



## الگوی پراکنش مکانی درختچه قره تاج (*Anagyris foetida* L.) در جنگل‌های زاگرس

آرمین سلیمی<sup>۱</sup>، فرهاد قاسمی آقباش<sup>۲\*</sup> و مرتضی پوررضا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر  
<sup>۳</sup> استادیار، گروه منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۷)

### چکیده

این پژوهش به منظور شناسایی الگوی پراکنش مکانی و برهم‌کنش درون‌گونه‌ای درختچه قره‌تاج (*Anagyris foetida* L.) در رویشگاه انحصاری آن در بخشی از جنگل‌های زاگرس انجام گرفت. یک قطعه نمونه به نسبت خالص از گونه قره‌تاج با مساحت ۱ هکتار در نظر گرفته شد و موقعیت مکانی درختچه‌ها و ویژگی‌های زیست‌سنجی آنها اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از تابع‌های فاصله‌های نزدیک‌ترین ( $J$ ،  $F$ ،  $G$ )، همسایه و تابع همبستگی جفتی ( $g$ ) الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره‌تاج محاسبه شد. همچنین با به‌کارگیری توابع همبستگی نشاندار ( $Kmm(r)$ ) و واریوگرام نشاندار ( $\gamma(r)$ ) وابستگی مکانی اندازه درختچه‌ها بررسی شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های زیست‌سنجی نشان داد که میانگین قطر یقه، ارتفاع، سطح تاج و تعداد جست درختچه‌های قره‌تاج به ترتیب، ۵/۱۵ سانتی‌متر، ۲/۳۶ متر، ۵/۶ متر مربع و ۱۲/۵۹ پایه بود. تراکم درختچه‌های قره‌تاج نیز ۲۳۱ پایه در هکتار بود. برپایه یافته‌ها، درختچه‌های قره‌تاج در فواصل کوتاه به‌صورت کپه‌ای و در فواصل بیشتر از الگوی کاملاً تصادفی پیروی می‌کنند. البته یافته‌های تابع همبستگی جفتی ( $g$ ) نشان داد که در فاصله ۱۳-۱۷ متری، الگوی پراکنش درختچه‌ها دوباره به‌صورت کپه‌ای تغییر می‌کند. همچنین برپایه یافته‌های تابع‌های همبستگی نشاندار و واریوگرام نشاندار هیچ‌گونه همبستگی مکانی برای ویژگی‌های زیست‌سنجی مشاهده نشد و چینش درختچه‌های قره‌تاج با اندازه‌های گوناگون در کنار یکدیگر کاملاً تصادفی بود. نتیجه‌گیری شد که اگرچه درختچه‌های قره‌تاج در فواصل کوتاه برهم‌کنش مثبت و تمایل به کپه‌ای شدن نشان دادند، ساختار مکانی مشخصی از نظر ویژگی‌های زیست‌سنجی ندارند و چگونگی چینش آنها از نظر اندازه افراد تصادفی است و اندازه‌های مشابه در کنار یکدیگر نیستند.

**واژه‌های کلیدی:** تابع نزدیک‌ترین همسایه، تابع همبستگی جفتی، واریوگرام نشاندار، همبستگی نشاندار.

### مقدمه

دامنه زمانی در همسایگی آن هستند (Felinks & Wiegand, 2008; Fibich et al., 2016). بنابراین شناسایی ارتباط مکانی درختان در جنگل و تأثیرات متقابل آنها در شناسایی فرایندهای مختلف بوم‌سازگان و در نتیجه مدیریت بهینه آنها بسیار

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

(Ripley, 1987). از سوی دیگر، وجود الگوی پراکنش یکنواخت افراد یک گونه می‌تواند پیامد رقابت درون‌گونه‌ای (Stoll & Bergius, 2005) یا مرگ‌ومیر ناشی از بیماری باشد (Janzen, 1970). البته باید توجه داشت که هر یک از فرایندهای اکولوژیک ممکن است در مقیاس‌های مکانی مختلفی بر الگوی پراکنش افراد هر گونه تأثیر بگذارند. مثلاً برهم‌کنش عوامل زیستی بیشتر در مقیاس همسایگی (شعاع ۱۰ تا ۲۰ متر) بر الگوی پراکنش درختان تأثیر دارند، ولی برهم‌کنش عوامل غیرزیستی مانند ناهمگنی در شرایط محیطی در مقیاس‌های فراتر از همسایگی تأثیرگذارند (Getzin et al., 2008).

افزون بر الگوی پراکنش مکانی درختان، تغییرات ساختار مکانی آنها با توجه به اندازه یا سن درختان در یک توده، اطلاعات بیشتری را درباره فرایندهای آینده آن فراهم می‌کند (Stoyan & Penttinen, 2000). برای مثال، پیش‌بینی می‌شود که خودهمبستگی مکانی اندازه درختان با گذشت زمان به دلیل رقابت بین افراد با اندازه‌های مشابه کاهش یابد (Pommerening & Särkkä, 2013). بنابراین بررسی الگوی پراکنش مکانی و چگونگی چینش درختان با توجه به سن و اندازه آنها در کنار یکدیگر نیز از مهم‌ترین جنبه‌های ساختاری توده‌های جنگلی به‌شمار می‌رود که در توصیف بوم‌سازگان جنگلی و شناسایی پویایی برهم‌کنش گونه‌ها و افراد هر گونه نقش مهمی دارد (Pommerening & Särkkä, 2013; Suzuki et al., 2008).

تاکنون روش‌های متعددی برای بررسی الگوی پراکنش و ساختار مکانی درختان معرفی شده است. 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 شد که اطلاعات ارزشمندتری را از تغییرات الگوی پراکنش

بازرزش است (Sefidi et al., 2018). برای دستیابی به این مهم، آگاهی از وضعیت الگوی پراکنش مکانی گونه‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است (Jaferyan et al., 2015). از آنجا که رقابت، فرایندی است که تأثیر بسیار زیادی بر چینش افراد در همسایگی یکدیگر دارد، بررسی الگوی پراکنش مکانی گیاهان می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را درباره برهم‌کنش افراد یک گونه در یک جمعیت یا بین گونه‌های مختلف در یک جامعه گیاهی آشکار کند (Gray & He, 2009). از این گذشته، برهم‌کنش درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای از سازوکارهای اساسی مؤثر بر چگونگی پراکنش گونه‌ها در همسایگی یکدیگر، زنده‌مانی و مرگ‌ومیر، توانایی تولید، ساختار توده، پویایی جمعیت و عملکرد یک بوم‌سازگان است (Getzin et al., 2006; Felinks & Weigand, 2008).

در بوم‌سازگان‌های طبیعی، چینش گونه‌ها و افراد هر گونه در کنار یکدیگر پیامد برایندهای فرایندهای چندگانه‌ای است که برخی از آنها به‌حدی پیچیده و ناشناخته‌اند که نمی‌توان چگونگی اثر آنها را بر الگوی پراکنش گونه‌ها به‌خوبی تشخیص داد (Felinks & Weigand, 2008). عوامل زیستی و شرایط محیط زیستی گوناگونی، بر الگوی پراکنش مکانی درختان تأثیر می‌گذارند و در نتیجه پویایی و فرایندهای بوم‌شناختی رویشگاه دچار تغییر و تحولاتی می‌شود (Gray & He, 2009).

فرایندها و نیروهای مختلفی مانند توزیع بذرها، رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای، آشفستگی و نظم محیط زیستی پراکنش مکانی گونه‌ها را تغییر می‌دهند (Kang et al., 2014). به‌طور مثال، الگوی مکانی کپه‌ای افراد یک گونه، ممکن است پیامد عواملی مانند توانایی محدود در پراکنش بذر (Clark et al., 1999; Hao et al., 2017; Gratzner et al., 2018)، ناهمگنی محیط (شرایط توپوگرافی یا تغییرپذیری خاک) (Getzin et al., 2008)، برهم‌کنش مثبت میان افراد (Fibich, 2016) یا برایندهای این عوامل باشد

نشان می‌دهند که این درختچه برای دام خوش‌خوراک نبوده و قابل چرا نیست. این گونه از خانواده لگومینوز (Fabaceae) و دارای بذرهایی به نسبت درشت و سنگینی است (Wilson, 2018) که یکی از عوامل مهم در تعیین الگوی پراکنش مکانی به‌شمار می‌رود. البته برخورداری از توان تولید مثل غیرجنسی سبب شده که این پایه‌ها از جست‌های متعددی تشکیل شده و بیشتر به‌صورت جست‌گروه مشاهده شوند.

