروه‌ها (متر) Coppice tree height (m)
2.8	48	2.78	5.77	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)
2.7	47	12.77	27.23	قطر یقه (سانتی‌متر) Diameter at root collar (cm)
2.5	43	3.06	7.14	قطر متوسط تاج (متر) Mean crown diameter (m)
5.1	86	40.80	47.34	مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m <sup>2</sup> )

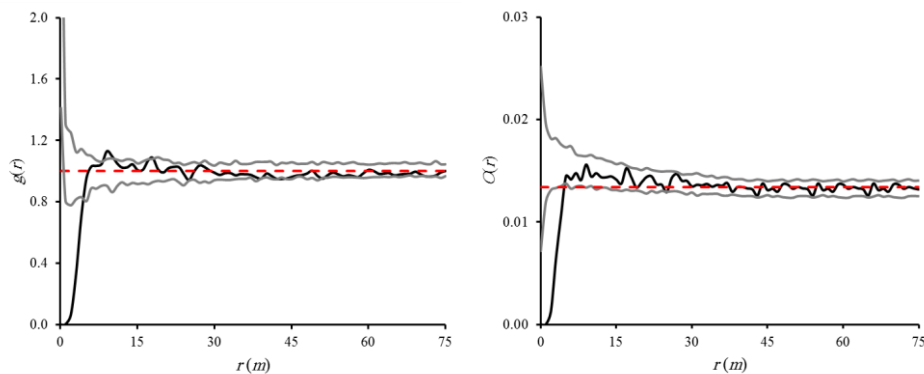


شکل ۱- قطعه نمونه مورد مطالعه پوشیده از جست گروه‌های بلوط ایرانی با تراکم ۱۲۳/۷ پایه در هکتار.

Figure 1. The study plot covered by Persian oak coppice trees with density of 123.7 trees ha<sup>-1</sup>.

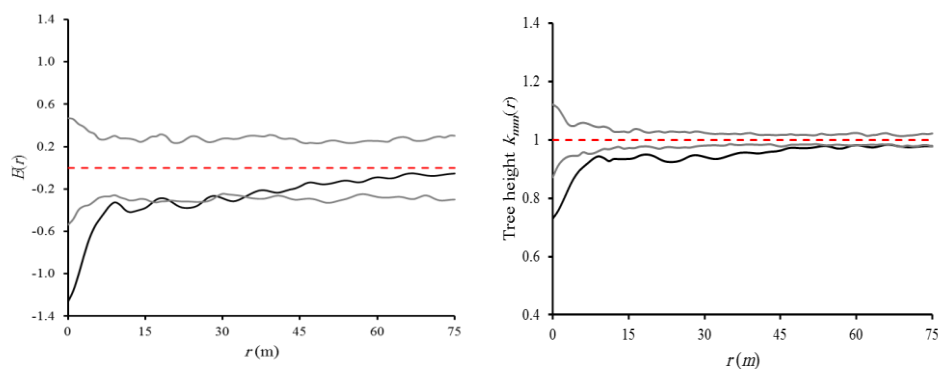
نتایج تابع  $g$  همگن نشان داد که جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در قطعه‌نمونه مورد مطالعه از فاصله ۱ تا ۵/۱ متر به‌طور معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) توزیع پراکنده داشتند و ساختار مکانی آن‌ها ناشی از رقابت درون‌گونه‌ای شکل گرفته است. اگرچه توزیع جست‌گروه‌ها در فاصله ۸ تا ۱۱ متر توزیع تجمعی معنی‌داری را نشان داد ولی به دلیل نزدیکی به محدوده توزیع تصادفی به دست آمده از آزمون مونت کارلو در نظر گرفته نشد. در سایر مقیاس‌های فاصله‌ای نیز توزیع مکانی بلوط‌های ایرانی به توزیع تصادفی شباهت داشت (شکل ۲). تابع  $O$  نیز پراکندگی معنی‌دار جست‌گروه‌های بلوط ایرانی را در فاصله ۱ تا ۵/۱ متر نشان داد (در سطح ۰/۰۵) ولی توزیع تجمعی آن‌ها در فاصله ۸ تا ۱۱ متر بر اساس آزمون مونت کارلو تأیید نکرد. همچنین این تابع نشان داد که بلوط‌های ایرانی در سایر مقیاس‌های مورد بررسی (از ۱۹ تا ۷۵ متر) دارای تراکم مشابه تراکم متوسط منطقه بوده و توزیع مکانی آن‌ها تصادفی بوده است (شکل ۲).

