

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

سید یوسف عرفانی فرد^{۱*} و افروز چناری^۲

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. پست الکترونیک: erfaniard@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 قطعه نمونه با ابعاد 150×150 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 ($p < 0.05$) 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 همبازی 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. در واقع، 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). پژوهش‌های 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

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. در واقع، آنچه که به‌عنوان الگوی مکانی گیاهان در یک محدوده مشاهده می‌شود، ناشی از عملکرد هم‌زمان برهم‌کنش گیاهان با یکدیگر و با محیط اطرافشان است

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 در مورد فرایندهای بوم‌شناختی حاکم بر منطقه ارائه می‌دهد که می‌تواند در مدیریت مؤثر توده‌های موجود و ایجاد توده‌های 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 در مورد توده‌های 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 دویایه بنه باهم باعث شکل‌گیری 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 در نظر گرفته شود این است که در صورت استفاده از فرضیه‌های مناسب در تحلیل الگوی مکانی می‌توان نوع

زیستی (مانند برهم‌کنش‌های مثبت یا منفی درون و بین‌گونه‌ای) 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 در مورد 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 بیفتند. هرچند فرایندی که در نهایت 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 در نهایت 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

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.

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

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

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

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 می‌تواند گامی به‌منظور توسعه بوم‌شناسی فردی و اجتماعی این دو گونه محسوب شود.

مواد و روش‌ها

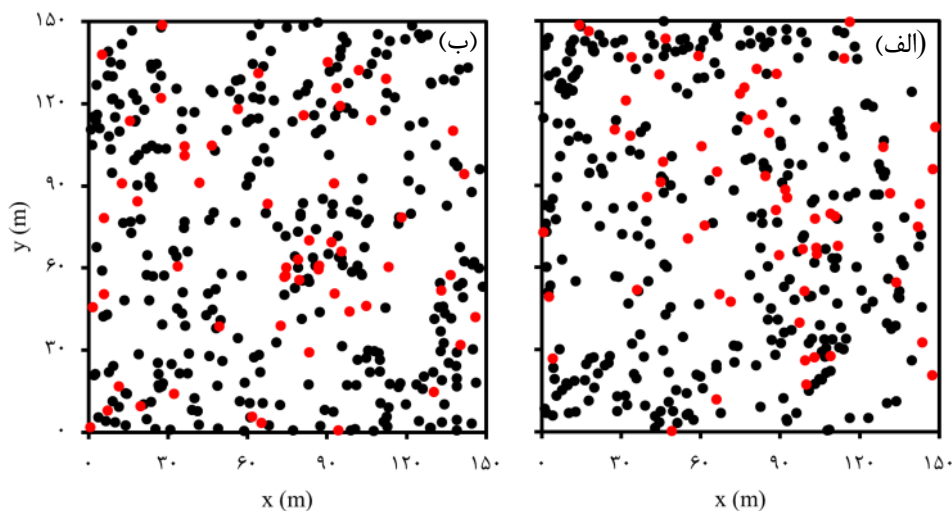
منطقه مورد مطالعه

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 ۲۹° ۱۰' شمالی و طول ۵۲° ۳۵' شرقی با ارتفاع متوسط ۱۹۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد. اقلیم منطقه برمبنای

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 درختچه‌های 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

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).

روش آمبرژه، نیمه‌خشک است. با توجه به اطلاعات ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک فیروزآباد (۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰)، متوسط دما و بارش سالانه به ترتیب ۲۲/۸ درجه سانتیگراد و ۳۸۳ میلی‌متر هستند. پس از بازدید اولیه، دو قطعه‌نمونه با ابعاد ۱۵۰ × ۱۵۰



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

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

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 این صورت،

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 شبیه‌سازی 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) به صورت تصادفی توزیع می‌شوند (Illian *et al.*, 2008; Wiegand & Moloney, 2014). نتایج آماره‌های اختصاری به صورت 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 ثبت شده 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 زیست‌سنجی 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 پواسون همگن (۰/۰۵) $p <$ 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 مشاهده شده در هر قطعه‌نمونه و توزیع پواسون همگن رد می‌شود، بنابراین برای انجام تحلیل‌های مکانی، شکل ناهمگن تابع‌های توضیح داده شده در روش پژوهش باید استفاده شوند.

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 به دست می‌آید.

$$g_{12}(r) = \frac{dK_{12}(r)}{dr} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: $K_{12}(r)$ مشتق تابع K_{12} است که در این پژوهش با استفاده از روش تصحیح حاشیه‌ای WM به دست آمد (Wiegand & Moloney, 2014). همچنین، از شکل تک‌متغیره و دومتغیره تابع O -ring استفاده شد که بر پایه تابع g است. در صورتی که 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 صورتی که مقدار این تابع یک باشد، همه گیاهان در آن فاصله، نزدیک‌ترین همسایه دارند.