از آنجا که تا کنون گزارشی درباره ساختار مکانی گونه قره‌تاج چه در ایران و چه در جهان وجود ندارد، بررسی الگوی پراکنش مکانی این گونه با هدف گسترش کشت آن و امکان استفاده از آن در طرح‌های احیایی بخش‌هایی از جنگل‌های زاگرس از اهمیت فراوانی برخوردار است. بنابراین با توجه به ارزش بوم‌شناختی زیاد این گونه و منحصر بودن رویشگاه آن، هدف این پژوهش به‌طور کلی شناسایی الگوی پراکنش مکانی گونه قره‌تاج بود تا بتوان به پرسش‌های زیر پاسخ داد:

۱. الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره‌تاج در یک توده به نسبت خالص چگونه است؟ ۲. آیا الگوی به‌دست‌آمده با استفاده از تابع‌های مختلف یکسان است؟ ۳. برهم‌کنش درون‌گونه‌ای در درختچه‌های قره‌تاج بیشتر به‌صورت رقابت است یا اثر تسهیل‌کنندگی؟ ۴. آیا ساختار مکانی مشخصی بین درختچه‌های قره‌تاج از نظر ویژگی‌های زیست‌سنجی وجود دارد؟

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

درختچه قره‌تاج در ایران در یک رویشگاه انحصاری در حوضه آبخیز چله در شهرستان گیلانغرب واقع شده است. مختصات جغرافیایی مرکز این رویشگاه "۲۸' ۰۱" ۴۶° طول شرقی و "۳۸' ۵۰" ۳۴° عرض شمالی است. این رویشگاه در مسیر جاده

گیاهان و وابستگی ویژگی‌های زیست‌سنجی آنها در فواصل مختلف ارائه می‌دهند (Szymt, 2014). با به‌کارگیری این روش‌ها در ایران نیز در پژوهش‌هایی درباره برهم‌کنش درون‌گونه‌ای (Erfanifard & Kariminejad, 2015; Erfanifard & Khosravi, 2015; Erfanifard & Aali Beiranvand, 2018; Alipour & Erfanifard, 2016) و بین‌گونه‌ای (Akhavan et al. 2018a) در رویشگاه‌های مختلفی بررسی شده است. همچنین افزون‌بر بررسی الگوی مکانی گونه‌ها، ارتباط ویژگی‌های زیست‌سنجی آنها نیز با استفاده از تابع‌های واریوگرام همبستگی نشاندار و واریوگرام نشاندار بررسی شده است که اطلاعات ارزشمندی را درباره روابط اندازه و سن افراد داخل یک گونه یا افراد گونه‌های مختلف با هم ارائه می‌دهد (Kariminejad et al., 2017; Akhavan et al., 2018b).

گونه قره‌تاج (*Anagyris foetida* L.) که بیشتر به فرم رویشی درختچه‌ای مشاهده می‌شود، پراکنش محدودی در جهان دارد و پراکنش آن محدود به لکه‌هایی است در مناطقی از جنوب اروپا تا خاور میانه (Wilson, 2018; Valtueña et al., 2010). در ایران پراکنش این گونه به‌صورت انفرادی یا گروهی کوچک در قسمت‌هایی از ناحیه رویشی ارسباران نیز گزارش شده است، ولی تنها رویشگاه انحصاری آن در بخشی از جنگل‌های زاگرس در استان کرمانشاه است (Hosseinzadeh et al., 2015; Haidari et al., 2016). درباره این درختچه در ایران اطلاعات زیادی وجود ندارد. اولین گزارش را (Hosseinzadeh et al., 2015) درباره شرایط رویشگاهی و برخی ویژگی‌های زیست‌سنجی این گونه ارائه کرد. وجود نهال‌های بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در داخل درختچه قره‌تاج به دلیل اینکه می‌تواند به‌عنوان گونه پرستار برای زادآوری جنسی بلوط ایرانی و بنه تأثیر مهمی داشته باشد، از نظر بوم‌شناختی نیز اهمیت فراوانی دارد (Hosseinzadeh et al., 2015). از طرفی گزارش‌ها

اندازه‌گیری شدند.

### روش تحلیل

#### همگنی پراکنش مکانی

برای برگزیدن روش‌های مناسب در بررسی الگوی پراکنش و ساختار مکانی درختچه‌های قره تاج، نخست همگنی پراکنش مکانی درختچه‌ها در قطعه نمونه با به‌کارگیری آزمون کای اسکور ارزیابی شد که نتایج آن نشان داد پراکنش مکانی درختچه‌های قره تاج در قطعه نمونه در نظر گرفته شده از نظر آماری همگن است.

#### تابع‌های الگوی پراکنش مکانی

در روش‌های مدرن آماری بررسی الگوی مکانی نقطه‌ای به منظور شناسایی روابط اکولوژیک گیاهان، از توابعی استفاده می‌شود که یا وابسته به فاصله‌های بین نقاط (در اینجا درختان) است (مانند توابع:  $K$ -Ripley،  $L$  و  $g$ ) یا وابسته به فاصله‌ها تا نزدیک‌ترین همسایه (مانند توابع:  $F$ ،  $G$  و  $J$ ) (Ripley 1981; Illian et al. 2008; Szymt; 2014). در این پژوهش به منظور مدل‌سازی الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره تاج هم از توابع مربوط به «فاصله نزدیک‌ترین همسایه» (توابع  $F$ ،  $G$  و  $J$ ) و هم از تابع همبستگی جفتی ( $g$ ) بهره‌گیری شد که هر یک در ادامه شرح داده می‌شود.

- تابع پراکنش فاصله نزدیک‌ترین همسایه (تابع  $G$ ):  
بر پایه فاصله از یک رخداد (به عنوان مثال درخت) تا نزدیک‌ترین همسایه آن است و توزیع این فاصله‌ها را اندازه‌گیری کرده و در شرایط الگوی کاملاً تصادفی از رابطه ۱ پیروی می‌کند (Illian et al. 2008):

$$G(r) = 1 - \exp\{-\lambda\pi r^2\} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه،  $\lambda$  تراکم درختان و  $r$  فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش است که در اینجا برحسب متر اندازه‌گیری شده است. اگر مقادیر تابع  $G$  در فواصل کوتاه بیشتر از مقادیر آن برای الگوی کاملاً تصادفی باشد، نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای و اگر کمتر

کرمانشاه به گیلانغرب و در هفت کیلومتری شهر گیلانغرب قرار دارد (Hosseinzadeh et al., 2015). سطح رویشگاه این گونه حدود ۵۲۰ هکتار و ارتفاع متوسط آن ۱۱۷۰ متر است. کمترین ارتفاع ۹۷۰ متر در حاشیه رودخانه دولابی و بیشترین ارتفاع ۱۴۲۰ متر از سطح دریاست (Hosseinzadeh et al., 2015). ساختار زمین‌شناسی این رویشگاه از نوع سنگ‌های آهکی و با خاک سطحی تا کم‌عمق و در برخی نقاط نیمه‌عمیق است. میانگین بارش و دمای سالانه این رویشگاه بر پایه داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهرستان گیلانغرب به ترتیب ۴۷۱ میلی‌متر و ۲۰/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (سایت هواشناسی استان کرمانشاه). در این رویشگاه درختچه‌های قره تاج قطع نشده‌اند و برخلاف دیگر گونه‌های زاگرس، به دلیل خوش‌خوراک نبودن برای دام، چرا نمی‌شوند (Hosseinzadeh et al., 2015). اگرچه در سال‌های اخیر به دلیل سکونت موقت عشایر در حوالی این رویشگاه، کوبیدگی خاک بستر کاملاً مشهود بوده و البته در ارتفاعات پایین شدت کوبیدگی بیشتر است.