تابع‌های  $g$  و  $O$  از آماره‌های اختصاری درجه دوم مورد استفاده در تحلیل توزیع مکانی درختان در مطالعات پیشین (۶، ۷، ۱۲، ۲۱، ۳۶) هستند که در این پژوهش نیز به کار رفتند. نتایج این تابع‌ها نشان داد که جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در قطعه‌نمونه مورد مطالعه از فاصله ۱ تا ۵/۱ متر برهمکنش منفی با یکدیگر داشتند که در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده و در نتیجه، رقابت درون‌گونه‌ای عامل اصلی شکل‌گیری توزیع آن‌ها در قطعه نمونه مورد بررسی بوده است. همچنین نتایج نشان داد که با وجود تراکم کم بلوط‌های ایرانی در قطعه نمونه بررسی شده (۱۲۳/۷ پایه در هکتار)، رقابت بین آن‌ها بر سر عوامل محیطی وجود داشته است. وجود رقابت بین جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در زاگرس با استفاده از تحلیل روابط همسایگی در مطالعات پیشین (۱۱، ۱۴) تأیید شده است. اگرچه در سایر مطالعات در زاگرس شمالی (استان‌های کرمانشاه و کردستان) برهمکنش مثبت در بلوط‌های ایرانی مشاهده شده است (۳، ۱۹، ۲۱، ۳۳). تفاوت در نتیجه‌گیری علاوه بر مطالعه در رویشگاه‌های مختلف، ممکن است به فرم رویشی (۳، ۲۱، ۳۳) مربوط باشد هرچند در مطالعه حیدری و همکاران (۲۰۱۱) فرم رویشی مانند این پژوهش جست‌زاد بوده است (۱۹). همچنین تفاوت در شرایط محیطی و تجمع درختان در برخی نقاط مساعدتر رویشگاه در مطالعات قبلی ممکن است دلیل توزیع مکانی کپه‌ای بلوط‌های ایرانی بوده که در این پژوهش چنین عاملی وجود نداشته و توزیع همگن درختان در قطعه‌نمونه نیز این موضوع (همگنی عوامل محیطی) را تأیید نمود. لازم به ذکر است که استفاده از آماره‌های اختصاری متناسب با همگنی یا ناهمگنی درختان نیز بر نتایج به دست آمده در مطالعات قبلی روی بلوط ایرانی تأثیر گذاشته است که در پژوهش حاضر، پس از ارزیابی همگنی از آماره‌های اختصاری مناسب استفاده شد.



شکل ۲- توزیع مکانی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در قطعه نمونه مورد مطالعه با استفاده از تابع  $g$  و  $O$  (خط مشکی بیانگر تغییرات توزیع جست‌گروه‌ها، خطوط خاکستری محدوده بازه شبیه‌سازی شده با استفاده از آزمون مونت‌کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده مقدار نظری در تابع  $g$  و تراکم بلوط ایرانی (۰/۰۱۳ پایه در مترمربع) در تابع  $O$  است).

Figure 2. Spatial distribution of Persian oak coppice trees in the study plot using pair correlation function  $g(r)$  and  $O(r)$  (The black lines show the distribution of coppice trees, grey lines are the simulation envelopes constructed by Monte Carlo and red dashed lines are the theoretical values of  $g(r)$  and density of Persian oaks ( $0.013 \text{ trees m}^{-2}$ ) in  $O(r)$ ).

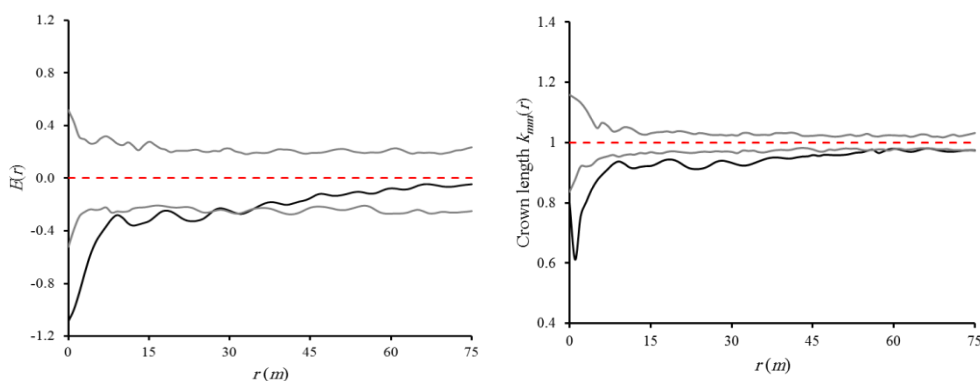


شکل ۳- همبستگی ارتفاع جست‌گروه‌های بلوط ایرانی با توزیع مکانی آن‌ها با استفاده از تابع  $E$  و ارتباط متقابل این جست‌گروه‌ها با توجه به ارتفاع آن‌ها در تابع  $k_{mm}$  (خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، خطوط خاکستری محدوده بازه شبیه‌سازی شده با استفاده از آزمون مونت‌کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده مقدار نظری تابع‌ها (صفر در تابع  $E$  و یک در تابع  $k_{mm}$ ) است).

