

ارزیابی کنش‌های متقابل درون‌گونه‌ای درختچه‌های اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) در مناطق خشک با استفاده از تحلیل الگوی نقطه‌ای (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده قه‌ی استان اصفهان)

سید یوسف عرفانی‌فرد^{۱*} و الهه خسروی^۲

*۱- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. پست الکترونیک: erfani@shirazu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۰۷

چکیده

تحلیل توزیع مکانی گیاهان چوبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کنش‌های متقابل آنها و چگونگی تأثیرشان بر یکدیگر را توضیح می‌دهد. این پژوهش با هدف ارزیابی کنش‌های متقابل درون‌گونه‌ای درختچه‌های اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) در مناطق خشک مرکزی ایران با استفاده از آماره‌های اختصاری مختلف (تابع همبستگی جفتی $g(r)$ ، تابع $O(r)$ O-ring، تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه $D(r)$ ، تابع توزیع تماس کروی $H_s(r)$ و تابع همبستگی نشان‌دار $k_{mm}(r)$) انجام شد. یک قطعه نمونه با ابعاد 160×160 متر که به‌طور خالص پوشیده از اشنان بود، در منطقه حفاظت‌شده قه‌ی استان اصفهان انتخاب شد. نقشه نقطه‌ای تمام ۹۸۹ درختچه اشنان با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی سه‌فرکانسه تریمبل R8 با دقت سه میلی‌متر ± 0.1 پی‌پی‌ام تهیه شد. مقایسه با فرآیند پواسون ناهمگن نشان داد که الگوی مشاهده شده درختچه‌ها دارای ناهمگنی مکانی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) بود. نتایج $O(r)$ و $g(r)$ نشان‌دهنده تجمع معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) درختچه‌های اشنان تا فاصله سه متر در کنار یکدیگر بود. نتایج $D(r)$ و $H_s(r)$ نیز نشان داد که بیشترین فاصله تا نزدیک‌ترین درختچه شش متر بود و توزیع اندازه فضاهای خالی تا این مقیاس به‌طور معنی‌داری با توزیع تصادفی تفاوت داشت. در نهایت، $k_{mm}(r)$ برای ارتفاع، قطر متوسط تاج و مساحت تاج همبستگی مثبت ویژگی‌های زیست‌سنجی اشنان‌ها را نشان داد. به‌طور کلی، نتیجه‌گیری شد که در منطقه مورد مطالعه بین پایه‌های گروهی اشنان یک کنش متقابل مثبت وجود دارد که با توجه به اثر تسهیل‌کنندگی درون‌گونه‌ای آنها بر یکدیگر در کنار هم تجمع کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: اشنان، تابع O-ring، تابع توزیع تماس کروی، تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه، تابع همبستگی نشان‌دار، منطقه حفاظت‌شده قه‌ی.

مقدمه

اگرچه پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی ساده به‌نظر می‌رسند، اما بین گیاهان با یکدیگر و با محیط اطرافشان روابط پیچیده‌ای وجود دارد که شناسایی و درک این روابط، داده‌های ارزشمندی در مورد ساختار جوامع گیاهی در این مناطق را فراهم می‌کند (Lopez et al.,

2010). تاکنون بیشتر پژوهش‌ها در داخل (Baghestani Maybodi et al., 2013; Bagheri et al., 2014) و خارج از کشور (Browning et al., 2008; Emam et al., 2014; Lohman et al., 2014) بر تأثیر عامل‌هایی چون چرا، آتش‌سوزی، گونه‌های مهاجم و سایر تنش‌های محیطی بر پوشش گیاهی مناطق خشک تمرکز داشته‌اند و مطالعات

فرآیندهایی پی‌برد که با مشاهدات میدانی قادر به شناسایی نیستند و چنین دستاوردی در رویشگاه‌ها و گونه‌هایی که داده‌های اندکی درمورد آنها وجود دارد، ارزشمند است (Sher *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2014)، بنابراین به منظور درک فرآیندهای موجود در پوشش گیاهی مناطق خشک، بررسی توزیع مکانی گیاهان مهم و شاخص هر رویشگاه در مدیریت آنها و همچنین استفاده از این گیاهان در طرح‌های احیایی اجتناب‌ناپذیر است. همچنین لازم به ذکر است که تحلیل الگوی نقطه‌ای در سال‌های اخیر به‌طور قابل ملاحظه‌ای پیشرفت داشته است، به نحوی که اکنون با استفاده از روش‌های آماری مناسب می‌توان ناهمگنی‌های محیطی را در بررسی روابط بین گیاهان در نظر گرفت (Illian *et al.*, 2011; Alvarez *et al.*, 2010; Lopez *et al.*, 2008). علاوه بر آماره‌های اختصاری متداول در تحلیل الگوی نقطه‌ای (تابع همبستگی جفتی $g(r)$ ، تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه $D(r)$ ، تابع توزیع تماس کروی $H_s(r)$ ، آماره‌های دیگری نیز در سال‌های اخیر طراحی شده‌اند (تابع O -ring $O(r)$ ، تابع E و تابع همبستگی نشان‌دار $k_{mm}(r)$) که می‌توانند جنبه‌های متفاوت و بسیار مفیدی از ویژگی‌های بوم‌شناختی پوشش گیاهی را نشان دهند (Sher *et al.*, 2010; Karimi *et al.*, 2012; Martinez *et al.*, 2013; Ni *et al.*, 2014). البته تأکید بر این نکته ضروری است که برای مطالعه نحوه پراکنش گیاهان در یک عرصه و همچنین بررسی کنش‌های متقابل درون‌گونه‌ای آنها تنها استفاده از یک آماره اختصاری کافی نیست و باید مجموعه‌ای مناسب از آنها را به‌کار برد (Illian *et al.*, 2008).

گیاه شورپسند اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) یکی از گونه‌های بومی مناطق خشک و شوره‌زارهای ایران است که علاوه بر ایران، در خاورمیانه (مانند اردن، امارات متحده عربی، عربستان و افغانستان) و آسیای مرکزی نیز پراکنده شده است. تاکنون مطالعات گسترده‌ای درمورد این گونه مهم انجام شده است که به نیازهای بوم‌شناختی و اثر عامل‌های محیطی بر رویش آن (Kurkova *et al.*, 2002; Jafari *et al.*, 2004; Abdollahi *et al.*, 2006; Baghestani

