



دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره نهم، شماره هجدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

علمی-پژوهشی

ارزیابی روش‌های فاصله‌ای بر آورد تراکم گونه *Astragalus albispinus* Sirj & Bornm

در شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش

حمید جمالی^۱، الهام قهساره اردستانی^{۲*}، عطاالله ابراهیمی^۳، فاطمه پردل^۱

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مرتع‌داری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۲ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۳ دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

چکیده

روش‌های کمی تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی، اساس توصیف و تحلیل جوامع گیاهی بشمار می‌روند و تراکم به عنوان یکی از مشخصه‌های اصلی برای ارزیابی عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی (اثرات کوتاه و بلندمدت) و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی نقش مهمی را ایفا می‌کند. بدین منظور کارایی روش‌های فاصله‌ای تراکم گیاهی در شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش با کاربرد جمعیت شبیه‌سازی شده بر پایه تراکم واقعی (روش شاهد) گونه *Astragalus albispinus* Sirj & Bornm در منطقه نیمه‌خشک مراتع مرجن، استان چهارمحال و بختیاری مورد مطالعه قرار گرفت. طرح‌های شبیه‌سازی در هشت محدوده ۴۰×۱۰۰ متری در سه شدت تراکم با سه الگوی پراکنش طراحی شد. صحت و دقت پیش‌بینی هفت روش فاصله‌ای تراکم گیاهی با مقایسه مقادیر پیش‌بینی این روش‌ها با روش شاهد و استفاده از شاخص خطای نقطه ایده‌آل مورد بررسی قرار گرفتند. به طور کلی نتایج نشان داد که روش زاویه منظم در الگوی پراکنش یکنواخت در شدت تراکم پایین، روش یک چهارم نقطه مرکزی در الگوی پراکنش تصادفی در شدت تراکم پایین و روش نزدیک‌ترین به سومین فرد در سایر انواع الگوهای پراکنش و شدت تراکم‌های مختلف، بهترین روش‌های برآورد فاصله‌ای تراکم برای گونه گیاهی *A. albispinus* هستند. به طور کلی در انتخاب مناسب‌ترین روش فاصله‌ای برآورد تراکم، نوع الگوی پراکنش و در برخی موارد شدت تراکم گونه‌های گیاهی باید در نظر گرفته شود که

*نویسنده مسئول: elham.ghesareh@nres.sku.ac.ir

بتوان به یک برآورد بدون ارباب از تراکم جمعیت گیاهی دست یافت، بر این اساس می توان رویشگاه های مختلف این گونه گیاهی را از نظر مدیریت و بهره برداری مورد پایش و ارزیابی قرار داد.

واژه های کلیدی: پوشش گیاهی، روش های فاصله ای برآورد تراکم، الگوی پراکنش، شبیه سازی، شاخص خطای نقطه ایده آل

مقدمه

اندازه گیری نسبتا صحیح و دقیق خصوصیات پوشش گیاهی از جمله تراکم، بخش اساسی علم بوم شناسی و مدیریت پوشش گیاهی را در بر می گیرد. تراکم گیاهی، در حقیقت تعداد پایه های گیاه در واحد سطح است (Silva et al., 2017) که اغلب برای توصیف وضعیت گونه های یک جامعه گیاهی، پایش تغییرات در یک گونه در طولانی مدت، ارزیابی تجدید حیات گونه های گیاهی، اثر مدیریت مرتع (Mulyana et al., 2018; Jamali et al., 2020) و توصیف و تحلیل ویژگی های جوامع بوته ای مورد استفاده قرار می گیرد (Hijbeek et al., 2013). به منظور برآورد تراکم، روش های اندازه گیری تراکم به دو گروه بر اساس سطح (پلات) و بدون سطح یا فاصله ای (بدون پلات) تقسیم بندی می شوند (Dobrowski and Murphy, 2006; Zhu and Zhang, 2009). مزایای استفاده از روش های فاصله ای به جای روش های مینی بر سطح این است که محدودیت های روش های مینی بر سطح همچون اندازه، شکل پلات و خطای حاشیه ای را ندارد، به کمترین تجهیزات و نیروی انسانی نیاز داشته و به سادگی و راحتی و با ذخیره نمودن زمان، سریع انجام می شوند (Mitchell, 2007; Krebs, 2014). روش های فاصله ای اغلب برای اندازه گیری تراکم بوته ها و درخت ها یا به منظور تعیین غالبیت و فراوانی جوامع گیاهی استفاده می شوند (Cottam and Curtis, 1956; Bonham, 2013). پس سوالی که مطرح می شود این است که آیا روش های فاصله ای از دقت و صحت بالایی نسبت به روش های مینی بر سطح برخوردار هستند.

مسئله دیگری که در مورد استفاده از روش های اندازه گیری تراکم گیاهی مطرح است این است که الگوهای پراکنش گیاهی ممکن است بر روش های نمونه برداری اثر بگذارند (بارانیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ ۱۳۹۳). آگاهی از الگوی پراکنش مکانی گونه های گیاهی در هر منطقه، از مقدمات و ضرورت اندازه گیری خصوصیات کمی پوشش گیاهی به خصوص تراکم، به منظور تعیین روش های مناسب آمار برداری است. در واقع الگوی پراکنش گیاهان به معنای آرایش فضایی و چگونگی قرار گرفتن پایه های یک گونه یا گونه های مختلف نسبت به هم در یک منطقه است (حسین پور و همکاران، ۱۳۹۶؛ پیرمحمدی و مهدوی، ۱۳۹۸) که می تواند در یکی از سه الگوی پایه یکنواخت، تصادفی یا کپه ای توزیع شده باشد (جهانتاب و همکاران، ۱۳۹۱؛ Ghaderi et al., 2018).

اغلب تئوری‌های مرتبط با روش‌های اندازه‌گیری فاصله‌ای تراکم، الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی را به صورت تصادفی در نظر گرفته‌اند (Elzinga et al., 1998; Ghaderi et al., 2018). برخی از روش‌های فاصله‌ای زمانی که الگوی پراکنش تصادفی نباشد، حساس به اربب ناشی از پراکنش هستند مانند روش‌های نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، زوج‌های تصادفی و یک چهارم نقطه مرکزی، با این حال برخی دیگر از روش‌ها به الگوی پراکنش حساس نیستند (Engeman et al., 1994).