Figure 3. Correlation of height of Persian oak coppice trees with their spatial distribution showed by  $E$ -function and their interaction due to total height in  $k_{mm}(r)$  (The black lines show the observed changes, grey lines are the simulation envelopes constructed by Monte Carlo and red dashed lines are the theoretical values of the functions (0.0 in  $E$ -function and 1.0 in  $k_{mm}(r)$ ).

تابع  $E$  نشان داد که ارتفاع جست‌گروه‌های بلوط ایرانی تا فاصله ۱۷ متر به‌طور معنی‌داری به موقعیت مکانی آن‌ها وابسته بوده ولی همبستگی منفی داشتند. اگرچه این همبستگی تا فاصله ۷۵ متر ادامه داشت ولی معنی‌داری آن در سطح ۰/۰۵ تأیید نشد (شکل ۳). تابع  $k_{mm}$  نیز نشان داد که رقابت بین جست‌گروه‌های بلوط ایرانی باعث شده تا ارتفاع جست‌گروه‌ها در همه فاصله‌ها کمتر از ارتفاع متوسط در قطعه نمونه باشد و معنی‌داری آن در سطح ۰/۰۵ تا فاصله ۶۰ متر تأیید شد (شکل ۳).

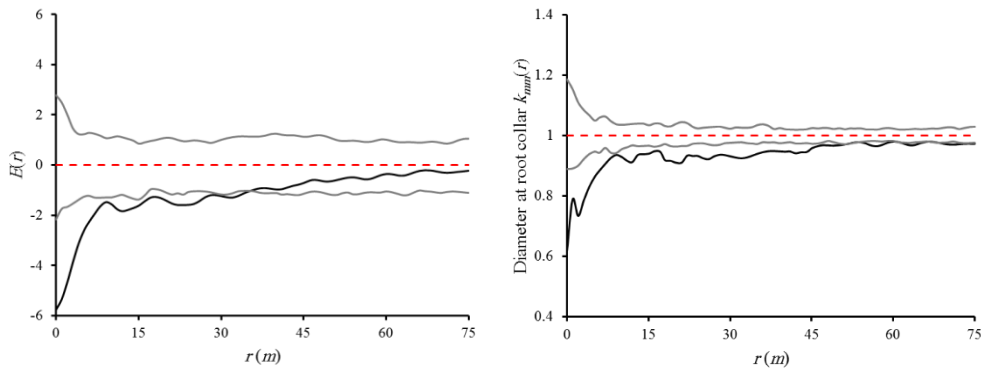
بررسی همبستگی ارتفاع تاج جست‌گروه‌های بلوط ایرانی به موقعیت مکانی آن‌ها به‌وسیله تابع  $E$  نشان داد که ویژگی مذکور در تمام فاصله‌ها به موقعیت مکانی وابستگی منفی داشته هرچند این ارتباط تا فاصله ۲۷ متر در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود (شکل ۴). نتایج تابع  $k_{mm}$  نیز بیانگر کمتر بودن ارتفاع تاج جست‌گروه‌های بلوط ایرانی از میانگین ناشی از رقابت درون‌گونه‌ای بوده که این نتیجه تا فاصله ۵۸ متر در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده است (شکل ۴).



شکل ۴- همبستگی ارتفاع تاج جست‌گروه‌های بلوط ایرانی با توزیع مکانی آن‌ها با استفاده از تابع  $E$  و ارتباط متقابل این جست‌گروه‌ها با توجه به ارتفاع تاج آن‌ها در تابع  $k_{mm}$

Figure 4. Correlation of crown length of Persian oak coppice trees with their spatial distribution showed by  $E$ -function and their interaction due to crown length in  $k_{mm}(r)$ .