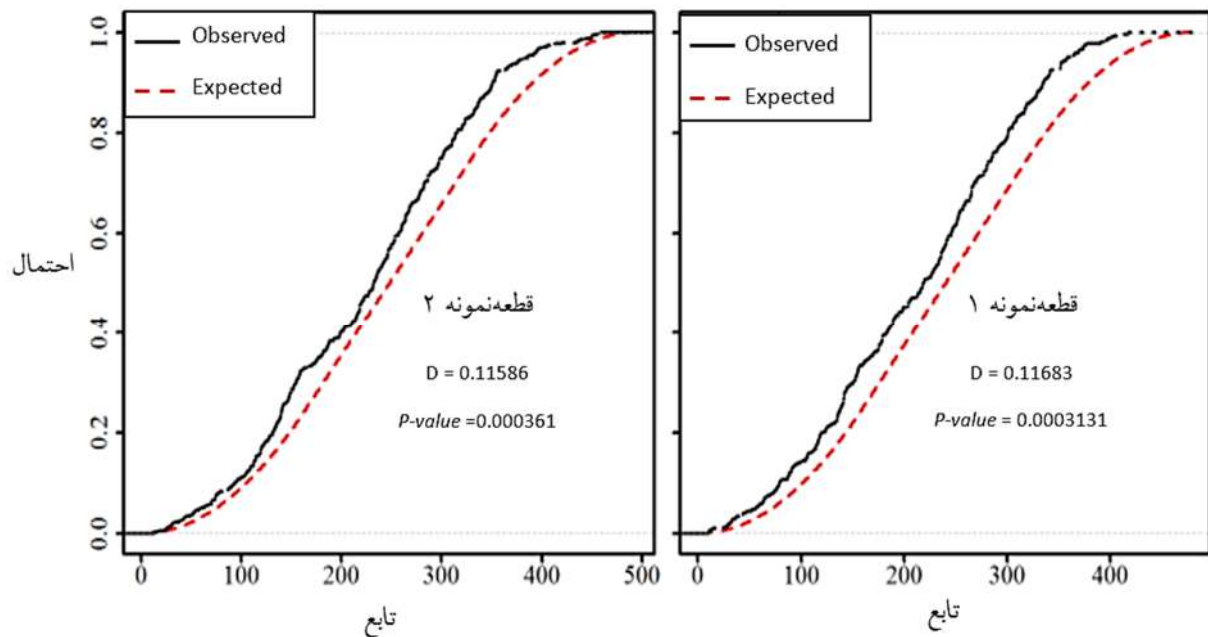
فرضیه دوم پژوهش با استفاده از شکل‌های تک و دومتغیره تابع همبستگی نشان‌دار یا $k_{mm}(r)$ و در نظر گرفتن مساحت‌های تاج بنه و بادام آزمون شد. اگر مقدار این تابع بیشتر (یا کمتر) از یک باشد، نشان می‌دهد که مساحت تاج یک گونه با همسایگی گونه دیگر که در فاصله r از هم قرار دارند، از میانگین مساحت تاج در قطعه‌نمونه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

آزمون آماری نتایج

به منظور آزمون معنی‌داری نتایج به دست آمده از آماره‌های اختصاری تک‌متغیره، یک بازه شبیه‌سازی با استفاده

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 \pm انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین \pm انحراف معیار
۴. ویژگی زیست‌سنجی	تراکم (تعداد در هکتار)	۲۸	۲۸/۴	۰/۶	۱۰	۲۸/۴
	میانگین قطر تاج (متر)	۱/۳	۱۰	۳/۲ \pm ۲/۶	۰/۳	۳/۹ \pm ۳
	مساحت تاج (متر مربع)	۰/۱	۷۸/۵	۱۳/۳ \pm ۱۷/۹	۰/۳	۱۸/۸ \pm ۲۲/۹
	درصد تاج پوشش (در هکتار)	۳/۷	۵/۳			
۵. ویژگی زیست‌سنجی	تراکم (تعداد در هکتار)	۱۴۲/۷	۱۵۵/۶	۰/۵	۶/۱	۱/۹ \pm ۰/۷
	میانگین قطر تاج (متر)	۰/۶	۴/۵	۱/۶ \pm ۰/۵	۰/۲	۲/۲ \pm ۲/۷
	مساحت تاج (متر مربع)	۰/۳	۱۶/۲	۲/۳ \pm ۱/۶	۰/۲	۲/۲ \pm ۲/۷
	درصد تاج پوشش (در هکتار)	۳/۳	۵			



