مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2020.121964
جلد ۲۸ شماره ۲، صفحه ۲۰۳-۱۹۲، (۱۳۹۹)
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0883.1399.28.7.80.2.1575.1587

ارزیابی برهم‌کنش‌های درون و بین‌گونه‌ای بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام (*Amygdalus* spp.) با استفاده از تحلیل‌های مکانی در توده‌های آمیخته جنگل تحقیقاتی بنه در استان فارس

سیدیوسف عرفانی‌فرد [۱*] و افروز چناری [۲]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. پست الکترونیک: erfanifard@ut.ac.ir

۲- کارشناس ارشد، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

چکیده

برهم‌کنش‌های درون و بین‌گونه‌ای درختان، یکی از فرایندهای مهم در ایجاد ساختار مکانی جوامع گیاهی در مناطق نیمه‌خشک است که می‌تواند در مدیریت و احیا پوشش گیاهی این مناطق به‌کار رود، بنابراین پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی الگوی مکانی بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام (*Amygdalus* spp.) و شناسایی برهم‌کنش آن‌ها در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس انجام شد. در دو قطعه‌نمونه با ابعاد ۱۵۰ × ۱۵۰ متر مربع، موقعیت مکانی ۷۹۸ پایه از دو گونه به‌همراه دو قطر عمودبرهم تاج آن‌ها اندازه‌گیری شد. شکل‌های تک و دومتغیره تابع‌های g، O-ring، D و k_{mm} برای تشریح الگوی مکانی این گونه‌ها استفاده شدند. نتایج با تأیید ناهمگنی توزیع گونه‌ها نشان دادند که بنه، انبوهی کمتر و میانگین مساحت تاج بیشتری داشت. همچنین، بنه و بادام در کپه‌های آمیخته قرار داشتند، اگرچه برهم‌کنش مثبت همگونه‌ها قوی‌تر از دگرگونه‌ها بود. در مقیاس کوچک، تجمع افراد همگونه نزدیک به دوبرابر تجمع افراد دگرگونه بود. برهم‌کنش مثبت همگونه‌ها باعث بروز رقابت درون‌گونه‌ای شدید شد که بر اندازه مساحت تاج همگونه، اثر منفی معنی‌دار داشت ($p < ۰/۰۵$) و مقدار آن در بادام بیشتر از بنه (در فاصله سه متری همگونه، مساحت تاج بادام ۶۰ درصد و بنه ۲۰ درصد کمتر از میانگین) بود. به‌طور کلی، این پژوهش نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بین بنه و بادام، رابطه همیاری وجود دارد که می‌تواند به‌دلیل اثر تسهیل‌کنندگی بین آن‌ها باشد. نتایج کمی این پژوهش را می‌توان در اقدامات جنگل‌شناسی مانند درخت‌کاری به کار برد.

واژه‌های کلیدی: تابع همبستگی نشان‌دار، تسهیل‌کنندگی، دگرگونه، همگونه.

مقدمه

نحوه پراکنش مکانی گیاهان در هر بوم‌سازگان نتیجه مجموعه‌ای از فرایندهای بوم‌شناختی و محیطی است که در طولانی‌مدت رخ داده‌اند و باعث استقرار یک گیاه در مکانی معین شده‌اند. درواقع، آنچه که به‌عنوان الگوی مکانی گیاهان در یک محدوده مشاهده می‌شود، ناشی از عملکرد هم‌زمان برهم‌کنش گیاهان با یکدیگر و با محیط اطرافشان است (Rajala *et al*., 2019; López, *et al*., 2020). پژوهش های پیشین در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان دادند که در برخی موارد، فرایندهای غیرزیستی (مانند تجمع رطوبت و مواد غذایی در زیر تاج درختان پرستار) مسئول تجمع گیاهان در کنار هم هستند (Moreno-de las Heras *et al*., 2012; Okin *et al*., 2015; Karimi & Fallah, 2017)، در حالی‌که برخی از پژوهش‌ها بر نقش اصلی فرایندهای

زیستی (مانند برهم‌کنش‌های مثبت یا منفی درون و بین‌گونه ای) در شکل‌گیری نحوه توزیع مکانی گیاهان تأکید می‌کنند (Kéfi *et al*., 2007; Foronda *et al*., 2019; Zhao *et al*., 2020)، بنابراین تحلیل الگوی مکانی گیاهان با استفاده از آماره‌های اختصاری مناسب می‌تواند برخی فرضیه‌ها را درمورد فرایندهای مؤثر بر شکل‌گیری توزیع مکانی آن‌ها در یک محدوده ارزیابی کرده و نشان دهد کدام فرایند ممکن است تأثیر بیشتری بر ساختار مکانی یک توده از گیاهان داشته باشد.

در بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک، برهم‌کنش‌های مثبت (تسهیل‌کنندگی) و منفی (رقابت) بین گیاهان ممکن است به‌طور هم‌زمان اتفاق بیفتد. هرچند فرایندی که درنهایت تعیین‌کننده الگوی مکانی خاص گیاهان موردنظر و نحوه رشد آن‌ها خواهد بود، تحت تأثیر شرایط محیطی است (Andivia *et al*., 2018). اگر دو گونه باهم برهم‌کنش مثبت داشته باشند و یکی از گونه‌ها، شرایط را برای استقرار و رشد گونه دوم فراهم کند، این نوع ارتباط متقابل باعث ایجاد کپه‌های کوچک و بزرگ از گیاهان می‌شود. اگر شرایط محیطی مناسب نباشد، در این کپه‌ها بین گیاهان بر سر منابع، رقابت به‌وجود می‌آید. به‌این‌ترتیب، برهم‌کنش‌های مثبت و منفی به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهند، اما اینکه درنهایت کدام گونه الگوی مکانی را تعیین می‌کند، به مقدار منابع تحت رقابت بستگی دارد. Delalandre و Montesinos-Navarro (۲۰۱۸) گزارش کردند که برهم‌کنش بین گیاهان در مناطق نیمه‌خشک به شرایط محیطی بستگی دارد، به‌طوری‌که ممکن است دو گیاه در شرایط محیطی خاص باهم برهم‌کنش مثبت داشته باشند و شرایط را برای رشد یکدیگر تسهیل کنند، اما در محیط دیگر، رقابت بین آن‌ها بر سر منابع باعث الگوی مکانی پراکنده شود. همچنین، Zhao و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که برهم‌کنش دو گیاه در منطقه‌ای در چین تحت تأثیر شرایط محیطی است و از مثبت به منفی تغییر می‌کند. درکل، پژوهش‌های بسیاری که در این زمینه انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که تحلیل الگوی مکانی گیاهان در یک منطقه می‌تواند فرایندهای مؤثر بر شکل‌گیری الگوی مکانی آن‌ها را مشخص کند (Armas & Pugnaire, 2005; Ramón *et al*., 2018; Ballani *et al*., 2019; Foronda *et al*., 2019).