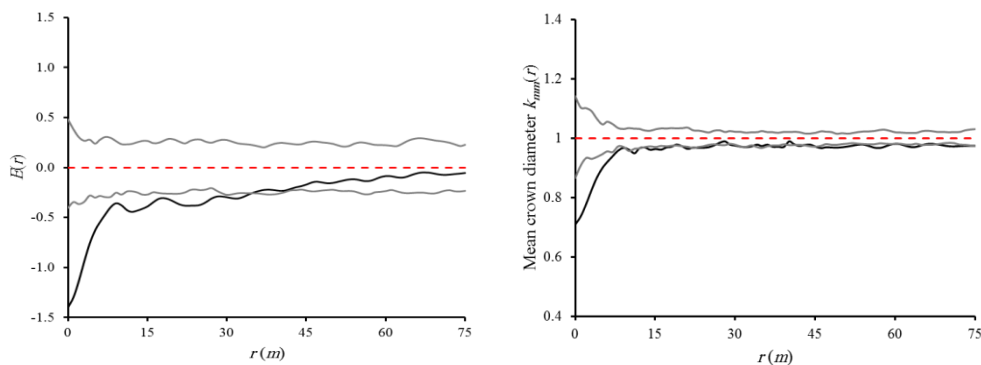
همچنین تابع  $E$  بیانگر این بود که در تمام فاصله‌ها، قطر یقه با موقعیت مکانی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی همبستگی منفی داشته هرچند تنها تا فاصله ۳۶ متر این ارتباط معنی‌دار بود (در سطح ۰/۰۵) (شکل ۵). ارزیابی تابع  $k_{mm}$  نشان داد قطر یقه جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در همه فاصله‌های مورد بررسی کمتر از متوسط قطر یقه قطعه‌نمونه بوده تا فاصله ۴۹ متر این کمتر بودن در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود (شکل ۵).



شکل ۵- همبستگی قطر یقه جست گروه‌های بلوط ایرانی با توزیع مکانی آن‌ها با استفاده از تابع  $E$  و ارتباط متقابل این جست گروه‌ها با توجه به قطر یقه آن‌ها در تابع  $k_{mm}$

Figure 5. Correlation of diameter at root collar of Persian oak coppice trees with their spatial distribution showed by  $E$ -function and their interaction due to diameter at root collar in  $k_{mm}(r)$ .

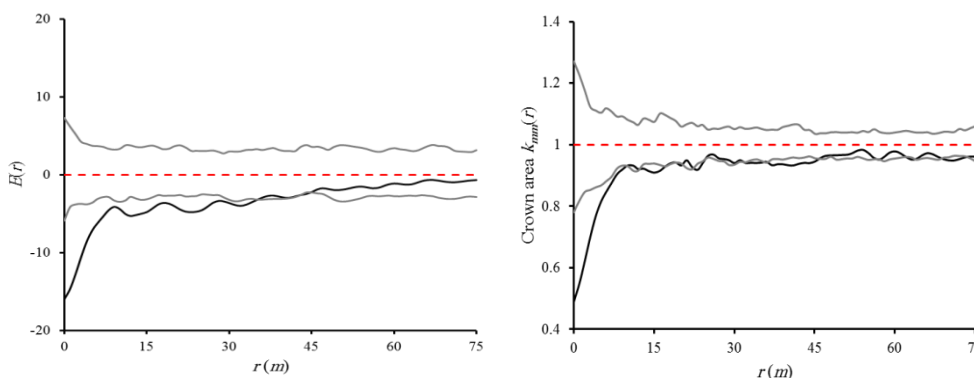
تابع  $E$  نشان داد که قطر متوسط تاج جست گروه‌های بلوط ایرانی نیز تنها تا فاصله ۳۵ متری به طور معنی‌دار (در سطح ۰/۰۵) به موقعیت مکانی جست گروه‌ها به‌طور منفی وابسته بوده است، اگرچه در تمام فاصله‌های مورد بررسی این وابستگی مشاهده شد (شکل ۶). همچنین تابع  $k_{mm}$  نشان داد که رقابت بر قطر متوسط تاج بلوط‌های ایرانی اثر گذاشته به نحوی که تا فاصله ۹ متر مقدار این ویژگی به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار متوسط قطعه نمونه بوده است (شکل ۶).



شکل ۶- همبستگی قطر متوسط تاج جست گروه‌های بلوط ایرانی با توزیع مکانی آن‌ها با استفاده از تابع  $E$  و ارتباط متقابل این جست گروه‌ها با توجه به قطر متوسط تاج آن‌ها در تابع  $k_{mm}$

Figure 6. Correlation of mean crown diameter of Persian oak coppice trees with their spatial distribution showed by  $E$ -function and their interaction due to mean crown diameter in  $k_{mm}(r)$ .