دیگر به روابط درختان در بوم‌سازگان‌های معتدله (Getzin & Bergeron *et al.*, 2008; Cisz *et al.*, 2013) و سرد (Fenton, 2012; Genet & Pothier, 2013) پرداخته‌اند. در برخی از پژوهش‌های انجام‌شده درمورد گیاهان چوبی مختلف در مناطق خشک و نیمه‌خشک (Lopez *et al.*, 2011; Alvarez *et al.*, 2010) اجتماع‌پذیری آنها مورد تأیید قرار گرفته است، اگرچه برخی دیگر (Sher *et al.*, 2014; Ferrante *et al.*, 2010) بر این نکته تأکید داشتند که رقابت برای آب در این مناطق باعث دوری گیاهان چوبی از یکدیگر می‌شود. به‌طور کلی، وجود اجتماعات گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ناشی از فرآیندهای مختلفی چون اثر تسهیل‌کنندگی یک گیاه بر استقرار گیاه دیگر، نوع پراکنش بذر و یا ناهمگنی‌های محیطی است. ممکن است تشکیل اجتماعات به‌وجودآمده از گیاهان یک گونه به کنش‌های متقابل درون‌گونه‌ای مربوط باشد که باعث ایفای نقش پرستار در گیاهان بزرگتر برای گیاهان کوچکتر از همان گونه می‌شود. در زیر تاج گیاه پرستار شرایط برای استقرار و رشد گیاهان کوچکتر فراهم است و بدین ترتیب اجتماعاتی از گیاهان شکل می‌گیرند (Miriti, 2006; Xu *et al.*, 2014). توزیع بذر در برخی گیاهان ممکن است اجتماعات گیاهی را تشکیل دهند. به‌عنوان مثال، درختان بنه به‌علت سنگینی بذر و افتادن آن در پای درختان تشکیل کپه‌هایی را در درخت‌زارهای خشک و نیمه‌خشک زاگرس می‌دهند (Erfanifard & Mahdian, 2012). ناهمگنی‌های محیطی ناشی از عامل‌های خارجی نیز ممکن است منجر به توزیع مکانی ناهمگن گیاهان در مناطق خشک شود. اگر عامل‌های محیطی (به‌عنوان مثال رطوبت و یا مواد مغذی خاک) در برخی نقاط منطقه برای گیاه مورد نظر مطلوب باشد، گیاهان تمایل به تشکیل گروه‌هایی پیدا می‌کنند که در نتیجه آن، الگوی مکانی آنها به‌صورت کپه‌ای می‌شود (Miriti, 2006; Ferrante *et al.*, 2014).

تحلیل الگوی نقطه‌ای گیاهان یکی از راه‌های مناسب در بررسی ساختار افقی آنها و درک نحوه ارتباط آنها با یکدیگر است. همچنین از نتایج این تحلیل می‌توان به

مساحتی بالغ بر ۷۴۰۰ هکتار را می‌پوشانند (شکل ۱). در این منطقه میانگین دمای سالانه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۱۰۶/۱ میلی‌متر (براساس داده‌های آماری سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۰ ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان) گزارش شده است و براساس طبقه‌بندی دومارتن، دارای اقلیم خشک است (Anonymous, 2009). منطقه مورد مطالعه در ۱۳' ۵۲° تا ۱۷' ۵۲° طول شرقی و ۳۸' ۳۲° تا ۳۹' ۳۲° عرض شمالی گسترش یافته است و ارتفاع متوسط آنها از سطح دریا ۱۵۴۴ متر می‌باشد که پوشیده از توده‌های خالص اشنان و توده‌های آمیخته اشنان، گز (*Tamarix mascatensis*) و مارونگ (*Halostachys belangeriana*) است.

درختچه اشنان از خانواده اسفناجیان (*Chenopodiaceae*) است که ارتفاع آن تا دو متر و قطر تاج آن تا ۱/۵ متر می‌رسد و از قاعده منشعب و پرشاخه بوده و در بسیاری از شوره‌زارهای ایران (ناحیه رویشی ایران و تورانی) و آسیا به‌طور طبیعی پراکنش دارد (شکل ۲) (*Kurkova et al., 2002; Jafari et al., 2004; Mozaffarian, 2004; Abdollahi et al., 2006; Baghestani Maybodi & Zare, 2009; Zare Chahouki et al., 2010*). با توجه به اینکه برای مطالعه بوم‌شناسی فردی یک گونه باید قطعه‌نمونه‌ای انتخاب کرد که از جنبه‌های مختلف محیطی یکسان باشد و به‌طور خالص از گونه مورد نظر پوشیده شده باشد (*Fortin & Dale, 2005*), پس از بازدید اولیه، یک قطعه‌نمونه با ابعاد ۱۶۰ × ۱۶۰ متر انتخاب شد که عامل‌های محیطی آن شامل خاک، پستی‌وبلندی و ارتفاع از سطح دریا یکسان و به‌طور خالص پوشیده از اشنان بود.

از آنجایی‌که صحت و دقت تحلیل الگوی نقطه‌ای گیاهان به ثبت درست موقعیت آنها وابسته است، در این پژوهش برای نخستین بار از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی سه‌فرکانسه مارک تریمبل (*Trimble*) مدل R8 برای تهیه نقشه نقطه‌ای درختچه‌های اشنان در قطعه‌نمونه مورد مطالعه استفاده شد. این دستگاه با داشتن دو منبع گیرنده امواج، قادر به ردیابی

Maybodi & Zare, 2009; Zare Chahouki *et al.*, 2010), تأثیر آن بر خاک و نقش آن در تثبیت شن‌های روان (Amiraslani & Dragovich, 2011; Mahdavi) و (Ardakani *et al.*, 2011; Mahmoodi *et al.*, 2013) ویژگی‌های آناتومیک و فیزیکی - شیمیایی چوب آن (Safdari, 2012) پرداخته شده است. با توجه به پراکندگی گسترده اشنان در مناطق خشک ایران و نقش آن در جلوگیری از گسترش بیابان‌ها، مطالعه کنش‌های متقابل درون‌گونه‌ای این درختچه به‌منظور درک بهتر ساختار بوم‌شناختی آن در عرصه‌های طبیعی به‌منظور کاربرد در طرح‌های احیایی ضروری به‌نظر می‌رسد.

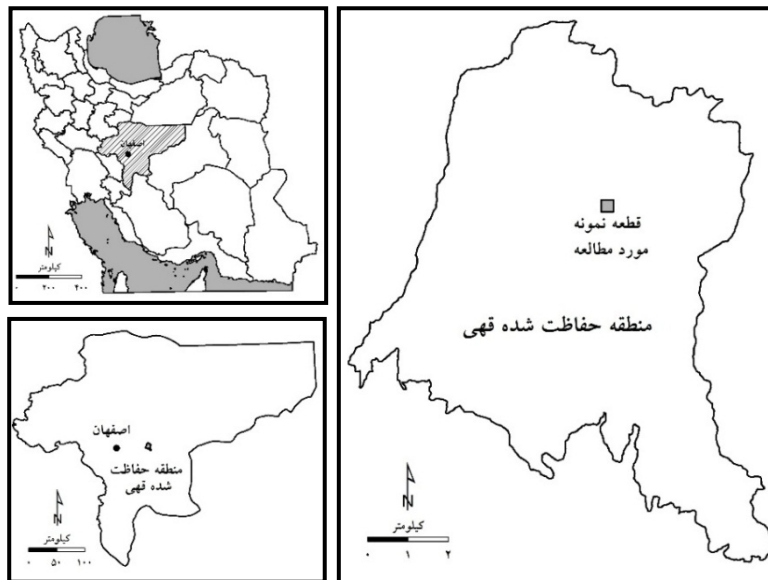
بررسی پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده درمورد این گیاه شورپسند نشان داد که تأثیر متقابل درختچه‌های اشنان بر یکدیگر به‌عنوان یکی از جنبه‌های مهم بوم‌شناسی فردی (*Autecology*) این گیاه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین مطالعه نحوه پراکنش مکانی اشنان در عرصه‌های طبیعی به‌عنوان یکی دیگر از جنبه‌های مهم بوم‌شناسی فردی و در عین حال، اثر ویژگی‌های ظاهری آن بر نوع ارتباط متقابل درون‌گونه‌ای آن تاکنون در داخل و خارج از کشور انجام نشده است. بنابراین پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی کنش‌های متقابل درون‌گونه‌ای درختچه‌های اشنان در بخشی از مناطق خشک مرکزی ایران در استان اصفهان انجام شد. بررسی ارتباط بین آنها به‌صورت کمی و شناسایی نوع ارتباط آنها با یکدیگر (اثر رقابتی یا تسهیل‌کنندگی) از اهداف دیگر این پژوهش بوده است. همچنین این مطالعه به دنبال شناسایی اثر ویژگی‌های ظاهری (ارتفاع، قطر تاج و مساحت تاج) بر نوع ارتباط درختچه‌های اشنان با یکدیگر است. کاربرد آماره‌های اختصاری نوین (*O* و *k_{imm}*) در کنار سایر روش‌های متداول امکان دستیابی به اهداف این پژوهش را فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

اشنان‌زارهای استان اصفهان در منطقه حفاظت‌شده قه‌ی در ۶۰ کیلومتری شرق شهرستان اصفهان قرار دارند که

با ارتفاع بیشتر از ۰/۵ متر، ارتفاع کل و همچنین دو قطر بزرگ و کوچک عمود بر هم تاج هر کدام از اشنانها اندازه‌گیری شد.