به‌طور کلی، از پژوهش‌های پیشین می‌توان نتیجه گرفت که بررسی پراکنش مکانی گیاهان، اطلاعات ارزشمندی درمورد فرایندهای بوم‌شناختی حاکم بر منطقه ارائه می‌دهد که می‌توانند در مدیریت مؤثر توده‌های موجود و ایجاد توده های جدید مفید باشند. با توجه به این موضوع، بررسی برهم‌کنش بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام (*Amygdalus* spp.) در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک ناحیه‌های رویشی زاگرس و ایرانی- تورانی کشور ضروری به‌نظر می‌رسد. تاکنون پژوهش‌های ارزشمندی درمورد توده های بنه- بادام انجام شده است (Bagheri *et al*., 2014; Erfanzadeh *et al*., 2014; Hosseini & Hoseinzadeh, 2018) که در آن‌ها به نقش درختچه‌های بادام در پرستاری از زادآوری بنه و ارتباط مثبت بین این دو گونه اشاره شده است. حال این پرسش مطرح است که این برهم‌کنش مثبت چه تأثیری بر رشد آن‌ها دارد؟ Karimi و Fallah (۲۰۱۷) مشاهده کردند که الگوی مکانی بنه در جنگل‌های قلاجه کرمانشاه از نوع کپه‌ای است، به‌طوری‌که این گونه با بلوط ایرانی با داشتن برهم‌کنش مثبت، کپه‌هایی تا فاصله هشت متر تشکیل دادند. همچنین، Erfanifard و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی توده‌های خالص بنه استان فارس نتیجه گرفتند که روابط متقابل مثبت در درختان دوپایه بنه باهم باعث شکل گیری الگوی مکانی کپه‌ای آن‌ها می‌شود. حال پرسش این است که آیا الگوی مکانی کپه‌ای بنه در توده‌های آمیخته بنه- بادام نیز قابل مشاهده است؟ بنابراین، برای پاسخ‌گویی به این پرسش‌های مهم ضرورت دارد که با بررسی الگوی مکانی درختان بنه و درختچه‌های بادام مشخص شود که چه نوع ارتباط بوم‌شناختی بین این دو گونه وجود دارد و این ارتباط چه تأثیری بر رشد آن‌ها دارد؟

یکی از موضوعاتی که در بررسی روابط متقابل دو گیاه باید درنظر گرفته شود این است که در صورت استفاده از فرضیه‌های مناسب در تحلیل الگوی مکانی می‌توان نوع

روابط را شناسایی کرد. براساس نظر Palmeri و همکاران (۲۰۱۴)، در صورتی می‌توان نتیجه گرفت دو گونه با هم رقابت می‌کنند که هر دو از بودن در کنار هم اثر منفی ببینند. همچنین، اگر دو گونه از همزیستی با هم تأثیر مثبت دریافت کنند، نوع ارتباط آن‌ها همیاری (Mutualism) است. اگر فقط یک گونه اثر مثبت ببیند و این همزیستی بر گونه دیگر اثری نداشته باشد، هم‌سفرگی (Commensalism) نام دارد (جدول ۱)، بنابراین برای شناسایی صحیح نوع برهم‌کنش گیاهان باید تأثیر متقابل را در هر دو گونه بررسی کرد.

جدول ۱- انواع برهم‌کنش‌های ممکن بین دو گونه براساس نوع تأثیرشان بر یکدیگر (Palmeri *et al.*, 2014)

تأثیر برهم‌کنش بین گونه اول و دوم		نام برهم‌کنش
تأثیر بر گونه اول	تأثیر بر گونه دوم	
مثبت	مثبت	همیاری
مثبت	بدون تأثیر	هم‌سفرگی
مثبت	منفی	انگلی
بدون تأثیر	بدون تأثیر	خنثی
بدون تأثیر	منفی	بازدارندگی
منفی	منفی	رقابت

با توجه به پژوهش‌های پیشین و با وجود مشاهده تجربی حضور بنه و بادام در کنار هم، این پرسش وجود دارد که برهم‌کنش‌های درون و بین‌گونه‌ای بنه و بادام در توده‌های آمیخته بنه- بادام از چه نوعی است، کدام برهم‌کنش اثر قوی‌تری دارد و این برهم‌کنش‌ها تا چه فاصله ای معنی‌دار هستند؟ همچنین، روابط متقابل این دو گونه چه تأثیری بر رشد آن‌ها دارد؟ بنابراین، پژوهش پیش‌رو بر مبنای این فرضیه انجام شد که بنه و بادام باتوجه‌به برهم‌کنش مثبتی که با هم دارند، در همسایگی یکدیگر تجمع کرده و الگوی مکانی کپه‌ای تشکیل می‌دهند. از سوی دیگر، فرضیه دوم این است که اثر این برهم‌کنش مثبت در اندازه مساحت تاج آن‌ها قابل مشاهده است. هدف اصلی پژوهش پیش‌رو، بررسی کمی الگوی مکانی درختان بنه و درختچه های بادام است تا بتوان فرایندهایی را شناسایی کرد که این الگوها را تشکیل دادند. همچنین، تعیین دامنه مکانی تأثیر برهم‌کنش‌های درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای آن‌ها بر رشدشان، هدف دیگر این پژوهش است. بررسی الگوهای مکانی بنه و بادام در توده‌های آمیخته، تعیین نوع روابط بوم‌شناختی آن‌ها و ارزیابی اثرات متقابل دو گونه (بنه- بادام و بادام- بنه) با استفاده از آماره‌های اختصاری مناسب از نوآوری‌های این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین است که فقط به مشاهده تجربی پرداختند و روابط متقابل این دو گونه را تحلیل آماری نکردند. دستاوردهای پژوهش پیش‌رو می تواند گامی به‌منظور توسعه بوم‌شناسی فردی و اجتماعی این دو گونه محسوب شود.