مطالعات روی روش‌های فاصله‌ای تراکم در الگوهای پراکنش مختلف با استفاده از شبیه‌ساز مونت کارلو (Monte Carlo) نشان داد که روش‌های زاویه منظم و ترانسکت متغیر در الگوهای پراکنش مختلف به خوبی تراکم را برآورد می‌کنند (Engeman et al., 1994; Engeman and Sugihara, 1998). همچنین وایت و همکاران (White et al., 2008) به مقایسه روش‌های فاصله‌ای تراکم با استفاده از شبیه‌ساز مونت کارلو بر روی مجموعه داده‌های شمارش شده‌ی عرصه‌ای پرداختند و نتیجه گرفتند که ترکیبی از سه روش فاصله‌ای نسبت به تراکم واقعی گونه مورد مطالعه، ارببی ندارد و دریافتند که در کل الگوهای پراکنش، این ترکیب از سه روش فاصله‌ای، قدرتمند است. در مطالعه‌ای دیگر کارایی و دقت روش ترانسکت متغیر در مقابل روش پلات‌های سطحی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش ترانسکت متغیر کارایی بالاتری نسبت به روش پلات‌های سطحی دارد (Nath et al., 2010). هیجیک و همکاران (Hijbeek et al., 2013) دقت روش‌های فاصله‌ای تراکم را در شش الگوی پراکنش با استفاده از نرم افزار متلب (Matlab) برای درختان جنگلی مانگرو بررسی نمودند و اظهار نمودند که تراکم واقعی زمانی که الگوی پراکنش تصادفی است، برآورد شده است.

جمعیت‌های طبیعی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به ندرت از یک نوع الگوی پراکنش تشکیل شده‌اند. در عوض، جمعیت‌های طبیعی تمایل به داشتن ترکیبی از انواع الگوهای پراکنش در سطوح مختلف شدت تراکم دارند و همچنین، به ندرت انواع الگوهای پراکنش از یک گونه در یک مکان قابل مشاهده است. بنابراین ارزیابی کدام‌یک از روش‌های فاصله‌ای تراکم برای جمعیت طبیعی از نظر خطا و اربب مناسب است، نیاز به بررسی کامل شمارش پایه‌های گیاهی در جمعیت‌های طبیعی دارد. از این رو برای انجام این کار، ایده‌آل است که از شبیه‌سازی کامپیوتری مناسب استفاده شود (White et al., 2008). علاوه‌براین، این سوال مطرح است که آیا تفاوت معنی‌داری بین روش‌های فاصله‌ای تراکم در برآورد تراکم در شدت‌های تراکم مختلف با انواع الگوهای پراکنش وجود دارد یا خیر؟ آیا یک روش فاصله‌ای تراکم ایده‌آل در انواع الگوهای پراکنش با شدت تراکم‌های مختلف به منظور برآورد تراکم وجود دارد؟ هدف اصلی این مطالعه انتخاب صحیح‌ترین و دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری تراکم برای جمعیت‌هایی با شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش با کاربرد مجموعه داده‌های شبیه‌سازی است. پژوهش حاضر، هفت روش فاصله‌ای تراکم را در مجموعه داده‌های

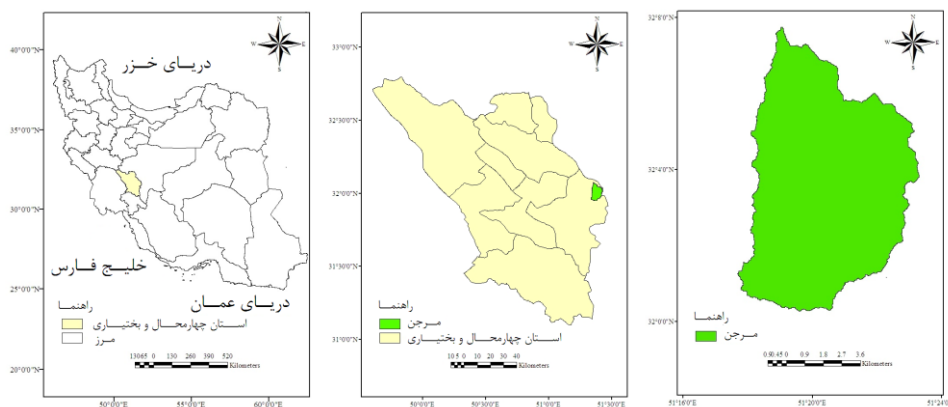
شبیه‌سازی شده در سه شدت تراکم با سه الگوی پراکنش با استفاده از تراکم واقعی اندازه‌گیری شده جمعیت گونه *Astragalus albispinus* در عرصه، مقایسه می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مکان مرتعی مرجن، شهرستان بروجن، استان چهارمحال و بختیاری ($51^{\circ}17'30''$ تا $51^{\circ}32'30''$ طول شرقی و $32^{\circ}00'00''$ تا $32^{\circ}60'30''$ عرض شمالی) انتخاب شده است. این مکان در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال شهر بروجن با ارتفاع متوسط ۲۲۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه این منطقه ۲۵۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. این مکان مرتعی دارای آب و هوای معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک (تقسیم‌بندی کوپن) است. مساحت این منطقه تقریباً ۵۶۹۴ هکتار است و در ناحیه استپی کشور واقع شده است (شکل ۱) (پردل و همکاران، ۱۳۹۶).

نمونه‌برداری عرصه‌ای تراکم: به منظور ارزیابی کارایی روش‌های فاصله‌ای تراکم، مقادیر واقعی تراکم گیاهی مشاهده شده در عرصه (نه صرفاً مقادیر شبیه‌سازی) ضروری است، زیرا هدف نهایی از بررسی این روش‌ها ارائه تراکم واقعی جمعیت است. بنابراین مطالعه حاضر در ابتدا به بررسی تراکم واقعی جمعیت گیاهی *Astragalus albispinus* در منطقه مورد مطالعه پرداخته است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان چهارمحال و بختیاری و شهرستان بروجن و مراتع مرجن

باید توجه داشت که این گونه یک گیاه ارزشمند چندساله از خانواده لگوم، بومی و بوته‌ای کوچک خاردار با شاخه‌های متعدد و متراکم است. این گیاه صمغ کتیرایی تولید می‌کند که یک نوع صمغ طبیعی است که در بسیاری از صنایع دارویی و لوازم آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار گرفته است. این گونه در ارمنستان، ترکیه، افغانستان و ایران پراکنش دارد. باید به این نکته اشاره نمود که کشور ایران بیش از ۵۰٪ صمغ کتیرایی دنیا را تولید می‌کند. از طرفی این گونه به دلیل فرسایش زمین و بهره‌برداری بیش از حد در دهه‌های اخیر به طور قابل توجهی در حال کاهش است، بنابراین پایش و مدیریت این گونه ارزشمند از نقطه نظر مدیریتی ضروری است (Maassoumi, 2000).

در ابتدا، یک مکان مطالعاتی ۳۲۰۰۰ مترمربعی که از لحاظ خصوصیات فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و خاک یکسان بود در مراتع مرجن شهرستان بروجن انتخاب شد و به ۸ قطعه مساوی ۴۰۰۰ مترمربعی (۱۰۰×۴۰ متر) برای برآورد تراکم واقعی *A. albispinus* تقسیم شد. تمام پایه‌های این گونه در هر قطعه در تابستان سال ۱۳۹۷ به طور کامل شمارش و به عنوان تراکم واقعی یا روش شاهد، همچون اطلاعات پایه‌ای برای مرحله شبیه‌سازی در نظر گرفته شد.