۴۴ ماهواره به‌طور همزمان است و در مجموع ۲۲۰ کانال دنبال کردن ماهواره را داراست. در نتیجه، امکان ثبت موقعیت مکانی نقاط را با دقت سه میلی‌متر $\pm 0/1$ قسمت در میلیون (ppm) دارد. علاوه بر ثبت دقیق موقعیت مکانی هر درختچه



شکل ۱- موقعیت مکانی قطعه‌نمونه مورد مطالعه در منطقه حفاظت‌شده قه‌ی در استان اصفهان و ایران



شکل ۲- تصویری از درختچه اشنان در منطقه حفاظت‌شده قه‌ی استان اصفهان

محدوده، بررسی همگنی توزیع آنها در محدوده مورد نظر است. در این پژوهش این کار با استفاده از برازش توزیع آماری پواسون ناهمگن بر توزیع مکانی درختچه‌های اشنان

روش پژوهش
بررسی همگنی درختان اشنان
نخستین گام در تحلیل الگوی نقطه‌ای گیاهان در یک

این تابع از روش هانیس (Hanisch) به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای این تابع استفاده شد (Illian et al., 2008).

تابع توزیع تماس کروی ($H_s(r)$)

در این تابع، اطراف هر نقطه (درختچه) که به‌طور تصادفی انتخاب شده است، دایره‌ای به شعاع r ایجاد می‌شود و براساس فضای خالی موجود با افزایش r ، تغییرات الگوی مکانی بررسی می‌شوند. برای محاسبه این تابع از رابطه ۲ استفاده می‌شود. هرچند تفسیر نتایج متفاوت و عکس تابع D است. مقدار این تابع از صفر (وجود بیشترین فضای خالی بین دایره‌ها) تا یک (نبود فضای خالی بین دایره‌ها) تغییر می‌کند. مقدار این تابع در الگوی کپه‌ای و پراکنده به‌ترتیب کمتر و بیشتر از حالت تصادفی است (Illian et al., 2008).

تابع $O(r)$ O -ring

در تابع O که با استفاده از تابع g به‌دست می‌آید، به‌جای اندازه‌گیری تعداد نقاط (درختچه‌ها) در دایره‌ای با شعاع r ، نقاط داخل حلقه‌ای با عرض معین، شعاع r و مرکز تصادفی شمارش می‌شوند (رابطه ۳).

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

در رابطه ۳: λ تراکم نقاط در الگوی مورد بررسی است. مقدار این تابع برای یک الگوی تصادفی برابر تراکم نقاط (درختچه‌ها) (λ) است. بیشتر بودن این تابع از تراکم بیانگر الگوی مکانی کپه‌ای و کمتر بودن آن نشان‌دهنده الگوی مکانی پراکنده است (Wiegand et al., 1999).

تابع E

پیش از بررسی کنش‌های متقابل بین درختچه‌های اشنان با توجه به ویژگی‌های کمی آنها (ارتفاع، قطر متوسط تاج و مساحت تاج)، با استفاده از روش‌های مناسب باید تأیید کرد که بین ویژگی‌های مورد نظر و موقعیت مکانی اشنان‌ها همبستگی وجود دارد. یکی از بهترین راه‌ها استفاده از تابع E است (رابطه ۴).

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

در رابطه ۴: N_r تعداد جفت نقاط در فاصله r و m_i ویژگی کمی متعلق به نقطه i است. اگر مقدار این تابع صفر

انجام شد. همچنین معنی‌داری اختلاف این دو توزیع از طریق آزمون نیکویی برازش کولموگروف-سمیرنوف مطالعه شد (Getzin et al., 2008; Illian et al., 2008).

آماره‌های اختصاری

با توجه به ضرورت استفاده از چند روش برای بررسی کنش‌های متقابل گیاهان در عرصه‌های طبیعی، علاوه بر روش‌های متداول (تابع‌های g ، D و H_s)، از دو روش جدید O -ring ($O(r)$) و تابع همبستگی نشان‌دار ($k_{mm}(r)$) استفاده شد که در ادامه به توضیح هر کدام پرداخته می‌شود.

تابع همبستگی جفتی ($g(r)$)

این تابع یکی از مشتقات تابع K رایلی است که بیانگر تراکم نقاط (درختچه‌های اشنان) در دایره با شعاع r و مرکز تصادفی در محدوده مورد بررسی است (رابطه ۱) (Illian et al., 2008).

$$g(r) = \frac{dK(r)}{(2\pi r)(dr)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱: $dK(r)$ و dr به‌ترتیب مشتق تابع K رایلی و هستند. مقدار این تابع در یک الگوی مکانی تصادفی برابر یک است و بیشتر از یک بودن این تابع بیانگر الگوی مکانی کپه‌ای و کمتر بودن آن نشان‌دهنده الگوی مکانی پراکنده است.

تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه ($D(r)$)

این تابع، توزیع تجمعی فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در فاصله r از یک نقطه تصادفی را نشان می‌دهد. این تابع داده‌های قابل توجهی در مورد همسایگی نقاط (درختچه‌ها) در الگوهای نقطه‌ای مکانی ارائه می‌دهد (رابطه ۲).

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

در رابطه ۲: r مقدار فاصله از نقطه تصادفی و λ تراکم نقاط (درختچه‌ها) در منطقه مورد نظر است. مقدار این تابع از صفر (فاصله‌ای که در آن هیچ نزدیک‌ترین همسایه‌ای وجود ندارد) تا یک (فاصله‌ای که در آن تمام نقاط دارای نزدیک‌ترین همسایه هستند) تغییر می‌کند. مقدار این تابع در الگوی کپه‌ای بیشتر از حالت تصادفی و در الگوی پراکنده کمتر از حالت تصادفی است. برای تصحیح اثر حاشیه‌ای در

آماره‌های اختصاری با آنها مقایسه شدند. برای محاسبه هر یک از تابع‌های اشاره‌شده و آزمون معنی‌داری نتایج از نرم‌افزار MatLab نسخه 10.0 استفاده شد.

نتایج

اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد که در قطعه‌نمونه بررسی‌شده (شکل ۳)، ۹۸۹ درختچه اشنان با میانگین ارتفاع ۰/۸ متر (۰/۱۸۹±)، میانگین قطر متوسط تاج ۱/۱ متر (۰/۳۴۵±) و میانگین مساحت تاج ۰/۹ مترمربع (۰/۶۴۵±) و تراکم ۳۸۶/۳ درختچه در هکتار حضور داشتند. همچنین آزمون نیکویی برازش کولموگروف-سمیرنوف ($D_{.05} = 0.0461$ ، $D = 0.0134$) و $p\text{-value} = 0.0704$ نشان داد که درختان اشنان در قطعه‌نمونه از توزیع پواسون ناهمگن پیروی می‌کردند (تأیید فرض صفر).

