فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۵ شماره ۲، صفحه ۲۷۴-۲۶۴، (۱۳۹۶)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2017.111761

تحلیل اثر پراکنش مکانی کپه‌ای درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها با استفاده از تابع همبستگی نشان‌دار در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس

نرگس کریمی‌نژاد [۱]، سیدیوسف عرفانی‌فرد [۲*]، سیدرشید فلاح‌شمسی [۳] و حسین صادقی [۳]

۱- کارشناس ارشد منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. پست الکترونیک: erfanifard@shirazu.ac.ir

۳- دانشیار، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰۸

چکیده

تحلیل پراکنش مکانی درختان در مناطق خشک و نیمه‌خشک اطلاعات ارزشمندی در مورد برهمکنش آن‌ها و چگونگی تأثیرشان بر یکدیگر ارایه می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی نحوه تأثیرپذیری ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) از پراکنش مکانی کپه‌ای آن‌ها در ناحیه رویشی زاگرس انجام شد. بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه در استان فارس انتخاب شد و علاوه‌بر ثبت موقعیت مکانی درختان با قطر برابر سینه بیشتر از ۲/۵ سانتی‌متر؛ قطر برابر سینه، ارتفاع و مساحت تاج هر درخت اندازه‌گیری شد. درختان بنه با قطر برابر سینه بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان درختان بالغ و کمتر از ۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان نهال طبقه‌بندی شدند. برای دستیابی به اهداف مطالعه، از واریوگرام نشان‌دار و تابع همبستگی نشان‌دار تک‌متغیره (به‌ترتیب $\gamma(r)$ و $k_{mm}(r)$) و دومتغیره (به‌ترتیب $\gamma_{m1m2}(r)$ و $k_{m1m2}(r)$) استفاده شد. مقایسه توزیع مکانی درختان بنه با فرآیند پواسون همگن نشان داد که توزیع مشاهده شده درختان دارای ناهمگنی مکانی معنی‌دار (در سطح خطای ۰/۰۵) بود. این ناهمگنی ناشی از شرایط نامطلوب رویشگاهی منطقه مطالعاتی بود. نتایج شکل تک‌متغیره و دومتغیره $\gamma(r)$ و تابع k_{mm} نشان داد که قطر برابر سینه، ارتفاع و مساحت تاج درختان بنه که تا فاصله سه متری از یکدیگر قرار گرفته بودند، کمتر از میانگین کل بود. همچنین، نتایج نشان داد که ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد مطالعه در نهال‌های بنه که درخت بالغ بنه تا فاصله سه متری آن‌ها قرار داشته، کمتر از میانگین کل بود. به‌طور کلی، نتیجه‌گیری شد که تجمع درختان بنه در کنار یکدیگر به‌دلیل ناهمگنی شرایط رویشگاهی بر ویژگی‌های زیست-سنجی آن‌ها تأثیر منفی گذاشته و مانع افزایش آن‌ها شده بود.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش، توزیع مکانی، زاگرس، واریوگرام.

مقدمه

در بوم‌شناسی جنگل، تحلیل مکانی نحوه پراکنش درختان در توده‌های طبیعی اهمیت زیادی پیدا کرده، زیرا چنین تحلیل‌هایی امکان درک بهتر فرآیندهای نهفته در روابط بین درختان در طبیعت و آزمون فرضیه‌های بوم‌شناسی را فراهم کرده است (Dale, 2004; Nguyen *et al.*, 2016). هدف اصلی استفاده از تحلیل الگوی نقطه‌ای (Point pattern analysis) در بوم‌شناسی و ارزیابی کمی برهمکنش درختان، شناسایی سازوکارهایی است که منجر به شکل‌گیری الگوی مکانی درختان در یک توده شده است

(Clyatt *et al*., 2016). فرآیندهای بوم‌شناختی مانند اثر تسهیل‌کنندگی (Facilitation) یک درخت بر درخت دیگر یا سنگینی بذر تأثیر معنی‌داری بر تجمع آن‌ها در کنار یکدیگر دارد. همچنین وجود رقابت بین درختان یا تأثیر باد در انتقال بذر منجر به پراکندگی درختان در توده می‌شود (Dale, 2004; Nguyen *et al*., 2016). تاکنون مطالعات فراوانی در زمینه نحوه توزیع درختان در بوم‌سازگان‌های مختلف در داخل (Basiri *et al*., 2006; Alavi *et al*., 2014; Pourhashemi *et al*., 2014) و خارج از کشور (Ledo *et al*., 2014; Clyatt *et al*., 2016) انجام شده است. در مطالعات فوق، کارایی ارزیابی الگوی مکانی درختان و درختچه‌ها در یک محدوده به‌منظور آگاهی عمیق‌تر از نوع برهمکنش آن‌ها به‌صورت کمی تأیید شده است. آنچه اکنون مورد پرسش بوم‌شناسان جنگل است، چگونگی تأثیرپذیری رویش درختان از تجمع درختان و الگوی مکانی کپه‌ای آن‌ها در بخش‌هایی از رویشگاه و یا پراکندگی آن‌ها در تمام رویشگاه است. ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان مستقل از موقعیت مکانی آن‌ها در رویشگاه نیست و در مطالعات پیشین تأیید شده که میزان رویش هر درخت تحت تأثیر درختانی است که در همسایگی آن وجود دارند (Ni *et al*., 2014).