مطالعه شبیه‌سازی: برای آزمون کارایی هر روش فاصله‌ای پیش‌بینی برآورد تراکم در شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش، مدل‌های شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های عرصه‌ای برآورد تراکم این گونه تولید شدند. برای انجام این کار، مدل‌هایی با سه شدت تراکم شامل تراکم‌های پایین، متوسط (تراکم واقعی) و بالا و سه الگوی پراکنش شامل یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای در هشت قطعه ۱۰۰×۴۰ متری با استفاده از نرم افزار استوچاستیک ژئومتریک (Stochastic Geometry) شبیه‌سازی شد. مدل‌های شبیه‌سازی شده وارد نرم افزار آرک جی‌ای‌اس (ArcGIS) شد. سپس، ترانسکتی به طول ۱۰۰ متر در وسط عرض و به موازات طول قطعه قرار داده شد. بعد از آن ۱۰ نقطه نمونه‌برداری در امتداد ترانسکت به صورت تصادفی-سیستماتیک به فاصله در حدود ۱۰ متر از هم تعبیه شد. هفت روش فاصله‌ای تراکم در هر مدل شبیه‌سازی که شامل روش‌های نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم و ترانسکت متغیر، برای ارزیابی کارایی مدل‌های شبیه‌سازی شده در سه شدت تراکم (پایین، متوسط و بالا) با سه الگوی پراکنش (یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای) به کار برده شد. فرمول محاسباتی هفت روش‌های فاصله‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است.

روش‌های نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی و ترانسکت متغیر، فاصله نقطه تصادفی تا گیاه و روش‌های نزدیک‌ترین همسایه و زوج‌های تصادفی فاصله دو پایه گیاهی از هم را در نظر می‌گیرند (Elzinga et al., 1998). در مطالعه حاضر برای ارزیابی توانایی هر روش از

شاخص خطای نقطه ایده‌آل (IPE=Ideal Point Error) و مقایسه هر روش با روش شاهد (تراکم واقعی) استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی مقایسه روش‌های مختلف برآورد تراکم در انواع الگوهای پراکنش با شدت تراکم‌های مختلف از آزمون یک طرفه واریانس (ANOVA) و همچنین از آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد. همه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار آماری اسپاس (IBM SPSS نسخه ۲۵) و اکسل (Excel ۲۰۱۳) انجام شد.

شاخص خطای نقطه ایده‌آل (IPE): دقت پیش‌بینی شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش برای هر یک از روش‌های فاصله‌ای تراکم با استفاده از شاخص خطای نقطه ایده‌آل مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص خطای نقطه ایده‌آل بر اساس تشخیص نقطه ایده‌آل در چهار بعد فضایی (جذر میانگین مربعات خطا: RMSE= Root Mean Squared Error، میانگین خطای مطلق: Mean MARE=Absolute Relative Error، میانگین اریب: MB= Mean Bias و ضریب همبستگی: R= correlation coefficient) است که برای هر مدل محاسبه شده است (جدول ۱). زمانی مختصات نقطه، ایده‌آل است که جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق، میانگین اریب و ضریب همبستگی به ترتیب صفر، صفر، صفر و یک باشد (Elshorbagy et al., 2010).

جدول ۱- فرمول محاسباتی هفت روش فاصله‌ای تراکم و شاخص خطای نقطه‌ای

| روش | رابطه | نام روش | فرمول | توضیحات |
|------------------------|-------|-------------------------|---|---|
| روش‌های فاصله‌ای تراکم | ۱ | نزدیک‌ترین فرد | $D = \frac{n}{\pi \sum (r_i)^2}$ | $D =$ تراکم، $n =$ تعداد نمونه، $\pi = 3/14$ ، $r_i =$ فاصله نقطه تصادفی از نزدیک‌ترین گیاه، $x_i =$ فاصله گیاه |
| | ۲ | نزدیک‌ترین همسایه | $D = \frac{n}{\pi \sum (x_i)^2}$ | تصادفی λ م تا نزدیک‌ترین گیاه همسایه، $d =$ میانگین فواصل اندازه‌گیری شده نزدیک‌ترین گیاه در رو به روی شخص تا نزدیک‌ترین گیاه در پشت سر شخص، $R_i =$ فاصله نقطه تصادفی تا نزدیک‌ترین به سومین گیاه، $r_{ij} =$ میانگین فواصل اندازه‌گیری شده (فاصله نزدیک‌ترین فرد تا نقطه مرکزی در هر ربع)، $d_i =$ میانگین فواصل اندازه‌گیری شده (فاصله نزدیک‌ترین به سومین فرد تا نقطه مرکزی در هر ربع)، $w =$ پهنای ترانسکت، $r_j =$ سومین گیاه نزدیک به نقطه تصادفی در پهنای ترانسکت در نظر گرفته شده است (Byth and Ripley, 1980). |
| | ۳ | نزدیک‌ترین به سومین فرد | $D = 3n - \frac{1}{\pi \sum (R_i)^2}$ | |
| | ۴ | زوج‌های تصادفی | $D = \frac{A}{(0.8d)^2}$ | |
| | ۵ | یک چهارم نقطه مرکزی | $D = \frac{4(4n-1)}{\pi \sum (r_{ij})^2}$ | |
| | ۶ | زاویه منظم | $D = \frac{A}{(d_i)^2}$ | |
| | ۷ | ترانسکت متغیر | $D = \frac{(3n-1)}{w \sum r_i}$ | |
| شاخص خطای نقطه‌ای | ۸ | خطای نقطه ایده‌آل | $IPE_{ij} = \left[0.25 \left[\frac{(RMSE_{ij} - 0.0)^2}{\max RMSE_{ij}} + \frac{(MARE_{ij} - 0.0)^2}{\max MARE_{ij}} + \frac{(MB_{ij} - 0.0)^2}{\max MB_{ij} } + \frac{(R_{ij} - 1.0)^2}{\frac{1}{\max R_{ij}}} \right] \right]^{\frac{1}{2}}$ | i : شدت تراکم پایین، متوسط و بالا و j : الگوهای پراکنش شامل یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای در هر یک از روش‌های برآورد تراکم اشاره دارد. |
| | ۹ | جذر میانگین مربعات خطا | $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}}$ | N : تعداد نمونه ارائه شده برای مدل (تکرارها)، O_i و P_i : تراکم فاصله‌ای برآورد شده و تراکم واقعی هستند، \bar{O} و \bar{P} : میانگین تراکم فاصله‌ای برآورد شده و تراکم واقعی هستند (Elshorbagy et al., 2010). |
| | ۱۰ | میانگین خطای مطلق | $MARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left \frac{O_i - P_i}{O_i} \right $ | |
| | ۱۱ | میانگین اریب | $MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)$ | |
| | ۱۲ | ضریب همبستگی | $R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}}$ | |

به عبارت دیگر، شاخص خطای نقطه ایده‌آل میزان دور بودن مدل از نقطه ایده‌آل را ارزیابی می‌کند. دامنه مقدار شاخص خطای نقطه ایده‌آل بین صفر (مدل خوب) و یک (مدل ضعیف) است (Elshorbagy et al., 2010).

