

تحلیل الگوی مکانی درختان کیکم (*Acer monspessulanum* L.) روی دامنه‌های شیب‌دار زاگرس (مطالعه موردی: شهرستان فیروزآباد، استان فارس)

آزیتا علیپور^۱ و سیدیوسف عرفانی‌فرد^{۲*}

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

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

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۰۴

چکیده

توپوگرافی به‌عنوان یکی از عامل‌های مؤثر در شکل‌گیری الگوی پراکنش مکانی درختانی که روی دامنه‌های شیب‌دار پراکنش دارند، شناخته شده است. توپوگرافی با تغییر در مقدار دسترسی به نور، رطوبت خاک و ایجاد خرداقلیم، نحوه پراکنش درختان در یک محدوده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پژوهش پیش‌رو با هدف تحلیل الگوی پراکنش مکانی درختان کیکم (*Acer monspessulanum* L.) مستقر روی دامنه‌های شیب‌دار در ناحیه رویشی زاگرس انجام شد. برای این منظور، قطعه‌نمونه‌ای با ابعاد ۲۰۰ × ۲۰۰ متر با حداقل و حداکثر ارتفاع ۱۴۷۰ و ۱۵۴۰ متر از سطح دریا در بخشی از رویشگاه کیکم نزدیک شهر فیروزآباد در استان فارس انتخاب شد. موقعیت مکانی ۲۸۸ درخت کیکم با قطر برابر سینه بیشتر از پنج سانتی‌متر با استفاده از دوربین نقشه‌برداری لایکا TS06 ثبت شد. سپس، الگوی پراکنش مکانی درختان با استفاده از آماره‌های اختصاری با ساختار متفاوت (تابع همبستگی جفتی، تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه، تابع توزیع تماس کروی) بررسی شد. تحلیل الگوی پراکنش مکانی درختان بدون در نظر گرفتن شیب، منجر به ارائه نتایج اریب شد، در حالی‌که الگوی پراکنش مکانی درختان کیکم در قطعه‌نمونه مورد مطالعه با شیب ۳۵ درصد تا فاصله ۲۹ متر به‌طور معنی‌داری کپه‌ای و بیشترین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه ۱۶/۳ متر بود. همچنین، بیشینه فضای خالی بین درختان کیکم در مقیاس مکانی، ۴۰/۸ متر بود. به‌طور کلی، نتیجه‌گیری شد که تحلیل الگوی پراکنش مکانی درختان کیکم روی دامنه‌های شیب‌دار باید با استفاده از آماره‌های اختصاری انجام شود که فاصله بین درختان روی شیب را به‌جای فاصله آن‌ها روی یک سطح مسطح در نظر می‌گیرند.

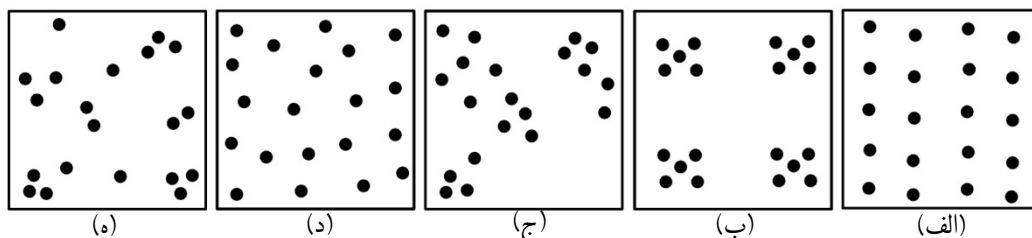
واژه‌های کلیدی: آماره اختصاری، تابع همبستگی جفتی، توپوگرافی، کپه‌ای.

مقدمه

شناخت ساختار مکانی پوشش گیاهی یکی از مراحل کلیدی در شناسایی و درک بهتر فرآیندهای بوم‌شناختی است که این ساختارها را در طبیعت به‌وجود می‌آورند. این فرآیندهای پیچیده که یکی از عامل‌های مهم در شکل‌گیری ساختار مکانی درختان هستند، حاوی اطلاعات ارزشمندی

می‌باشند که در شناخت بهتر برهمکنش بین درختان و روابط متقابل آن‌ها با محیط اطرافشان مؤثر است (Da Silva et al., 2014; Zhao et al., 2015; Clyatt et al., 2016). بنابراین، دستیابی به نحوه پراکنش و الگوی مکانی درختان در توده‌های طبیعی علاوه‌بر ایجاد درک عمیق‌تر از بوم‌شناسی فردی و اجتماعی آن‌ها، نقش مهمی در مدیریت

همچنین، آن‌ها اشاره می‌کنند که الگوی مکانی گیاهان در طبیعت با توجه به نوع ارتباطشان با یکدیگر و با محیط اطرافشان به سه شکل پراکنده (Dispersed)، تصادفی و کپه‌ای (Clumped) است (شکل ۱) (Fortin & Dale, 2005; Lo & Yeung, 2007; Law et al., 2009; Punchi-Manage et al., 2014; Zhao et al., 2015) نشان دادند که تغییرات توپوگرافیک (مانند ارتفاع از سطح دریا، جهت، شیب) به دلیل ایجاد ناهمگنی محیطی و تأثیر مستقیم بر عامل‌هایی چون دسترسی به نور، تغییرات خرداقلیم و ویژگی‌های خاک، علاوه بر دخالت مستقیم در تعیین نحوه پراکنش گیاهان، مانع از ایجاد الگوهای مکانی یکنواخت (یکسان در همه قطعه‌نمونه) یا خوشه‌ای (تجمع منظم حول یک محور) در طبیعت می‌شوند (شکل ۱). بنابراین، با توجه به تأثیر توپوگرافی به صورت مستقیم (شیب، جهت) و غیرمستقیم (دسترسی به نور، ویژگی‌های خاک) بر الگوی مکانی درختان، تحلیل الگوهای مکانی با توجه به توپوگرافی ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۱- انواع الگوهای مکانی نقاط در آمار (الف- یکنواخت، ب- خوشه‌ای) و بوم‌شناسی (د- پراکنده، ه- کپه‌ای) و تصادفی (ج) (شکل از نگارندگان برگرفته از شبیه‌سازی ۲۰ نقطه در رایانه)