در نهایت تابع  $E$  نشان دهنده همبستگی منفی ویژگی مساحت تاج جست‌گروه‌های بلوط ایرانی به موقعیت مکانی شان در تمام مقیاس‌ها بوده ولی معنی‌داری آن تا فاصله ۳۶ متری (در سطح ۰/۰۵) تأیید شد (شکل ۷). مساحت تاج کمتر از میانگین کل بلوط‌های ایرانی به وسیله تابع  $k_{mm}$  نشان داده شد و آزمون آماری مونت کارلو، معنی‌داری این نتیجه را تا فاصله ۱۰ متری در سطح ۰/۰۵ تأیید نمود (شکل ۷).



شکل ۷- همبستگی مساحت تاج جست‌گروه‌های بلوط ایرانی با توزیع مکانی آن‌ها با استفاده از تابع  $E$  و ارتباط متقابل این جست‌گروه‌ها با توجه به مساحت تاج آن‌ها در تابع  $k_{mm}$

Figure 7. Correlation of crown area of Persian oak coppice trees with their spatial distribution showed by  $E$ -function and their interaction due to crown area in  $k_{mm}(r)$ .

امروزه در مطالعه الگوی مکانی درختان صرفاً به بررسی پراکنش آن‌ها پرداخته نمی‌شود و پیشرفت در این شاخه از علم بوم‌شناسی باعث شده تا علاوه بر روابط مکانی درختان با هم، تأثیر این ارتباط بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها نیز ارزیابی شود. در این پژوهش نیز یکی از جدیدترین آماره‌های اختصاری تأیید شده در مطالعات اخیر (۲۶، ۲۹) به کار رفت تا تأثیر رقابت جست‌گروه‌های بلوط ایرانی بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها به صورت کمی و آماری ارزیابی شود. نتایج تابع  $k_{mm}$  اطلاعات بسیار ارزشمندی را در مورد بوم‌شناسی فردی جست‌گروه‌های بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه ارائه نمود. اول این که تابع  $k_{mm}$  نشان داد به طور کلی رقابت درون‌گونه‌ای بین بلوط‌های ایرانی باعث شده تا مانع رشد یکدیگر شوند و ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها در هر نقطه از قطعه نمونه کمتر از میانگین بوده است. دوم این که تابع مذکور نشان داد جست‌گروه‌های نورپسند بلوط ایرانی به دلیل

رقابت بر سر نور، به طور معنی داری (در سطح ۰/۰۵) مانع از رشد ارتفاعی یکدیگر تا فاصله ۶۰ متر شده که این نتیجه هم در ارتفاع کل و هم در ارتفاع تاج مشاهده شد. این در حالی است که رقابت درون گونه‌ای تأثیر کمتری بر ویژگی‌های تاج (قطر متوسط و مساحت) بلوط‌های ایرانی داشته است که اثر معنی دار آن تا فاصله حدود ۱۰ متر مشاهده شد و علت این موضوع، وجود فضای کافی بین درختان برای رشد جانبی تاج و رقابت کمتر برای فضای خالی (بر خلاف توده‌های متراکم) بوده است. همچنین رقابت درون گونه‌ای باعث تأثیر منفی و جلوگیری از رشد قطر یقه جست گروه‌ها شده است به نحوی که معنی داری این اثر تا فاصله حدود ۵۰ متر تأیید شد (در سطح ۰/۰۵). علت این نتیجه، رقابت بر سر عناصر غذایی در خاک بوده و احتمالاً کمبود آن‌ها در خاک ضعیف منطقه باعث کاهش رشد قطری بلوط‌های ایرانی شده است. نتایج تابع  $k_{mm}$  جنبه‌هایی از بوم‌شناسی فردی بلوط ایرانی را به طور کمی نشان داده و به لحاظ آماری تأیید نمود که تاکنون روشن نبوده است. چنین جنبه‌هایی از بوم‌شناسی فردی سایر گونه‌های جنس بلوط و همچنین سایر درختان در توده‌های جنگلی با شرایط مختلف با استفاده از تحلیل‌های مکانی در مطالعات قبلی (۲۶، ۲۹، ۳۵) تأیید شده است.

### نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با توجه به ضرورت بررسی نوع برهمکنش درختان با یکدیگر و شناخت نحوه تأثیر رقابت بین آن‌ها بر میزان رویش از یک سو و همچنین اهمیت ناحیه رویشی زاگرس و بوم‌شناسی فردی گونه بلوط ایرانی به عنوان مهمترین گونه آن از سوی دیگر انجام شد. تأیید وجود رقابت درون گونه‌ای بین جست گروه‌های بلوط ایرانی در قطعه نمونه‌ای از یک توده خالص با استفاده از تحلیل الگوی نقطه‌ای و همچنین ارزیابی تأثیر برهمکنش رقابتی بین بلوط‌های ایرانی بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها از اهداف اصلی موردنظر بود. در این پژوهش از تابع همبستگی نشان دار برای ارزیابی تأثیر رقابت بر ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان استفاده شد که تاکنون در کمتر مطالعه‌ای از آن استفاده شده و از این جنبه دارای نوآوری است.