نتایج

نتایج مطالعه شبیه‌سازی در سه شدت تراکم (پایین، متوسط: واقعی و بالا) با سه نوع الگوی پراکنش (کپه‌ای، تصادفی و یکنواخت) برای هر روش فاصله‌ای، پیش‌بینی تراکم گونه *A. albispinus* در شکل ۲ نشان داده شده است. میانگین مقادیر تراکم پیش‌بینی شده از مقدار کم به زیاد به ترتیب در الگوهای پراکنش کپه‌ای، تصادفی و یکنواخت متغیر است. با این حال، نزدیک‌ترین مقدار پیش‌بینی تراکم به روش شاهد (تراکم واقعی) متعلق به الگوی پراکنش تصادفی است (شکل ۲-الف، ب، ج).

پیش‌بینی برآورد تراکم در شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش: نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین تراکم‌های پیش‌بینی شده با انواع الگوهای پراکنش در شدت تراکم پایین گونه *A. albispinus* در هشت قطعه شبیه‌سازی شده 100×40 متری اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0/05$). بنابراین، آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار نشان داد که الگوی پراکنش یکنواخت با الگوی پراکنش کپه‌ای دارای اختلاف معنی‌دار هستند ولی هر یک از آن‌ها با الگوی پراکنش تصادفی فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (شکل ۲-الف، حروف بزرگ). با توجه به نتایج آزمون تجزیه واریانس، برآورد تراکم‌های پیش‌بینی شده با استفاده از روش‌های مختلف فاصله‌ای، در داخل و بین انواع الگوهای پراکنش در شدت تراکم پایین، دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0/05$)، مقایسه روش‌های برآورد تراکم در هر یک از الگوهای پراکنش و بین آن‌ها صورت گرفته است.

نتایج مقایسه میانگین‌های روش‌های مختلف برآورد تراکم نشان داد که همه روش‌های پیش‌بینی تراکم در الگوی پراکنش یکنواخت و تصادفی و روش نزدیک‌ترین به سومین فرد فقط در الگوی پراکنش کپه‌ای با روش شاهد (تراکم واقعی) فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (مقایسه روش‌های پیش‌بینی تراکم با روش شاهد، "صحت" در نظر گرفته شده است) (شکل ۲-الف، حروف کوچک). همه روش‌های پیش‌بینی برآورد تراکم در بین انواع الگوهای پراکنش در شدت تراکم پایین دارای اختلاف معنی‌دار هستند. بنابراین نمی‌توان یک روش واحدی را برای هر سه الگوی پراکنش در این شدت تراکم پیشنهاد نمود (شکل ۲-الف، حروف کوچک). روش‌های زوایه منظم و نزدیک‌ترین به سومین فرد در الگوی پراکنش یکنواخت، روش‌های یک چهارم نقطه مرکزی و نزدیک‌ترین به سومین فرد در الگوی پراکنش تصادفی و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و نزدیک‌ترین فرد در الگوی پراکنش کپه‌ای حداقل فاصله را با روش شاهد در شدت تراکم پایین (برآورد کم و بیش از حد نسبت به تراکم واقعی) داشتند (شکل ۲-الف).

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین تراکم‌های پیش‌بینی شده در سه الگوی پراکنش یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای در شدت تراکم متوسط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$) (شکل ۲-ب، حروف بزرگ). به هر حال، نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که روش‌های مختلف پیش‌بینی برآورد تراکم گونه *A. albispinus* در داخل و بین انواع الگوهای پراکنش در شدت تراکم متوسط، دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0/05$) (شکل ۲-ب، مقایسه روش‌های برآورد تراکم در هر یک از الگوهای پراکنش و بین آن‌ها صورت گرفته است). همه روش‌های پیش‌بینی برآورد تراکم فاقد اختلاف معنی‌داری با مقادیر روش شاهد (تراکم واقعی) به جزء روش نزدیک‌ترین فرد در الگوی پراکنش یکنواخت، روش نزدیک‌ترین همسایه در الگوی پراکنش تصادفی و روش‌های نزدیک‌ترین همسایه و زوج‌های تصادفی در الگوی پراکنش کپه‌ای در شدت تراکم متوسط هستند (صحت) (شکل ۲-ب، حروف کوچک). به هر حال، نتایج آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار نشان داد که روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم و ترانسکت متغیر تفاوت معنی‌داری در پیش‌بینی تراکم گونه *A. albispinus* در بین انواع الگوهای پراکنش نشان ندادند ولی روش‌های نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه و زوج‌های تصادفی تفاوت معنی‌داری در بین انواع الگوهای پراکنش در شدت تراکم متوسط نشان دادند (شکل ۲-ب، حروف کوچک). روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و زاویه منظم در الگوهای پراکنش یکنواخت و کپه‌ای و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و یک چهارم نقطه مرکزی در الگوی پراکنش تصادفی حداقل فاصله را با روش شاهد (تراکم واقعی) در شدت تراکم متوسط نشان دادند (شکل ۲-ب).

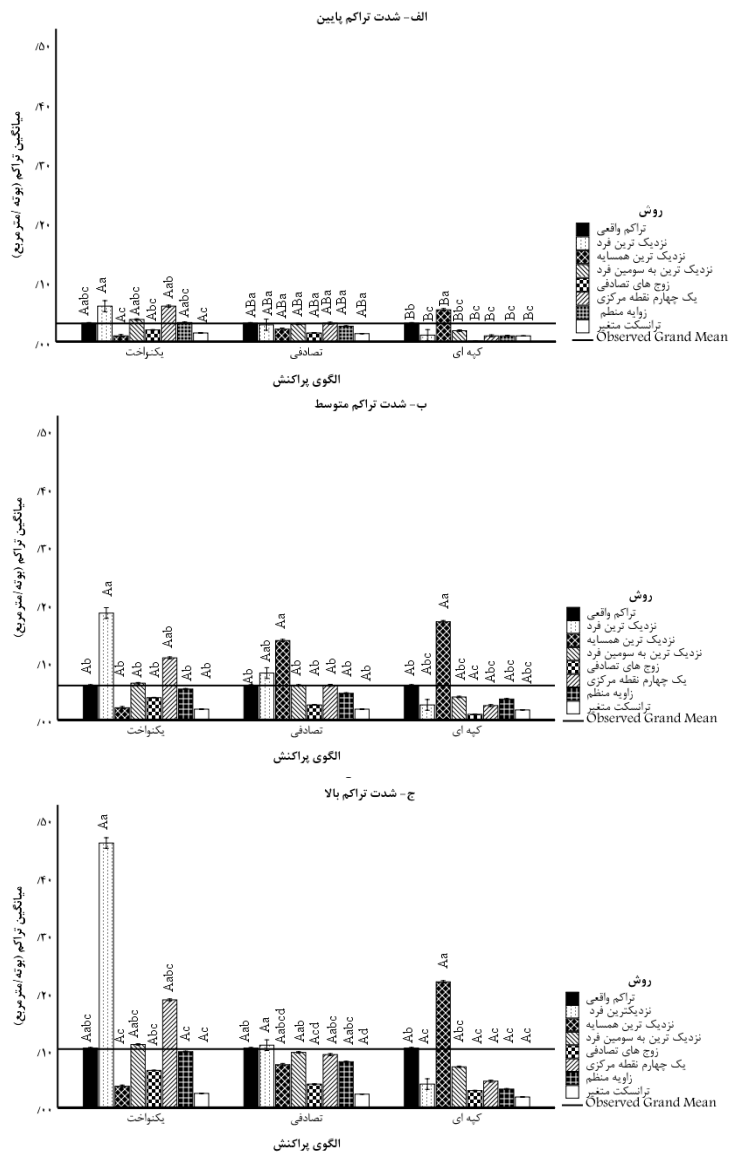
نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تراکم‌های پیش‌بینی شده در سه الگوی پراکنش (یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای) در شدت تراکم بالا مشاهده نشد ($P > 0/05$) (شکل ۲-ج، حروف بزرگ). به هر حال، نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که روش‌های پیش‌بینی برآورد تراکم، در داخل و بین الگوهای پراکنش در شدت تراکم بالای گونه *A. albispinus* دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0/05$) (شکل ۲-ج، حروف کوچک). علاوه بر این، نتایج آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار نشان داد که همه روش‌های برآورد تراکم با مقادیر روش شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار در شدت تراکم بالا هستند به جز روش‌های زوج‌های تصادفی و ترانسکت متغیر در الگوی پراکنش تصادفی و روش‌های نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر در الگوی پراکنش کپه‌ای (صحت) (شکل ۲-ج، حروف کوچک). روش‌های برآورد تراکم نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی و زاویه منظم در شدت تراکم بالا در بین هر سه الگوی پراکنش فاقد اختلاف معنی‌دار هستند ولی روش‌های نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه و ترانسکت متغیر در بین انواع الگوهای پراکنش دارای اختلاف معنی‌دار هستند (شکل ۲-ج، حروف کوچک). روش‌های زاویه منظم و نزدیک‌ترین به سومین فرد در الگوی پراکنش یکنواخت، روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و نزدیک‌ترین فرد در الگوی