نتایج تابع g ناهمگن نشان داد که درختچه‌های اشنان در قطعه‌نمونه مورد بررسی از فاصله یک تا سه متر به‌طور معنی‌داری در کنار یکدیگر تجمع کرده بودند، اما پس از آن به توزیع تصادفی نزدیک شدند. همچنین آزمون مونت‌کارلو تجمع اشنان را در مقیاس فاصله‌ای سه تا نه متر تأیید نکرد. البته مقدار تابع g از فاصله ۱۴ متر کمتر از مقدار یک شد که بیانگر دور شدن درختچه‌های اشنان در مقیاس مذکور در قطعه‌نمونه بود، هرچند که معنی‌داری پراکندگی در این فاصله مورد تأیید قرار نگرفت (شکل ۴). تابع O نیز تجمع درختچه‌های اشنان در کنار یکدیگر را در فاصله یک تا سه متر تأیید کرد. همچنین تابع O نشان داد که اشنان‌ها در سایر مقیاس‌های مورد بررسی تجمع کرده بودند (مقدار تابع بیشتر از تراکم قطعه‌نمونه)، هرچند معنی‌داری آن در فاصله سه تا ۴۰ متر تأیید نشد (شکل ۴).

باشد و با تغییرات فاصله تغییر نکند، بین اشنان‌ها و ویژگی‌های کمی مورد مطالعه ارتباط مکانی وجود ندارد. اگر مقدار این تابع مثبت باشد، بیانگر همبستگی مثبت و اگر منفی باشد، نشان‌دهنده همبستگی منفی بین ویژگی‌های کمی و مکان اشنان‌ها است (Stoyan & Stoyan, 1994).

تابع همبستگی نشان‌دار ($k_{mm}(r)$)

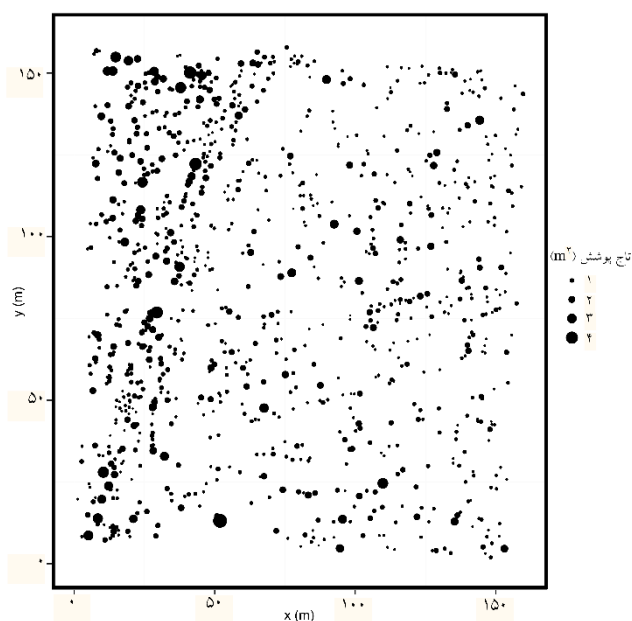
تابع k_{mm} در یک الگوی نقطه‌ای وابستگی بین نشان (مانند ارتفاع درختچه‌های اشنان) دو درختچه را که در فاصله r از یکدیگر قرار گرفته‌اند، بررسی می‌کند. با استفاده از مشخصه کمی درختچه اول (m_1) و درختچه دوم (m_2)، برای هر جفت درختچه عددی محاسبه می‌شود (رابطه ۵) که امکان ارزیابی شباهت یا عدم شباهت مشخصات مذکور را فراهم می‌سازد. ابتدای تابع k_{mm} در مقیاس مکانی r ، میانگین نرمال‌شده نتایج رابط ۵ برای تمام جفت درختچه‌ها در فاصله یادشده است.

$$f(m_1, m_2) = m_1 \times m_2 \quad (\text{رابطه } 5)$$

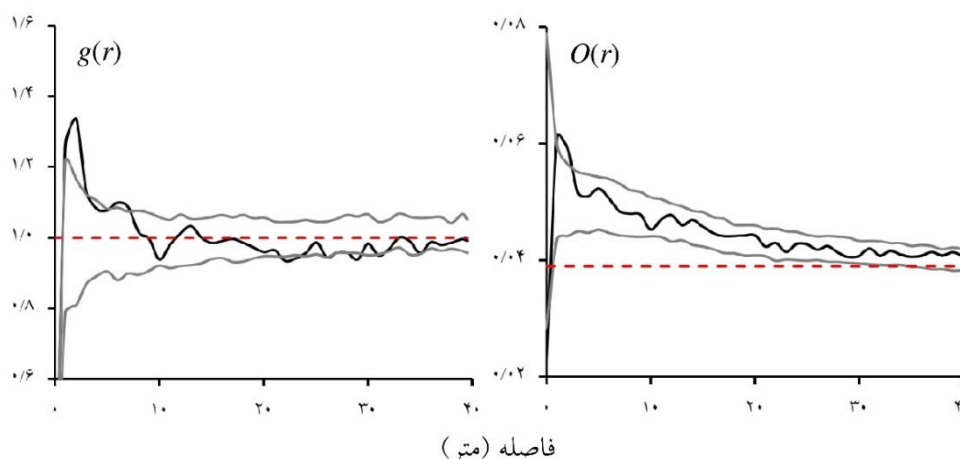
اگر مقدار تابع k_{mm} برابر با یک باشد، مشخصه‌های کمی مورد بررسی مستقل از یکدیگر هستند. بیشتر از یک بودن این تابع بیانگر همبستگی مثبت مشخصه‌ها و کمتر از یک بودن آن بیانگر همبستگی منفی مشخصه‌ها است (Stoyan & Stoyan, 1994; Illian et al., 2008).

آزمون آماری نتایج

معنی‌داری نتایج به‌دست‌آمده از هر کدام از آماره‌های اختصاری اشاره‌شده (تابع‌های g, D, H_s, O, E و k_{mm}) در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از توزیع پواسون مناسب (همگن یا ناهمگن با توجه به توزیع مکانی درختچه‌های اشنان در قطعه‌نمونه مورد مطالعه)، یک بازه شبیه‌سازی (Simulation envelopes) با استفاده از آزمون مونت‌کارلو با ۱۹۹ تکرار برای توزیع تصادفی درختچه‌های اشنان ساخته شد و نتایج هر کدام از



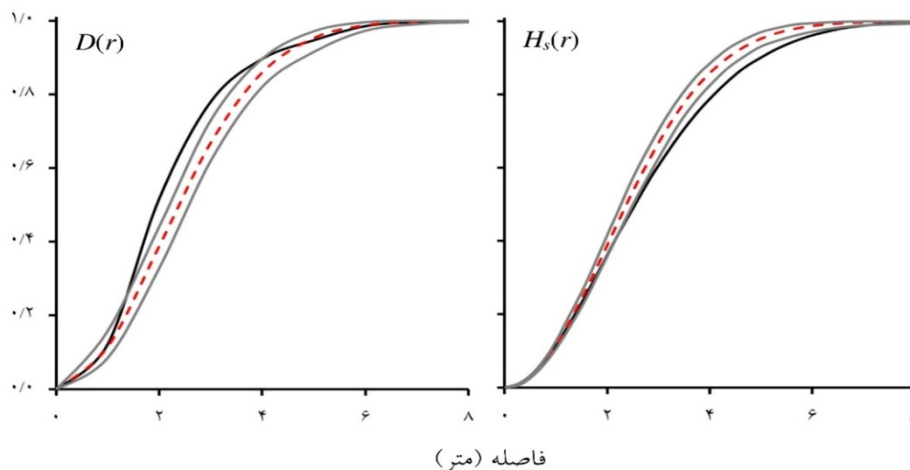
شکل ۳- قطعه‌نمونه مورد مطالعه پوشیده از درختچه‌های اشنان با تراکم $3/386$ درختچه در هکتار



شکل ۴- تغییرات توزیع مکانی درختچه‌های اشنان در قطعه‌نمونه با استفاده از توابع g و O (خط مشکی بیان‌گر تغییرات توزیع درختچه‌ها، خطوط خاکستری محدوده توزیع تصادفی با استفاده از آزمون مونت کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده مقدار تصادفی در تابع g و تراکم اشنان $0/039$ درختچه در مترمربع) در تابع O است.