Murphy & McCarthy, 2012; Punchi-Manage et al., 2014) به طور معنی‌داری مؤثر هستند. در مطالعات ذکر شده، تأثیر توپوگرافی بر الگوی مکانی درختان به طور غیرمستقیم ارزیابی شده است. در ضمن، در این مطالعات آماره‌های اختصاری به کار رفته بدون در نظر گرفتن توپوگرافی، الگوی مکانی را تعیین می‌کنند. بنابراین، بررسی چگونگی دخالت تغییرات توپوگرافی در نتایج تحلیل الگوی مکانی درختان

مؤثرتر توده‌های جنگلی و اجرای موفق‌تر طرح‌های احیایی ایفا می‌کند. با توجه به این اهمیت، مطالعه الگوهای مکانی در داخل (Basiri et al., 2006; Sohrabi, 2014; Biabani et al., 2016) و خارج از کشور (Perry et al., 2009; Gao, 2013; Nguyen et al., 2016) به سرعت رو به گسترش است.

یکی از پرکاربردترین راهکارهای مورد استفاده در ارزیابی الگوهای مکانی درختان به منظور شناخت فرایندهای ذکر شده، تحلیل الگوی نقطه‌ای است. آماره‌های اختصاری مورد استفاده در تحلیل الگوی نقطه‌ای، توسط آماردانان در یک سطح مسطح ارائه شده و نتیجه آن تقسیم الگوی مکانی نقاط به سه گروه یکنواخت (Uniform)، تصادفی (Random) و خوشه‌ای (Clustered) است (شکل ۱) (Illian et al., 2008; Gelfand et al., 2010). در حالی که بوم‌شناسان گیاهی معتقدند علاوه بر موقعیت مکانی گیاهان (x و y)، تغییرات توپوگرافیک موقعیت آن‌ها نیز در نحوه استقرار و نوع برهمکنش آن‌ها با سایر گیاهان مؤثر است.

توجه به تغییرات توپوگرافیک در بررسی الگوی مکانی درختان در پژوهش‌های پیشین قابل ملاحظه است. این پژوهش‌ها تأیید کردند که توپوگرافی بر پراکنش و الگوی مکانی درختان در بوم‌سازگان‌های مختلف تا شیب ۲۰ درصد (Meerveld & McDonnell, 2006; Wang et al., 2011; Zhang et al., 2012; Zhao et al., 2015) و از ۲۰ تا ۳۰ درصد (Law et al., 2009; Lu et al., 2009;)

مستقر در دامنه‌های شیب‌دار ضروری است. همان‌طور که در پژوهش‌های انجام شده در ناحیه رویشی زاگرس اشاره شده است (Pourhashemi et al., 2014; Sohrabi, 2014)، پوشش گیاهی در این ناحیه رویشی به‌طور عمده بر روی پستی و بلندی‌های رشته‌کوه زاگرس مستقر شده است. مطالعاتی که تاکنون در زمینه تحلیل الگوی مکانی گونه‌های مهم این ناحیه رویشی از جمله بلوط (Safari et al., 2014)، بنه (Safari et al., 2010) و کیکم (*Acer monspessulanum* L.) (Sohrabi, 2014) انجام شده، در قطعه‌نمونه‌های مسطح انجام شده است. بنابراین، در مطالعات ذکر شده به آماره‌های اختصاری که تغییرات شکل زمین را در نظر می‌گیرند، نیازی نبوده و به‌طور عمده از آماره‌های اختصاری استفاده شده که الگوی مکانی درختان را بدون توجه به موقعیت مکانی آن‌ها در شکل‌های مختلف زمین تعیین می‌کنند. استقرار پوشش گیاهی روی اراضی تپه‌ماهوری در ناحیه رویشی زاگرس و ضرورت در نظر گرفتن تغییرات شکل زمین در تحلیل الگوی مکانی درختان، دسترسی به روش‌های کارآمد در تحلیل الگوی مکانی را با در نظر گرفتن تغییرات توپوگرافی (به‌طور مستقیم) اجتناب‌ناپذیر می‌کند.