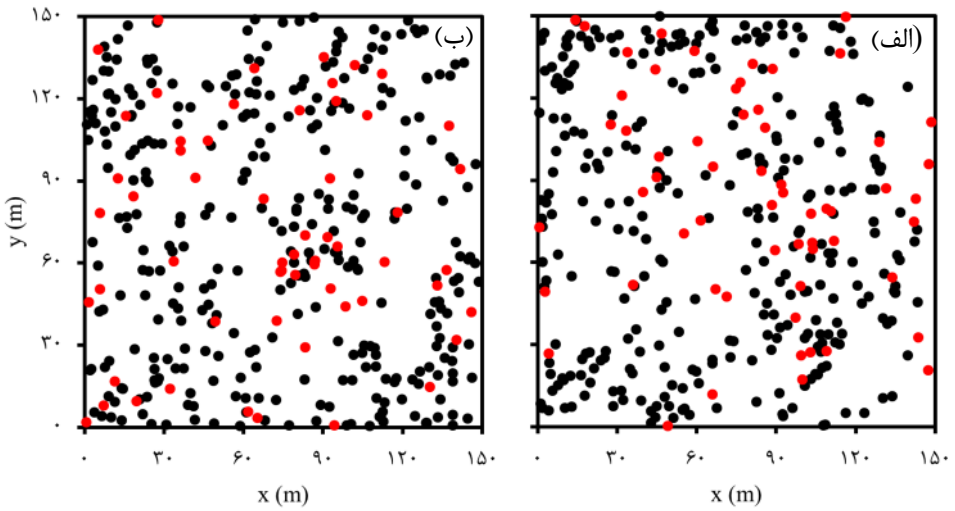
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بخشی از رویشگاه بنه- بادام در جنگل تحقیقاتی بنه در فاصله ۶۵ کیلومتری جنوب شیراز برای انجام این پژوهش انتخاب شد. این منطقه از نظر مختصات جغرافیایی در عرض ′۱۰ °۲۹ شمالی و طول ′۳۵ °۵۲ شرقی با ارتفاع متوسط ۱۹۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد. اقلیم منطقه برمبنای

روش آمبرژه، نیمه‌خشک است. با توجه به اطلاعات ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک فیروزآباد (۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰)، متوسط دما و بارش سالانه به‌ترتیب ۲۲/۸ درجه سانتیگراد و ۳۸۳ میلی‌متر هستند.

پس از بازدید اولیه، دو قطعه‌نمونه با ابعاد ۱۵۰ × ۱۵۰ متر مربع (مساحت ۲/۲۵ هکتار) انتخاب شد که تا حد امکان معرف توده‌های آمیخته بنه- بادام باشند. قطعه‌نمونه‌ها پوشیده از درختان بنه بودند که در کنار آن‌ها، درختچه‌های بادام حضور داشتند (شکل ۱).



شکل ۱- پراکنش مکانی بنه (دایره‌های قرمز) و بادام (دایره‌های سیاه) در قطعه‌نمونه‌های اول (الف) و دوم (ب) در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس

موقعیت مکانی همه درختان بنه با قطر بیشتر از ۲/۵ سانتی‌متر (که استقرار بنه با موفقیت انجام شده بود) و درختچه‌های بادام با ارتفاع بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر در این محدوده با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی Leica مدل Viva GS10 با دقت کمتر از یک سانتی‌متر ثبت شد. همچنین، دو قطر عمودبرهم تاج هریک از پایه‌ها با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شد.

روش پژوهش

بررسی همگنی پراکنش مکانی

انتخاب فرضیه مناسب در تحلیل هر نوع الگوی مکانی به همگنی توزیع مکانی گیاهان بستگی دارد. منظور از همگنی این است که در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه، انبوهی گیاهان با نقاط دیگر مشابه است. در غیر این‌صورت، توزیع مکانی انبوهی گیاهان در برخی نقاط، تجمع بیشتری دارد که از آن به ناهمگنی یاد می‌شود. در پژوهش پیش‌رو، ابتدا توزیع آماری پوآسون همگن بر توزیع مکانی همه درختان و درختچه‌های هر قطعه‌نمونه برازش داده شد. سپس، با استفاده از آزمون نیکویی برازش کولموگروف- سمیرنوف، معنی‌داری اختلاف این دو توزیع در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد (Illian *et al.*, 2008; Karimi & Fallah, 2017).

روش‌های تحلیل الگوی مکانی

برای تعیین الگوی مکانی، Wiegand و Moloney (۲۰۱۴) توصیه به استفاده همزمان از چند آماره اختصاری می‌کنند تا از الگوی مکانی شناسایی‌شده اطمینان حاصل شود. به‌منظور آزمون فرضیه اول از تابع پرکاربرد همبستگی

جفتی یا $g(r)$ در دو شکل تک‌متغیره (تعیین الگوی مکانی بنه و بادام) و دومتغیره (برای تعیین برهم‌کنش این دو گونه) استفاده شد. در شکل دومتغیره، تابع g_{12} بیانگر تجمع افراد گونه دوم (در اینجا یک‌بار بادام و بار دیگر بنه) است که در فاصله r از هر فرد از گونه اول (در اینجا یک‌بار بنه و بار دیگر بادام) نسبت به یک الگوی تصادفی قرار دارند. مقدار تابع g_{12} از رابطه ۱ به‌دست می‌آید.

$$g_{12}(r) = \frac{\mathrm{d}K_{12}(r)}{\mathrm{d}r} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: $K_{12}(r)$ مشتق تابع K_{12} است که در این پژوهش با استفاده از روش تصحیح حاشیه‌ای *WM* به‌دست آمد (Wiegand & Moloney, 2014). همچنین، از شکل تک‌متغیره و دومتغیره تابع *O*-ring استفاده شد که بر پایه تابع g است. در صورتی‌که مقدار تابع *O*-ring بیشتر از انبوهی باشد، نشان‌دهنده برهم‌کنش مثبت بین گونه‌ها و اگر کمتر از انبوهی باشد، بیانگر برهم‌کنش منفی بین آن‌ها است. تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه ($D(r)$) تک و دومتغیره نیز استفاده شد. در صورتی‌که مقدار این تابع یک باشد، همه گیاهان در آن فاصله، نزدیک‌ترین همسایه دارند.

فرضیه دوم پژوهش با استفاده از شکل‌های تک و دومتغیره تابع همبستگی نشان‌دار یا $k_{\mathrm{mm}}(r)$ و در نظر گرفتن مساحت‌های تاج بنه و بادام آزمون شد. اگر مقدار این تابع بیشتر (یا کمتر) از یک باشد، نشان می‌دهد که مساحت تاج یک گونه با همسایگی گونه دیگر که در فاصله r از هم قرار دارند، از میانگین مساحت تاج در قطعه‌نمونه بیشتر (یا کمتر) است.