تحلیل الگوی نقطه‌ای در بوم‌شناسی به‌سرعت رو به گسترش است و این موضوع، آشنایی با پیشرفت‌های این شاخه از بوم‌شناسی را به‌ویژه در داخل کشور اجتناب‌ناپذیر کرده است تا امکان یافتن پاسخ مناسب به پرسش‌های بوم‌شناسان فراهم شود. یکی از پیشرفت‌های اخیر در تحلیل الگوی نقطه‌ای، استفاده همزمان از اطلاعات مربوط به فاصله درختان از یکدیگر و ویژگی‌های ظاهری آن‌ها است. این روش امکان شناسایی نحوه تأثیرگذاری نوع ارتباط بین درختان بر رشد یکدیگر را فراهم می‌کند (Illian *et al*., 2008; Ledo *et al*., 2014; Ni *et al*., 2014). بنابراین، در راستای پرسش ذکر شده، استفاده از چنین تحلیلی اطلاعات ارزشمندی از درختان و دلایل احتمالی اندازه ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها ارایه می‌دهد. تاکنون استفاده از تابع‌های متداول تحلیل الگوی نقطه‌ای که فقط بر اساس فاصله بین درختان عمل می‌کنند (شکل خطی تابع K رایپلی، تابع همبستگی جفتی $g(r)$، تابع O-ring) در مطالعات ارزشمندی در ناحیه رویشی زاگرس (Karimi *et al*., 2012; Sohrabi, 2014; Pourhashemi *et al*., 2014; Erfanifard & Rezayan, 2014; Biabani *et al*., 2016) استفاده شده‌اند. در حالی‌که، آشنایی با روش‌های نوین تحلیل الگوی نقطه‌ای و همچنین دستاوردهای آن‌ها می‌تواند اطلاعات بیشتری را در اختیار پژوهشگران قرار دهد. اگرچه تابع همبستگی نشان‌دار در مطالعات کمی برای شناسایی عمیق‌تر روابط بین درختان و درختچه‌ها به‌کار رفته است (Ledo *et al*., 2014; Ni *et al*., 2014; Erfanifard & Khosravi, 2015)، شناخت دقیق‌تر این تابع با تأکید بر شکل تک‌متغیره و دومتغیره آن ضروری به‌نظر می‌رسد.

آنچه در پژوهش‌های پیشین اشاره شده است، بیانگر اهمیت ناحیه رویشی زاگرس در حفظ منابع آب و خاک و جایگاه انکارناپذیر اقتصادی- اجتماعی آن است (Pourhashemi *et al*., 2014; Sohrabi, 2014). اگرچه پوشش گیاهی در ناحیه رویشی زاگرس ساده به‌نظر می‌رسد (تنوع گونه‌ای اندک)، اما روابط پیچیده‌ای بین گیاهان آن با یکدیگر و محیط اطرافشان وجود دارد که انجام مطالعات علمی مبتنی بر روش‌های نوین را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. بنابراین، در این مطالعه یک توده خالص از بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) در ناحیه رویشی زاگرس انتخاب شد. علاوه‌بر اهمیت بنه به‌عنوان دومین گونه مهم ناحیه رویشی زاگرس، علت انتخاب این بود که در مورد الگوی مکانی آن مطالعات اولیه‌ای انجام شده بود.

روش‌های متداول در تحلیل الگوی نقطه‌ای نشان دادند که درختان بنه در بخش‌هایی از ناحیه رویشی زاگرس در استان‌های چهارمحال و بختیاری (Sohrabi, 2014)، کرمانشاه (Safari *et al*., 2010, 2014; Pourreza *et al*., 2012) و فارس (Erfanifard & Mahdian, 2012; Erfanifard & Rezayan, 2014) دارای پراکنش مکانی کپه‌ای بودند. در برخی از این مطالعات به این موضوع اشاره

شده که حمایت درختان بنه از یکدیگر، سنگینی بذر درختان بنه که به شکل خوشه‌ای است و نامساعد بودن شرایط رویشگاه از مهم‌ترین دلایل تجمع درختان بنه هستند (Safari *et al*., 2010; Safari *et al*., 2014; Erfanifard & Rezayan, 2014).

بر اساس اصول نظری بوم‌شناسی (Dale, 2004; Law *et al*., 2009)، پراکنش مکانی کپه‌ای درختان ناشی از روابط متقابل مثبت و اثر تسهیل‌کنندگی آن‌ها بر یکدیگر است که تأثیر این برهمکنش مثبت در ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها نیز باید دیده شود. بنابراین، پژوهش پیش‌رو بر مبنای این فرضیه انجام شد که الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها تأثیر مثبت دارد. با توجه به مطالعات کمی که تاکنون در مورد کارایی تابع همبستگی نشان‌دار انجام شده است، این تابع می‌تواند در آزمون فرضیه فوق به‌کار رود. بنابراین، یکی از اهداف این پژوهش شناسایی نحوه تأثیرپذیری ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه (قطر برابر سینه، ارتفاع، مساحت تاج) از توزیع کپه‌ای آن‌ها است. آشنایی با نحوه عملکرد تابع همبستگی نشان‌دار در دو شکل تک‌متغیره و دومتغیره از دیگر اهداف این مطالعه است. علاوه‌براین، در این پژوهش از آزمون نیکویی برازش برای آزمون نتایج تحلیل مکانی استفاده شد. کاربرد تابع همبستگی نشان‌دار در این پژوهش، جنبه‌ای دیگر از ساختار مکانی درختان بنه را بررسی خواهد کرد که از این نظر نسبت به مطالعات پیشین، نوآوری داشته و در مطالعه بوم‌شناسی فردی گونه بنه گامی به جلو محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای انجام این پژوهش، بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد در جنوب غربی استان فارس، در محدوده شهرستان فیروزآباد و در فاصله ۶۵ کیلومتری جنوب شیراز انتخاب شد. این محدوده با مساحت کل در حدود ۹۳۷۴ هکتار از نظر مختصات جغرافیایی در عرض 29^{o} تا $15'$ 29^{o} شمالی و طول $30'$ 52^{o} تا $40'$ 52^{o} شرقی واقع شده است. محدوده مورد نظر با متوسط ارتفاع از سطح دریای ۱۹۲۰ متر پوشیده از درختان بنه بود. موقعیت مکانی درختان بنه با قطر برابر سینه بیشتر از ۲/۵ سانتی‌متر در این محدوده، در مطالعه پیشین (Erfanifard & Mahdian, 2012) با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی دوفرکانسه مارک Leica مدل GS10 با دقت کمتر از یک سانتی‌متر ثبت شده بود (شکل ۱). قطر برابر سینه (با استفاده از نوار قطرسنج)، ارتفاع و دو قطر بزرگ و کوچک تاج (با استفاده از متر لیزری) مربوط به هر درخت نیز اندازه‌گیری شد. با توجه به مطالعات پیشین (Daryaei *et al*., 2012)، درختان با قطر برابر سینه بین ۲/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان نهال و درختان با قطر برابر سینه بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان درختان بالغ درنظر گرفته شدند.