به طور کلی، نتایج بیانگر برهمکنش منفی جست گروه‌های بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه بوده و تأثیر معنی دار رقابت درون گونه‌ای در شکل‌گیری توزیع مکانی آن‌ها را به لحاظ آماری تأیید نمود. همچنین این درختان به دلیل وجود رقابت بر سر نور و مواد مغذی خاک، مانع از رشد یکدیگر شده‌اند و بر ویژگی‌های زیست‌سنجی هم تأثیر منفی داشتند. رقابت بیشترین تأثیر منفی را بر رشد ارتفاعی و

سپس رشد قطری بلوط‌های ایرانی گذاشته و کمترین تأثیر، مربوط به ویژگی‌های تاج (قطر متوسط و مساحت) آن‌ها بوده است. در نهایت این پژوهش تأیید نمود که استفاده از آماره‌های اختصاری متداول (مانند تابع‌های  $g$  و  $O$ ) به تنهایی تأثیر منفی رقابت درون‌گونه‌ای بلوط‌های ایرانی و میزان این تأثیر را بر ویژگی‌های زیست‌سنجی یکدیگر نشان نداد و کاربرد آماره‌های اختصاری مناسب (مانند تابع  $k_{mm}$ ) برای درک بهتر جنبه‌های مهم بوم‌شناسی فردی این گونه ارزشمند اجتناب‌ناپذیر است.

### سپاسگزاری

نویسنده از اداره کل منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد به‌دلیل صدور مجوز بازدید میدانی قدردانی می‌نماید. همچنین این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز (کد اعتبار ۹۱GRD۲M۱۵۳۱۲۶) انجام شده است. نظرات ارزشمند داوران گرامی نیز منجر به بهبود کیفیت مقاله و رفع اشکالات آن شد که شایسته تشکر است.

### منابع

1. Amanzadeh, B., Sagheb-Talebi, K., Foumani, B.S., Fadaie, F., Camarero, J., and Linares, C. 2013. Spatial distribution and volume of dead wood in unmanaged Caspian Beech (*Fagus orientalis*) forests from Northern Iran. *Forests*, 4: 751-765.
2. Alavi, J., Zahedi Amiri, G., Nouri, Z., and Marvi Mohajer, M.R. 2014. Application of Ripley's  $K$ -Function in Detecting Spatial Pattern of Wych Elm Species in Khayroud Forests, North of Iran. *Iranian Journal of Wood and Forest Science*, 20(4): 21-39. (In Persian)
3. Basiri, R., Sohrabi, H., and Mozayen, M. 2006. A statistical analysis of the spatial pattern of trees species in Ghamisheleh Marivan Region, Iran. *Journal of Iranian Natural Resources*, 59(2): 579-588. (In Persian)
4. Batoubeh, P., Akhavan, R., Pourhashemi, M., and KiaDaliri, H. 2013. Determining the Minimum Plot Size to Study the Spatial Patterns of Manna Oak Trees (*Quercus brantii* Lindl.) though Using Ripley's  $K$ -Function at Less-Disturbed Stands in Marivan Forests. *Iranian Journal of Forest and Wood Products*, 66(1): 27-38. (In Persian)
5. Boyden, S., Binkley, D., and Shepperd, W. 2005. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*. 219: 43-55.