آزمون آماری نتایج

به‌منظور آزمون معنی‌داری نتایج به‌دست‌آمده از آماره های اختصاری تک‌متغیره، یک بازه شبیه‌سازی با استفاده از آزمون مونت‌کارلو با ۱۹۹ تکرار برای توزیع تصادفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد ساخته شد. سپس، الگوی مکانی گیاهان در منطقه مورد مطالعه با این بازه شبیه سازی مقایسه شدند. بیرون بودن نمودار گیاهان از این بازه بیانگر معنی‌داری الگوی مکانی مشاهده شده است. همچنین، نتایج آماره‌های اختصاری دومتغیره با یک بازه شبیه‌سازی آزمون شد که در آن افراد گونه اول (یا مساحت تاج آن‌ها) ثابت نگه داشته شده و افراد گونه دوم (یا مساحت تاج آن‌ها) به‌صورت تصادفی توزیع می‌شوند (Illian *et al*., 2008; Wiegand & Moloney, 2014). نتایج آماره‌های اختصاری به‌صورت میانگین دو قطعه نمونه گزارش شد. در این پژوهش از نرم‌افزار MATLAB V.10 برای محاسبه آماره‌های اختصاری استفاده شد.

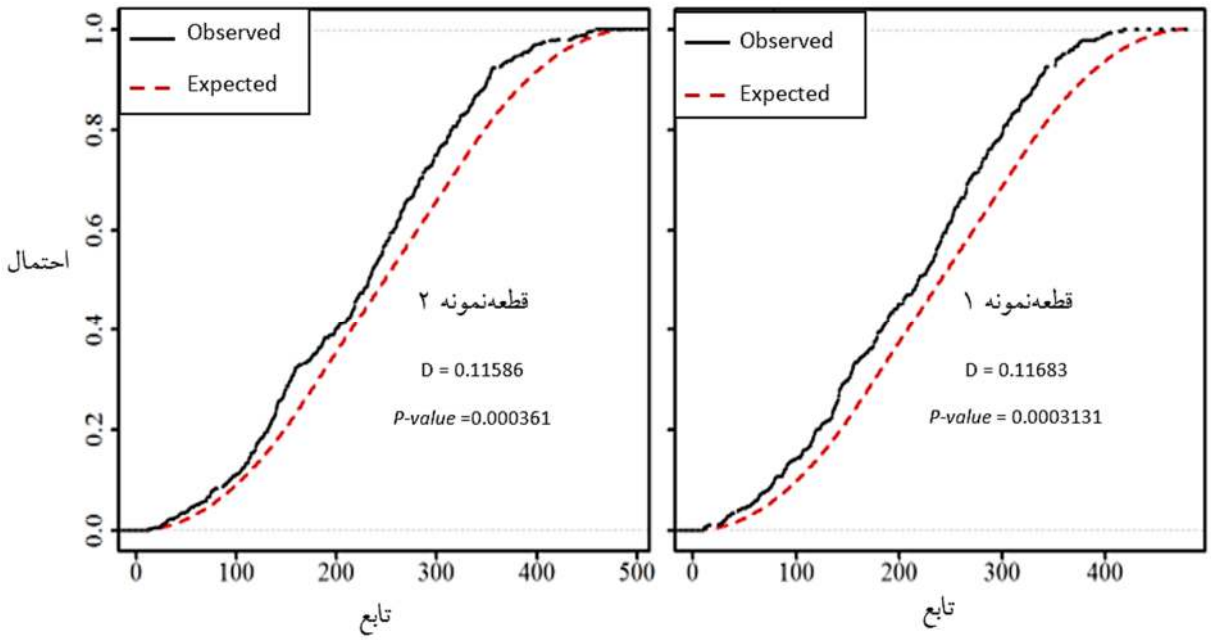
نتایج

از مجموع ۷۹۸ درخت و درختچه ثبت‌شده در دو قطعه‌نمونه مورد مطالعه (۳۸۴ پایه در قطعه‌نمونه اول و ۴۱۴ پایه در قطعه‌نمونه دوم)، ۱۲۷ اصله بنه و ۶۷۱ اصله بادام مشاهده شد. نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های زیست سنجی نشان داد که بادام، تراکم بیشتر و میانگین مساحت تاج کمتری داشت (جدول ۲).

نتایج آزمون نیکویی برازش کولموگروف- سمیرنوف بیانگر تفاوت معنی‌دار توزیع درختان بنه و درختچه‌های بادام در هر دو قطعه‌نمونه با توزیع پوآسون همگن ($p <$ ۰/۰۵) بود (شکل ۲). مقدار آماره آزمون مذکور و معنی‌داری آن نشان داد که در هر دو قطعه‌نمونه، فرض صفر آزمون یعنی عدم اختلاف معنی‌دار بین توزیع مکانی مشاهده‌شده در هر قطعه‌نمونه و توزیع پوآسون همگن رد می‌شود، بنابراین برای انجام تحلیل‌های مکانی، شکل ناهمگن تابع‌های توضیح‌داده‌شده در روش پژوهش باید استفاده شوند.

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری انبوهی و ویژگی‌های تاج بنه و بادام در دو قطعه‌نمونه مورد مطالعه

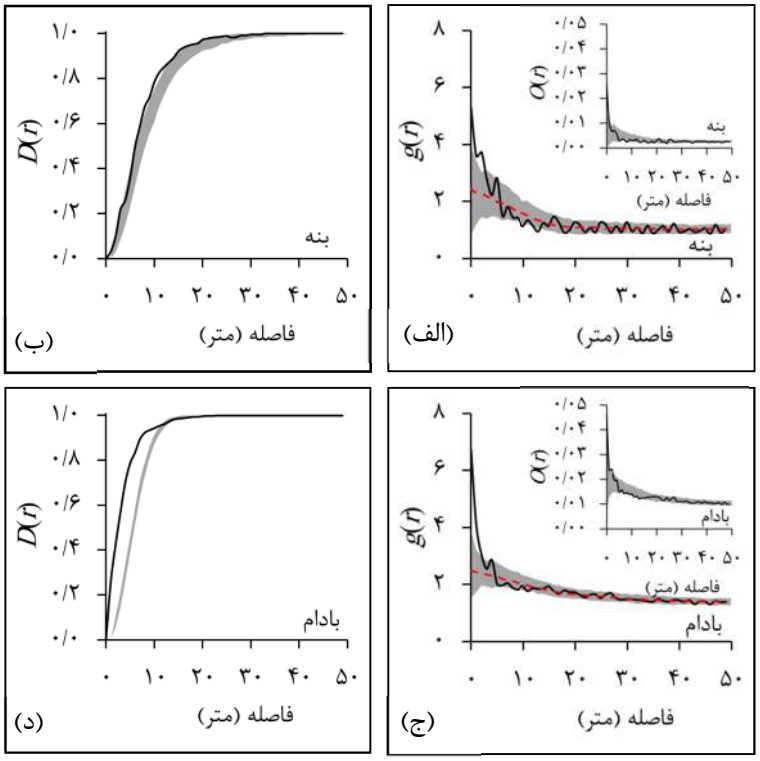
	ویژگی زیست‌سنجی	قطعه‌نمونه اول			قطعه‌نمونه دوم		
		کمینه	بیشینه	میانگین ± انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین ± انحراف معیار
بنه	تراکم (تعداد در هکتار)		۲۸			۲۸/۴	
	میانگین قطر تاج (متر)	۱/۳	۱۰	۳/۲ ± ۲/۶	۰/۶	۱۰	۳/۹ ± ۳
	مساحت تاج (متر مربع)	۰/۱	۷۸/۵	۱۳/۳ ± ۱۷/۹	۰/۳	۷۸/۴	۱۸/۸ ± ۲۲/۹
	درصد تاج‌پوشش (در هکتار)		۳/۷			۵/۳	
بادام	تراکم (تعداد در هکتار)		۱۴۲/۷			۱۵۵/۶	
	میانگین قطر تاج (متر)	۰/۶	۴/۵	۱/۶ ± ۰/۵	۰/۵	۶/۱	۱/۹ ± ۰/۷
	مساحت تاج (متر مربع)	۰/۳	۱۶/۲	۲/۳ ± ۱/۶	۰/۲	۲۹/۷	۳/۲ ± ۲/۷
	درصد تاج‌پوشش (در هکتار)		۳/۳			۵	