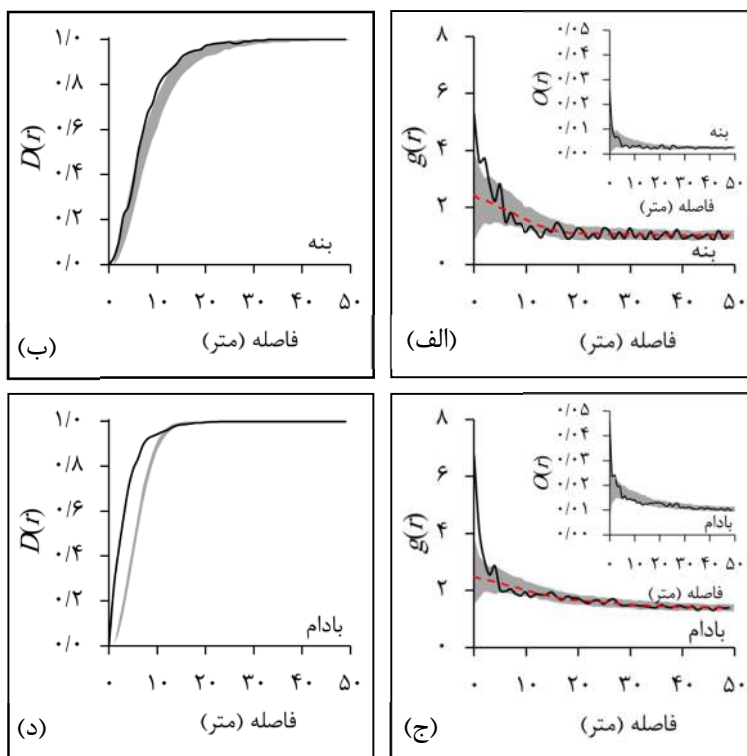
شکل ۲- نتایج آزمون نیکویی کولموگروف-سمیرنوف در مقایسه توزیع مکانی بنه و بادام در دو قطعه‌نمونه (خط سیاه پیوسته) با توزیع آماری پواسون همگن (خط چین قرمز)

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

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 ($p < 0.05$).

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).

درختان این گونه در حالت تصادفی است که بیانگر تجمع بنه‌ها 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 در نتیجه، برهم‌کنش مثبت درون‌گونه‌ای دارند که تا فاصله پنج متر معنی‌دار بود ($p < 0.05$). به‌عنوان نمونه، در فاصله سه متر



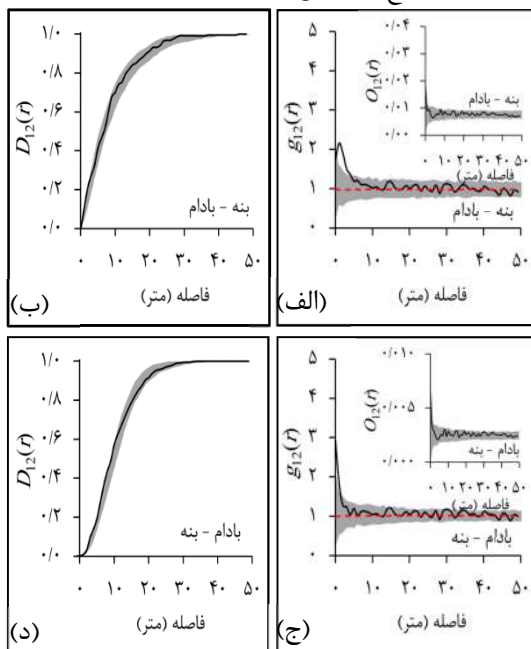
شکل ۳- برهم‌کنش درون‌گونه‌ای بنه (الف و ب) و بادام (ج و د) در دو قطعه‌نمونه با استفاده از شکل تک‌متغیره تابع‌های O و D و خط سیاه الگوی مکانی مشاهده‌شده، خط چین قرمز الگوی مکانی مورد انتظار و بازه خاکستری، محدوده مونت‌کارلو با ۱۹۹ تکرار را نشان می‌دهند.