همسایه‌اش به‌طور کامل منطبق بر حالت تصادفی بود (شکل ۵). تابع H_3 نیز تجمع اشنان‌ها را در فاصله $2/5$ تا $6/5$ متر نشان داد و تأیید کرد که فضای خالی بین اشنان‌ها تا فاصله یک متر، مشابه حالت تصادفی بود، اما پس از این فاصله از حالت تصادفی کمتر بوده است (شکل ۵).

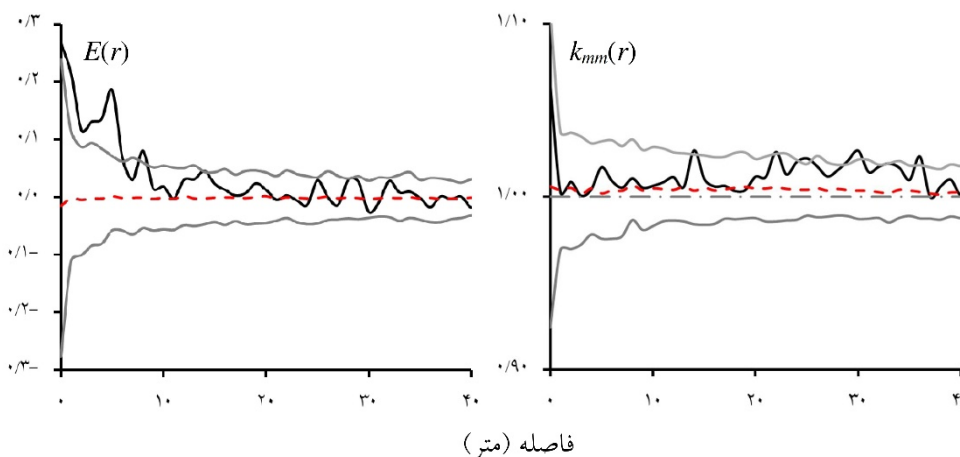
تابع D نشان داد که بیشترین فاصله درختچه اشنان تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش شش متر بود. علاوه‌براین، تابع D تجمع اشنان‌ها در مقیاس فاصله‌ای $1/5$ تا $3/5$ متر را براساس روابط همسایگی نشان داد، هرچند تا فاصله یک متر و از پنج تا هشت متر، فاصله اشنان تا نزدیک‌ترین



شکل ۵- تغییرات توزیع مکانی درختچه‌های اشنان در قطعه نمونه با استفاده از تابع D و H_s (خط مشکی بیانگر تغییرات توزیع درختچه‌ها، خطوط خاکستری محدوده توزیع تصادفی با استفاده از آزمون مونت کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده مقدار تصادفی است).

معنی‌دار بود (شکل ۶). تابع k_{mm} نیز نشان داد که ارتفاع درختچه‌های اشنان با یکدیگر ارتباط مثبت داشتند، هرچند معنی‌داری آن تأیید نشد (شکل ۶).

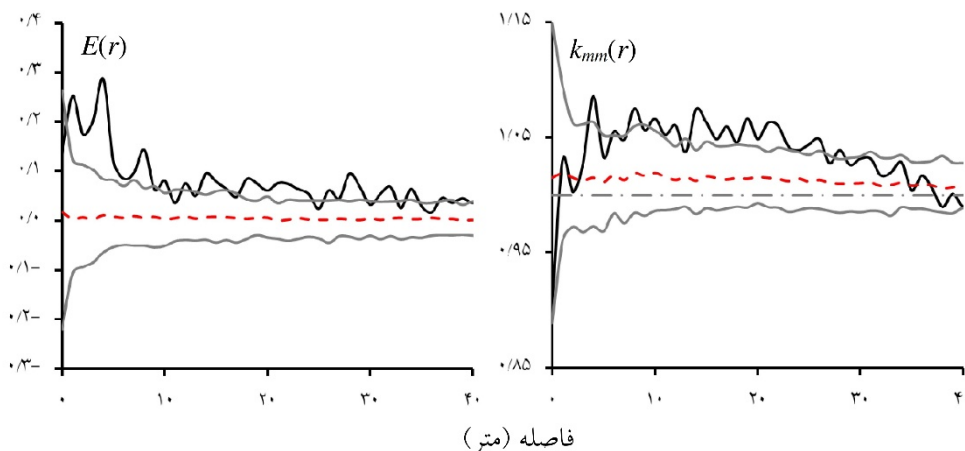
تابع E نشان داد که ارتفاع اشنان‌ها تا فاصله ۱۱ متر به موقعیت مکانی آنها وابسته بوده است و با آن همبستگی مثبت داشت، هرچند این وابستگی تا فاصله شش متر



شکل ۶- همبستگی ارتفاع درختچه‌های اشنان با یکدیگر با استفاده از تابع E و ارتباط متقابل اشنان‌ها با توجه به ارتفاع آنها در تابع k_{mm} (خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، خطوط خاکستری محدوده توزیع تصادفی با استفاده از آزمون مونت کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش فرض است. در تابع k_{mm} خط نقطه بیانگر عدم تأثیر است).

(شکل ۷). نتایج تابع k_{mm} بیانگر همبستگی مثبت قطر متوسط تاج درختچه‌های اشنان با یکدیگر در تمام فاصله‌ها بود که معنی‌داری آن از فاصله سه تا ۲۸ متر تأیید شد (شکل ۷).

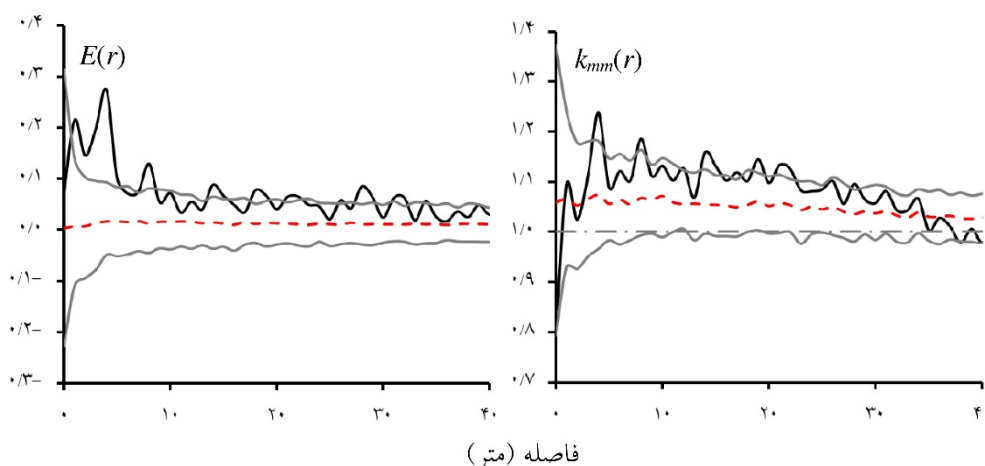
نتایج بررسی همبستگی قطر متوسط تاج اشنان‌ها با موقعیت مکانی آنها به وسیله تابع E نشان داد که این ویژگی در تمام فاصله‌ها به موقعیت مکانی وابستگی مثبت داشت، هرچند از فاصله ۱۱ متر به محدوده تصادفی نزدیک شد



شکل ۷- همبستگی قطر متوسط تاج درختچه‌های اشنان با یکدیگر با استفاده از تابع E و ارتباط متقابل اشنان‌ها با توجه به قطر تاج آنها در تابع k_{mm} (خط مشکی بیان‌گر تغییرات مشاهده‌شده، خطوط خاکستری محدوده توزیع تصادفی با استفاده از آزمون مونت کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است. در تابع k_{mm} خط نقطه بیانگر نبودن تأثیر است).