شکل ۲- نتایج آزمون نیکویی کولموگروف- سمیرنوف در مقایسه توزیع مکانی بنه و بادام در دو قطعه‌نمونه (خط سیاه پیوسته) با توزیع آماری پوآسون همگن (خط‌چین قرمز)

نتایج تابع g تک‌متغیره نشان داد که توزیع مکانی درختان بنه از الگوی کپه‌ای پیروی می‌کنند. این الگوی مکانی تا فاصله چهار متر معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). همچنین، بین درختان بنه برهم‌کنش درون‌گونه‌ای مثبت و قوی وجود دارد. به‌عنوان نمونه، در فاصله سه متر تعداد درختان بنه در اطراف هر درخت بنه ۳/۷ برابر تعداد

درختان این گونه در حالت تصادفی است که بیانگر تجمع بنه ها در اطراف هر پایه بنه بود. این نتایج در روند تغییرات تابع O نیز مشاهده شد (شکل ۳- الف). همچنین، تابع D نشان داد که در فاصله ۳۰ متر، همه درختان بنه حداقل یک همسایه بنه دارند. به بیان دیگر، حداکثر فاصله هر درخت بنه تا نزدیک‌ترین بنه برابر ۳۰ متر بود (شکل ۳- ب). درمورد بادام نیز نتایج مشابه بنه بود. تابع g نشان داد که درختچه‌های بادام، الگوی مکانی کپه‌ای و درنتیجه، برهم‌کنش مثبت درون‌گونه‌ای دارند که تا فاصله پنج متر معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). به‌عنوان نمونه، در فاصله سه متر تعداد درختچه‌های بادام در اطراف هر پایه بادام نزدیک به سه برابر تعداد درختچه‌های بادام در توزیع تصادفی بود که بیانگر تجمع زیاد در کپه‌ها است. تابع O نیز تجمع معنی‌دار بیشتر از میانگین بادام‌ها در اطراف هر پایه بادام را نشان داد (شکل ۳- ج). براساس نتایج تابع D، حداکثر فاصله بین هر پایه بادام تا نزدیک‌ترین همسایه بادام برابر با ۲۰ متر بود. لازم به توضیح است که تابع D نیز الگوی مکانی کپه‌ای را هم درمورد بنه و هم درمورد بادام تأیید کرد (شکل‌های ۳- ب و ۳- د).

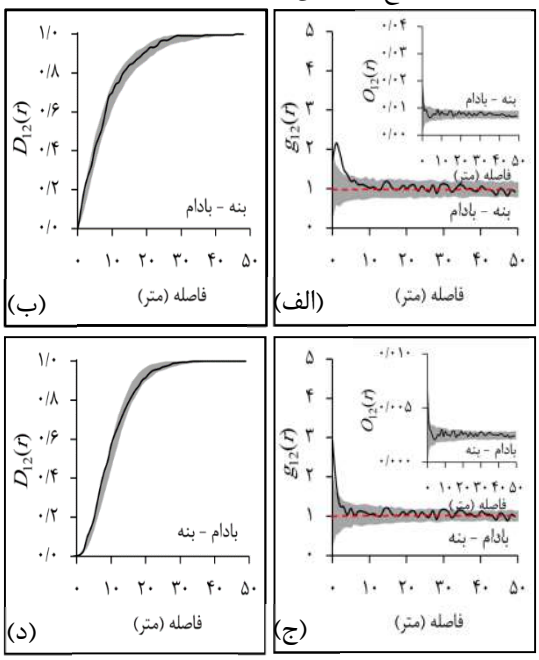


شکل ۳- برهم‌کنش درون‌گونه‌ای بنه (الف و ب) و بادام (ج و د) در دو قطعه‌نمونه با استفاده از شکل تک‌متغیره تابع‌های g، O و D

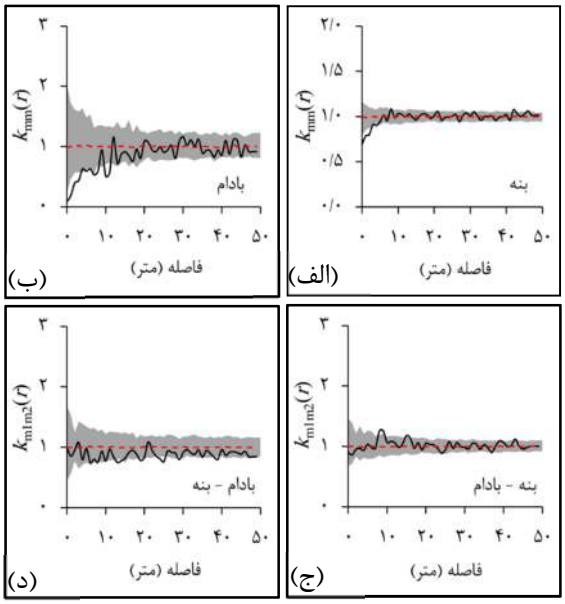
خط سیاه الگوی مکانی مشاهده‌شده، خط‌چین قرمز الگوی مکانی مورد انتظار و بازه خاکستری، محدوده مونت‌کارلو با ۱۹۹ تکرار را نشان می‌دهند.