#### روش پژوهش

با جنگل‌گردشی، یک قطعه نمونه مربع‌شکل به نسبت خالص گونه قره تاج به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر انتخاب شد. در داخل این قطعه نمونه با اندازه‌گیری فاصله و آزمون درختان با استفاده از متر و قطب‌نما، موقعیت مکانی درختچه‌ها مشخص شد. بدین ترتیب که مختصات نقطه شروع که ضلع جنوب غربی قطعه نمونه بود با استفاده از GPS مشخص شد. سپس موقعیت مکانی درختان دیگر در قطعه نمونه تحت بررسی نسبت به این نقطه به دست آمد و در پایان موقعیت هر درختچه با استفاده از روابط مثلثاتی محاسبه و به مقیاس سیستم UTM تبدیل شد. درختچه‌های موجود در داخل قطعه نمونه از نظر ویژگی‌های زیست‌سنجی شامل قطر یقه بزرگ‌ترین جست، تعداد جست، ارتفاع و سطح تاج نیز

میانگین تعداد نقاطی است که در فاصله  $(r)$  از یک نقطه تصادفی است. تابع همبستگی جفتی  $(g)$  به دلیل توانایی جداسازی الگوی کپه‌ای (تجمعی) در مقیاس‌های مکانی مختلف، برتری چشمگیری نسبت به تابع  $K$ -Ripley دارد و به‌عنوان مناسب‌ترین تابع در بیان روابط اکولوژیک بین درختان در جنگل ارائه شده است (Szymt, 2014). تابع  $(g)$  با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$g(r) = \frac{\frac{d}{dr} K(r)}{2\pi r} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه،  $dK(r)$  و  $dr$  به ترتیب مشتق تابع  $K$ -Ripley و  $r$  هستند. مقادیر  $g(r)$  برابر با ۱ نشان‌دهنده الگوی مکانی کاملاً تصادفی<sup>۱</sup>،  $g(r)$  بیشتر از ۱، نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای و  $g(r)$  کوچک‌تر از ۱، نشان‌دهنده الگوی یکنواخت است. برای حذف اثر حاشیه‌ای در تابع همبستگی جفتی  $(g)$  از روش ترانسلیت استفاده شد (Stoyan & Stoyan, 1994).

- تابع همبستگی نشاندار  $(K_{mm}(r))$

برای بررسی همبستگی مکانی ویژگی‌های زیست‌سنجی اندازه‌گیری شده (قطر یقه، ارتفاع و غیره) در درختچه‌های قره‌تاج از تابع  $K_{mm}$  استفاده شد. این ویژگی (نشان)ها باید کمی و مثبت باشد. اگر ویژگی (نشان) تحت بررسی برای یک درخت  $m$  و برای درخت دیگر که در فاصله  $r$  قرار دارد  $m'$  در نظر گرفته شود، با به‌کارگیری رابطه ۵ مقادیر تابع  $K_{mm}$  محاسبه می‌شود (Baddeley et al., 2015).

$$f(m, m') = mm' \quad \text{رابطه ۵}$$

در واقع این تابع میانگین نرمال‌شده محاسبات انجام گرفته برپایه رابطه ۵ برای همه جفت درختان در

باشد نشان‌دهنده الگوی یکنواخت است.

- تابع فضای خالی  $(F)$ :

این تابع که تابع توزیع تماس کروی نیز نامیده می‌شود، برپایه اندازه‌گیری فاصله‌های بین یک نقطه تصادفی (نه یک درخت) تا نزدیک‌ترین درخت همسایه است که مانند تابع  $G$  از رابطه ۲ استفاده می‌شود (Illian et al. 2008):

$$G(r) = 1 - \exp\{-\lambda\pi r^2\} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه نیز  $\lambda$  تراکم درختان و  $r$  فاصله نقاط تصادفی تا نزدیک‌ترین درخت همسایه‌اش است. تفسیر نتایج به‌دست‌آمده از تابع  $F$  نسبت به تابع  $G$  وارونه است، به‌طوری‌که مقادیر برآوردشده برای تابع  $F$  اگر بیشتر از الگوی نشان‌دهنده الگوی کاملاً تصادفی باشد، نشان‌دهنده الگوی یکنواخت، و اگر کمتر باشد، نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای است.

- تابع ترکیبی  $(J)$ :

این تابع از ترکیب توابع  $G$  و  $F$  به‌دست می‌آید و از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Illian et al. 2008):

$$J(r) = \frac{1 - G(r)}{1 - F(r)} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه،  $G$  تابع پراکنش فاصله نزدیک‌ترین همسایه و  $F$  تابع توزیع تماس کروی است. اگر مقدار  $J(r)$  برابر ۱ باشد، نشان‌دهنده این است که پراکنش فاصله‌ها از توزیع پواسون (کاملاً تصادفی) پیروی می‌کند. مقادیر بیشتر و کمتر از ۱، به ترتیب نشان‌دهنده الگوی پراکنش مکانی یکنواخت و کپه‌ای است.

برای حذف اثر حاشیه‌ای در تابع‌های  $F$ ،  $G$  و  $J$  روش کاپلن-می‌یر<sup>۱</sup> به‌کار گرفته شد (Baddeley & Gill, 1997).

تابع همبستگی جفتی  $(g)$

تابع همبستگی جفتی (تابع تراکم همسایگی) از مشتقات تابع  $K$ -Ripley است که تابعی قدرتمند برای آنالیز الگوی مکانی است. تابع  $K$ -Ripley نشان‌دهنده

1. Kaplan-Meier

۲. CSR

3. Translate

به کارگیری بسته Spatstat (Baddeley & Turner, 2005) در برنامه R ورژن ۱.۵.۳ انجام گرفت (R Core Team, 2018).

### نتایج

#### ویژگی‌های زیست‌سنجی

در قطعه نمونه انتخاب شده (شکل ۱) که دارای مساحت ۱ هکتار بود، ۲۳۱ پایه درختچه قره تاج مشاهده شد. به عبارتی تراکم درختچه‌های قره تاج در این قطعه نمونه، ۲۳۱ پایه در هکتار بود. ویژگی‌های زیست‌سنجی درختچه‌های قره تاج در جدول ۱ خلاصه شده است.

#### الگوی مکانی

##### تابع توزیع $F$

نتایج مربوط به آنالیز الگوی مکانی درختچه‌های قره تاج با استفاده از تابع  $F$  نشان داده شده در فواصل کمتر از ۳ متر به دلیل قرار گرفتن مقدار محاسبه شده تابع  $F$  در داخل محدوده مونت کارلو (توزیع کاملاً تصادفی (CSR)) اختلاف معنی‌داری با توزیع کاملاً تصادفی ندارد. در فاصله‌های بین ۳ تا ۵/۵ متر مقدار محاسبه شده تابع  $F$  کمتر از محدوده توزیع کاملاً تصادفی (CSR) قرار گرفته و نشان‌دهنده این است که الگوی مکانی درختچه‌ها به‌طور معنی‌داری از حالت توزیع کاملاً تصادفی فاصله گرفته و به توزیع کپه‌ای نزدیک شده است. همچنین در فواصل بیش از ۵/۵ متر تابع  $F$  محاسبه شده دوباره در محدوده مونت کارلو قرار گرفته که نشان می‌دهد الگوی مکانی درختچه‌ها در بیش از این فاصله دوباره از توزیع تصادفی پیروی می‌کند (شکل ۲ الف).

##### تابع توزیع $G$

نتایج تجزیه و تحلیل الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره تاج با استفاده از تابع توزیع  $G$  نشان داد که در فاصله کمتر از ۱ متر مقدار محاسبه شده این تابع در داخل محدوده مونت کارلو قرار گرفته است

فاصله مورد نظر ( $r$ ) است و نشان می‌دهد که آیا بین دو درخت یا درختچه که در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار دارند، از نظر ویژگی‌های مورد نظر شباهتی وجود دارد یا نه؛ به طوری که اگر مقدار تابع  $K_{mm}(r)$  برابر ۱ باشد، نشان‌دهنده استقلال ویژگی‌ها و تصادفی قرار گرفتن درختان در کنار یکدیگر از نظر ویژگی تحت بررسی است. مقادیر بزرگ‌تر و کوچک‌تر از ۱، به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی مثبت (تشابه ویژگی) و همبستگی منفی (تفاوت ویژگی) بین درختان تحت بررسی است (Szymt, 2014).