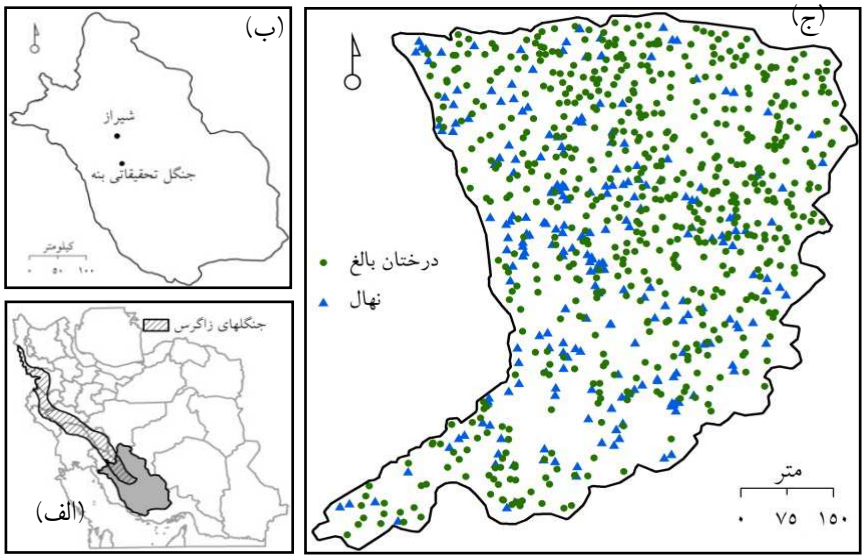
روش پژوهش

بررسی همگنی توزیع درختان بنه

به‌منظور جلوگیری از بروز خطا در تحلیل الگوی مکانی، بررسی همگنی پراکنش درختان در محدوده مورد مطالعه ضروری بود. در این پژوهش این کار با استفاده از برازش توزیع آماری پواسون همگن بر توزیع مکانی درختان بنه انجام شد. معنی‌داری اختلاف این دو توزیع در سطح اطمینان ۹۵٪ از طریق آزمون نیکویی برازش کولموگروف-سمیرنوف ارزیابی شد (Illian *et al*., 2008; Erfanifard & Rezayan, 2014).

تابع همبستگی نشان‌دار ($k_{mm}(r)$)

تابع k_{mm} در یک الگوی نقطه‌ای (Point pattern) وابستگی بین نشان (مانند قطر برابر سینه) دو درخت را که در فاصله r از یکدیگر قرار گرفته‌اند، بررسی می‌کند. با استفاده از مشخصه کمی درخت اول (m_1) و درخت دوم (m_2)، برای هر جفت درخت عددی (رابطه ۱) محاسبه می‌شود که امکان ارزیابی شباهت یا عدم شباهت مشخصات مذکور را فراهم می‌سازد. تابع k_{mm} در مقیاس مکانی r، میانگین نرمال شده نتایج رابطه ۱ برای تمام جفت درختان در فاصله مذکور است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنگل‌های زاگرس (الف)، استان فارس (ب) و پراکنش درختان بنه در توده مورد مطالعه (ج)

رابطه (۱) $$f(m_1, m_2) = m_1 \times m_2$$

اگر مقدار تابع k_{mm} برابر با یک باشد، مشخصه‌های کمی مورد بررسی مستقل از یکدیگر هستند. اگر این تابع بیشتر از یک و کمتر از یک باشد، به‌ترتیب بیانگر این است که نشان مورد نظر در درختان با فاصله r از یکدیگر، بیشتر از میانگین و کمتر از میانگین آن در محدوده مطالعاتی است. در این پژوهش، علاوه‌بر شکل تک‌متغیره تابع، از شکل دومتغیره آن برای بررسی هم‌زمان دو ویژگی زیست‌سنجی و همچنین ویژگی زیست‌سنجی درختان بالغ و نهال نیز استفاده شد (Illian *et al*., 2008).

واریوگرام نشان‌دار ($\gamma(r)$)

در این پژوهش از واریوگرام نشان‌دار نیز استفاده شد که در آن، تغییرات نصف مجذور اختلاف نشان‌ها در مقیاس فاصله اندازه‌گیری می‌شود. اگر مقدار $\gamma(r)$ بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده تفاوت نشان‌ها در فاصله مورد نظر بوده و در صورتی‌که کمتر از یک باشد، بیانگر شباهت نشان‌ها است (Illian *et al*., 2008).

آزمون آماری نتایج

نتایج به‌دست‌آمده از $\gamma(r)$ و تابع k_{mm} تک‌متغیره و دومتغیره در سطح اطمینان ۹۵٪ با استفاده از بازه شبیه‌سازی ساخته‌شده با ۱۹۹ تکرار آزمون مونت‌کارلو ارزیابی شدند. پژوهش‌های اخیر نشان داده است که بازه شبیه‌سازی در تأیید یا رد نتایج آماره‌های اختصاری دارای خطا است (Grabarnik *et al*., 2011). به همین دلیل، علاوه‌بر بازه شبیه‌سازی، برای آزمون آماری نتایج از آزمون نیکویی برازش پیشنهادی توسط Diggle (۲۰۰۳) استفاده شد. این آزمون، صحت نتایج آماره‌های اختصاری را نسبت به فرض صفر ارزیابی می‌کند. برای محاسبه تابع‌ها و آزمون‌های معنی‌داری نتایج از نرم‌افزار MatLab نسخه ۱۰ استفاده شد.

نتایج

آماره‌های توصیفی ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه در جدول ۱ آمده است. کمترین ضریب تغییرات در درختان بالغ بنه (۳۱/۹ درصد) مربوط به ارتفاع بود که بیانگر تغییرات اندک ارتفاع درختان بالغ و تشابه آن‌ها است. به‌طور مشابه، در نهال‌ها نیز ضریب تغییرات حداقل (۲۳/۵ درصد) مربوط به ارتفاع بود. همچنین بیشترین ضریب تغییرات در درختان بالغ (۶۸/۹ درصد) مربوط به مساحت تاج بود.