نتایج تابع g دومتغیره نشان داد که بین بنه و بادام برهم‌کنش مثبت قوی وجود داشت که تا فاصله پنج متر معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$)، اما از برهم‌کنش درون‌گونه‌ای ضعیف‌تر بود. به‌عنوان نمونه، در فاصله سه متر تعداد بادام‌ها در اطراف هر بنه ۱/۹ برابر تعداد بادام‌ها در توزیع تصادفی بود. این نتایج با تابع O دومتغیره نیز تأیید شد (شکل ۴- الف). نتایج تابع D نشان داد که حداکثر فاصله بین هر درخت بنه با نزدیک‌ترین همسایه بادام حدود ۳۰ متر بود

(شکل ۴- ب). درمورد برهم‌کنش بین‌گونه‌ای بادام و بنه، نتایج تابع g دومتغیره بیانگر معنی‌داری آن تا فاصله چهار متر بود ($p < ۰/۰۵$). در فاصله سه متر، تجمع درختان بنه در اطراف هر بادام ۱/۳ برابر تعداد بنه‌ها در توزیع تصادفی بود که تابع O نیز این نتیجه را تأیید کرد (شکل ۴-ج). تابع D وجود حداکثر فاصله بین هر درختچه بادام تا نزدیک‌ترین همسایه بنه در مقیاس ۳۰ متر را تأیید کرد (شکل ۴- د).



شکل ۴- برهم‌کنش بین‌گونه‌ای بنه- بادام (الف و ب) و بادام- بنه (ج و د) در دو قطعه‌نمونه با استفاده از شکل دومتغیره تابع‌های g، O و D
خط سیاه الگوی مکانی مشاهده‌شده، خط‌چین قرمز الگوی مکانی مورد انتظار و بازه خاکستری، محدوده مونت‌کارلو با ۱۹۹ تکرار را نشان می‌دهند.



شکل ۵- تأثیر برهم‌کنش درون‌گونه‌ای (الف و ب) و بین‌گونه‌ای (ج و د) بنه و بادام بر اندازه مساحت تاج یکدیگر در دو قطعه‌نمونه با استفاده از تابع k_{mm} تک و دومتغیره. خط سیاه الگوی مکانی مشاهده‌شده، خط‌چین قرمز الگوی مکانی مورد انتظار و بازه خاکستری، محدوده مونت‌کارلو با ۱۹۹ تکرار را نشان می‌دهند.

نتایج تابع k_{mm} تک‌متغیره نشان داد که الگوی مکانی کپه‌ای بنه و بادام، تأثیر منفی معنی‌داری بر اندازه مساحت تاج آن‌ها داشت ($p < ۰/۰۵$). این تأثیر منفی در بادام قوی‌تر از بنه بود. به‌عنوان نمونه، مساحت تاج یک درخت بنه که درخت بنه دیگری در فاصله سه متری آن قرار داشت، ۲۰ درصد کمتر از میانگین قطعه‌نمونه بود، اما یک بادام که بادام دیگری در همین فاصله از آن حضور داشت، ۶۰ درصد کمتر از میانگین بود (شکل‌های ۵- الف و ۵- ب). نتایج تابع k_{mm} دومتغیره نشان داد که همسایگی بنه- بادام، تأثیر معنی‌داری بر اندازه مساحت تاج آن‌ها نداشت. به‌عنوان نمونه، مساحت تاج درخت بنه که یک درختچه بادام در فاصله سه متری آن قرار داشت، فقط پنج درصد کمتر از میانگین قطعه‌نمونه بود که معنی‌دار نبود. نتیجه مشابه نیز برای همسایگی یک بادام و بنه در فاصله سه متری به‌دست آمد (شکل‌های ۵- ج و ۵- د).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه درصد تاج‌پوشش بنه و بادام در قطعه‌نمونه دوم (حدود پنج درصد در هکتار) بیشتر از قطعه‌نمونه اول (حدود ۳/۵ درصد در هکتار) بود، اما شرایط یکسانی درمورد هر گونه در هر قطعه‌نمونه مشاهده شد و درصد تاج‌پوشش بنه و بادام در هر قطعه‌نمونه مشابه بود (جدول ۲). در پارک ملی خجیر (استان تهران)، Bagheri و همکاران (۲۰۱۴) قطر متوسط تاج بنه و بادام را به‌ترتیب ۲/۸ و ۰/۷ متر گزارش کردند که اندکی کمتر از نتایج موردنظر برای توده بنه- بادام در پژوهش پیش‌رو بود. اگرچه شرایط اقلیمی در دو منطقه به‌نسبت مشابه است (بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای روزانه ۱۶ درجه سانتیگراد در پارک ملی خجیر)، این تفاوت ممکن است ناشی از شرایط محیطی دیگر مانند وضعیت خاک، توزیع زمانی بارندگی و عرض جغرافیایی باشد. قطر متوسط تاج بنه در این پژوهش از مقدار گزارش‌شده در جنگل‌های شهرستان خلخال استان اردبیل (Rostamikia *et al*., 2010) بیشتر به‌دست آمد. همچنین، درصد تاج‌پوشش بنه با انبوهی ۲۸ پایه در هکتار مشابه با منطقه قرق در باغ شادی استان یزد (حدود ۴/۲ درصد با انبوهی ۶۴ پایه در هکتار) (Garavand *et al*., 2016) بود. این مقایسه‌ها نشان می‌دهند که رویشگاه بنه- بادام در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس، وضعیت مطلوبی داشته و برای بررسی روابط بوم‌شناختی بنه و بادام مناسب است.

تحلیل‌های مکانی نشان داد که درختان بنه و درختچه های بادام، انبوهی با توزیع مکانی ناهمگن داشتند. به‌این‌معنی که انبوهی گیاهان در تمام قطعه‌نمونه یکسان نبود و در برخی نقاط در هر دو قطعه‌نمونه، انبوهی گیاهان بیشتر بود (شکل ۲). یکی از اصلی‌ترین دلایل ناهمگنی توزیع انبوهی گیاهان در منطقه مورد مطالعه می‌تواند تجمع در بخش‌های مساعدتر رویشگاه باشد. تجمع گیاهان در بخش های مناسب‌تر ازنظر شرایط خاک و رطوبت در مناطق خشک و نیمه‌خشک در پژوهش‌های پیشین (Moreno-de las Heras *et al*., 2012; Okin *et al*., 2015; Karimi & Fallah, 2017) نیز مشاهده شد. پژوهش‌های آینده در این مورد می‌توانند نشان دهند که موقعیت مکانی کپه‌های بنه و بادام ممکن است همان آشیان بوم‌شناختی آن‌ها باشد، زیرا هر دو گونه نیازهای غذایی، رطوبتی و ریزاقلیمی مورد نیاز یکدیگر را تأمین می‌کنند و استقرار گیاهان همگونه (Conspecific) و دگرگونه (Heterospecific) را تسهیل می‌سازند.