واریوگرام نشاندار ( $\gamma(r)$ )

واریوگرام نشاندار، تابع مناسبی برای شناسایی اثر برهم‌کنش بین درختان و عوامل محیطی بر اندازه آنهاست. این تابع مربعات اختلاف‌ها را بین ویژگی (نشان؛  $m$ ) تحت بررسی در یک جفت درخت در فاصله  $r$  نشان می‌دهد، در شرایطی که یک درخت در موقعیت  $x$  و درخت دیگر در موقعیت  $x+r$  باشد (Baddeley et al., 2015).

$$\gamma(r) = \frac{1}{2} (E(m(x) - m(x+r))^2) \quad \text{رابطه ۶}$$

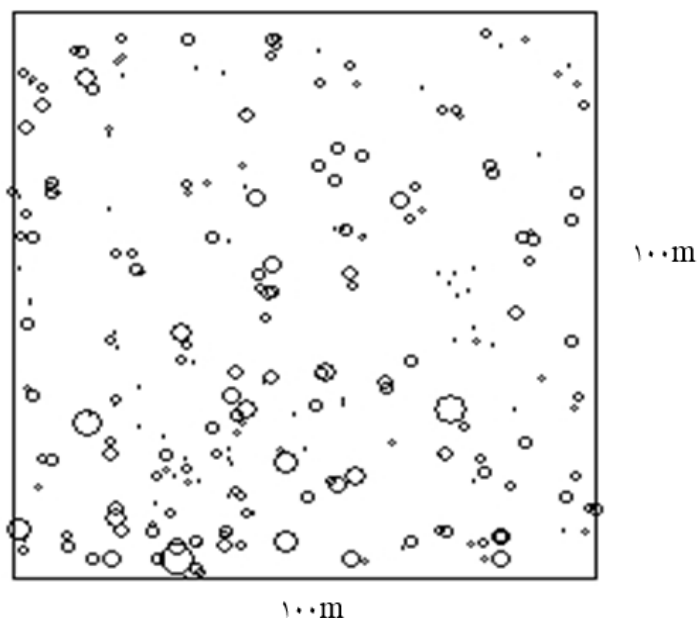
در یک فاصله مشخص بین درختان، مقادیر کوچک این تابع برای یک ویژگی (مثلاً قطر)، نشان‌دهنده خودهمبستگی مثبت (مشابه بودن ویژگی در فاصله  $r$  بین درختان) و مقادیر بزرگ تابع نشان‌دهنده خودهمبستگی منفی (تفاوت بودن ویژگی در فاصله  $r$  بین درختان) است.

### روش تحلیل

برای آزمون نتایج به دست آمده از تابع‌های مورد بررسی برای الگو و ساختار مکانی، بازه شبیه‌سازی شده مونت کارلو با ۱۹۹ بار تکرار به کار گرفته شد. به طوری که مقادیر قرار گرفته در بازه شبیه‌سازی مونت کارلو نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار با حالت کاملاً تصادفی است. در این پژوهش تجزیه و تحلیل الگوی پراکنش و ساختار مکانی با

الگوی پراکنش مکانی درختچه‌ها از فاصله ۱ متر تا ۵/۵ متر از الگوی کپه‌ای پیروی می‌کند (شکل ۲ ب).

و اختلاف معنی‌داری با توزیع کاملاً تصادفی ندارند. در فاصله‌های بیشتر از ۱ متر مقدار این تابع در بالای محدوده مونت کارلو قرار گرفته است که نشان می‌دهد



شکل ۱- پراکنش درختچه‌های قره‌تاج با ویژگی سطح تاج آنها در قطعه نمونه تحت بررسی

جدول ۱- خلاصه ویژگی‌های زیست‌سنجی مربوط به درختان قره‌تاج در قطعه نمونه انتخاب شده

ویژگی	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار
قطر یقه‌ق‌طورترین جست (cm)	۵/۱۵	۸/۲	۲	۱/۶۵
ارتفاع بلندترین جست (m)	۲/۳۶	۳/۵۰	۰/۷۰	۰/۴۵
تعداد جست در هر پایه	۱۲/۵۹	>۵۰	۲	۶/۶۴
سطح تاج (m <sup>2</sup> )	۵/۶۰	۱۳/۹۰	۰/۷۵	۲/۷۲

به دلیل قرار گرفتن مقدار محاسبه‌شده این تابع در زیر محدوده مونت کارلو الگوی پراکنش مکانی آنها تا فاصله ۵/۵ متری از الگوی کپه‌ای پیروی می‌کند (شکل ۲ ج).

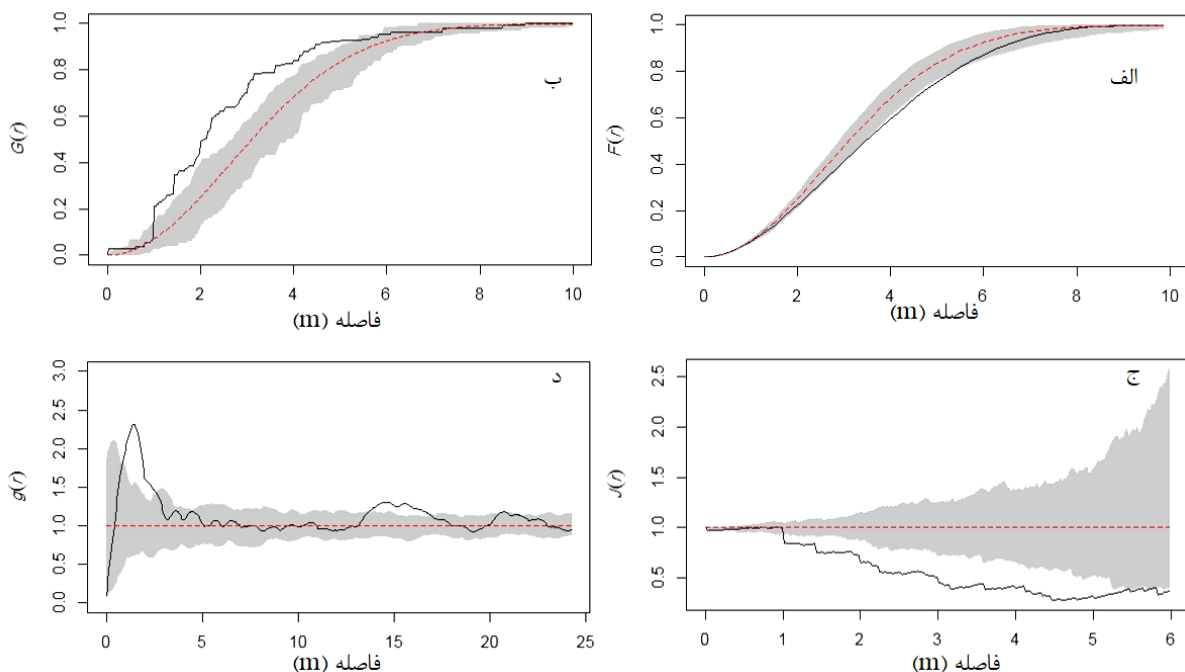
#### تابع همبستگی جفتی g

نتایج تجزیه و تحلیل تابع همبستگی جفتی (g) نشان داد که مقدار محاسبه‌شده این تابع نشان‌دهنده تغییرات الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره‌تاج

#### تابع توزیع J

نتایج تجزیه و تحلیل الگوی پراکنش مکانی با استفاده از تابع توزیع J کاملاً مشابه نتایج تجزیه و تحلیل تابع توزیع G بود، به طوری که در فاصله‌های کمتر از ۱ متر، مقدار محاسبه‌شده تابع G در داخل محدوده مونت کارلو قرار گرفت و نشان داد که الگوی پراکنش درختچه‌های قره‌تاج در فاصله کمتر از ۱ متر اختلاف معنی‌داری با توزیع کاملاً تصادفی ندارد، ولی در فاصله‌های بیش از ۱ متر

نشان دهنده تصادفی شدن الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره تاج بین این فواصل است. در صورتی که در فاصله ۱۳ تا ۱۷ متری مقدار تابع (g) دوباره در بالای محدوده مونت کارلو قرار می‌گیرد که نشان دهنده تغییر دوباره الگوی مکانی این درختچه‌ها در این فاصله است. در فاصله بیش از ۱۷ متر دوباره مقدار تابع (g) به داخل محدوده مونت کارلو می‌آید و نشان می‌دهد که در فواصل بیش از ۱۷ متر، الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره تاج با الگوی کاملاً تصادفی اختلاف معنی‌داری ندارد (شکل ۲ د).