جدول ۱- ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه بالغ و نهال در منطقه مورد مطالعه

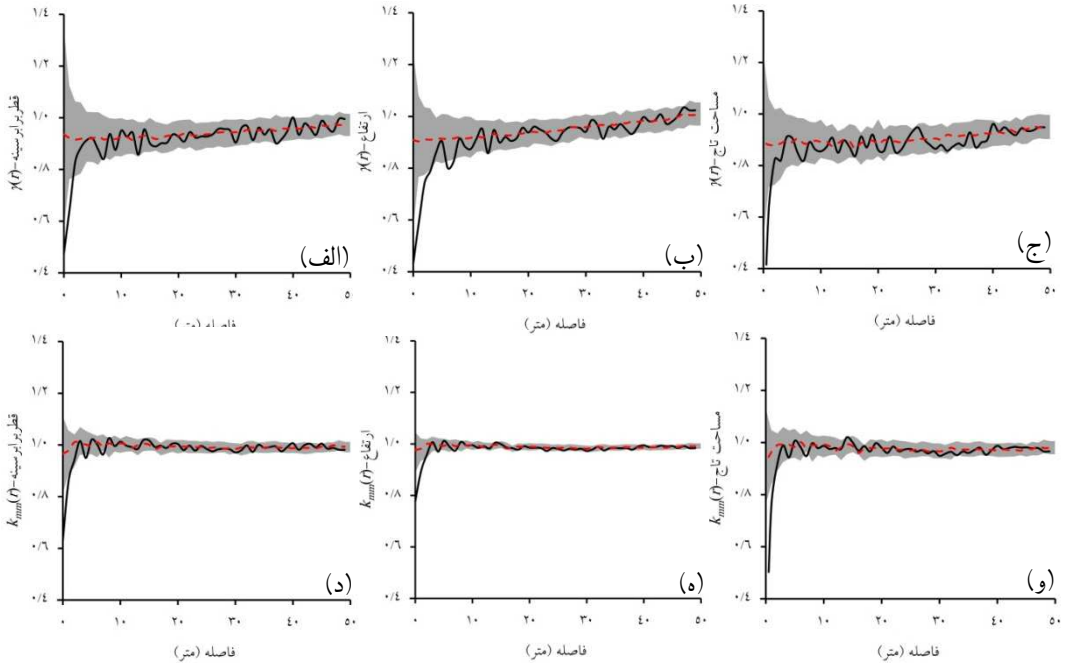
	ویژگی	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	ضریب تغییرات (درصد)
بالغ	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	۱۰/۱	۱۳۲/۲	۵۲/۳	۱/۲	۵۰/۵
	ارتفاع (متر)	۲/۱	۱۰/۹	۵/۹	۰/۱	۳۱/۹
	مساحت تاج (متر مربع)	۰/۳	۱۲۸/۹	۳۵/۹	۱/۱	۶۸/۹
نهال	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	۳/۵	۹/۸	۶/۵	۰/۱	۳۱/۸
	ارتفاع (متر)	۱/۷	۶/۵	۲/۷	۰/۱	۲۳/۵
	مساحت تاج (متر مربع)	۰/۲	۱۰/۴	۱/۷	۰/۱	۸۴/۹

نتایج آزمون نیکویی برازش نشان داد که توزیع درختان بنه به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۱$) با توزیع پواسون همگن متفاوت است (رد فرض صفر). بنابراین، برای تحلیل‌های مکانی شکل ناهمگن تابع‌ها استفاده شدند.

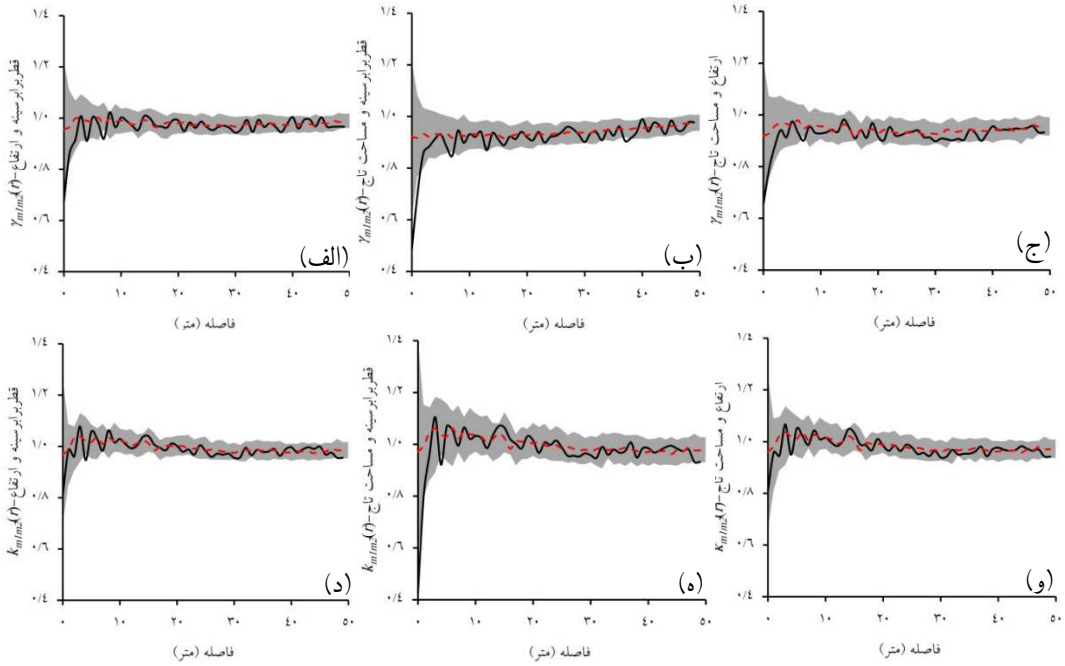
نتایج $\gamma(r)$ تک‌متغیره نشان داد که هر سه ویژگی زیست‌سنجی مورد مطالعه دارای ساختار مکانی معنی‌دار بوده و درختان بنه با اندازه مشابه کنار هم قرار گرفتند (شکل‌های ۲- الف، ۲- ب و ۲- ج). همچنین آزمون نیکویی برازش نشان داد که تابع رسم‌شده در قطر برابر سینه ($p = ۰/۰۰۵$) و ارتفاع ($p = ۰/۰۰۵$) به‌طور معنی‌داری با فرض صفر متفاوت بودند. هرچند شدت این معنی‌داری در مورد مساحت تاج کمتر بود ($p = ۰/۰۱۵$). نتایج تابع k_{mm} تک‌متغیره نیز نشان داد که هر سه ویژگی زیست‌سنجی در کل درختان بنه رفتار مشابه داشتند (شکل‌های ۲- د، ۲- ه و ۲- و). در درختان بنه که تا فاصله چهار متری از یکدیگر قرار داشتند، هر سه ویژگی زیست‌سنجی به‌طور معنی‌داری کمتر از میانگین بودند. بازه شبیه‌سازی ساخته‌شده با ۱۹۹ بار تکرار تأیید کرد که این نتیجه تا فاصله سه متر در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بود. با استفاده از آزمون نیکویی برازش نیز معنی‌داری جدایی تابع k_{mm} داده‌های مورد بررسی از فرض صفر در مورد سه ویژگی قطر برابر سینه، ارتفاع و مساحت تاج از نظر آماری تأیید شد ($p = ۰/۰۰۵$).