نتایج ارزیابی الگوهای مکانی نشان داد که بنه و بادام در کپه‌های آمیخته بنه- بادام تجمع کردند. همچنین، الگوی مکانی کپه‌ای درون‌گونه‌ای بنه و بادام بسیار قوی بود، به‌نحوی‌که در اطراف هر گیاه، تجمع افراد همگونه حدود دو برابر تجمع افراد دگرگونه بود (شکل‌های ۳ و ۴). یکی از دلیل‌های بروز این نتیجه درمورد بنه، دوپایه بودن این درختان است که در پژوهش Erfanifard و همکاران (۲۰۱۸) نیز تأیید شد. دلیل دیگر می‌تواند وجود بذرهای سنگین بنه و قرار گرفتن آن‌ها در پای درخت مادری باشد (Erfanzadeh *et al*., 2014; Hosseini & Hoseinzadeh,

2018) که باعث شد الگوی مکانی کپه‌ای برای بنه در پژوهش پیش‌رو و پژوهش‌های پیشین (Karimi & Fallah, 2017) مشاهده شود. همچنین، Erfanzadeh و همکاران (۲۰۱۴) در استان کرمان گزارش کردند که تجمع بذر در زیر تاج درختچه‌های بادام بیشتر از بیرون تاج است که می‌تواند تجمع زیاد بادام‌ها در کنار هم را در پژوهش پیش‌رو توجیه کند. اگرچه دوپایه بودن بنه، سنگینی بذر آن و تجمع این بذرها در زیر بادام، الگوی مکانی کپه‌ای آن‌ها را توضیح می دهد، اما حمایت درختچه‌های بادام از بذر بنه (Bagheri *et al*., 2014) و فراهم آوردن شرایط مساعد محیطی برای استقرار بادام در زیر درختان بنه (Erfanzadeh *et al*., 2014) می‌تواند بیانگر علت‌های احتمالی تجمع دو گونه در کنار هم باشد. تسهیل‌کنندگی درون و بین‌گونه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک در پژوهش‌های دیگر (Andivia *et al*., 2018; Foronda *et al*., 2019; Zhao *et al*., 2020) نیز مشاهده شده است. به‌طور کلی، نتایج پژوهش پیش‌رو بیانگر تسهیل‌کنندگی درون‌گونه‌ای قوی و تسهیل‌کنندگی بین گونه‌ای ضعیف بین بنه‌ها و بادام‌ها در قطعه‌نمونه‌های مورد مطالعه بود که تأییدکننده فرضیه اول پژوهش هستند. به عنوان نمونه، تأثیر بنه‌ها بر استقرار پایه‌های همگونه بیشتر از بادام است. از این دستاوردهای کمی می‌توان در احیای این بوم‌سازگان استفاده کرد.

مطالعه تأثیر الگوی مکانی کپه‌ای بنه و بادام بر اندازه مساحت تاج آن‌ها نشان داد که این الگوی مکانی باعث رقابت شدید درون‌گونه‌ای بر سر عناصر غذایی می‌شود. درنتیجه، مساحت تاج درختان همگونه در همسایگی هم کمتر از میانگین شد (شکل ۵)، بنابراین ضمن رد فرضیه دوم پژوهش پیش‌رو می‌توان نتیجه گرفت که بنه‌ها و بادام‌ها، الگوی مکانی کپه‌ای داشتند، اما تجمع آن‌ها باعث افزایش رقابت درون‌گونه‌ای شده است. با توجه به مبانی نظری بوم شناسی باید بیان کرد که تجمع بنه و بادام در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به‌دلیل فرایندهایی مانند ناهمگنی محیطی و اثر تسهیل‌کنندگی در استقرار باشد. در پژوهش‌های پیشین نیز افزایش رقابت درون‌گونه‌ای و درنتیجه، کاهش رشد گزارش شد (Ballani *et al*., 2019; Erfanifard & Khosravi, 2019).

به‌طور کلی، از نتایج پژوهش پیش‌رو می‌توان نتیجه گرفت که بنه‌ها و بادام‌ها در کپه‌های آمیخته از دو گونه مستقر شدند. باتوجه‌به ناهمگنی توزیع مکانی مشاهده‌شده در دو قطعه‌نمونه احتمال دارد که این کپه‌ها در مناطق مساعد رویشگاه مستقر شده باشند. همچنین، نتایج نشان داد که در هر دو گونه، تجمع همگونه‌ها بیشتر از دگرگونه‌ها است. این موضوع باعث افزایش رقابت می‌شود که این رقابت در همگونه‌ها قوی‌تر از دگرگونه‌ها است و کاهش رشد را در پی داشت، بنابراین همسایگی بنه و بادام، رقابت درون‌گونه‌ای را کاهش داد و باعث کاهش رشد در دگرگونه‌ها نشد. با توجه به جدول ۱ و نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که بین بنه و بادام در منطقه مورد مطالعه، رابطه همیاری وجود دارد که باعث می‌شود در کنار هم تجمع کنند. این رابطه تحت تأثیر رقابت درون‌گونه‌ای ناشی از الگوی مکانی کپه‌ای همگونه‌ها قرار گرفته بود. مدیریت عملی این بوم‌سازگان به مقادیر کمی نیاز دارد که در تیمارهایی مانند درخت‌کاری از آن استفاده شود. نتایج این پژوهش به مدیران کمک می‌کند که نوع گونه و فاصله مناسب کاشت بنه و بادام را به‌نحوی انتخاب کنند تا علاوه‌بر بهره‌مندی از اثر مثبت همیاری بین دو گونه، رقابت درون و بین‌گونه‌ای بر استقرار و رشد آن‌ها تأثیر منفی نداشته باشد.

منابع مورد استفاده

- Andivia, E., Madrigal-González, J., Villar-Salvador, P. and Zavala, M.A., 2018. Do adult trees increase conspecific juvenile resilience to recurrent droughts? Implications for forest regeneration. Ecosphere, 9(6): e02282.
- Armas, C. and Pugnaire, F.I., 2005. Plant interactions govern population dynamics in a semi-arid plant community. Journal of Ecology, 93(5): 978-989.
- Bagheri, J., Salehi, A. and Taheri Abkena, K., 2014. Effective factors on regeneration establishment and quantitative and qualitative characteristics of *Pistacia atlantica* in different physiographic conditions (Case Study: Khojir National Park). Iranian Forests Ecology, 2(3): 1-12 (In Persian).