شکل ۱- تابع‌های فاصله نزدیک‌ترین همسایه ( $F$ ،  $G$  و  $J$ ) و تابع همبستگی جفتی ( $g$ ) برای درختچه‌های قره تاج. خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه‌شده تابع، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حد بالا و پایین محدوده مونت کارلو است.

در فواصل مختلف است، به طوری که در فاصله کمتر از ۱ متر، مقدار این تابع در محدوده مونت کارلو قرار می‌گیرد و به همین دلیل نشان دهنده این است که الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره تاج در این فاصله اختلاف معنی‌داری با توزیع کاملاً تصادفی ندارد. در حالی که مقدار این تابع در فاصله بین ۱ تا ۳ متر در بالای محدوده مونت کارلو قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد در این فاصله، درختچه‌های قره تاج از الگوی پراکنش مکانی کپه‌ای پیروی می‌کنند. مقدار محاسبه‌شده این تابع برای فاصله‌های بیش از ۳ تا ۱۳ متر دوباره در محدوده مونت کارلو قرار می‌گیرد که

به‌طور تصادفی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و همبستگی معنی‌داری بین پراکنش درختچه‌ها از نظر اندازه قطر یقه وجود ندارد (شکل ۳ الف). درباره ویژگی‌های ارتفاع و تعداد جست نیز نتایج مربوط به تابع  $K_{mm}$  مشابه نتایج قطر یقه بود و همبستگی معنی‌داری بین پراکنش درختچه‌های قره تاج از نظر

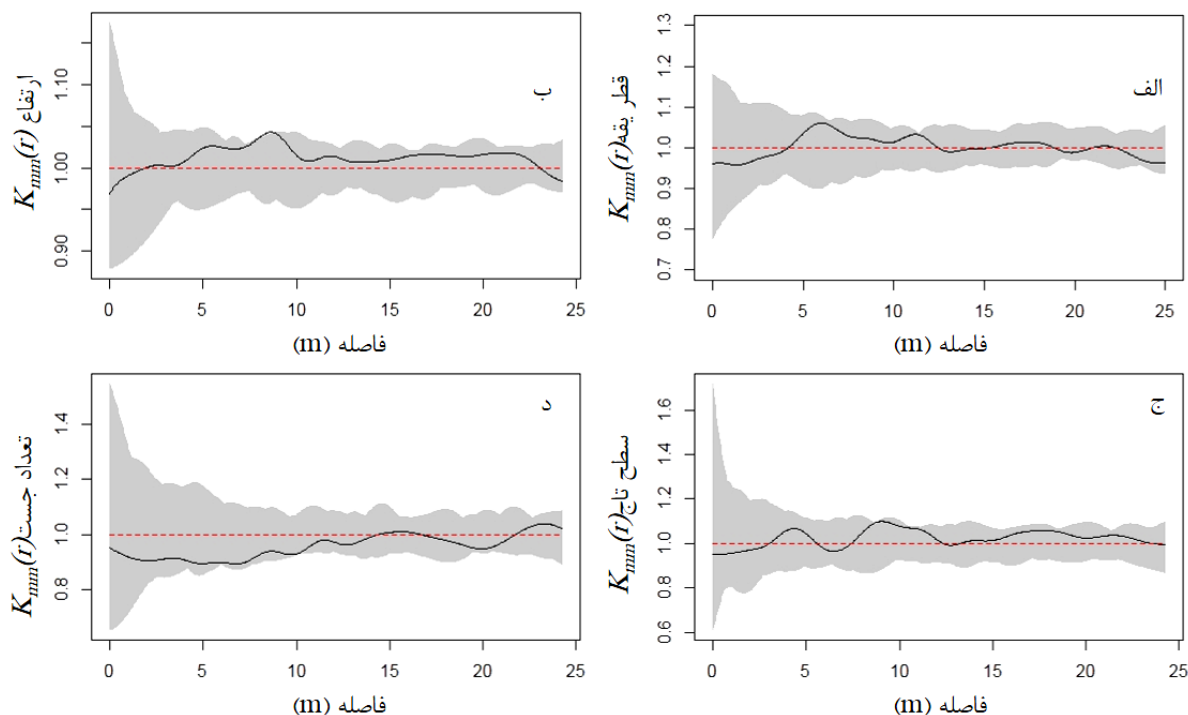
#### تابع همبستگی نشاندار

نتایج تجزیه و تحلیل تابع همبستگی نشاندار درباره ویژگی قطر یقه قطورترین جست در درختچه‌های قره تاج نشان داد که مقدار تابع  $K_{mm}$  در محدوده مونت کارلو قرار گرفته است که نشان می‌دهد درختچه‌های قره تاج از نظر قطر یقه قطورترین جست



اندازه‌گیری شده به‌طور تصادفی در کنار یکدیگر پراکنش یافته‌اند و رقابت یا وابستگی درون‌گونه‌ای ویژه‌ای را در اندازه‌های مختلف نشان نمی‌دهند.

ویژگی‌های ارتفاع (شکل ۳ ب)، سطح تاج (شکل ۳ ج) و تعداد جست (شکل ۳ د) مشاهده نشد. به دیگر سخن، درختچه‌های قره‌تاج در قطعه نمونه بررسی شده از نظر ویژگی‌های زیست‌سنجی



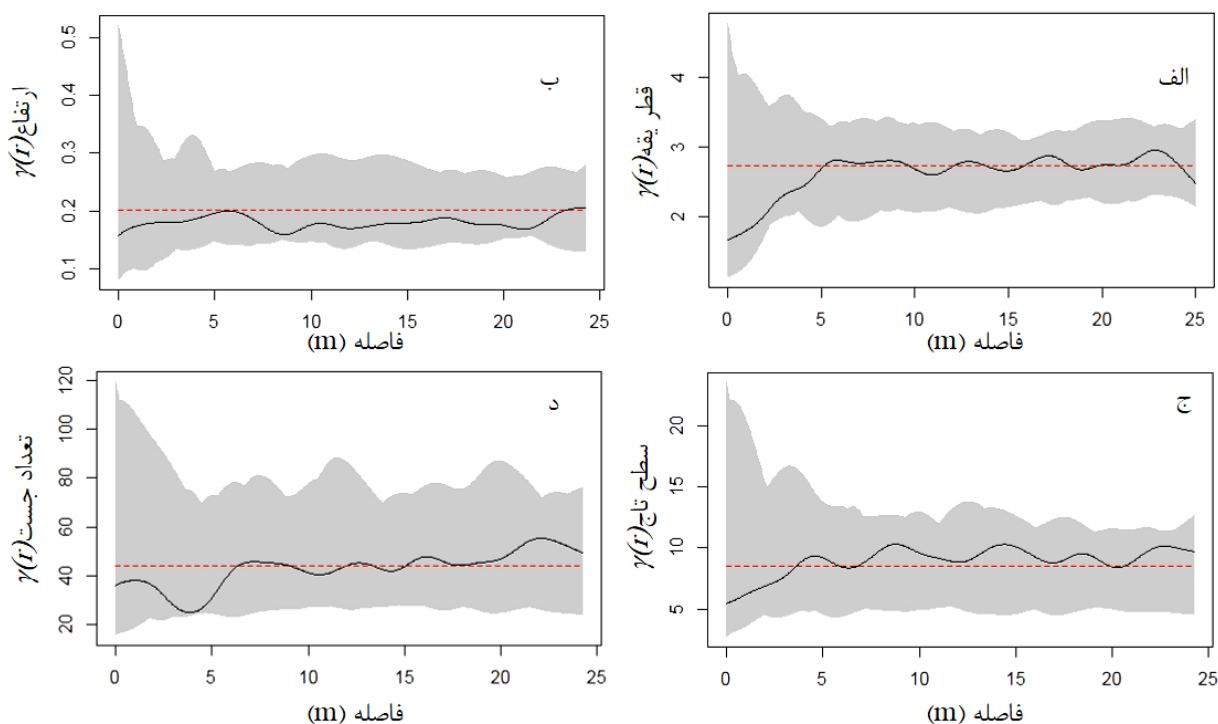
شکل ۳- تابع همبستگی نشاندار ( $K_{mm}$ ) برای ویژگی‌های زیست‌سنجی اندازه‌گیری شده در درختچه‌های قره‌تاج. خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه شده تابع همبستگی نشاندار، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حد بالا و پایین محدوده مونت کارلو است.