نتایج $\gamma(r)$ دومتغیره بیانگر آن بود که با درنظر گرفتن ویژگی‌های زیست‌سنجی به‌صورت جفتی (قطر برابر سینه و ارتفاع، قطر برابر سینه و مساحت تاج، ارتفاع و مساحت تاج) نیز ساختار مکانی آن‌ها تأیید شد. در مورد $\gamma(r)$ قطر برابر سینه و ارتفاع و قطر برابر سینه و مساحت تاج، اگرچه خط تابع به بازه شبیه‌سازی چسبیده بود (شکل‌های ۳- الف و ۳- ب)، اما آزمون نیکویی برازش بیانگر تفاوت معنی‌دار تابع و فرض صفر بود (در هر دو مورد$p = ۰/۰۱۰$). در حالی‌که در مورد واریوگرام نشان‌دار ارتفاع و مساحت تاج آزمون نیکویی برازش اختلاف تابع رسم شده و فرض صفر را تأیید نکرد ($p = ۰/۰۷۰$) (شکل ۳- ج).

نتایج تابع k_{mm} دومتغیره بیانگر آن بود که اگرچه دو ویژگی مورد بررسی در هر درخت کمتر از مقدار مورد انتظار بودند، اما این نتایج از نظر آماری تأیید نشد (شکل‌های ۳- د، ۳- ه و ۳- و). آزمون نیکویی برازش نیز نشان داد که بین تابع رسم‌شده و فرض صفر در مورد قطر برابر سینه و ارتفاع ($p = ۰/۰۶۰$)، قطر برابر سینه و مساحت تاج ($p = ۰/۰۷۰$) و ارتفاع و مساحت تاج ($p = ۰/۱۲۰$) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

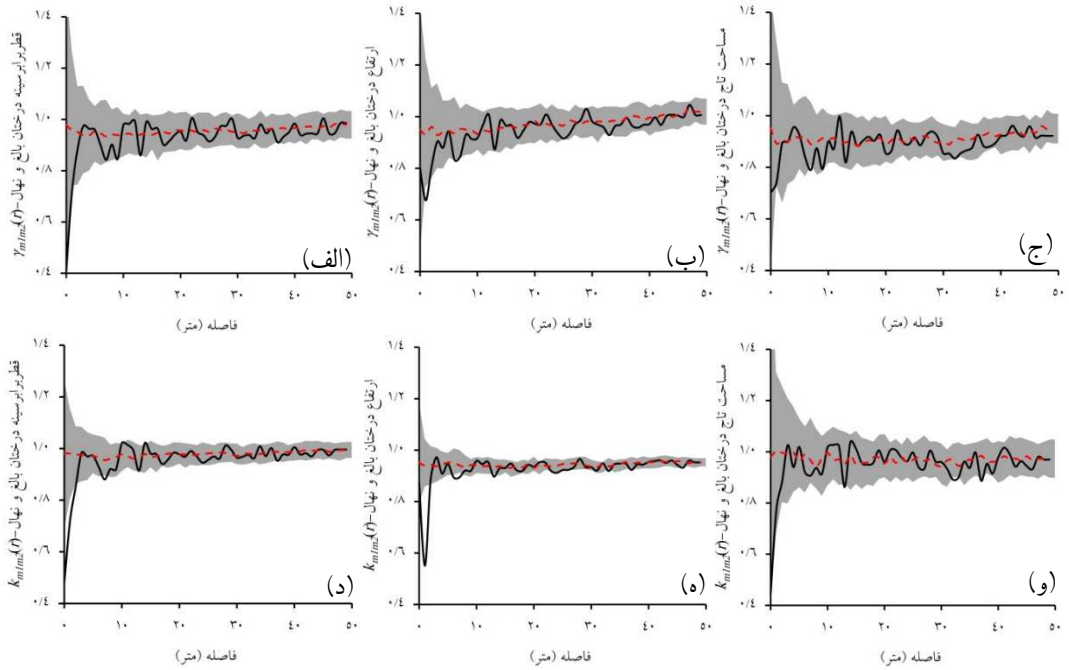


شکل ۲- همبستگی ویژگی‌های زیست‌سنجی کل درختان بنه با یکدیگر با استفاده از واریوگرام نشان‌دار ($\gamma(r)$) و ارتباط متقابل ویژگی‌های زیست‌سنجی بنه‌ها در تابع k_{mm} (خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، محدوده خاکستری بازه شبیه‌سازی با ۱۹۹ بار تکرار و خط‌چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است)