6. Bruckman, V.J., Yan, S., Hochbichler, E., and Glatzel, G. 2011. Carbon pool and temporal dynamics along a rotation period in *Quercus* dominated high forest and coppice with standards stands. *Forest Ecology and Management*, 262: 1853-1862.
7. Chen, J., Liu, J., Yang, X., Wang, Y., and Yu, X. 2011. The structure and spatial patterns of three desert communities in the western Ordos Plateau: Implication for biodiversity conservation. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9: 3.714-722.
8. Churchill, D., Larson, A., Dahlgreen, M., Franklin, J., Hessburg, P., and Luts, J. 2013. Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. *Forest Ecology and Management*, 291: 442-457.
9. Cisz, M.E., Falkowski, M.J., and Orr, B. 2013. Small-scale spatial pattern of *Copernicia alba* morong near Bahia Negra, Paraguay. *Natural Resources*, 4: 369-377.
10. Dagley, C.M. 2008. Spatial pattern of coast redwood in three alluvial flat old-growth forests in northern California. *Journal of Forest Science*, 54: 3.294-302.
11. Devaney, J.L., Jansen, M.A.K., and Whelan, P.M. 2014. Spatial patterns of natural regeneration in stands of English yew (*Taxus baccata* L.); Negative neighbourhood effects. *Forest Ecology and Management*, 321: 52-60.
12. Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M., and Namiranian, M. 2009. Spatial pattern analysis in Persian oak (*Quercus brantii* var. *persica*) forests on B&W aerial photographs. *Environmental Monitoring and Assessment*. 150: 251-259.
13. Erfanifard, Y., and 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)
14. Erfanifard, Y., and Soleimani, H. 2014. An efficient method in diameter at root collar measurement of Persian oak coppice trees in Zagros dry forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Wood Products*, 67: 3.383-395. (In Persian)
15. Erfanifard, Y., Zare, L., and Feghhi, J. 2014. Application of nearest neighbour indices in Persian oak (*Quercus brantii* var. *persica*) coppice stands of Zagros forests. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2: 5.15-25.
16. Fortin, M.J., and Dale, M.R.T. 2005. *Spatial analysis, a guide for ecologists*. Cambridge Univ. Press, USA, 365p.
17. Garcia-Cervigon, A.I., Gazol, A., Sanz, V., Camarero, J.J., and Olano, J.M. 2013. Intraspecific competition replaces interspecific facilitation as abiotic stress decreases: The shifting nature of plant-plant interactions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15: 226-236.
18. Genet, A., Grabarnik, P., Sekretenko, O., and Pothier, D. 2014. Incorporating the mechanisms underlying inter-tree competition into a random point process model to improve spatial tree pattern analysis in forestry. *Ecological Modelling*, 288: 143-154.

19. Getzin, S., Wiegand, K., Schumacher, J., and Gougeon, F.A. 2008. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. *Forest Ecology and Management*, 255: 2478-2485.
20. Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., Sobhani, H., and Safari, A. 2011. Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagros forests. *Iranian Journal of Forest*, 2(4): 323-330. (In Persian)
21. Illian, J., Penttinen, A., Stoyan H., and Stoyan, D. 2008. *Statistical analysis and modelling of spatial point patterns*. John Wiley and Sons Inc., USA, 534p.
22. Karimi, M., Pormajidian, M.R., Jalilvand, H., and 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)
23. Král, K., Valtera, M., Janík, D., Samonil, P., and Vrska, T. 2014. Spatial variability of general stand characteristics in central European beech-dominated natural stands- Effects of scale. *Forest Ecology and Management*, 328: 353-364.
24. Levesque, M., McLaren, K.P., and McDonlad, M.A. 2011. Recovery and dynamics of a primary tropical dry forest in Jamaica, 10 years after human disturbance. *Forest Ecology and Management*, 262: 817-826.
25. Li, Y., Hui, G., Zhao, Z., Hu, Y., and Ye, S. 2014. Spatial structural characteristics of three hardwood species in Korean pine broad-leaved forest- Validating the bivariate distribution of structural parameters from the point of tree population. *Forest Ecology and Management*, 314: 17-25.
26. Lydersen, J.M., North, M.P., Knapp, E.E., and Collins, B.M. 2013. Quantifying spatial patterns of tree groups and gaps in mixed-conifer forests: Reference conditions and long-term changes following fire suppression and logging. *Forest Ecology and Management*, 304: 370-382.
27. Martinez, I., Taboada, F.G., Wiegand, T., and Obeso, J.R. 2013. Spatial patterns of seedling-adult associations in a temperate forest community. *Forest Ecology and Management*, 296: 74-80.
28. Minias, P., Kaczmarek, K., Włodarczyk, R., and Janiszewski, T. 2014. Does intraspecific competition facilitate age separation in timing of southward migration in waders? *Acta Oecologica*, 58: 44-48.
29. Navarro-Cerrillo, R., Manzanedo, R., Bohorque, J., Sanchez, R., Sanchez, J., Miguel, S., Solano, D., Qarro, M., Griffith, D., and Palacios, G. 2013. Structure and spatio-temporal dynamics of cedar forests along a management gradient in the Middle Atlas, Morocco. *Forest Ecology and Management*, 289: 341-353.
30. Ni, R., Baiketuerhan, Y., Zhang, C., Zhao, X., and von Gadow, K. 2014. Analysing structural diversity in two temperate forests in northeastern China. *Forest Ecology and Management*, 316: 139-147.