۸). همچنین تابع k_{mm} نشان داد که مساحت تاج اشنان‌ها نیز با هم ارتباط متقابل مثبت دارند ولی معنی‌داری آن در فاصله‌های زیاد تأیید نشد (شکل ۸).

در نهایت، تابع E در ارزیابی مساحت تاج اشنان‌ها نشان داد که در تمام فاصله‌ها، این ویژگی به موقعیت مکانی اشنان‌ها وابسته بوده است و با آن همبستگی مثبت داشت، اگرچه از فاصله نه متر این همبستگی معنی‌دار نبود (شکل



شکل ۸- همبستگی مساحت تاج درختچه‌های اشنان با یکدیگر با استفاده از تابع E و ارتباط متقابل اشنان‌ها با توجه به مساحت تاج آنها در تابع k_{mm} (خط مشکی بیان‌گر تغییرات مشاهده‌شده، خطوط خاکستری محدوده توزیع تصادفی با استفاده از آزمون مونت کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است. در تابع k_{mm} خط نقطه بیانگر عدم تأثیر است).

بحث

پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم زیستگاه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر غیر قابل انکاری در پایداری این بوم‌سازگان‌ها و همچنین جلوگیری از روند رو به گسترش بیابان‌ها در این مناطق دارد (Abdollahi *et al.*, 2006; Baghestani Maybodi & Zare, 2009; Amiraslani & Dragovich, 2011; Mahdavi Ardakani *et al.*, 2011). بنابراین آگاهی از نوع ارتباط بوم‌شناختی گیاهان در مناطق خشک و اثر متقابل آنها بر یکدیگر با مطالعه کمی بوم‌شناسی فردی و گروهی (Synecology) آنها ضروری به‌نظر می‌رسد تا با این آگاهی، امکان مدیریت بهینه گیاهان و تنظیم برنامه‌های توسعه‌ای آنها امکان‌پذیر شود. این پژوهش با هدف ارزیابی کنش‌های متقابل درختچه‌های اشنان در منطقه حفاظت‌شده قه‌بی استان اصفهان انجام شد. به‌منظور دستیابی به این هدف، از روش‌های تحلیل الگوی نقطه‌ای استفاده شد و سه تابع متداول و سه تابع جدید به‌کار رفت تا ارتباط متقابل اشنان‌ها و تأثیری که بر یکدیگر در منطقه مورد مطالعه داشتند، از جنبه‌های مختلف مورد بررسی آماری قرار گیرد.

در تحلیل الگوی نقطه‌ای گیاهان به‌منظور بررسی کمی بوم‌شناسی فردی در یک گونه باید از بخش‌هایی از رویشگاه نمونه تهیه کرد که علاوه‌بر دارا بودن تعداد قابل قبولی از پایه‌های گیاه مورد نظر (تعداد در هکتار)، عامل‌های محیطی نیز تا حد امکان یکسان و مشابه باشد. به‌همین علت در پژوهش پیش‌رو، پس از بازدید اولیه از منطقه حفاظت‌شده قه‌بی، یک قطعه‌نمونه با ابعاد ۱۶۰ × ۱۶۰ متر با تراکم ۳/۳۸۶ درختچه اشنان در هکتار انتخاب شد که علاوه‌بر تراکم مناسب، دارای ارتفاع از سطح دریای یکسان و بدون تغییر (۰/۴۴ ± ۱۵۴۹/۲ متر به‌دست‌آمده از میانگین ارتفاع از سطح دریای ۹۸۹ نقطه ثبت‌شده با موقعیت یاب جهانی سه‌فرکانسه) و خاک قلیایی با شوری متوسط و درصد مواد آلی اندک (Anonymous, 2009) بود. ویژگی‌های محیطی محدوده مورد بررسی با مشخصات اشاره‌شده در مورد اشنان‌زار منطقه چاه‌افضل

استان یزد (Baghestani Maybodi & Zare, 2009; Mahdavi Ardakani *et al.*, 2011) مشابه بود. هرچند تراکم این محدوده کمتر از رویشگاه مذکور بود (Abdollahi *et al.*, 2006).

نخستین گام در تحلیل الگوی نقطه‌ای، بررسی همگنی توزیع گیاهان در قطعه‌نمونه مورد مطالعه است که در بسیاری از پژوهش‌های پیشین (Getzin *et al.*, 2008; Cisz *et al.*, 2013) مورد تأکید قرار گرفته است. برازش توزیع پواسون ناهمگن و آزمون نیکویی برازش کولموگروف-سمیرنوف نشان داد که اشنان‌ها در قطعه‌نمونه مورد مطالعه دارای توزیع ناهمگن بودند. با وجود شرایط به‌نسبت یکنواخت محدوده مورد بررسی، نوع ارتباط اشنان‌ها با هم از یک‌سو و تغییرات محیطی در مقیاس کوچک از سوی دیگر (مانند شوری و رطوبت به‌عنوان عامل‌های مهم در استقرار و رویش اشنان)، ممکن است از مهمترین دلایل توزیع ناهمگن آنها بوده باشد (Abdollahi *et al.*, 2006; Baghestani Maybodi & Zare, 2009; Mahdavi Ardakani *et al.*, 2011). علاوه‌براین، وجود ناهمگنی نشان داد که برای تحلیل روابط متقابل اشنان‌ها، استفاده از تابع‌های مناسب که ناهمگنی محیطی را در نظر می‌گیرند، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Illian *et al.*, 2008).

هر کدام از روش‌های متداول مورد استفاده در پژوهش پیش‌رو (تابع‌های ناهمگن O, g, D و H_s) جنبه‌های متفاوتی از نوع ارتباط متقابل اشنان‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان دادند. تابع g تجمع اشنان‌ها در کنار یکدیگر را تا فاصله نه متر تأیید کرد، هرچند معنی‌داری این تجمع و تشکیل کپه‌ها به‌وسیله اشنان تا فاصله سه متری تأیید شد. همچنین تابع g نشان داد که تراکم اشنان‌ها در کنار هم در فاصله دو متری ۱/۳ برابر و در فاصله سه متری ۱/۱ برابر تراکم در توزیع تصادفی آنها بوده است، بدین معنی که ارتباط متقابل نزدیک اشنان‌ها در فاصله‌های مذکور بیشتر از حالت تصادفی است. کارایی این تابع در تحلیل الگوی مکانی گیاهان در پژوهش‌های پیشین (Churchill *et al.*, 2013; Navarro-Cerrillo *et al.*, 2013) مورد تأیید قرار گرفته است و