همچنان ساختار مکانی مشخصی را نشان نمی‌دهند.

### بحث

این پژوهش با تأکید بر ساختار مکانی درختچه‌های قره‌تاج و چگونگی برهم‌کنش درون‌گونه‌ای این درختچه‌ها انجام گرفت. با توجه به محدود شدن پراکنش طبیعی و به نسبت خالص این گونه در بخشی از جنگل‌های زاگرس، شناخت روابط اکولوژیک و چگونگی برهم‌کنش درون‌گونه‌ای این درختچه در رویشگاه انحصاری آن ضروری است و گام مهمی در برنامه‌ریزی حفاظت، حمایت و احیای بوم‌سازگان به‌شمار می‌رود.

نتایج به‌دست آمده از واریوگرام نشاندار برای ویژگی‌های زیست‌سنجی نشان داد که مقدار واریوگرام محاسبه شده برای همه ویژگی‌ها شامل قطر برابرینه (شکل ۴ الف)، ارتفاع (شکل ۴ ب)، سطح تاج (شکل ۴ ج) و تعداد جست (شکل ۴ د) در محدوده مونت کارلو قرار گرفته که دلیلی بر نبود ساختار مکانی معنی‌دار از نظر ویژگی‌های بررسی شده برای درختچه‌های قره‌تاج است. به دیگر سخن، درختچه‌های قره‌تاج که در همسایگی یکدیگر قرار دارند، از نظر ویژگی‌های زیست‌سنجی اندازه‌گیری شده به‌طور تصادفی آرایش یافته‌اند و تا فاصله ۲۵ متری



شکل ۴- واریوگرام نشاندار ( $\gamma(r)$ ) برای ویژگی‌های زیست‌سنجی اندازه‌گیری شده در درختچه‌های قره تاج. خط سیاه پررنگ نشان‌دهنده مقدار محاسبه‌شده واریوگرام نشاندار، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار تئوریک یا الگوی تصادفی و خطوط خاکستری نشان‌دهنده حد بالا و پایین محدوده مونت کارلو است.

نمونه به نسبت خالص، با نتایج پژوهش Hosseinzadeh et al. (2015) قابل مقایسه است؛ آنان ارتفاع این گونه را بین ۱ تا ۲/۵ متر و حتی تا ۴ متر و قطر تاج را بین ۱ تا ۴ متر و گاهی تا ۷ متر نیز گزارش کردند. همچنین براساس گزارش‌های موجود، ارتفاع این گونه در رویشگاه‌های مختلف آن از جنوب اروپا تا خاورمیانه، کمتر از ۴ متر بیان شده است (Wilson, 2018).

الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره تاج در این پژوهش وابسته به فاصله مورد بررسی پایه‌ها از یکدیگر متغیر بود. نتایج مربوط به توابع و آماره‌های اختصاری استفاده‌شده، نشان‌دهنده اختلافاتی در الگوی مکانی پایه‌ها در فواصل مختلف بود، ولی به طور کلی همگی اثبات می‌کنند که الگوی پراکنش مکانی درختچه‌ها، تقریباً در فواصل کمتر از ۵ متر، کپه‌ای

برپایه یافته‌های این پژوهش، تراکم درختچه قره تاج در قطعه نمونه یک‌هکتاری به نسبت خالص، پایه در هکتار به دست آمد که با نتایج پژوهش Hosseinzadeh et al. (2015) همخوانی دارد؛ آنان تراکم این گونه را در کل رویشگاه آن با اطمینان ۹۵ درصد بین ۲۲۳ تا ۲۸۴ پایه در هکتار برآورد کرده بودند. البته با توجه به نتایج پژوهش Haidari et al. (2016) تراکم این گونه با استفاده از قطعات نمونه دایره‌ای ۱۰ آری، ۱۴۳/۸ پایه در هکتار گزارش شد. اختلاف نتایج به دست آمده در مورد تراکم پایه‌ها ممکن است مربوط به روش‌های آماری به کاررفته و همچنین سطح در نظر گرفته شده باشد.

نتایج مربوط به ویژگی‌های زیست‌سنجی درختچه‌های قره تاج شامل میانگین ارتفاع (۲/۳۶ متر) و سطح تاج (۵/۶۰ مترمربع) در این قطعه

دسترس نیست و تنها می‌توان به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش Haidari et al. (2016) اشاره کرده که با استفاده از برخی شاخص‌ها (نه توابع)، به بررسی الگوی پراکنش درختچه‌های قره‌تاج در همین رویشگاه پرداخت و الگوی پراکنش این گونه را کپه‌ای گزارش کرد. باید اذعان داشت با توجه به اینکه شاخص‌های به‌کاررفته در پژوهش Haidari et al. (2016) توانایی بیان تغییرات الگوی پراکنش مکانی را در فواصل مختلف ندارند، اطلاعات مناسبی را در این زمینه ارائه نمی‌دهند و فقط به‌طور کلی بیان‌کننده الگوی پراکنش مکانی تصادفی، یکنواخت یا کپه‌ای هستند. از مهم‌ترین عوامل اولیه که تأثیر مهمی در الگوی پراکنش گیاهان دارد، درشتی و سنگینی بذرهاست که در مراحل اولیه استقرار گیاهان، آرایش آنها را در کنار یکدیگر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Clark et al., 1999; Hao et al., 2017; Gratzer et al., 2018). با توجه به اینکه این گونه از خانواده لگومینوز (Fabaceae) است و بذرها به‌نسبت درشت و سنگینی دارد (Wilson, 2018)، می‌تواند در ایجاد الگوی پراکنش مکانی کپه‌ای تأثیر داشته باشد.

در این پژوهش اگرچه الگوی مکانی درختچه‌های قره‌تاج کپه‌ای به‌دست آمد که نشان‌دهنده برهم‌کنش مثبت افراد درون گونه بود، همبستگی مکانی مشخصی بین ویژگی‌های زیست‌سنجی که ارتباط مستقیمی با سن درختان دارند، مشاهده نشد. با توجه به اینکه ویژگی‌های زیست‌سنجی ارتباط مستقیمی با سن درختان دارند، نبود همبستگی مکانی ویژگی‌های زیست‌سنجی درختچه‌های قره‌تاج با استفاده از تابع همبستگی نشاندار ( $K_{mm}$ ) بیانگر این بود که درختچه‌های قره‌تاج با سنین مختلفی در کنار یکدیگر آرایش دارند و از نظر سنی همبستگی مکانی ندارند. به دیگر سخن، این درختچه‌ها در فواصل معینی از الگوی پراکنش مکانی کپه‌ای پیروی می‌کنند، ولی آرایش کپه‌ای آنها به سن درختچه‌ها وابسته نیست. نتایج مربوط به واریوگرام نشاندار نیز تأییدکننده نتایج