31. Piao, T., Comita, L.S., Jin, G., and Kim, J.H. 2013. Density dependence across multiple life stages in a temperate old-growth forest of northeast China. *Oecologia*, 172: 207-217.
32. Pommerening, A., and Stoyan, D. 2008. Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbour summary statistics measured in small subwindows. *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 1110-1122.
33. Rendenieks, Z., Nikodemus, O., and Brumelis, G. 2015. The implications of stand composition, age and spatial patterns of forest regions with different ownership type for management optimisation in northern Latvia. *Forest Ecology and Management*, 335: 216-224.
34. Safari, A., Shabani, N., Heidari, R.H., Erfanifard, Y., and 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): 596-608. (In Persian)
35. Sagheb-Talebi, Kh., Sajedi, T., and Pourhashemi, M. 2014. *Forests of Iran*, Springer, The Netherlands, 152p.
36. Seidel, D., Hoffmann, N., Ehbrecht, M., Juchheim, J., and Ammer, C. 2015. How neighborhood affects tree diameter increment– New insights from terrestrial laser scanning and some methodical considerations. *Forest Ecology and Management*, 336: 119-128.
37. Sher, A.A., Wiegand, K., and Ward, D. 2010. Do *Acacia* and *Tamarix* trees compete for water in the Negev desert? *Journal of Arid Environments*, 74: 338-343.
38. Stoyan, D., and Stoyan, H. 1994. *Fractals, random shapes and point fields: methods of geometrical statistics*, John Wiley and Sons Inc., USA, 387p.
39. Zobeiri, M. 2009. *Forest measurement*. Tehran Univ. Press, 424p. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 23 (2), 2016

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## **Analysing the effect of intraspecific competition on biometric attributes of Persian oak coppice trees using pair- and mark-correlation functions in Zagros dry forests**

**\*Y. Erfanifard**

Associate Prof., Dept. of Natural Resources and Environment, College of Agriculture,  
Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 12/31/2014; Accepted: 12/30/2015

### **Abstract**

**Background and objectives:** Intraspecific competition between trees is a key interaction in shaping forest stands and makes analyzing the underlying ecological processes possible. This interaction may affect growth and spatial distribution of trees and result in a specific horizontal and vertical stand structure. For this reason, competition is known as one of the primary processes that influence population size, community structure and its diversity. In order to understand competitive interactions of trees in forests, several methods have been developed to assess spatial scale of competition among individual trees and show the effect of competition their biometric characteristics. Therefore, this study was aimed to investigate the effect of intraspecific competition between Persian oak coppice trees on their biometric attributes in Zagros arid and semi-arid forests using spatial analysis.

**Materials and methods:** A 300 m × 300 m plot purely cover with Persian oaks was selected close to Yasuj city, Kohgiluyeh - Boyer-Ahmad province. The point map of all 1113 coppice trees was obtained by azimuth and distance technique. Kolmogorov-Smirnov test was primarily applied to investigate the difference between the distribution of coppice trees and homogeneous Poisson process. Spatial analysis of Persian oak coppice trees was then performed using pair correlation function  $g(r)$ ,  $O$ -ring function  $O(r)$ , and mark correlation function  $k_{mm}(r)$ . In mark correlation function, biometric characteristics of total height, crown height, diameter at root collar, crown mean diameter and area were implemented as marks. Moreover, Monte Carlo test was used to test the significance of the results.

**Results:** Comparison with homogeneous Poisson process showed that the observed pattern of Persian oaks was significantly homogeneous ( $\alpha=0.05$ ). The results of pair correlation function  $g(r)$ , and  $O$ -ring function revealed that there was intraspecific

---

\*Correspondence author: [erfanifard@shirazu.ac.ir](mailto:erfanifard@shirazu.ac.ir)

competition between Persian oak coppice trees that was significant up to spatial scale of 5 m ( $\alpha=0.05$ ). In addition, the results of mark correlation function demonstrated that total height, crown height, and diameter at root collar were very sensitive to intraspecific competition, while crown attributes (i.e. mean diameter and area) showed less sensitivity to competition.

**Conclusion:** In general, it was concluded that there were competitive interactions between Persian oaks in the studied pure stand that negatively affected their biometric characteristics. Competition between coppice trees negatively influenced their growth, although this negative interaction had less effect on crown attributes as the distance between coppice trees because of their low density (123.7 coppice trees  $\text{ha}^{-1}$ ) reduced the crown competition.

**Keywords:** Persian oak, Mark correlation function, Intraspecific competition, Zagros, Biometric attribute