می‌کند، بلکه تأثیر ویژگی‌های ظاهری هر گیاه بر نحوه استقرار و رشد گیاهان اطرافش را نیز مورد مطالعه قرار می‌دهد که در بوم‌شناسی فردی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حال که تابع‌های مورد استفاده نشان داد که اشنان‌ها در منطقه مورد مطالعه به یکدیگر نزدیک هستند و به صورت کپه‌ای تجمع کرده‌اند، تأثیر متقابل آنها بر ویژگی‌های کمی یکدیگر نیز باید مورد مطالعه قرار می‌گرفت. پیش از این موضوع، ضروری بود که همبستگی تغییرات ویژگی‌های ظاهری اشنان‌ها با تغییر موقعیت مکانی آنها تأیید شود. نتایج تابع E نشان داد که ویژگی‌های کمی اشنان‌ها به تغییرات مکانی وابسته است که معنی‌داری آنها نیز تأیید شد. با استفاده از تابع k_{mm} که کمتر مورد توجه قرار گرفته است، نوع اثر هر اشنان بر اشنان‌های اطرافش مشخص شد. نشان داد که تجمع اشنان‌ها و تشکیل کپه‌ها در قطعه‌نمونه مورد مطالعه مربوط به اثر تسهیل‌کنندگی اشنان بر استقرار اشنان‌های دیگر بوده است، زیرا در این کپه‌ها بین ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد مطالعه در اشنان (ارتفاع، قطر متوسط تاج و مساحت تاج) همبستگی مثبت وجود داشت که تجمع آنها در کنار یکدیگر را توجیه می‌کند. کاربرد تابع k_{mm} در تحلیل روابط متقابل گیاهان با یکدیگر در پژوهش‌های پیشین (Getzin et al., 2008; Martinez et al., 2013; Ni et al., 2014) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

به‌طور کلی، نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که درختچه‌های اشنان در منطقه حفاظت‌شده قه‌ی استان اصفهان دارای کنش متقابل مثبت با یکدیگر هستند و اثر تسهیل‌کنندگی در استقرار یکدیگر در کنار هم دارند. در قطعه‌نمونه مورد بررسی، این گونه تشکیل کپه‌هایی را داده است و در کنار یکدیگر تجمع کرده‌اند. بررسی‌های کمی بیانگر ارتباط نزدیک اشنان‌ها با یکدیگر بود و معنی‌داری اثر تسهیل‌کنندگی آنها بر نزدیک‌ترین همسایه‌شان مورد تأیید قرار گرفت. همچنین با بررسی نتایج تابع همبستگی نشان‌دار مشخص شد که ویژگی‌های زیست‌سنجی گونه اشنان دارای همبستگی مثبت بوده است که تأییدکننده اثر

نسبت به تابع K رایبلی و L ارجحیت دارد. تابع O نیز تجمع درختچه‌های اشنان و کنار هم قرار گرفتن آنها را تا فاصله سه متر نشان داد و معنی‌داری آن را تأیید کرد. هرچند تابع O برخلاف تابع g نشان داد که اشنان‌ها در تمام مقیاس‌های فاصله‌ای مورد مطالعه حالت جمعی خود را حفظ کردند. کارایی تابع O که یکی از تابع‌های به‌تازگی معرفی شده است، نسبت به روش‌های قبلی در پژوهش‌های پیشین (Lopez et al., 2010; Sher et al., 2010; Karimi et al., 2012) مورد تأیید قرار گرفته است و نتایج آن قابل اطمینان است.

اگرچه وجود کنش متقابل مثبت و اثر تسهیل‌کنندگی اشنان‌ها بر یکدیگر به‌وسیله تابع‌های g و O نشان داده شد، ارتباط آنها با نزدیک‌ترین همسایه‌شان نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. تابع D به‌عنوان بهترین روش تحلیل روابط همسایگی (Illian et al., 2008) نشان داد که بیشترین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه به اشنان شش متر است و کنار هم قرار گرفتن هر اشنان و نزدیک‌ترین همسایه‌اش بیشتر از حالت تصادفی بوده است. Ni و همکاران (۲۰۱۴) نیز استفاده از تحلیل روابط همسایگی را در کنار بررسی سایر جنبه‌های روابط گیاهان با یکدیگر به‌منظور درک بهتر ارتباط متقابل آنها مورد تأیید قرار دادند.

تابع H_s اگرچه کمتر مورد استفاده قرار گرفته است، اما یکی از تابع‌های مهم در مطالعه روابط متقابل گیاهان به‌شمار می‌آید. از آنجایی‌که این تابع وجود فضاهای خالی بین گیاهان را نشان می‌دهد، در این پژوهش مقدار فضای خالی بین اشنان‌ها در فاصله $2/5$ تا $6/5$ متر کمتر از حالت تصادفی بود و نشان‌دهنده ارتباط نزدیک و کم بودن فاصله بین آنها بود. نتایج این تابع از جنبه کمتر بودن فضای خالی بین اشنان‌ها، تجمع آنها و ارتباط نزدیک‌شان با یکدیگر را مورد تأیید قرار داده است و استفاده از این تابع در کنار سایر روش‌ها توسط Illian و همکاران (۲۰۰۸) مورد تأکید قرار گرفته است.

امروزه تحلیل الگوی نقطه‌ای در گیاهان نه‌تنها کنش‌های متقابل آنها با یکدیگر را با توجه به موقعیت مکانی تعیین

- Nodoushan, Ashkzar). Iranian Journal of Arid Biome, 3(2): 15-26.
- Bergeron, Y. and Fenton, N.J., 2012. Boreal forests of eastern Canada revisited: old growth, nonfire disturbances, forest succession, and biodiversity. Botany, 90: 509-523.
 - Browning, D.M., Archer, S.T., Asner, G.P., McClaran, M.P. and Wessman, C.A., 2008. Woody plants in grassland: Post encroachment stand dynamics. Ecological Applications, 18: 928-944.
 - Churchill, D., Larson, A., Dahlgreen, M., Franklin, J., Hessburg, P. and Luts, J., 2013. Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. Forest Ecology and Management, 291: 442-457.
 - Cisz, M.E., Falkowski, M.J. and Orr, B., 2013. Small-scale spatial pattern of *Copernicia alba* Morong near Bahia Negra, Paraguay. Natural Resources, 4: 369-377.
 - Emam, T.M., Espeland, E.K. and Rinella, M., 2014. Soil sterilization alters interactions between the native grass *Bouteloua gracilis* and invasive *Bromus tectorum*. Journal of Arid Environments, 111: 91-97.
 - Erfanifard, Y. and Mahdian, F., 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars Province). Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(1): 62-73 (In Persian).
 - Ferrante, D., Oliva, G.E. and Fernandez, R.J., 2014. Soil water dynamics, root systems, and plant responses in a semiarid grassland of Southern Patagonia. Journal of Arid Environments, 104: 52-58.
 - Fortin, M.J. and Dale, M.R.T., 2005. Spatial Analysis. Cambridge University Press, England, 365p.
 - Genet, A. and Pothier, D., 2013. Modeling tree spatial distributions after partial harvesting in uneven-aged boreal forests using inhomogeneous point processes. Forest Ecology and Management, 305: 158-166.
 - Getzin, S., Wiegand, K., Schumacher, J. and Gougeon, F.A., 2008. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. Forest Ecology and Management, 255: 2478-2485.
 - Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H. and Stoyan,

تسهیل‌کنندگی اشنان‌ها بر یکدیگر است. در نهایت، پژوهش پیش‌رو نیز مانند پژوهش‌های پیشین بر استفاده از آماره‌های اختصاری مختلف در بررسی روابط متقابل گیاهان با یکدیگر به دلیل ارزیابی روابط مذکور از جنبه‌های مختلف تأکید می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان به دلیل معرفی منطقه مورد مطالعه و فراهم آوردن امکان بازدید اولیه از آن قدردانی نمایند.