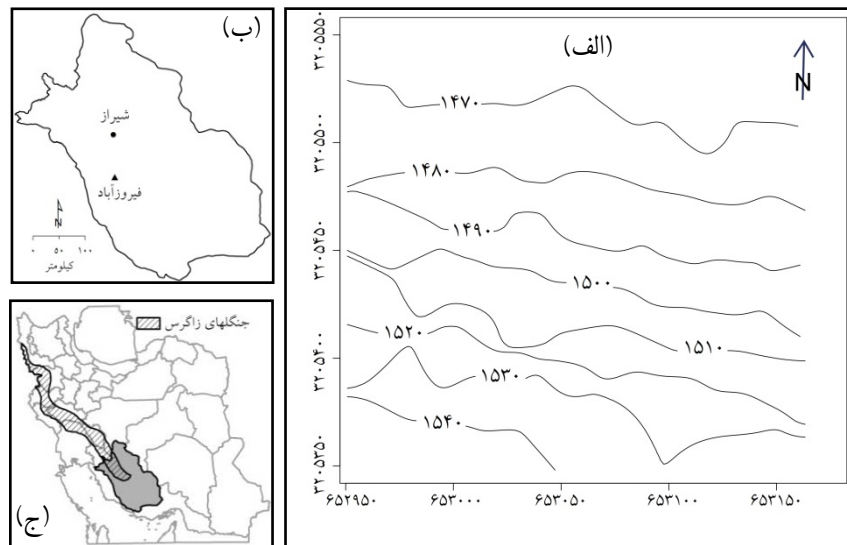
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای انجام این پژوهش، بخشی از رویشگاه کیکم در ۲۰ کیلومتری فیروزآباد در جنوب غربی استان فارس انتخاب شد. این محدوده از نظر مختصات جغرافیایی در عرض ۶' ۵۸' ۲۸° شمالی و طول ۱۵' ۳۴' ۵۲° شرقی قرار داشته و متوسط دمای سالانه و متوسط بارش سالانه به‌ترتیب ۱۹ درجه سانتیگراد و ۵۲۵ میلی‌متر بوده و با استفاده از روش آمبرژه، دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است (بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک فیروزآباد از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴). پس از بازدید اولیه، روی یک دامنه شمالی، قطعه‌نمونه‌ای با ابعاد ۲۰۰ × ۲۰۰ متر (مساحت چهار هکتار) انتخاب شد. دامنه تغییرات ارتفاع از سطح دریا در قطعه‌نمونه مورد نظر از ۱۴۷۰ تا ۱۵۴۰ متر و پوشیده از درختان کیکم بود (شکل ۲). موقعیت مکانی درختان کیکم با قطر برابر سینه بیشتر از پنج سانتی‌متر در این محدوده با استفاده از دوربین نقشه‌برداری Leica مدل TS06 Plus با دقت کمتر از یک سانتی‌متر ثبت شد.

با توجه به دستاوردهای پژوهش‌هایی که بیشتر اشاره شد، پراکنش مکانی درختان در مناطق ناهموار از ناهمگنی ناشی از تغییرات شکل زمین تأثیر می‌پذیرد که این موضوع باید در تحلیل الگوی مکانی گیاهان در نظر گرفته شده و از روش‌های مناسب برای آن استفاده شود. بنابراین، پژوهش پیش‌رو بر مبنای این فرضیه انجام شد که توجه به تغییرات توپوگرافی در تحلیل الگوی مکانی درختان کیکم در بخشی از ناحیه رویشی زاگرس ضروری است. با توجه به مطالعات معدودی که تاکنون در مورد الگوی مکانی کیکم انجام شده (Sohrabi, 2014; Hoseini, 2012)، آزمون فرضیه فوق در مورد این گونه که اغلب در مناطق شیب‌دار مستقر می‌شود

مستقیم) اجتناب‌ناپذیر می‌کند. با توجه به دستاوردهای پژوهش‌هایی که بیشتر اشاره شد، پراکنش مکانی درختان در مناطق ناهموار از ناهمگنی ناشی از تغییرات شکل زمین تأثیر می‌پذیرد که این موضوع باید در تحلیل الگوی مکانی گیاهان در نظر گرفته شده و از روش‌های مناسب برای آن استفاده شود. بنابراین، پژوهش پیش‌رو بر مبنای این فرضیه انجام شد که توجه به تغییرات توپوگرافی در تحلیل الگوی مکانی درختان کیکم در بخشی از ناحیه رویشی زاگرس ضروری است. با توجه به مطالعات معدودی که تاکنون در مورد الگوی مکانی کیکم انجام شده (Sohrabi, 2014; Hoseini, 2012)، آزمون فرضیه فوق در مورد این گونه که اغلب در مناطق شیب‌دار مستقر می‌شود



شکل ۲- قطعه نمونه مورد مطالعه به همراه خطوط میزان ۱۰ متری (الف) در توده کیکم در نزدیکی شهر فیروزآباد، استان فارس (ب) در جنوب جنگل‌های زاگرس (ج)

روش پژوهش

در این مطالعه، از سه آماره اختصاری با فرم ناهمگن (با توجه به تأیید ناهمگنی پراکنش مکانی درختان کیکم در سطح اطمینان ۹۵ درصد به وسیله آزمون نیکویی برازش کولموگروف-سمیرنوف استفاده شد که از جنبه‌های متفاوت، الگوی مکانی کیکم را بررسی کردند. برای مقایسه روش‌های مختلف، الگوی مکانی درختان کیکم هم با و هم بدون در نظر گرفتن توپوگرافی تحلیل شدند.