است و در فواصل بیشتر به تصادفی تغییر می‌کند. در این زمینه، نتایج به‌دست‌آمده از تابع‌های  $G$  و  $J$  به‌طور مشابهی تغییرات الگوی مکانی درختچه‌ها را در فواصل مختلف نشان دادند، ولی نتایج تابع  $F$  این تغییرات را به‌خوبی نشان نداد. در مقابل نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل تابع همبستگی جفتی ( $g$ ) تا حدود زیادی به نتایج آنالیز توابع  $G$  و  $J$  شبیه بود، ولی به دلیل اینکه این تابع برخلاف توابع فاصله نزدیک‌ترین همسایه ( $F, G, J$ ) توانایی آنالیز الگوی مکانی را در فواصل بیشتر دارد، نتایج بهتر و کامل‌تری را در بررسی الگوی پراکنش مکانی می‌تواند ارائه دهد (Szymt, 2014). به‌طوری که نتایج نشان داد کپه‌های درختچه‌های قره‌تاج در فاصله ۱۳ تا ۱۷ متری نیز خود از الگوی پراکنش کپه‌ای و در فواصل بیشتر، دوباره از الگوی تصادفی پیروی می‌کنند. با توجه به کپه‌ای شدن الگوی پراکنش افراد در فاصله بیش از ۱ متر، و از طرفی دیده نشدن الگوی پراکنده (یکنواختی) در توابع بررسی شده، می‌توان گفت که ارتباط مثبت بین افراد در این گونه تأثیر مهم‌تری نسبت به رقابت درون‌گونه‌ای دارد. در این زمینه، نتایج پژوهش (Alipour & Erfanifard 2018) نشان داد که برهم‌کنش درون‌گونه‌ای مثبت و اثر تسهیل‌کنندگی سبب ایجاد الگوی پراکنش کپه‌ای گونه کیکم (*Acer monspessulanum L.*) منطقه تحقیق در جنگل‌های زاگرس است، اگرچه نتایج بر این تأکید داشت که ناهمگنی شرایط رویشگاهی در کپه‌ای شدن اثر بسزایی دارد. همچنین برهم‌کنش درون‌گونه‌ای مثبت و اثر تسهیل‌کنندگی در پژوهش (Erfanifard & Khosravi 2015) درباره گونه اشنان (*Seidlitzia rosmarinu*) و در پژوهش (Erfanifard & Aali Beiranvand 2016) درباره گونه شیشم (*Dalbergia sissoo Roxb.*) و در نتیجه کپه‌ای شدن الگوی پراکنش مکانی گزارش شده است. درباره الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره‌تاج، چه در خارج از کشور و چه در داخل، اطلاعات زیادی در

نمایش داده شده است. نکته جالب این است که در داخل محدوده تاج درختچه‌های قره‌تاج، زادآوری جنسی گونه‌های دیگر شامل بنه، بلوط ایرانی و آلبالوی وحشی (*Prunus microcarpa* C.A.Mey) مشاهده شد، ولی زادآوری جنسی گونه قره‌تاج مشاهده نشد. در تأیید این موارد، نتایج پژوهش Hosseinzadeh et al. (2015) نیز بر این نکته تأکید دارد که درختچه‌های قره‌تاج در همین رویشگاه به‌عنوان گیاه پرستار، تأثیر مهمی در حمایت از زادآوری جنسی گونه‌های دیگر شامل بنه، بلوط ایرانی و آلبالوی وحشی دارند. البته باید گفته شود که زادآوری جنسی قره‌تاج در کل رویشگاه نیز به‌ندرت دیده می‌شود.

با جمع‌بندی نتایج این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی پراکنش مکانی درختچه‌های قره‌تاج بسته به فاصله مورد بررسی، متغیر است و به‌شکل کپه‌ای و تصادفی دیده می‌شود که الگوی کپه‌ای را در فواصل نزدیک‌تر (کمتر از ۵ متر) می‌توان مشاهده کرد. بنابراین پرسش نخست این پژوهش پاسخ داده شد. درباره پرسش دوم پژوهش که آیا همه توابع استفاده‌شده الگوی یکسانی را ارائه می‌دهند نیز باید اذعان داشت که همه توابع در فواصل کم نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای و تقریباً در فواصل بیشتر از ۵ متر نشان‌دهنده الگوی تصادفی هستند. ولی تابع همبستگی جفتی به دلیل کارایی بیشتر در بیان الگوی پراکنش در فواصل بیشتر، نشان داد که کپه‌های بزرگ‌تری در فواصل بین ۱۳ تا ۱۷ متر شکل می‌گیرد که با توجه به ماهیت دیگر توابع مربوط به فاصله نزدیک‌ترین همسایه، این مورد تشخیص‌پذیر نبود. در مورد پرسش سوم باید گفت که کپه‌ای بودن در فواصل کم، نشان‌دهنده برهم‌کنش مثبت افراد گونه قره‌تاج است که اثر آن از رقابت درون‌گونه‌ای بیشتر است. البته با داشتن نتایج توابع همبستگی نشاندار و واریوگرام نشاندار تصادفی بودن ساختار مکانی ویژگی‌های زیست‌سنجی نمی‌توان اثر مثبت تسهیل‌کنندگی یا اثر منفی رقابت را بر ویژگی‌های زیست‌سنجی درختچه‌های قره‌تاج اثبات

به‌دست‌آمده از تابع همبستگی نشاندار است. واریوگرام نشاندار یک تابع بسیار قوی و مناسب برای بررسی تأثیر برهم‌کنش درختان و همچنین تأثیر محیط بر چگونگی پراکنش آنها به‌شمار می‌رود (Stoyan & Penttinen 2000; Suzuki et al., 2008) و می‌تواند همبستگی درختان و شدت آن را در فواصل مختلف برای یک ویژگی (نشان) محاسبه کند و نمایش دهد (Szymt, 2014; Pommerening & Särkkä, 2013). در این زمینه برخی تحقیقات نشان می‌دهد که اگر الگوی پراکنش مکانی کپه‌ای در نتیجه اثر تسهیل‌کنندگی درختان یا درختچه‌ها بر یکدیگر باشد، بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آنها می‌تواند اثر مثبت داشته باشد (Erfanifard & Khosravi, 2015) و برعکس اگر درون کپه‌ها رقابت وجود داشته باشد، می‌تواند بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آنها اثر منفی بگذارد (Kariminejad et al., 2017). در پژوهش حاضر اگر زادآوری قره‌تاج وجود داشت، به‌نظر می‌رسد که درون کپه‌ها دیگر ساختار مکانی ویژگی‌های زیست‌سنجی تصادفی نبود.

در این پژوهش درباره نبود ساختار مکانی مشخص برای ویژگی‌های (نشان‌های) اندازه‌گیری‌شده در درختچه‌های قره‌تاج باید به چند نکته اشاره شود: ۱. در قطعه نمونه تحت بررسی و اطراف آن به دلیل حضور مداوم دام‌عشایر منطقه که در همین رویشگاه برای مدت زمان خاصی از سال توقف دارند، خاک بین درختچه‌های قره‌تاج به‌شدت کوبیده شده است و هیچ‌گونه زادآوری جنسی مشاهده نمی‌شود. با اینکه برگ‌های این درختچه برای دام خوش‌خوراک نیست (Hosseinzadeh et al., 2015)، شدت رفت‌وآمد دام سبب کوبیدگی خاک بین درختچه‌ها شده است؛ ۲. به دلیل تعداد جست‌های فراوان و همچنین تاج متراکم، دام‌ها توانایی ورود به محدوده تاج درختچه‌ها را ندارند و به همین دلیل برخلاف فواصل بین درختچه‌ها، در محدوده زیر تاج آنها، لاشبرگ و مواد آلی مناسبی

کرد. بنابراین برای پاسخ دادن به پرسش چهارم این پژوهش باید گفت که ساختار مکانی مشخصی بین ویژگی‌های زیست‌سنجی درختچه‌های قره‌تاج مشاهده نشد که مهم‌ترین دلیل آن را باید در نبود زادآوری جنسی این گونه جست‌وجو کرد.