پراکنش تصادفی و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و یک چهارم نقطه مرکزی در الگوی پراکنش کپه‌ای حداقل فاصله را با مقادیر روش شاهد (برآورد کمتر یا بیشتر از تراکم واقعی) در شدت تراکم بالا داشتند (شکل ۲-ج).

در الگوی پراکنش یکنواخت، حداقل اریب از روش‌های شاهد در روش‌های زاویه منظم و نزدیک‌ترین به سومین فرد در شدت تراکم پایین و بالا و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و روش زاویه منظم در شدت تراکم متوسط به ترتیب مشاهده شد (شکل ۲-الف، ب، ج، الگوی پراکنش یکنواخت).

روش‌های یک چهارم مرکزی و نزدیک‌ترین به سومین فرد در شدت تراکم پایین و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و یک چهارم نقطه مرکزی در شدت تراکم متوسط و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و نزدیک‌ترین فرد در شدت تراکم بالا حداقل فاصله پیش‌بینی برآورد تراکم را از روش‌های شاهد در الگوی پراکنش تصادفی نشان دادند (شکل ۲-الف، ب، ج، الگوی پراکنش تصادفی).

پیش‌بینی برآورد تراکم در الگوی پراکنش کپه‌ای با روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و نزدیک‌ترین فرد در شدت تراکم‌های پایین، روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و زاویه منظم در شدت تراکم متوسط و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی در شدت تراکم بالا حداقل اختلاف از روش‌های شاهد داشتند (شکل ۲-الف، ب، ج، الگوی پراکنش کپه‌ای).



شکل ۲- برآورد تراکم گونه *Astragalus albispinus* با استفاده از روش های برآورد تراکم در سه شدت تراکم با سه الگوی پراکنش (حرف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین الگوهای پراکنش و حرف کوچک نشان دهنده اختلاف بین روش های مختلف برآورد تراکم است). نوار خطی براساس خطای استاندارد ترسیم شده است)

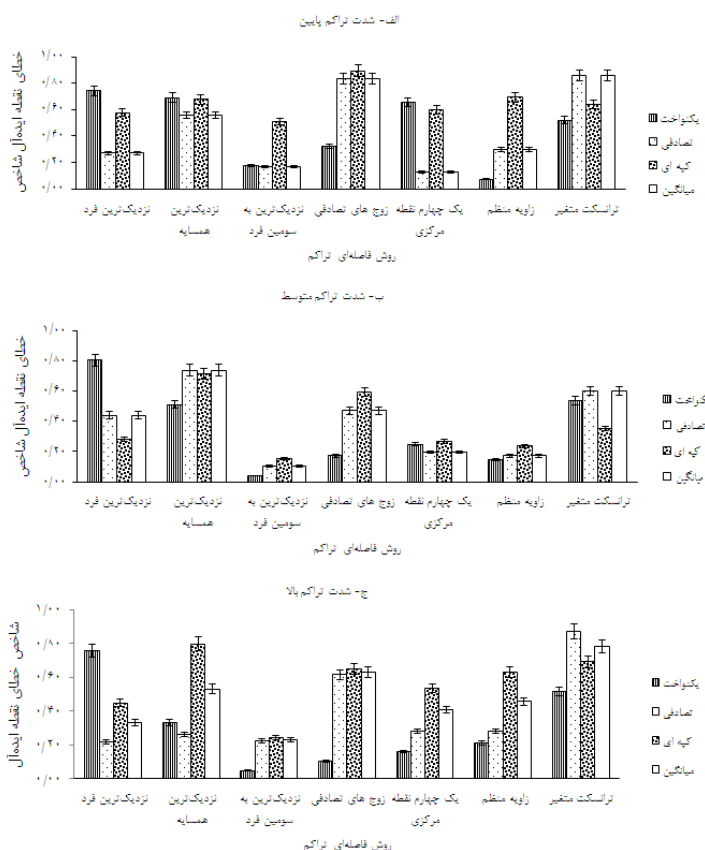
شاخص‌های خطای نقطه ایده‌آل در شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش (دقت): در این قسمت نتایج شاخص‌های خطای نقطه ایده‌آل (درب‌گیرنده شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق، میانگین اریب و ضریب همبستگی است) حاصل از روش‌های برآورد تراکم در شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای مقایسه شده‌اند (شکل‌های ۳، ۴).

روش‌های برآورد تراکم زاویه منظم (۰/۰۷۲)، نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۷۶) و زوج‌های تصادفی (۰/۳۲۳) در الگوی پراکنش یکنواخت، روش‌های یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۲۹)، نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۷۱) و نزدیک‌ترین فرد (۰/۲۷۳) در الگوی پراکنش تصادفی و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۵۰۸)، نزدیک‌ترین فرد (۰/۵۷۶) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۵۹۹) در الگوی پراکنش کپه‌ای به ترتیب از حداقل ارزش شاخص خطای نقطه ایده‌آل (دقت) در شدت تراکم پایین برخوردار هستند. روش‌های یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۲۹)، نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۷۱)، نزدیک‌ترین فرد (۰/۲۷۳) و زاویه منظم (۰/۳۰۰) در شدت تراکم پایین دارای حداقل میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل هستند (شکل ۳-الف).

حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل به ترتیب در روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۰۴۰) و زاویه منظم (۰/۱۴۷) و زوج‌های تصادفی (۰/۱۷۱) در الگوهای پراکنش یکنواخت، روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۰۴ و ۰/۱۵۲)، زاویه منظم (۰/۱۷۱ و ۰/۲۳۷) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۹۵ و ۰/۲۶۹) در الگوی پراکنش تصادفی و کپه‌ای متعلق است. همچنین میانگین حداقل خطای نقطه ایده‌آل متعلق به نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۰۴)، زاویه منظم (۰/۱۷۱) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۹۵) در شدت تراکم متوسط است (شکل ۳-ب).

با توجه به شاخص خطای نقطه ایده‌آل، روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۰۴۷)، زوج‌های تصادفی (۰/۱۰۵) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۵۹) در الگوی پراکنش یکنواخت، روش‌های نزدیک‌ترین فرد (۰/۲۱۶)، نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۲۲۳) و نزدیک‌ترین همسایه (۰/۲۶۳) در الگوی پراکنش تصادفی و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۲۴۴)، نزدیک‌ترین فرد (۰/۴۴۶) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۵۳۶) در الگوی پراکنش کپه‌ای حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل را به ترتیب نشان دادند. حداقل میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل در شدت تراکم بالا متعلق به روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۲۳۱)، نزدیک‌ترین فرد (۰/۳۳۱) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۴۰۸) است (شکل ۳-ج).

حداقل شاخص‌های خطای نقطه ایده‌آل متعلق به روش‌های زاویه منظم (۰/۰۷۲)، نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۷۶) و زوج‌های تصادفی (۰/۳۲۳) در شدت تراکم پایین، روش‌های نزدیک‌ترین به



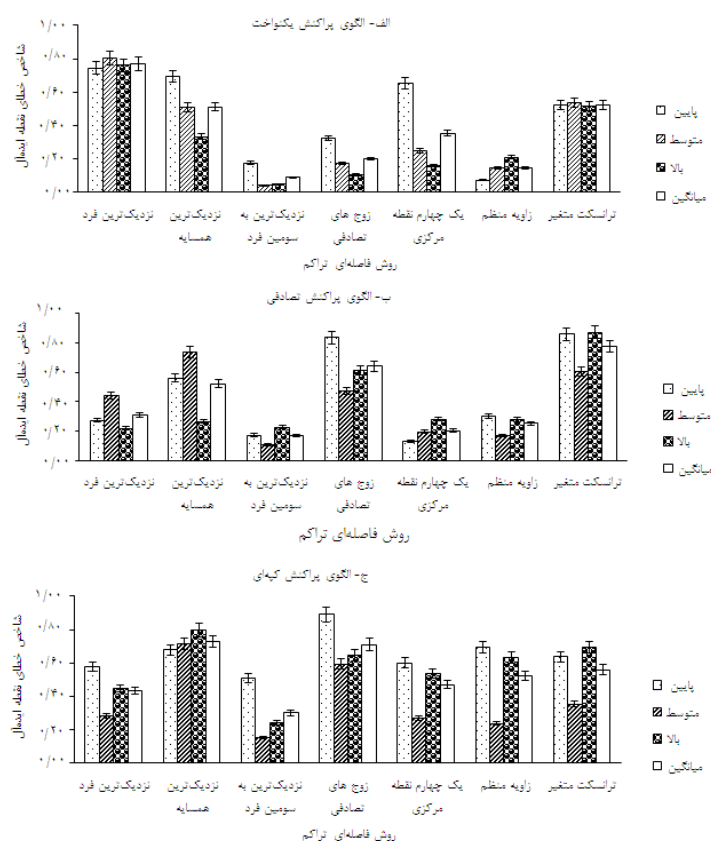
شکل ۳- نتایج شاخص خطای نقطه ایده‌آل برای روش‌های فاصله‌ای تراکم در شدت‌های تراکم مختلف (نوار خطا بر اساس درصد ترسیم شده است)

سومین فرد (۰/۰۴۰)، زاویه منظم (۰/۱۴۷) و زوج‌های تصادفی (۰/۱۷۱) در شدت تراکم متوسط و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۰۴۷)، زوج‌های تصادفی (۰/۱۰۵) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۵۹) در شدت تراکم بالا است. حداقل میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل در الگوی پراکنش یکنواخت به ترتیب متعلق به نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۰۸۸)، روش‌های زاویه منظم (۰/۱۴۳)، و زوج‌های تصادفی (۰/۲۰۰) است (شکل ۴-الف).

نتایج نشان داد که در بین روش‌های برآورد تراکم فاصله‌ای، روش‌های یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۲۹)، نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۷۱) و نزدیک‌ترین فرد (۰/۲۷۳) در تراکم پایین، روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۰۴)، زاویه منظم (۰/۱۷۱) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۱۹۵)، در شدت تراکم متوسط و روش‌های نزدیک‌ترین فرد (۰/۲۱۶)، نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۲۲۳) و

نزدیک‌ترین همسایه (۰/۲۶۳) در تراکم بالا حداقل شاخص‌های خطای نقطه ایده‌آل را به ترتیب نشان دادند. حداقل میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل در الگوی پراکنش تصادفی در شدت تراکم‌های مختلف متعلق به روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۶۶)، یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۲۰۱) و زاویه منظم (۰/۲۵۰) است (شکل ۴-ب).

روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۵۰۸)، نزدیک‌ترین فرد (۰/۵۷۶) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۵۹۹) در شدت تراکم پایین، روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۱۵۲)، زاویه منظم (۰/۲۳۷) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۲۶۹) در شدت تراکم متوسط و روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۲۴۰)، نزدیک‌ترین فرد (۰/۴۴۶) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۵۳۶) در شدت تراکم بالا از پایین‌ترین شاخص‌های خطای نقطه ایده‌آل در الگوی پراکنش کپه‌ای برخوردارند. حداقل



شکل ۴- نتایج شاخص خطای نقطه ایده‌آل برای روش‌های فاصله‌ای تراکم در الگوهای پراکنش مختلف (نوار خطا بر اساس درصد ترسیم شده است)

میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل برای این الگوی پراکنش در شدت تراکم‌های پایین، متوسط و بالا متعلق به روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد (۰/۳۰۰)، نزدیک‌ترین فرد (۰/۴۳۵) و یک چهارم نقطه مرکزی (۰/۴۶۸) است (شکل ۴-ج).