تابع همبستگی جفتی ($g(r)$)

این تابع، یکی از مشتقات تابع K راپیلی است که بیانگر تراکم نقاط (درختان) 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 فوق: $dK(r)$ و dr مشتق تابع K راپیلی و r هستند. مقدار این تابع در یک الگوی مکانی تصادفی برابر یک بوده و بیشتر بودن این تابع از یک بیانگر الگوی مکانی کپه‌ای و کمتر بودن آن نشان‌دهنده الگوی مکانی پراکنده

است. به منظور در نظر گرفتن تغییرات توپوگرافی در تابع g باید از رابطه ۱ استفاده کرد، با این تفاوت که مقدار K راپیلی از رابطه ۲ به دست می‌آید. در رابطه ۲، همان مقدارهای مختلف فاصله بوده که بجای اندازه‌گیری روی سطح مسطح، روی سطح شیب‌دار اندازه گرفته شده و $g(t)$ مقدار تابع همبستگی جفتی در هر فاصله است.

$$K(r) = \int_{t=0}^r g(t)(2\pi t)dt \quad \text{رابطه (۲)}$$

تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه ($D(r)$)

این تابع، توزیع تجمعی فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در فاصله r از یک نقطه (درخت) تصادفی را نشان می‌دهد. این تابع در مورد همسایگی نقاط در الگوهای نقطه‌ای مکانی اطلاعاتی ارائه می‌دهد (رابطه ۳).

$$D(r) = H_s(r) = 1 - \exp(-\lambda\pi r^2) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق: r مقدار فاصله از نقطه تصادفی و λ تراکم نقاط (درختان) در منطقه مورد نظر است. مقدار این تابع از

(وجود بیشترین فضای خالی بین دایره‌ها) تا یک (نبود فضای خالی بین دایره‌ها) می‌باشد. محاسبه این تابع در الگوی نقطه‌ای روی سطح شیب‌دار از طریق رابطه ۴ است (Illian et al., 2008; Gelfand et al., 2010).

آزمون آماری نتایج

نتایج به دست آمده از تابع‌های g ، D و H_s در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از یک بازه شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. این بازه شبیه‌سازی با استفاده از آزمون مونت‌کارلو با ۱۹۹ بار تکرار برای توزیع تصادفی ساخته شد و نتایج هر کدام از تابع‌ها با آن‌ها مقایسه شد. برای محاسبه آماره‌های اختصاری از نرم‌افزار MATLAB نسخه 10 استفاده شد.

نتایج

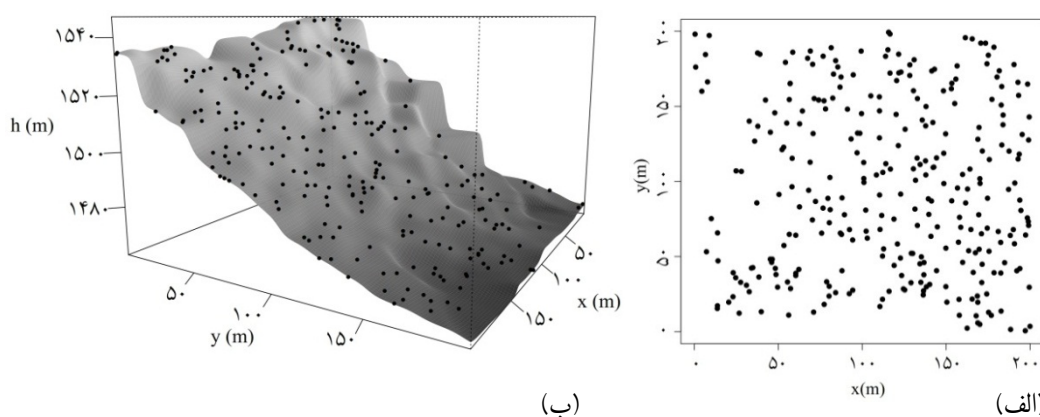
نتایج آماربرداری قطعه‌نمونه چهار هکتاری نشان داد که ۲۸۸ درخت کیکم با تراکم ۷۲ پایه در هکتار در آن حضور داشت. نقشه نقطه‌ای درختان کیکم در شکل ۳-الف و نحوه پراکنش مکانی آن‌ها بر روی سطح شیب‌دار در شکل ۳-ب نشان داده شده است. شیب سطح قطعه‌نمونه مورد مطالعه ۳۵ درصد به دست آمد.

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. همچنین، از روش هانیش (Hanisch) به عنوان مناسب‌ترین روش برای تصحیح اثر حاشیه‌ای در این تابع استفاده شد (Illian et al., 2008). برای محاسبه تابع D روی دامنه شیب‌دار از رابطه ۴ استفاده شد. در رابطه ۴، $P(d(x, \varphi))$ تابع توزیع تجمعی فاصله از نقطه x تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش است.

$$D(r) = H_s(r) = P(d(x, \varphi) \leq r | x \in \varphi) \quad (4)$$

تابع توزیع تماس کروی ($H_s(r)$)

در این تابع، اطراف هر نقطه (درخت) که به طور تصادفی انتخاب شده، دایره‌ای به شعاع r ایجاد شده و بر اساس فضای خالی موجود با افزایش r ، تغییرات الگوی مکانی بررسی می‌شود. برای محاسبه این تابع از رابطه ۳ استفاده می‌شود، ولی تفسیر نتایج متفاوت و عکس تابع D است. مقدار این تابع در الگوی کپه‌ای و پراکنده به ترتیب کمتر و بیشتر از حالت تصادفی بوده و دامنه تغییرات آن از صفر

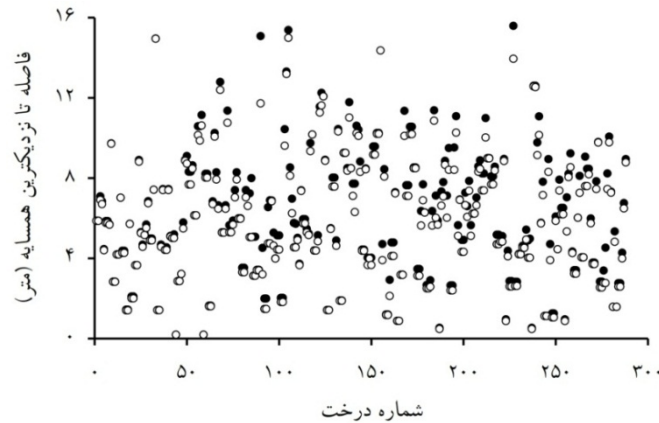


شکل ۳- پراکنش مکانی ۲۸۸ درخت کیکم (الف) روی دامنه شمالی (ب)