## References

- Akhavan, R., Khanhasani, M., & Khodakarami, Y. (2018a). Spatial patterns and inter-specific competition of three oak species in the Baneh forests of western Iran, *Forest and Wood Products*, 71 (2), 149-159.
- Akhavan, R., Parhizkar, P., Amanzadeh, B., & Mohamadnejad Kiasari, Sh. (2018b). Intra-specific competition of beech using Mark Correlation Function (MCF) in the Hyrcanian forests of Iran, *Forest and Wood Products*, 70 (4), 637-648.
- Alipour, A., & Erfanifard, Y. (2018). Spatial pattern analysis of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.) on steep slopes in Zagros (Case study: Firoozabad, Fars province), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25 (4), 574-584.
- Baddeley, A., & Turner, R. (2005). Spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns, *Journal of Statistical Software*, 12 (6), 1-42.
- Baddeley, A., Rubak, E., & Turner, R. (2015). *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R*. London: Chapman and Hall/CRC Press.
- Baddeley, A.J., & Gill, R.D. (1997). Kaplan-meier Estimators of Interpoint Distance Distributions for Spatial Point Processes, *Annals of statistics*, 25, 263-292.
- Clark, J.S., Silman, M., Kern, R., Macklin, E., & Hille Ris Lambers, J. (1999). Seed dispersal near and far: Patterns across temperate and tropical forests, *Ecology*, 80, 1475-1494.
- Erfanifard, Y., Aali Beyranvand, F. (2016). Evaluating the Intraspecific Interactions of Indian Rosewood (*Dalbergia sissoo* Roxb.) Trees in Indian Rosewood Reserve of Khuzestan Province, *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5 (15), 15-26.
- Erfanifard, Y., Kariminejad, N. (2015). Erfanifard, Y. & Kariminejad, N. (2015). Efficiency of different summary statistics in modeling spatial point patterns of Christ's thorn jujube trees (*Ziziphus spina-christi* (L.) Wild.), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23 (3), 413-424.
- Erfanifard, Y., Khosravi, E. (2015). Evaluating the intraspecific interactions of Eshnan (*Seidlitzia rosmarinus*) shrubs in arid lands by point pattern analysis (Case study: Qehi protected area, Isfahan Province), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23 (2), 354-367.
- Felinks, B., & Wiegand, T. (2008). Exploring spatiotemporal patterns in early stages of primary succession on former lignite mining sites, *Journal of Vegetation Science*, 19, 267-276.
- Fibich, P., Lepš, Novotny, V., Klimeš, P., Těšitel, J., Molem, K., Damas, 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, 328-339.
- Getzin, S., Dean, C., He, F., Trofymow, T., Wiegand, K., & Wiegand, T. (2006). Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island, *Ecography* 26, 671-682.
- Getzin, S., Wiegand, T., Wiegand, K., & He, F. (2008). Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands, *Journal of Ecology*, 96, 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; <https://doi.org/10.3390/f9050230>.
- Gray, L., & He, F. (2009). Spatial point-pattern analysis for detecting density-dependent competition in a boreal chronosequence of Alberta, *Forest Ecology and Management*, 259, 98-106.
- 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.
- 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 Forests*, 4 (7), 26-34.
- Hosseinzadeh, J., Tahmasebi, M., & Mohammadpour, M. (2015). Vegetative and site characteristics of *Anagyris foetida* L. in Zagros forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23 (3), 393-401.
- Illian, D.J., Penttinen, P.A., Stoyan, D.H., & Stoyan, D. (2008). *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, ISBN 978-0-470-72515-3.
- Jaferyan, E., Pir Bavaghar, M., & Ghahramani, L. (2015). Determining the most important physiographic factors influencing the distribution of love tree (*Cercis griffithii*) to model the spatial distribution, *Iranian Journal of Forest*, 7 (1), 33-44.
- Janzen, D.H. (1970). Herbivores and the number of tree species in tropical forests, *The American Naturalist*, 104, 501-528.
- 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, 6873. doi:10.1038/srep06873.
- Kariminejad, N., Erfanifard, S.Y., Fallah Shamsi, S.R., & 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), 264-272.
- Perry, J.N., Liebhold, A.M., Rosenberg, M.S., Dungan, J., Miriti, M., Jakomulska, A., & Citron-Pousty, S. (2002). Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data, *Ecography*, 25 (5), 578-600.
- Pommerening, A., & Särkkä, A. (2013). What mark variograms tell about spatial plant interactions, *Ecological Modelling*, 251, 64-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.12.009>.
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ripley B.D. 1981. *Spatial statistics*. Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey. 252p. <http://dx.doi.org/10.1002/0471725218>.
- Ripley, B. (1987). *Spatial point pattern analysis in ecology*. In: Legendre, P. & Legendre, L. (eds.) Development in numerical ecology, pp. 407-429. Springer, Berlin, DE.
- Sefidi, K., Firouzi, Y., Sharari, M., Behlou, F.K., & Rostamikia, Y. (2018). Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region, *Iranian Journal of Forest*, 10 (1), 207-220.
- Stoll, P., & Bergius, E. (2005). Pattern and process: competition causes regular spacing of individuals within plant populations, *Journal of Ecology*, 93, 395-403.
- Stoyan, D., & Penttinen, A. (2000). Recent applications of point process methods in forestry statistics, *Statistical Science*, 15, 61-78.

Stoyan, D., & Stoyan, H. (1994). *Fractals, random shapes and point fields: methods of geometrical statistics*. Wiley, Chichester, UK.

Suzuki, S.N., Kachi, N. & Suzuki, J.I. (2008). Development of a local size hierarchy causes regular spacing of trees in an even-aged *Abies* forest: analyses using spatial autocorrelation and the mark correlation function, *Annals of Botany*, 102, 435-441.

Szmyt, J. (2014). Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions, *Silva Fennica*, 48(1), <https://doi.org/10.14214/sf.1008>

Valtueña, F.J., Ortega-Olivencia, A., Rodríguez-Riño, T. & López, J. (2010). Causes of low fruit and seed set in bird-pollinated *Anagyris foetida* (*Leguminosae*): pollen limitation and other extrinsic factors, *Folia Geobotanica*, 45, 77-94.

Wilson, B. (2018). *Anagyris foetida*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T19375604A119836473. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20181>.



*Research Article*

## Spatial pattern of *Anagyris foetida* L. shrubs in the Zagros forests

A. Salimi<sup>1</sup>, F. Ghasemi Aghbash<sup>2\*</sup>, and M. Pourreza<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc Candidate of Forestry, Dept. of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran

<sup>2</sup> Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran

<sup>3</sup> Assistant Prof., Dept. of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, I. R. Iran

(Received: 30 November 2018, Accepted: 8 March 2019)

### Abstract

The aim of this study was to determine the spatial pattern and intra-specific interactions of *Anagyris foetida* shrubs in its unique habitat in the Zagros forests. For this purpose, 1-ha sample plot which is covered by relatively pure *Anagyris foetida* was established. The spatial location of each individual was calculated using azimuth and distance measurement. Furthermore, the biometric characteristics of the individuals were measured. Then, the spatial pattern of the shrubs were determined using the nearest-neighbor and pair correlation functions. In addition, the spatial correlation of shrubs size was determined using Mark correlation and Mark variogram functions. The measurement of biometric characteristics of shrubs showed that the mean collar diameter, height, crown area and number of sprouts were 5.15cm, 2.36m, 5.6m<sup>2</sup> and 12.59, respectively. The density was 231 shrubs per hectare. Based on the results of the spatial pattern analysis, the shrubs were aggregated at small spatial scales and tend to follow random distribution pattern at larger distances although the results of the pair correlation function (g) showed an aggregation at distances 13-17m. The results of the Mark correlation and Mark variogram functions showed no spatial correlation among shrubs for the biometrics characteristics implying that the shrubs arrangement by their size follows complete randomness. It was concluded that although there is a positive interaction (aggregation) in small spatial scales, no specific spatial structure was observed. The size of the shrubs was not spatially correlated and the neighboring shrubs were randomly distributed with different sizes.

**Keywords:** Nearest-neighbor function, Pair correlation function, Mark variogram, Mark correlation.