در اطراف هر بنه $1/9$ برابر تعداد بادام‌ها در توزیع تصادفی بود. این نتایج با تابع O دو متغیره 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

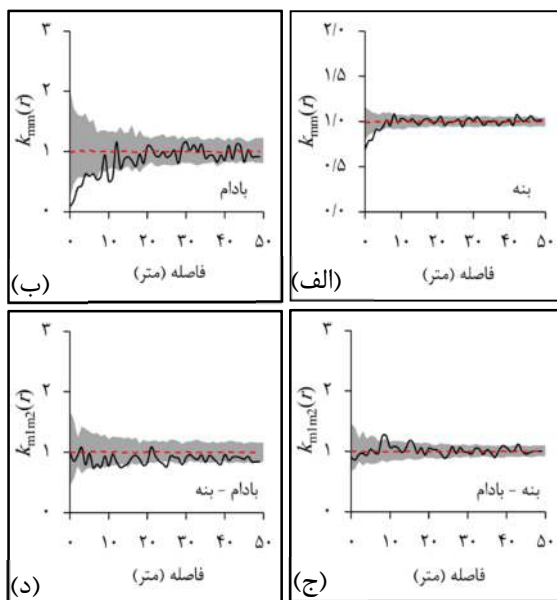
نتایج تابع g دو متغیره نشان داد که بین بنه و بادام برهم‌کنش مثبت قوی وجود داشت که تا فاصله پنج متر معنی‌دار بود ($p < 0.05$), اما از برهم‌کنش درون‌گونه‌ای ضعیف‌تر بود. به‌عنوان نمونه، در فاصله سه متر تعداد بادام‌ها

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-ب). در مورد برهم‌کنش بین گونه‌ای بادام و بنه، نتایج تابع g دومتغیره بیانگر معنی‌داری آن تا فاصله چهار متر بود ($p < 0.05$). در فاصله سه متر، تجمع درختان بنه در اطراف هر بادام $1/3$ برابر تعداد بنه‌ها در توزیع تصادفی



شکل ۴- برهم‌کنش بین گونه‌ای بنه-بادام (الف و ب) و بادام-بنه (ج و د) در دو قطعه نمونه با استفاده از شکل دومتغیره تابع‌های g ، O و D خط سیاه الگوی مکانی مشاهده شده، خط چین قرمز الگوی مورد انتظار و بازه خاکستری، محدوده مونت کارلو 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 قطعه نمونه با استفاده از تابع k_{mm} تک و دومتغیره. خط سیاه الگوی مکانی مشاهده شده، خط چین قرمز الگوی مکانی مورد انتظار و بازه خاکستری، محدوده مونت کارلو با ۱۹۹ تکرار را نشان می‌دهند.

بیشتر به دست آمد. همچنین، درصد تاج پوشش 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 درختچه‌های بادام، انبوهی با توزیع مکانی ناهمگن داشتند. به این معنی که انبوهی گیاهان در تمام قطعه نمونه یکسان نبود و در برخی نقاط در هر دو قطعه نمونه، 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 بخش‌های مناسب‌تر از نظر 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 ریزاقليمی مورد نیاز یکدیگر را تأمین می‌کنند و استقرار گیاهان همگانه (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، به نحوی که در اطراف هر گیاه، تجمع افراد همگانه حدود دو برابر تجمع افراد دگرگونه بود (شکل‌های ۳ و ۴). یکی از دلایل‌های بروز این نتیجه در مورد بنه، دوپایه بودن این درختان است که در پژوهش Erfanifard و همکاران (۲۰۱۸) نیز تأیید شد. دلیل دیگر می‌تواند وجود بذره‌های سنگین بنه و قرار گرفتن آن‌ها در پای درخت مادری باشد (Erfanzadeh *et al.*, 2014; Hosseini & Hoseinzadeh,)

نتایج تابع k_{mm} تک‌متغیره نشان داد که الگوی مکانی کپه‌ای بنه و بادام، تأثیر منفی معنی‌داری بر اندازه مساحت تاج آن‌ها داشت ($p < 0/05$). این تأثیر منفی در بادام قوی‌تر از بنه بود. به عنوان 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} دو متغیره نشان داد که همسایگی بنه-بادام، تأثیر معنی‌داری بر اندازه مساحت تاج آن‌ها نداشت. به عنوان 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 به دست آمد (شکل‌های ۵-ج و ۵-د).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه درصد تاج پوشش 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 در مورد هر گونه در هر قطعه‌نمونه مشاهده شد و درصد تاج پوشش 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 به ترتیب ۲/۸ و ۰/۷ متر گزارش کردند که اندکی کمتر از نتایج مورد نظر برای توده بنه-بادام در پژوهش پیش‌رو بود. اگرچه شرایط اقلیمی در دو منطقه به نسبت 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 گزارش شده در جنگل‌های شهرستان خلخال استان اردبیل (Rostamikia *et al.*, 2010)

گزارش شد (Ballani et al., 2019; Erfanfard & Khosravi, 2019).