متر و با در نظر گرفتن شیب $۳/۶ (\pm ۱/۳)$ متر به دست آمد. همچنین، مقایسه فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در ۲۸۸

میانگین (\pm) انحراف معیار) فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش بدون در نظر گرفتن شیب $۵/۶ (\pm ۳)$

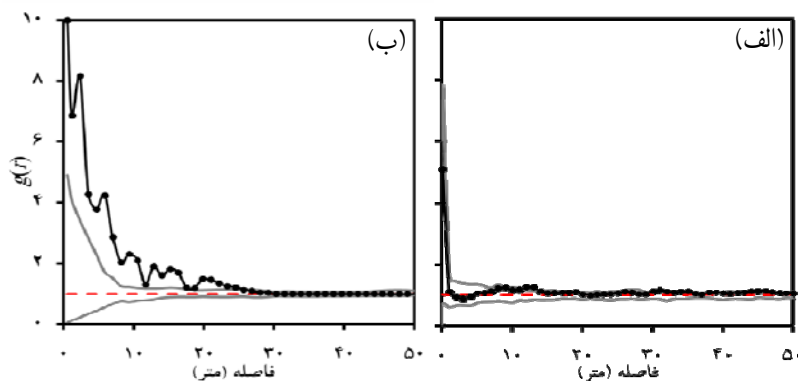
درخت نشان داد که در صورت در نظر گرفتن شیب
قطعه نمونه، درختی که به عنوان نزدیک ترین همسایه انتخاب
شد، متفاوت از حالتی بود که شیب در نظر گرفته نشد (شکل
۴).



شکل ۴- فاصله تا نزدیک ترین همسایه در هر درخت بدون در نظر گرفتن شیب (○) و با در نظر گرفتن شیب (●)

سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بود (شکل ۵- الف). در
حالی که الگوی مکانی واقعی درختان کیکم با در نظر گرفتن
توبوگرافی شناسایی شد و نتایج نشان داد که درختان کیکم
تا فاصله ۲۹ متر به طور معنی داری در سطح اطمینان ۹۵
درصد کپه ای بودند (شکل ۵- ب).

نتایج $g(r)$ نشان داد که در صورت در نظر نگرفتن شکل
زمین، الگوی مکانی درختان کیکم در قطعه نمونه مورد
مطالعه در همه مقیاس های مکانی از توزیع تصادفی پیروی
می کرد. اگرچه تابع در مقیاس ۴ تا ۱۹ متر الگوی کپه ای
درختان را نشان داد، اما تنها در فاصله ۱۱ تا ۱۳ متر در



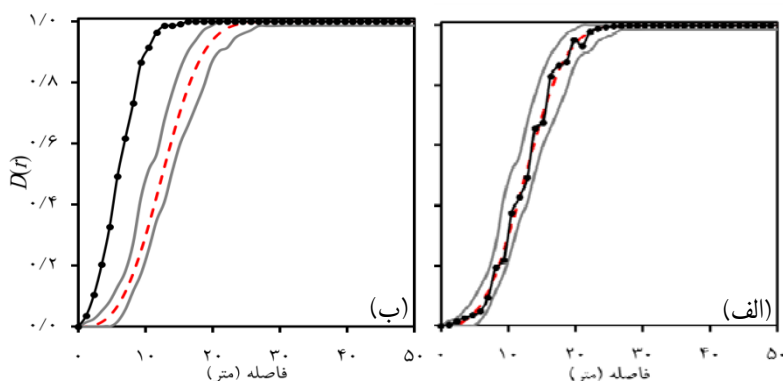
شکل ۵- الگوی مکانی درختان کیکم با استفاده از تابع همبستگی جفتی $g(r)$ بدون در نظر گرفتن شکل زمین (الف) و با در نظر گرفتن شکل زمین (ب) خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، محدوده خاکستری بازه شبیه سازی با ۱۹۹ بار تکرار و خط چین قرمز نشان دهنده حالت پیش فرض است.

الگوی مکانی تصادفی بود که این تصادفی بودن در همه
مقیاس های مورد بررسی معنی دار بود. همچنین، بیشترین

نتایج $D(r)$ تأیید کرد که توزیع تجمعی نزدیک ترین
همسایه تا هر درخت کیکم روی یک سطح مسطح مشابه با

داد که تا فاصله ۱۹/۸ متر، فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه مشابه الگوی مکانی کپه‌ای بود و بیشترین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه ۱۶/۳ متر بود (شکل ۶-ب).