شکل ۳- همبستگی دو ویژگی زیست‌سنجی کل درختان بنه با یکدیگر با استفاده از واریوگرام نشان‌دار ($\gamma(r)$) و ارتباط متقابل دو ویژگی زیست‌سنجی بنه‌ها در تابع k_{mm} (خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، محدوده خاکستری بازه شبیه‌سازی با ۱۹۹ بار تکرار و خط‌چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است)

نتایج $\gamma(r)$ دومتغیره در بررسی روابط درختان بالغ و نهال نشان داد که هر سه ویژگی زیست‌سنجی دارای ساختار مکانی بودند، هرچند این ساختار مکانی در مورد قطر برابر سینه و ارتفاع درختان بالغ و نهال معنی‌دار بود (شکل‌های ۴- الف و ۴- ب) و در مورد مساحت تاج درختان بالغ و نهال معنی‌دار نبود (شکل ۴- ج). آزمون نیکویی برازش نیز تأیید کرد که اختلاف تابع رسم‌شده برای قطر برابر سینه (p = ۰/۰۱۵) و ارتفاع (p = ۰/۰۲۵) درختان بالغ و نهال به‌طور معنی‌داری با فرض صفر متفاوت بود. در حالی‌که نتایج نشان داد بین تابع رسم‌شده در مساحت تاج و فرض صفر از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (p = ۰/۴۱۵). نتایج تابع k_{mm} دومتغیره نشان داد که هر سه ویژگی زیست‌سنجی در هر درخت بالغ و نهال کمتر از مقدار مورد انتظار بودند که از نظر آماری در مورد قطر برابر سینه و ارتفاع تا فاصله سه متر تأیید شدند (شکل‌های ۴- د و ۴- و). آزمون نیکویی برازش نیز تأیید کرد که جدایی تابع k_{mm} از فرض صفر در قطر برابر سینه (p = ۰/۰۰۵)، ارتفاع (p = ۰/۰۱۰) و مساحت تاج (p = ۰/۰۲۵) معنی‌دار بود.



شکل ۴- همبستگی ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بالغ بنه و نهال‌ها با یکدیگر با استفاده از واریوگرام نشان‌دار ($\gamma(r)$) و ارتباط متقابل ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بالغ و نهال در تابع k_{mm} (خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، محدوده خاکستری بازه شبیه‌سازی با ۱۹۹ بار تکرار و خط‌چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است)

بحث

شناخت نحوه برهمکنش گیاهان در پوشش گیاهی طبیعی به درک عمیق‌تر بوم‌شناسی فردی و گروهی آن‌ها می‌انجامد و این شناخت، امکان مدیریت مؤثرتر جامعه‌های گیاهی را ممکن می‌کند (Dale, 2004; Law *et al*., 2009; Ni *et al*., 2014). بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی دقیق‌تر برهمکنش درختان بنه در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس انجام شد. به‌منظور دستیابی به این هدف، از شکل تک‌متغیره و دومتغیره تابع همبستگی نشان‌دار استفاده شد که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

پیش از تحلیل الگوی نقطه‌ای، آگاهی از همگنی یا ناهمگنی توزیع گیاهان در محدوده مطالعاتی ضروری است

که این موضوع در بسیاری از پژوهش‌های مرتبط (Cisz *et al*., 2013; Getzin *et al*., 2014) مورد تأکید قرار گرفته است. نتایج ارزیابی همگنی توزیع درختان بنه نشان داد که آن‌ها از توزیع ناهمگن برخوردار بودند. چنانچه در پژوهش‌های پیشین (Cisz *et al*., 2013) و در درختان بنه در زاگرس (Safari *et al*., 2014) اشاره شده، یکی از دلایل توزیع ناهمگن درختان بنه ممکن است ناهمگنی در شرایط رویشگاهی باشد که باعث پراکنش مکانی ناهمگن درختان می‌شود. بنابراین، استفاده از تابع‌های مناسب اجتناب‌ناپذیر است، زیرا مطالعات پیشین (Illian *et al*., 2008; Erfanifard & Rezayan, 2014) نشان دادند که عدم توجه به این موضوع، منجر به اریبی نتایج و حتی تحلیل معکوس روابط متقابل گیاهان می‌شود.

مطالعات پیشین از جمله پژوهش‌های انجام‌شده در ذخیره‌گاه جنگلی چهارطاق اردل استان چهارمحال و بختیاری (Sohrabi, 2014)، جنگل‌های باینگان استان کرمانشاه (Safari *et al*., 2010)، جنگل‌های پیرکاشان استان کرمانشاه (Pourreza *et al*., 2012)، جنگل‌های جوانرود استان کرمانشاه (Safari *et al*., 2014)، توده‌های آمیخته (Erfanifard & Mahdian, 2012) و خالص (Erfanifard & Rezayan, 2014) جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس، الگوی مکانی درختان بنه در ناحیه رویشی زاگرس را کپه‌ای گزارش کرده‌اند. در راستای این مطالعات و گامی رو به جلو در شناخت عمیق‌تر برهمکنش درختان بنه، پژوهش پیش‌رو به دنبال تأثیر الگوی مکانی کپه‌ای این درختان بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها بود.