به طور کلی، از نتایج پژوهش پیش رو می توان نتیجه گرفت که بنه ها و بادام ها در کپه های آمیخته از دو گونه مستقر شدند. با توجه به ناهمگنی توزیع مکانی مشاهده شده در دو قطعه نمونه احتمال دارد که این کپه ها در مناطق مساعد رویشگاه مستقر شده باشند. همچنین، نتایج نشان داد که در هر دو گونه، تجمع همگونه ها بیشتر از دگرگونه ها است. این موضوع باعث افزایش رقابت می شود که این رقابت در همگونه ها قوی تر از دگرگونه ها است و کاهش رشد را در پی داشت، بنابراین همسایگی بنه و بادام، رقابت درون گونه ای را کاهش داد و باعث کاهش رشد در دگرگونه ها نشد. با توجه به جدول ۱ و نتایج به دست آمده مشخص شد که بین بنه و بادام در منطقه مورد مطالعه، رابطه همبستگی وجود دارد که باعث می شود در کنار هم تجمع کنند. این رابطه تحت تأثیر رقابت درون گونه ای ناشی از الگوی مکانی کپه ای همگونه ها قرار گرفته بود. مدیریت عملی این بوم سازگان به مقادیر کمی نیاز دارد که در تیمارهایی مانند درخت کاری از آن استفاده شود. نتایج این پژوهش به مدیران کمک می کند که نوع گونه و فاصله مناسب کاشت بنه و بادام را به نحوی انتخاب کنند تا علاوه بر بهره مندی از اثر مثبت همبستگی بین دو گونه، رقابت درون و بین گونه ای بر استقرار و رشد آن ها 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).

2018) که باعث شد الگوی مکانی کپه ای برای بنه در پژوهش پیش رو و پژوهش های پیشین (Karimi & Fallah, 2017) مشاهده شود. همچنین، Erfanzadeh و همکاران (۲۰۱۴) در استان کرمان گزارش کردند که تجمع بذر در زیر تاج درختچه های بادام بیشتر از بیرون تاج است که می تواند تجمع زیاد بادام ها در کنار هم را در پژوهش پیش رو توجیه کند. اگرچه دویایه بودن بنه، سنگینی بذر آن و تجمع این بذرها در زیر بادام، الگوی مکانی کپه ای آن ها را توضیح می دهد، اما حمایت درختچه های 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) می تواند بیانگر علت های احتمالی تجمع دو گونه در کنار هم باشد. تسهیل کنندگی درون و بین گونه ای در مناطق خشک و نیمه خشک در پژوهش های دیگر (Andivia et al., 2018; Foronda et al., 2019; Zhao et al., 2020) نیز مشاهده شده است. به طور کلی، نتایج پژوهش پیش رو بیانگر تسهیل کنندگی درون گونه ای قوی و تسهیل کنندگی بین گونه ای ضعیف بین بنه ها و بادام ها در قطعه نمونه های مورد مطالعه بود که تأییدکننده فرضیه اول پژوهش هستند. به عنوان نمونه، تأثیر بنه ها بر استقرار پایه های همگونه بیشتر از بادام است. از این دستاوردهای کمی می توان در احیای این بوم سازگان استفاده کرد.

مطالعه تأثیر الگوی مکانی کپه ای بنه و بادام بر اندازه مساحت تاج آن ها نشان داد که این الگوی مکانی باعث رقابت شدید درون گونه ای بر سر عناصر غذایی می شود. در نتیجه، مساحت تاج درختان همگونه در همسایگی هم کمتر از میانگین شد (شکل ۵)، بنابراین ضمن رد فرضیه دوم پژوهش پیش رو می توان نتیجه گرفت که بنه ها و بادام ها، الگوی مکانی کپه ای داشتند، اما تجمع آن ها باعث افزایش رقابت درون گونه ای شده است. با توجه به مبانی نظری بوم شناسی باید بیان کرد که تجمع بنه و بادام در منطقه مورد مطالعه می تواند به دلیل فرایندهایی مانند ناهمگنی محیطی و اثر تسهیل کنندگی در استقرار باشد. در پژوهش های پیشین نیز افزایش رقابت درون گونه ای و در نتیجه، کاهش رشد

- 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.
 - Erfanfard, 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.
 - Erfanfard, 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. Erfanfard^{1*} and A. Chenari²

1* - Corresponding author, Associate Prof., Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: erfanfard@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.