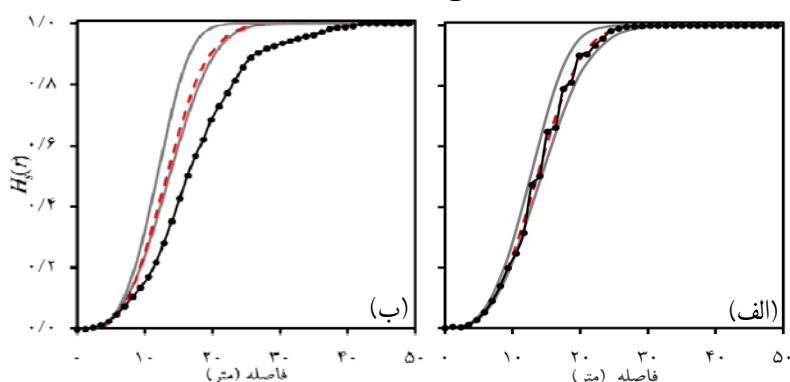
فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه ۲۶/۸ متر به دست آمد (شکل ۶-الف). تابع D با در نظر گرفتن شکل زمین نشان داد که توزیع تجمعی نزدیک‌ترین همسایه تا هر درخت کیکم به طور معنی‌داری با الگوی مکانی تصادفی متفاوت بود. نتایج نشان



شکل ۶- الگوی مکانی درختان کیکم با استفاده از تابع توزیع نزدیک‌ترین همسایه ($D(r)$) بدون در نظر گرفتن شکل زمین (الف) و با در نظر گرفتن شکل زمین (ب) (خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، محدوده خاکستری بازه شبیه‌سازی با ۱۹۹ بار تکرار و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است).

شیب‌دار نتایج کاملاً متفاوت بود. فضای خالی بین درختان کیکم به طور معنی‌داری متفاوت از الگوی مکانی تصادفی بوده و شبیه به الگوی مکانی کپه‌ای بود. فاصله‌ای که در آن فضای خالی بین درختان کیکم مشاهده نشد نیز ۴۰/۸ متر به دست آمد (شکل ۷-ب).

تابع H_s نیز نشان داد که فضای خالی بین درختان کیکم در سطح مسطح مشابه با فضای خالی بین درختان با الگوی مکانی تصادفی بود. در عین حال، در فاصله ۲۹/۱ متر فضای خالی بین درختان کیکم مشاهده نشد (شکل ۷-الف). اگرچه با در نظر گرفتن درختان کیکم روی سطح



شکل ۷- الگوی مکانی درختان کیکم با استفاده از تابع توزیع تماس کروی ($H_s(r)$) بدون در نظر گرفتن شکل زمین (الف) و با در نظر گرفتن شکل زمین (ب) (خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده، محدوده خاکستری بازه شبیه‌سازی با ۱۹۹ بار تکرار و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است).

بحث

آگاهی از نحوه پراکنش و الگوی مکانی درختان و فرآیندهای مؤثر بر آن‌ها در مدیریت و همچنین طرح‌های حفاظتی و احیایی ضروری است. بنابراین، تحلیل ناریب الگوی مکانی درختان با استفاده از روش‌های مناسب و کارآمد اجتناب‌ناپذیر است. اگرچه ارزیابی الگوی مکانی درختان در بوم‌سازگان‌های مختلف به سرعت رو به گسترش است، اما ارتباط این ویژگی ساختاری با عامل‌های محیطی (مانند توپوگرافی) به دلیل پیچیدگی‌های آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Law *et al.*, 2009; Murphy & McCarthy, 2012; Liu *et al.*, 2014; Punchi-Manage *et al.*, 2014). بنابراین، هدف اصلی این پژوهش معرفی و کاربرد آماره‌های اختصاری مناسب در تحلیل الگوی مکانی یکی از گونه‌های بومی مستقر بر دامنه‌های رشته کوه‌های زاگرس بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که الگوی مکانی درختان کیکم در قطعه‌نمونه مورد مطالعه به شکل کپه‌ای بود. این نتیجه‌گیری در راستای دستاوردهای مطالعات پیشین در مورد این گونه بود (Sohrabi, 2014; Pourbabaee *et al.*, 2015; Hoseini *et al.*, 2014). اگرچه (Hoseini, 2014) و Pilehvar و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کردند که بذر کیکم سبک بوده و توسط باد تا فاصله زیادی از درخت مادری منتقل شده و در منطقه پراکنده می‌شود، بنابراین باید انتظار الگوی مکانی پراکنده را برای این گونه داشت. البته همان‌طور که در مطالعات ذکر شده اشاره شد، پراکنش بذر یکی از عامل‌های مؤثر بر الگوی مکانی درختان است و در صورت قرار گرفتن بذر در یک محیط نامناسب، امکان تبدیل آن به یک گیاه جدید از بین می‌رود. بنابراین، با توجه به این موضوع و نتایج پژوهش Pourbabaee و همکاران (۲۰۱۴) می‌توان نتیجه گرفت که نسبت به سایر عامل‌ها، ویژگی‌های محیطی در ناحیه رویشی زاگرس نقش مؤثرتری در الگوی مکانی درختان کیکم ایفا می‌کنند. همچنین، باید اشاره کرد که به احتمال زیاد الگوی مکانی کپه‌ای درختان کیکم گزارش شده در نقاط مختلف ناحیه رویشی زاگرس

از جمله استان ایلام (Hoseini, 2012)، استان چهارمحال و بختیاری (Sohrabi, 2014)، استان فارس (Pourbabaee *et al.*, 2014) و استان لرستان (Pilehvar *et al.*, 2015) ناشی از تجمع پایه‌های این گونه در نقاطی با شرایط مساعدتر محیطی (حمایت درختان مادری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مناسب خاک) بوده است.