تنها راهکار دستیابی به چنین هدفی تابع k_{mm} است که نسبت به روش‌های متداول (تابع K رایپلی، تابع همبستگی جفتی $g(r)$، تابع O-ring) اطلاعات ارزشمندتری در مورد روابط متقابل درختان ارایه می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده از شکل تک‌متغیره و دومتغیره تابع k_{mm} نشان داد که هر سه ویژگی زیست‌سنجی مورد مطالعه (قطر برابر سینه، ارتفاع، مساحت تاج) در مقیاس فاصله‌ای کوچک کمتر از میانگین کل بودند که معنی‌داری آن، هم توسط بازه شبیه‌سازی و هم توسط آزمون نیکویی برازش در سطح اطمینان ۹۵٪ تأیید شد. این دستاورد نشان داد که اگرچه درختان بنه در کپه‌هایی کنار هم تجمع کرده بودند، اما این تجمع بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها تأثیر منفی گذاشته بود. یکی از دلایل این موضوع، وجود رقابت بر سر منابع مشترک در داخل کپه‌ها بود که کمبود این منابع در منطقه مورد مطالعه با اقلیم نیمه‌خشک و شرایط نامطلوب محیطی دور از ذهن نیست. این نتیجه در راستای تأیید ناهمگنی توزیع درختان بنه به‌دلیل ناهمگنی محیطی نیز می‌باشد. این نتیجه‌گیری در راستای مطالعات پیشین است که با استفاده از تابع k_{mm} نشان دادند رقابت بین درختان با پراکنش مکانی کپه‌ای افزایش یافته و این موضوع بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها تأثیر منفی گذاشته است (Law *et al*., 2009; Ni *et al*., 2014). Ledo و همکاران (۲۰۱۴) در توده آمیخته با الگوی مکانی کپه‌ای با تابع k_{mm} نشان دادند که برهمکنش مثبت بین‌گونه‌ای بر ویژگی‌های زیست‌سنجی تأثیر مثبت و برهمکنش منفی درون‌گونه‌ای بر این ویژگی‌ها تأثیر منفی داشته است که بخش دوم نتایج آن‌ها در راستای نتایج پژوهش پیش‌رو است. اگرچه Erfanifard و Khosravi (۲۰۱۵) با کاربرد تابع k_{mm} نشان دادند که توزیع کپه‌ای درختچه‌ها در مناطق خشک بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها تأثیر مثبت دارد. علت تفاوت در نتایج ممکن است این باشد که اگر پراکنش مکانی کپه‌ای ناشی از اثر تسهیل‌کنندگی درختان بر یکدیگر باشد، این موضوع بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها تأثیر مثبت دارد (Ledo *et al*., 2014; Erfanifard & Khosravi, 2015). از سوی دیگر، ممکن است پراکنش کپه‌ای در مناطق مساعدتر رویشگاه منجر به ایجاد رقابت درون‌گونه‌ای بر سر منابع شده که بر ویژگی‌های کمی تأثیر منفی می‌گذارد (مانند پژوهش پیش‌رو).

بررسی روابط متقابل درختان بالغ و نهال بنه با استفاده از شکل دومتغیره تابع k_{mm} نشان داد نهال‌هایی که درختان بالغ در نزدیکی آن‌ها (تا فاصله سه متری) بودند، از ویژگی‌های زیست‌سنجی کمتری نسبت به میانگین توده مورد مطالعه برخوردار بودند. این نتایج در راستای دستاوردهای

Martinez و همکاران (۲۰۱۳) است که با استفاده از تابع k_{mm}، تأثیر منفی پراکنش کپه‌ای درختان را بر ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بالغ و نهال نشان دادند. Getzin و همکاران (۲۰۱۴) نیز پراکنش مکانی کپه‌ای درختان بالغ و نهال را نشان دادند، اما به تأثیر این توزیع بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها نپرداختند.

به‌طور کلی، دستاوردهای این مطالعه فرضیه تحقیق مبنی بر تأثیر مثبت پراکنش مکانی کپه‌ای درختان بنه بر ویژگی‌های زیست‌سنجی آن‌ها را تأیید نکرد. نتایج نشان داد که الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه بر قطر برابر سینه، ارتفاع و مساحت تاج آن‌ها تأثیر منفی معنی‌داری داشت. مقایسه نتایج با پژوهش‌های پیشین نشان داد که نه‌تنها روابط متقابل مثبت باعث الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه نشده، بلکه این الگوی مکانی باعث کاهش ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه و حتی درختان بالغ و نهال شده است. با توجه به ناهمگنی توزیع مکانی درختان بنه در نتیجه ناهمگنی رویشگاه، احتمالاً بنه‌ها در مناطق مساعدتر تجمع پیدا کردند که در کنار نیاز به گونه‌های پرستار مانند ارژن و تنگرس برای زادآوری، از دلایل اصلی الگوی مکانی کپه‌ای آن‌ها است. این مطالعه با استفاده از یک روش کمتر استفاده‌شده در راستای شناخت بهتر روابط متقابل درختان بنه در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس گام برداشت که از این نظر، نسبت به مطالعات پیشین دارای نوآوری است. همچنین، نتایج علاوه‌بر بازه شبیه‌سازی با آزمون نیکویی برازش نیز ارزیابی شدند و آنچه به‌دست آمد، ضرورت استفاده هم‌زمان آزمون‌ها را نشان داد. در نهایت، آگاهی از تأثیر منفی الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه بر ویژگی‌های کمی آن‌ها در منطقه مطالعاتی، پژوهش‌های بیشتر در مورد بوم‌شناسی فردی بنه در ناحیه رویشی زاگرس را اجتناب‌ناپذیر می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس به‌دلیل فراهم آوردن امکان اجرای اندازه‌گیری‌های میدانی قدردانی می‌کنند. این پژوهش با حمایت مالی معاونت آموزشی دانشگاه شیراز (شماره اعتبار ۹۳GCU۲M۱۵۳۱۲۶) انجام شد. همچنین نظرات سازنده داوران گرامی منجر به رفع اشکالات متن اولیه و بهبود کیفیت مقاله شد که شایسته قدردانی است.