پیشنهاد بهترین روش‌های فاصله‌ای پیش‌بینی برآورد تراکم: نتایج شکل‌های ۲، ۳ و ۴ برای شدت تراکم‌های مختلف گیاهی در جدول ۲ خلاصه شده است. جدول ۲ بر اساس پنج شاخص پایه‌گذاری شده است که عبارتند از: (۱) روش‌های پیش‌بینی برآورد تراکم فاقد اختلاف معنی‌دار با روش شاهد باشند (شاخص صحت)، (۲) روش‌های پیش‌بینی برآورد تراکم حداقل اختلاف با روش شاهد (اریب یا فاصله) داشته باشند (شاخص صحت)، (۳) روش‌های پیش‌بینی برآورد تراکم فاقد اختلاف معنی‌دار در بین انواع الگوهای پراکنش باشند (شاخص دقت)، (۴) روش‌های برآورد تراکم حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل را در شدت تراکم‌ها مختلف با انواع الگوهای پراکنش نشان دهند (شاخص دقت) و (۵) به طور کلی، روش‌های برآورد تراکم حداقل میانگین خطای نقطه ایده‌آل در هر شدت تراکم داشته باشند (شاخص دقت).

روش‌های زاویه منظم و نزدیک‌ترین به سومین فرد برای الگوی پراکنش یکنواخت، روش‌های یک چهارم نقطه مرکزی و نزدیک‌ترین به سومین فرد برای الگوی پراکنش تصادفی و روش نزدیک‌ترین به سومین فرد برای الگوی پراکنش کپه‌ای بهترین برآوردکننده‌های تراکم در شدت تراکم پایین هستند (شکل ۲-الف، شکل ۳-الف و جدول ۲). روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و زاویه منظم برای الگوهای پراکنش یکنواخت و کپه‌ای و روش نزدیک‌ترین به سومین فرد برای الگوی پراکنش تصادفی بهترین برآوردکننده‌های تراکم در شدت تراکم متوسط می‌توان در نظر گرفت (شکل ۲-ب، شکل ۳-ب و جدول ۲). علاوه بر این، روش نزدیک‌ترین به سومین فرد برای هر سه الگوی پراکنش یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای بهترین برآوردکننده تراکم در شدت تراکم بالا بر اساس شاخص‌های مذکور است (شکل ۲-ج، شکل ۳-ج و جدول ۲).

نتایج کاربرد انواع الگوهای پراکنش در جدول ۳ خلاصه شده است. به همین ترتیب، (۱) روش‌های پیش‌بینی برآورد تراکم فاقد اختلاف معنی‌دار با روش شاهد باشند (شاخص صحت)، (۲) روش‌های برآورد تراکم حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل را در انواع الگوهای پراکنش با شدت تراکم‌های مختلف نشان دهند (شاخص دقت) و (۳) به طور کلی، روش‌های برآورد تراکم حداقل میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل در انواع الگوهای پراکنش داشته باشند (شاخص دقت).

در جدول ۳ انواع الگوهای پراکنش مورد توجه است، روش‌های زاویه منظم و نزدیک‌ترین به سومین فرد برای شدت تراکم پایین، روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و زاویه منظم برای شدت تراکم‌های متوسط و روش نزدیک‌ترین به سومین فرد برای شدت تراکم بالا در الگوی پراکنش یکنواخت دقیق‌ترین و صحیح‌ترین

جدول ۲- خلاصه‌ای از نتایج برآورد تراکم گونه *A. albispinus* در شدت‌های تراکم مختلف

| شدت تراکم | صحت یا دقت | الگوی پراکنش | یکنواخت | تصادفی | کپه‌ای |
|-----------|------------|---|--|--|---|
| پایین | صحت | فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد‌ها | نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر | نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر | نزدیک‌ترین به سومین فرد - |
| پایین | دقت | فاقد اختلاف معنی‌دار در الگوهای پراکنش حداقل برآورد با شاهد | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد | یک چهارم نقطه مرکزی، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین فرد |
| پایین | دقت | حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی | یک چهارم نقطه مرکزی، نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین نقطه مرکزی |
| پایین | دقت | حداقل میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل | یک چهارم نقطه مرکزی، نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین فرد، زاویه منظم | | |
| تصادفی | صحت | برآورکننده‌های پیشنهادی | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد | یک چهارم نقطه مرکزی، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد |
| متوسط | صحت | فاقد اختلاف معنی‌دار با شاهد‌ها | نزدیک‌ترین همسایه، نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر | نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر | نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر |
| متوسط | دقت | فاقد اختلاف معنی‌دار در الگوهای پراکنش | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم، ترانسکت متغیر |
| متوسط | صحت | حداقل برآورد با شاهد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم |
| متوسط | دقت | حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، زوج‌های تصادفی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی |

ادامه جدول (۲)

| شدت تراکم | صحت یا دقت | شدت تراکم | پایین | متوسط | بالا |
|-----------|------------|-----------|--|--|--|
| متوسط | دقت | متوسط | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | | |
| متوسط | دقت | متوسط | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم |
| زیاد | صحت | زیاد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی، تراسکت متغیر | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم |
| زیاد | دقت | زیاد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم |
| زیاد | صحت | زیاد | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی |
| زیاد | دقت | زیاد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم |
| زیاد | دقت | زیاد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم |
| زیاد | دقت | زیاد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم |

روش‌های برآورد تراکم‌های جمعیت گیاهی هستند. در الگوی پراکنش تصادفی، روش‌های یک چهارم نقطه مرکزی و نزدیک‌ترین به سومین فرد برای شدت تراکم پایین، روش نزدیک‌ترین به سومین فرد برای شدت تراکم متوسط و بالا دقیق‌ترین و صحیح‌ترین روش‌های برآورد تراکم هستند. روش نزدیک‌ترین به سومین فرد برای شدت تراکم‌های پایین، متوسط و بالا معتبرترین روش برآورد تراکم در الگوی پراکنش کپه‌ای است.

جدول ۳- خلاصه‌ای از نتایج برآورد تراکم گونه *A. albispinus* در الگوهای پراکنش مختلف

| الگوی پراکنش | صحت یا دقت | شدت تراکم | پایین | متوسط | بالا |
|--------------|------------|---|---|---|---|
| یکنواخت | صحت | نزدیک‌ترین برآورد به روش شاهد | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد |
| یکنواخت | دقت | حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل در هر الگوی پراکنش | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زوج‌های تصادفی، یک چهارم نقطه مرکزی |
| یکنواخت | دقت | میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل در هر شدت تراکم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، زوج‌های تصادفی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، زوج‌های تصادفی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، زوج‌های تصادفی |
| یکنواخت | دقت | بهترین روش‌های پیشنهادی | زاویه منظم، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد |
| تصادفی | صحت | نزدیک‌ترین برآورد به روش شاهد | یک چهارم نقطه مرکزی، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی |
| تصادفی | دقت | حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل در هر الگوی پراکنش | یک چهارم نقطه مرکزی، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی |
| تصادفی | دقت | میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل در هر شدت تراکم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی، زاویه منظم |
| تصادفی | دقت | بهترین روش‌های پیشنهادی | یک چهارم نقطه مرکزی، نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد |
| کپه‌ای | صحت | نزدیک‌ترین برآورد به روش شاهد | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی |
| کپه‌ای | دقت | حداقل شاخص خطای نقطه ایده‌آل در هر الگوی پراکنش | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی |
| کپه‌ای | دقت | میانگین شاخص خطای نقطه ایده‌آل در هر شدت تراکم | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی | نزدیک‌ترین به سومین فرد، نزدیک‌ترین به سومین فرد، یک چهارم نقطه مرکزی |
| کپه‌ای | دقت | بهترین روش‌های پیشنهادی | نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد | نزدیک‌ترین به سومین فرد |