چنانچه نتایج نشان داد درنظر گرفتن توپوگرافی قطعه‌نمونه مورد مطالعه، امکان کشف الگوی مکانی درختان کیکم را فراهم کرد. یکی از دلایل اصلی مشاهده تفاوت بین نتایج آماره‌های اختصاری با و بدون درنظر گرفتن توپوگرافی این است که این موضوع بر انتخاب نزدیک‌ترین همسایه هر درخت کیکم و سپس نتیجه آماره‌های اختصاری تأثیر مستقیم دارد. به‌طور کلی، آماره‌های اختصاری تحلیل الگوی نقطه‌ای بر اساس فاصله عمل می‌کنند. بنابراین، در یک سطح مسطح، درختی که به‌عنوان نزدیک‌ترین همسایه انتخاب شده، فاصله تا آن از درخت انتخاب شده به‌عنوان نزدیک‌ترین همسایه روی یک سطح شیب‌دار متفاوت است. نتایج به‌وضوح نشان داد که فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه از هر ۲۸۸ درخت کیکم روی سطح شیب‌دار در قطعه‌نمونه مورد مطالعه در بسیاری از موارد با حالت مسطحاتی متفاوت بود (شکل ۴). همچنین، این تفاوت در نتایج در سایر آماره‌های اختصاری (شکل‌های ۵، ۶، ۷) نیز مشاهده شد. ناریبی نتایج به‌حدی بود که آماره‌های اختصاری متداول نتوانستند الگوی مکانی کپه‌ای درختان کیکم را شناسایی کنند. به‌عنوان مثال، تابع g نشان داد که در فاصله ۱۰ متری، تجمع سایر درختان کیکم در اطراف هر درخت کیکم $2/1$ برابر حالت تصادفی بود، اما با درنظر گرفتن توپوگرافی، تابع g این تجمع را $1/1$ برابر نشان داد (شکل ۵). با توجه به اینکه این نتیجه از سه آماره اختصاری با ساختار کاملاً متفاوت به‌دست آمد (Erfanifard & Kariminejad, 2015)، بنابراین می‌توان به این موضوع اطمینان داشت که درنظر نگرفتن تغییرات توپوگرافیک منجر به ارزیابی نتایج تحلیل الگوی مکانی درختان کیکم در قطعه‌نمونه مورد مطالعه می‌شود (Wiegand *et al.*, 2012).

اجتماعات گونه‌های مذکور فراهم آید.

References

- Basiri, R., Sohrabi, H. and Mozayen, M., 2006. A statistical analysis of the spatial pattern of trees species in Qamishaleh Marivan region, Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(3): 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).
- 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.
- Da Silva, K., Martins, S., Fortin, M., Ribeiro, M., Azevedo, C., Ribeiro, C. and Santos, N., 2014. Tree species community spatial structure in a *terra firme* Amazon forest, Brazil. *Bosque*, 35(3): 347-355.
- Erfanfard, Y. and Kariminejad, N., 2015. Efficiency of different summary statistics in modeling spatial point patterns of Christ's thorn jujube trees (*Ziziphus spina-christi* (L.) Wild.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 413-424 (In Persian).
- Fortin, M.J. and Dale, M.R.T., 2005. *Spatial Analysis, a Guide for Ecologists*. University of Cambridge Press, Cambridge, 365p.
- Gao, M., 2013. Detecting spatial aggregation from distance sampling: a probability distribution model of nearest neighbor distance. *Ecological Research*, 28: 397-405.
- Gelfand, A., Diggle, P., Fuentes, M. and Guttorp, P., 2010. *Handbook of Spatial Statistics*. CRC Press, New York, 607p.
- Hoseini, A., 2012. Spatial distribution of Montpellier maple and honeysuckle related to topography and stand form in Karzan forests, Ilam. *Iranian Journal of Natural Ecosystems*, 3(2): 27-37 (In Persian).
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H. and Stoyan, D., 2008. *Statistical analysis and modeling of*

اگرچه در پژوهش‌های گذشته بر تأثیر معنی‌دار توپوگرافی در الگوی مکانی درختان تأکید شده است (Meerveld & McDonnell, 2006; Lu *et al.*, 2009; Punchi-Manage *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2015)، اما بهره‌گیری از آماره‌های اختصاری که ویژه این موضوع طراحی شده‌اند، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

به‌طور کلی، دستاوردهای پژوهش پیش‌رو فرضیه تحقیق مبنی بر ضرورت توجه به تغییرات توپوگرافی در قطعه‌نمونه به‌منظور تحلیل الگوی مکانی درختان کیکم را تأیید کرد. نتایج نشان داد که الگوی مکانی کپه‌ای درختان کیکم با استفاده از آماره‌های اختصاری که توپوگرافی را در نظر نمی‌گیرند، شناسایی نشده و منجر به یک تحلیل اریب از الگوی مکانی شد. در حالی که استفاده از آماره‌های اختصاری مناسب توانست الگوی مکانی کپه‌ای این درختان را تشخیص دهد که این نتایج با استفاده از سه آماره اختصاری با ساختار متفاوت به‌دست آمد. این مطالعه با استفاده از آماره‌های اختصاری کمتر استفاده شده، ارزیابی ناریبی از الگوی مکانی درختان کیکم که روی سطوح شیب‌دار مستقر شده‌اند، ارائه کرد که از این جنبه، در مقایسه با پژوهش‌های پیشین دارای نوآوری است. همچنین، این مطالعه نشان داد که در صورت عدم استفاده از آماره‌های اختصاری مناسب، تحلیل نادرستی از الگوی مکانی درختان به‌دست می‌آید. از سوی دیگر، مقایسه نتایج با مطالعات پیشین نشان داد که الگوی مکانی کپه‌ای درختان کیکم در نقاط مختلف رویشگاه زاگرس احتمالاً به‌دلیل تجمع آن‌ها در بخش‌های مساعدتر محیط رخ داده است که تحقیقات آینده این موضوع را روشن‌تر خواهد ساخت. در نهایت، آگاهی از اهمیت در نظر گرفتن توپوگرافی هنگام تحلیل الگوی مکانی درختان کیکم از سویی و تحلیل نادرست الگوی مکانی این درختان بدون در نظر گرفتن وضعیت استقرار آن‌ها در منطقه مطالعاتی از سوی دیگر، انجام این مطالعه را در مورد سایر گونه‌های مهم ناحیه رویشی زاگرس که اغلب در اراضی تپه‌ماهوری و دامنه‌های رشته‌کوه زاگرس پراکنش دارند، ضروری کرده تا امکان درک صحیح‌تر از ساختار مکانی