References

- Abdollahi, J., Arzani, H., Baghestani, N. and Askarshahi, F.S.M., 2006. Rainfall and ground water table changes influencing the *Seidlitzia rosmarinus* growth and development at the Chah-Afzal Ardakan. Iranian Journal of Range and Desert Region, 13(2): 74-81 (In Persian).
- Alvarez, L.J., Epstein, H.E., Li, J. and Okin, G.S., 2011. Spatial patterns of grasses and shrubs in an arid grassland environment. Ecosphere, 2(9): 1-6.
- Amiraslani, F. and Dragovich, D., 2011. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. Journal of Environmental Management, 92: 1-13.
- Anonymous, 2009. Rangeland Management Plan of Qehi, Isfahan Province. General Office of Natural Resources, Isfahan, 37p (In Persian).
- Bagheri, R., Maki, S.M.A. and Mohammadi, S., 2014. Effects of grazing management projects on vegetation and some soil physic-chemical properties (Case study: Dehsard region of Kerman province). Iranian Journal of Range and Desert Region, 21(1): 32-40 (In Persian).
- Baghestani Maybodi, N. and Zare, M.T., 2009. Some ecological requirements and exploitation of *Seidlitzia rosmarinus* in the desert region of Yazd province. Iranian Journal of Environmental Sciences, 6(3): 31-42 (In Persian).
- Baghestani Maybodi, N., Zare, M.T. and Ehsani, A., 2013. Effect of drought on phenological stages of two shrub species in the steppe rangelands (Case study: Rangelands of

- 296: 74-80.
- Miriti, M.N., 2006. Ontogenetic shift from facilitation to competition in a desert shrub. *Journal of Ecology*, 94: 973-979.
 - Mozaffarian, V., 2004. *Trees and Shrubs of Iran*. Frahang-e-Moaser Press, Iran, 1054p (In Persian).
 - Navarro-Cerrillo, R., Manzanedo, R., Bohorque, J., Sanchez, R., Sanchez, J., Miguel, S., Solano, D., Qarro, M., Griffith, D. and Palacios, G., 2013. Structure and spatio-temporal dynamics of cedar forests along a management gradient in the Middle Atlas, Morocco. *Forest Ecology and Management*, 289: 341-353.
 - Ni, R., Baiketuerhan, Y., Zhang, C., Zhao, X. and Gadow, K.v., 2014. Analysing structural diversity in two temperate forests in northeastern China. *Forest Ecology and Management*, 316: 139-147.
 - Safdari, V., 2012. Anatomical, physical and chemical properties of *Seidlitzia rosmarinus* Bunge ex Boiss wood in Irano-torani region. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 27(2): 212-225 (In Persian).
 - Sher, A.A., Wiegand, K. and Ward, D., 2010. Do *Acacia* and *Tamarix* trees compete for water in the Negev desert? *Journal of Arid Environments*, 74: 338-343.
 - Stoyan, D. and Stoyan, H., 1994. *Fractals, Random Shapes and Point Fields: Methods of Geometrical Statistics*. John Wiley & Sons Inc., England, 387p.
 - Wiegand, T., Moloney, K., Naves, J. and Knauer, F., 1999. Finding the missing link between landscape structure and population dynamics: a spatially explicit perspective. *American Naturalist*, 154: 605-627.
 - Xu, G., Yu, D., Xie, J., Tang, L. and Li, Y., 2014. What makes *Haloxylon persicum* grow on sand dunes while *H. ammodendron* grows on interdune lowlands: a proof from reciprocal transplant experiments. *Journal of Arid Land*, 6(5): 581-591.
 - Zare Chahouki, M.A., Arzanivand, H., Jafari, M. and Tavili, A., 2010. Multivariate statistical methods as a tool for model-based prediction of vegetation types. *Russian Journal of Ecology*, 41(1): 84-94.
 - D., 2008. *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*. John Wiley & Sons Inc., England, 534p.
 - Jafari, M., Zare Chahouki, M.A., Tavili, A., Arzanivand, H. and Zahedi Amiri, Gh., 2004. Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd province (Iran). *Journal of Arid Environments*, 56: 627-641.
 - 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).
 - Kurkova, E.B., Kalinkina, L.G., Baburina, O.K., Myasoedov, N.A. and Naumova, T.G., 2002. Responses of *Seidlitzia rosmarinus* to salt stress. *Biology Bulletin*, 29(3): 221-228.
 - Lohman, D., Tietjen, B., Blaum, N., Joubert, D.F. and Jeltsch, F., 2014. Prescribed fire as a tool for managing shrub encroachment in semi-arid savanna rangelands. *Journal of Arid Environments*, 107: 49-56.
 - Lopez, R.P., Larrea-Alcazar, D. and Zenteno-Ruiz, F., 2010. Spatial pattern analysis of dominant species in the Prepuna: Gaining insight into community dynamics in the semi-arid, subtropical Andes. *Journal of Arid Environments*, 74: 1534-1539.
 - Mahdavi Ardakani, S.R., Jafari, M., Zargham, N., Zare Chahouki, M.A., Baghestani Maybodi, N. and Tavili, A., 2011. Investigation on the effects of *Haloxylon aphyllum*, *Seidlitzia rosmarinus* and *Tamarix aphylla* on soil properties in Chah Afzal Kavir (Yazd). *Iranian Journal of Forest*, 2(4): 357-365 (In Persian).
 - Mahmoodi, T., Khoshhal, J., Mousavi, S.H. and Pourkhosravani, M., 2013. A comparative evaluation of adaptation of nebkas to stabilize sand dunes of the desert in Sirjan using AHP model. *Iranian Journal of Environmental Erosion Researches*, 2(10): 24-38 (In Persian).
 - 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*,

**Evaluating the intraspecific interactions of Eshnan (*Seidlitzia rosmarinus*) shrubs in arid lands by point pattern analysis
(Case study: Qehi protected area, Isfahan Province)**

Y. Erfanifard^{1*} and E. Khosravi²

1* - Corresponding author, Assistant Prof., College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

E-mail: erfanifard@shirazu.ac.ir

2- M.Sc. Student, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 12.28.2014

Accepted: 03.15.2015

Abstract

The spatial distribution analysis of woody plants in arid and semi-arid environments explains their interactions and how they influence one another. This study was aimed to evaluate the intraspecific interactions of Eshnan (*Seidlitzia rosmarinus*) shrubs across a portion of central Iranian arid lands using different summary statistics including pair correlation $g(r)$, O-ring $O(r)$, nearest neighbor distribution $D(r)$, spherical contact distribution $H_s(r)$ and mark correlation $k_{mm}(r)$ functions. A $160 \times 160 \text{ m}^2$ plot purely covered by Eshnan was selected in Qehi protected area, Isfahan province. The point map of all 989 Eshnan shrubs was obtained by Trimble R8 differential global positioning system with a positional accuracy of $3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ ppm}$. The observed pattern of shrubs showed significant spatial heterogeneity as compared to inhomogeneous Poisson process ($\alpha=0.05$). The results of $g(r)$ and $O(r)$ revealed the significant aggregation of Eshnan shrubs up to scale of 3 m ($\alpha=0.05$). The results of $D(r)$ and $H_s(r)$ also showed maximum distance to nearest shrub to be 6 m. It was additionally shown that the distribution of gap sizes was significantly different from random up to this spatial scale. Finally, $k_{mm}(r)$ for height, mean crown diameter, and crown area indicated the aggregation of Eshnan individuals at all scales. In general, positive interactions were concluded to exist amongst Eshnan shrubs at small scales, and they were aggregated due to their intraspecific facilitation effects in the study area.

Keywords: Eshnan, O-ring function, spherical contact distribution function, nearest neighbor distribution function, mark correlation function, Qehi protected area.