References

- Alavi, J., Zahedi Amiri, G., Nouri, Z. and Mohajer, M.R., 2014. Application of Ripley's K-function in detecting spatial pattern of Wych Elm species in Kheyroud forests, North of Iran. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 20: 21-39 (In Persian).
- Basiri, R., Sohrabi, H. and Mozayen, M., 2006. A statistical analysis of the spatial pattern of trees species in Ghamisheleh Marivan region, Iran. Iranian Journal of Natural Resources, 59(2): 579-588 (In Persian).
- Biabani, K., Pilevar, B. and Safari, A., 2016. Comparison of spatial patterns and interspecific association of Gall oak (*Quercus infectoria*) and Lebanon oak (*Q. libani*) in two less degraded and degraded oak stands in northern Zagros (Case study: Khedr Abad, Sardasht). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(1): 77-88 (In Persian).
- Cisz, M.E., Falkowski, M.J. and Orr, B., 2013. Small-scale spatial patterns of *Copernicia alba* Morong near Bahia Negra, Paraguay. Natural Resources, 4(5): 369-377.
- Clyatt, K.A., Crotteau, J.S., Schaedel, M.S., Wiggins, H.L., Kelley, H., Churchill, D.J. and Larson, A.J., 2016. Historical spatial patterns and contemporary tree mortality in dry mixed-conifer forests. Forest Ecology and Management, 361: 23-37.
- Dale, M.R., 2004. Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 326p.
- Daryaei, M.G., Hoseini, S.K., Taheri, J. and Mazbani, A., 2012. Effect of morphological variables of *Pistacia atlantica* on gum and seed production. Iranian Journal of Biology, 25(2): 303-315 (In Persian).
- Diggle, P.J., 2003. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Hodder Education, London, 159p.
- Erfanifard, Y. and 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 (In Persian).
- Erfanifard, Y. and Mahdian, F., 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests, case study: wild Pistachio research forest, Fars province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(1): 62-73 (In Persian).
- Erfanifard, Y. and Rezayan, F., 2014. Suitable methods in spatial pattern analysis of heterogeneous wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) woodlands in Zagros, Iran. Iranian Journal of Applied Ecology, 9: 81-91 (In Persian).
- Getzin, S., Wiegand, T. and Hubble, P., 2014. Stochastically driven adult-recruit associations of tree species on Barro Colorado Island. Proceedings of the Royal Society, 281: 20140922.
- Grabarnik, P., Myllymäki, M. and Stoyan, D., 2011. Correct testing of mark independence for marked point patterns. Ecological Modeling, 222: 3888-3894.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H. and Stoyan, D., 2008. Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns. John Wiley & Sons, London, 534p.
- Karimi, M., Pormajidian, M.R., Jalilvand, H. and Safari, A., 2012. Preliminary study for application of O-ring function in determination of small-scale spatial pattern and interaction species (Case study: Bayangan forests, Kermanshah). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(4): 608-621 (In Persian).
- Law, R., Illian, J., Burslem, D.F.R.P., Gratzer, G., Gunatilleke, C.V.S. and Gunatilleke, I.A.U.N., 2009. Ecological information from spatial patterns of plants: insights from point process theory. Journal of Ecology, 97: 616-628.
- Ledo, A., Canellas, I., Barbeito, I., Gordo, F., Calama, R. and Gea, G., 2014. Species coexistence in a mixed Mediterranean pine forest: Spatio-temporal variability in trade-offs between facilitation and competition. Forest Ecology and Management, 322: 89-97.
- Martinez, I., Taboada, F.G., Wiegand, T. and Obeso, J.R., 2013. Spatial patterns of seedling-adult associations in a temperate forest community. Forest Ecology and Management, 296: 74-80.
- Nguyen, H.H., Uria-Diez, J. and Wiegand, K., 2016. Spatial distribution and association patterns in a tropical evergreen broad-leaved forest of north-central Vietnam. Journal of Vegetation Science, 27: 318-327.
- Ni, R., Baiketuerhan, Y., Zhang, C., Zhao, X. and von Gadow, K., 2014. Analyzing structural diversity in two temperate forests in northeastern China. Forest Ecology and Management, 316: 139-147.
- Pourhashemi, M., Mansouri, F., Parhizkar, P., Panahi, P. and Hassani, M., 2014. Spatial pattern of sprout-clumps of Brant's oak (*Quercus brantii*) in utilized forest stands of Marivan. Iranian Journal of Plant Researches, 27: 534-543 (In Persian).
- Pourreza, M., Hossein, S.M. and Zohrevandi, A.A., 2012. Spatial variations of diameter of *Pistacia atlantica* trees in Zagros area (Case study: Pirkashan, Kermanshah). Journal of Wood and Forest Science and Technology, 19: 1-19 (In Persian).
- Safari, A., Heidari, R.H., Shabanian, N. and Karimi, M., 2014. An investigation of spatial pattern in *Pistacia atlantica* stands by angular method in Javanroud region of Kermanshah. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(2): 347-357 (In Persian).
- Safari, A., Shabanian, N., Erfanifard, Y., Heidari, R. and Purreza, M., 2010. Investigation of spatial pattern of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) (Case study: Bayangan forests, Kermanshah). Iranian Journal of Forest, 2(2): 177-185 (In Persian).
- Sohrabi, H., 2014. Spatial pattern of woody species in Chartagh forest reserve, Ardal. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(1): 27-38 (In Persian).

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

N. Kariminejad [1], S.Y. Erfanifard [2*], S.R. Fallah Shamsi [3] and H. Sadeghi [3]

1- M.Sc. Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: erfanifard@shirazu.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 28.08.2016 Accepted: 29.10.2016

Abstract

The spatial distribution analysis of trees in arid and semi-arid regions presents valuable information about their interactions and impacts on one another. This study was aimed to investigate how biometric characteristics of mount Atlas mastic (*Pistacia atlantica* Desf.) are influenced by their clustered spatial distribution in Zagros vegetation zone. For this purpose, a part of Wild Pistachio Research Site, Fars province, was selected and in addition to registering the position of all trees with > 2.5 cm diameter at breast height (DBH), DBH, height, and crown area of each tree were measured. Wild pistachio trees with DBH > 10 cm and < 10 cm were classified as adult and sapling, respectively. To achieve the aims of study, univariate and bivariate forms of mark variogram and mark-correlation function ($\gamma(r)$, $k_{mm}(r)$, $\gamma_{m1m2}(r)$ and $k_{m1m2}(r)$, respectively) were applied. The observed pattern of wild pistachio trees showed significant spatial heterogeneity as compared to homogeneous Poisson process (α=0.05). This heterogeneity was caused by unfavorable environmental conditions of study area. The results of univariate and bivariate $\gamma(r)$ and $k_{mm}(r)$ showed that DBH, height, and crown area of wild pistachio trees located at three meter distance from each other were less than overall average. Moreover, the results showed that investigated biometric characteristics of wild pistachio saplings that wild pistachio adults were located up to three meter distance from them were less than overall average. In general, it was concluded that aggregation of wild pistachio trees because of environmental heterogeneity negatively influenced their biometric characteristics and prevented their increase.

Keywords: Mark-correlation function, spatial distribution, variogram, Zagros.