- Adel, M., 2014. Autecology of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* subsp. *cinerascens*) in forests of Fars province. Iranian Journal of Plant Research, 27(3): 376-385 (In Persian).
- 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).
 - Punchi-Manage, R., Wiegand, T., Wiegand, K., Getzin, S., Gunatilleke, C. and Gunatilleke, U., 2014. Effect of spatial processes and topography on structuring species assemblages in a Sri Lankan dipterocarp forest. Ecology, 95(2): 376-386.
 - 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 Chahartaq forest reserve, Ardal. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(1): 27-38 (In Persian).
 - Wang, X., Wiegand, T., Wolf, A., Howe, R., Davies, S. and Hao, Z., 2011. Spatial pattern of tree species richness in two temperate forests. Ecology, 99: 1382-1393.
 - Wiegand, T., He, F. and Hubbell, S.P., 2012. A systematic comparison of summary characteristics for quantifying point patterns in ecology. Ecography, 35: 1-12.
 - Zhang, C., Zhao, Y., Zhao, X. and von Gadow, K., 2012. Species-habitat associations in a northern temperate forest in China. Silva Fennica, 46(4): 501-519.
 - Zhao, L., Xiang, W., Li, J., Lei, P., Deng, X., Fang, X. and Peng, C., 2015. Effects of topographic and soil factors on woody species assembly in a Chinese subtropical evergreen broadleaved forest. Forests, 6: 650-669.
 - spatial point patterns. John Wiley & Sons, London, 534p.
 - 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. Ecology, 97: 616-628.
 - Liu, Y., Li, F. and Jin, G., 2014. Spatial patterns and associations of four species in an old-growth temperate forest. Plant Interactions, 9(1): 745-753.
 - Lo, C.P. and Yeung, A.K.W., 2007. Concepts and techniques in geographic information systems. Prentice-Hall Inc., New York, 532p.
 - Lu, Z., Ding, B., Mi, X., Yu, J. and Wu, Y., 2009. Distribution patterns of tree species in an evergreen broadleaved forest in eastern China. Frontiers of Biology in China, 4(4): 531-538.
 - Meerveld, H. and McDonnell, J., 2006. On the interrelations between topography, soil depth, soil moisture, transpiration rates and species distribution at the hillslope scale. Advances in Water Resources, 29: 293-310.
 - Murphy, S. and McCarthy, B., 2012. Evidence for topographic control of tree spatial patterning in old-growth, mixed mesophytic forest in southeastern Ohio, USA. Journal of the Torrey Botanical Society, 139(2): 181-193.
 - 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. Vegetation Science, 27: 318-327.
 - Perry, G.L.W., Enright, N.J., Miller B.P. and Lamont, B.B., 2009. Nearest-neighbor interactions in species-rich shrublands: The roles of abundance, spatial patterns and resources. Oikos, 118(2): 161-174.
 - Pilehvar, B., Mirazadi, Z., Alijani, V. and Jafari Sarabi, H., 2015. Investigation of hawthorn and maple stand structure of Zagros forest using nearest neighbour indices. Iranian Journal of Zagros Forest Researches, 1(2): 1-14 (In Persian).
 - Pourbabaie, H., Babaeian, M., Bonyad, A. and

Spatial pattern analysis of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.) on steep slopes in Zagros (Case study: Firoozabad, Fars province)

A. Alipour¹ and Y. Erfanifard^{2*}

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

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

Received: 23.01.2017

Accepted: 26.02.2017

Abstract

Topography is recognized as one of the effective drivers in spatial pattern of trees scattered on steep slopes. Topography influences spatial distribution of trees by changes in light availability, soil moisture and microclimate. This study was aimed to analyze spatial pattern of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.) located on steep slopes in Zagros vegetation zone. For this purpose, a 200 m × 200 m plot was selected in Montpellier maple site close to Firoozabad, Fars province, with the minimum and maximum altitude of 1470 and 1540 meter above sea level, respectively. The spatial location of 288 maple trees with dbh ≥ 5 cm were registered by Leica TS06. Spatial pattern of trees was then investigated by structurally different summary statistics (pair correlation function, nearest neighbour distribution function, spherical contact distribution function). Spatial pattern analysis of the trees regardless of slope caused biased results. While the spatial pattern of maple trees in the study plot with slope of 35% was significantly clumped up to 29 m distance and the largest distance to nearest neighbour was 16.3 m. The largest empty space among the trees was observed at 40.8 m spatial scale. In general, it was concluded that spatial pattern analysis of Montpellier maples scattered on steep slopes should be investigated by summary statistics that consider distances among trees on slope instead of their distances on plain surface.

Keywords: Clump, pair correlation function, summary statistics, topography.