Forests, 5(9): 8-16 (In Persian).
- Kéfi, S., Rietkerk, M., Alados, C.L., Pueyo, Y., Papanastasis, V.P., ElAich, A. and De Ruiter, P.C., 2007. Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems. Nature, 449: 213-217.
- López, R.P., Zenteno-Ruiz, F., Roque-Marca, N., Moya, L., Villalba, D., Valdivia, S. and Larrea-Alcázar, D., 2020. Consistent spatial patterns across several plant communities within a region indicate that the same processes may be acting on Andean deserts and semideserts. Journal of Vegetation Science, 31(1): 180-193.
- Moreno-de las Heras, M., Saco, P.M., Willgoose, G.R. and Tongway, D.J., 2012. Variations in hydrological connectivity of Australian semiarid landscapes indicate abrupt changes in rainfall-use efficiency of vegetation. Journal of Geophysical Research, 117(G3): G03009.
- Okin, G.S., Moreno-de las Heras, M., Saco, P.M., Throop, H.L., Vivoni, E.R., Parsons, A.J., …. and Peters, D.P.C., 2015. Connectivity in dryland landscapes: shifting concepts of spatial interactions. Frontiers in Ecology and the Environment, 13(1): 20-27.
- Palmeri, L., Barausse, A. and Jorgensen, S.E., 2014. Ecological Processes Handbook. CRC Press, Boca Raton, Florida, 402p.
- Rajala, T., Olhede, S.C. and Murrell, D.J., 2019. When do we have the power to detect biological interactions in spatial point patterns? Journal of Ecology, 107(2): 711-721.
- Ramón, P., Velázquez, E., Escudero, A. and de la Cruz, M., 2018. Environmental heterogeneity blurs the signature of dispersal syndromes on spatial patterns of woody species in a moist tropical forest. PLoS ONE, 13(2): e0192341.
- Rostamikia, Y., Imani, A.A., Fattahi, M. and Sharifi, J., 2010. Site demands, quantitative and qualitative characteristics of wild pistachio in Khalkhal forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(4): 489-499 (In Persian).
- Wiegand, T. and Moloney, K.A., 2014. Handbook of Spatial Point-Pattern Analysis in Ecology. CRC Press, Boca Raton, Florida, 538p.
- Zhao, R., Zhang, H. and An, L., 2020. Spatial patterns and interspecific relationships of two dominant cushion plants at three elevations on the Kunlun Mountain, China. Environmental Science and Pollution Research, 27: 17339-17349.
- Ballani, F., Pommerening, A. and Stoyan, D., 2019. Mark-mark scatterplots improve pattern analysis in spatial plant ecology. Ecological Informatics, 49: 13-21.
- Delalandre, L. and Montesinos-Navarro, A., 2018. Can co-occurrence networks predict plant-plant interactions in a semi-arid gypsum community? Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 31: 36-43.
- Erfanifard, Y. and Khosravi, E., 2019. Saltcedar (*Tamarix mascatensis*) inhibits growth and spatial distribution of eshnan (*Seidlitzia rosmarinus*) by enrichment of soil salinity in a semi-arid desert. Plant and Soil, 440: 219-231.
- Erfanifard, Y., Nguyen, H.H., Schmidt, J.P. and Rayburn, A., 2018. Fine-scale intraspecific interactions and environmental heterogeneity drive the spatial structure in old-growth stands of a dioecious plant. Forest Ecology and Management, 425: 92-99.
- Erfanzadeh, R., Ghazanfarian, F. and Azarnivand, H., 2014. Different effects of shrubs and trees on seed bank richness and diversity in the understory soil (Case Study: Kerman Province, Sharbabak). Iranian Journal of Applied Ecology, 2(5): 39-50 (In Persian).
- Foronda, A., Pueyo, Y., Arroyo, A.I., Saiz, H., Giner, M.D.L.L. and Alados, C.L., 2019. The role of nurse shrubs on the spatial patterning of plant establishment in semi-arid gypsum plant communities. Journal of Arid Environments, 160: 82-90.
- Garavand, Y., Hosseini, S.M., Ahmadi, K., Ghomi Avili, A. and Ahadi, A., 2016. Investigation on structure of pistachio trees stands in two closed and grazed areas (Baghe Shadi protected area, Yazd). Natural Ecosystems of Iran, 7(2): 89-101 (In Persian).
- Hosseini, A. and Hoseinzadeh, J., 2018. Investigation on regeneration behavior of *Pistacia atlantica* and *Acer cineracens* species to recognize their natural establishment pattern in Zagros forests. Applied Biology, 31(3): 41-54 (In Persian).
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H. and Stoyan, D., 2008. Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 560p.
- Karimi, M. and Fallah, A., 2017. Spatial pattern and interaction analysis of *Quercus Brantii* Lindl. and *Pistacia Atlantica* Desf. in Qalajeh forests of Kermanshah using K2 function. Ecology of Iranian

Assessment of intra- and interspecific interactions of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Amygdalus* spp.) using spatial analysis in mixed stands of Baneh Research Forest, Fars Province, Iran

Y. Erfanifard [1*] and A. Chenari [2]

1*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: erfanifard@ut.ac.ir
2- M.Sc., Department of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 30.04.2020 Accepted: 13.07.2020

Abstract

Intra and interspecific interactions of plants is one of the important processes in establishing spatial structure of plant communities in semi-arid regions. Additionally, the interactions can be applied in management and rehabilitation of vegetation in these regions. This study was aimed to investigate the spatial pattern of wild pistachio (WP) (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (WA) (*Amygdalus* spp.) in Baneh Research Forest of Fars province to identify their interactions. In two 150 m × 150 m sample plots, the spatial positions of 798 individuals of two species and their crown diameters were measured. Uni- and bivariate $g(r)$, O-ring, $D(r)$ and $k_{mm}(r)$ were applied to explore the spatial patterns of species. The results showed the heterogeneity of spatial patterns of two species individuals, as well as lower density and higher mean crown area of WP. Moreover, WP and WA individuals were located in mixed clusters, although the positive interaction of conspecifics was stronger than heterospecifics. In small scales, density of conspecifics was almost two times more than heterospecifics. Furthermore, the positive interactions of conspecifics resulted in intense intraspecific competition that negatively influenced their crown areas ($p < 0.05$) and was more in WA (in 3 m distance between conspecifics, crown areas of WA and WP were 60% and 20% less than mean, respectively). In general, it was concluded that a mutualistic relationship exists between WP and WA in the study area as a result of their facilitative effects. The quantitative results of this study can be used in silvicultural treatments such as plantation.

Keywords: Conspecific, facilitation, heterospecific, mark correlation function.