بحث و نتیجه‌گیری

در تعیین نسبتا دقیق و صحیح خصوصیات گیاهی به خصوص برآورد تراکم با روش‌های فاصله‌ای، شناخت اولیه الگوی پراکنش پوشش گیاهی ضروری است (Hijbeek et al., 2013). از آنجا که انواع الگوهای پراکنش از یک گونه در یک مکان به ندرت قابل مشاهده است (Bonham, 2013). در مطالعه حاضر، کارایی هفت روش فاصله‌ای در پیش‌بینی برآورد تراکم جمعیت گیاهی *A. albispinus* در شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش در محیط شبیه‌سازی، مورد بررسی قرار گرفت. انواع الگوهای پراکنش (یکنواخت، تصادفی و کپه‌ای) از گونه *A. albispinus* که به عنوان گونه حائز اهمیت در تولید صمغ در مناطق نیمه‌خشک که در نتیجه بهره‌برداری بیش از حد، در معرض خطر انقراض قرار گرفته، شبیه‌سازی شده است. با توجه به آماربرداری انجام شده، تراکم واقعی گونه *A. albispinus* برابر ۰/۶ پایه در مترمربع با الگوی پراکنش یکنواخت در منطقه مورد مطالعه است.

به‌طور کلی، حداقل میانگین مقادیر برآورد تراکم با روش‌های مختلف فاصله‌ای در الگوی پراکنش کپه‌ای در شدت تراکم پایین و حداکثر میانگین مقادیر برآورد تراکم در الگوهای پراکنش تصادفی و یکنواخت در شدت تراکم بالا پیش‌بینی شده است. به‌طور کلی، نتایج مقایسه تراکم‌های جمعیت گیاهی (ANOVA) نشان داد که مقادیر تراکم پیش‌بینی شده در انواع الگوهای پراکنش، حداقل دارای یک اختلاف معنی‌دار است (حروف بزرگ در شکل ۲). بنابراین، نتایج آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار نشان داد که برخی از روش‌های فاصله‌ای برآورد تراکم ممکن است، نتایج مختلفی را در انواع الگوهای پراکنش نشان دهند.

بسیاری از روش‌های فاصله‌ای تراکم با فرض الگوی پراکنش تصادفی از جمعیت گیاهی مفروض هستند (Hijbeek et al., 2013)، با این حال انواع الگوهای پراکنش در طبیعت، برای هر گونه گیاهی رخ می‌دهد (Bonham, 2013). همانطور که در شکل ۲ نشان داده شد، حداقل فاصله (اریب) برآورد تراکم نسبت به شاهد در الگوی پراکنش تصادفی برای هر سه شدت تراکم مشاهده شده است که این فرضیه توسط بونهام (Bonham, 2013) و هیجک و همکاران (Hijbeek et al., 2013) تایید شده است. همچنین آن‌ها اظهار داشتند که اختلاف بین روش‌های فاصله‌ای در هر منطقه با فرم رویشی و الگوی پراکنش یکسان ممکن است ناشی از ماهیت متفاوت روش‌ها در انتخاب گیاهان، اندازه‌گیری فواصل و همچنین نحوه محاسبه تراکم توسط هر روش باشد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد که در یک الگوی پراکنش خاص در یک شدت تراکم مفروض، برآورد هفت روش فاصله‌ای تراکم با یکدیگر متفاوت است (شکل ۲).

به‌طور کلی، هنگامی که شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش مورد توجه باشند، روش زاویه منظم، یک روش دقیق و صحیح از برآورد تراکم جمعیت گیاهی در الگوی پراکنش یکنواخت در شدت تراکم پایین است و از سویی دیگر، روش یک چهارم نقطه مرکزی در الگوی پراکنش تصادفی در

شدت تراکم پایین، روشی دقیق و صحیح برای برآورد تراکم جمعیت گیاهی در نظر گرفته شده است. روش نزدیک‌ترین به سومین فرد دقیق‌ترین و صحیح‌ترین روش برآورد تراکم گونه گیاهی در سایر شدت تراکم‌های مختلف و الگوهای پراکنش متنوع است. همچنین باید به این نکته اشاره نمود که روش نزدیک‌ترین به سومین فرد در هر دو الگوی یکنواخت و تصادفی در شدت تراکم پایین از اولویت دوم از نظر دقت و صحت برخوردار است.

اصولا روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و زاویه منظم، سومین پایه گیاهی مورد نظر نزدیک به نقاط نمونه‌برداری تصادفی را اندازه‌گیری می‌کند که بالاترین دقت، صحت و کمترین خطا (شاخص خطای نقطه ایده‌آل) را نسبت به روش شاهد دارند. این نتایج نشان داد که جدای از الگوهای پراکنش جمعیت گیاهی، روش‌هایی که رتبه بالاتری از افراد را تا نقطه نمونه‌برداری تصادفی از پایه‌های همسایه اندازه‌گیری می‌کنند، دارای صحت بالاتری هستند که توسط انجمن و همکاران (Engeman et al., 1994) و اسلام‌خان و همکاران (Islam Khan et al., 2016) تایید شده است. آن‌ها بیان نمودند زمانی که روش فاصله‌ای برآورد تراکم رتبه بالاتری از پایه‌های گیاهی را جستجو می‌کند، می‌تواند تاثیر الگوی پراکنش گونه گیاهی را جبران کند. به همین دلیل روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد و زاویه منظم از عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های برآورد تراکم برخوردار است. این یافته‌ها مطابق با نتایج مطالعات با شبیه‌سازی مونت کارلو است که توسط محققان دیگر انجام شده است (Engeman et al., 2005; Engeman and Sugihara, 1998; Engeman et al., 2005). این محققان نتیجه گرفتند که روش زاویه منظم در انواع الگوهای پراکنش به خوبی کارایی دارد. وایت و همکاران (White et al., 2008) دریافتند که پایین‌ترین جذر میانگین مربعات خطا متعلق به روش نزدیک‌ترین به سومین فرد است (White et al., 2008).

در روش زاویه منظم فرض می‌شود که هر نقطه نمونه‌برداری به چهار بخش یا بیشتر تقسیم می‌شود سپس توزیع نقاط نمونه‌برداری از گیاهان ارزیابی شده به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود (Bonham, 2013). با این حال باید توجه داشت که پیاده‌سازی روش زاویه منظم نسبت به سایر روش‌ها پرهزینه است، بنابراین بعید است با تولید برآوردهای بسیار صحیح و دقیق از تراکم از پس هزینه‌های پیاده‌سازی این روش برآمد (Engeman et al., 1994). بنابراین، اینطور عاقلانه به نظر می‌رسد، اندازه‌گیری تراکم گیاهی با استفاده از برآورد تراکم بر پایه شبیه‌سازی انجام شود تا از ایجاد هزینه‌های زیاد جلوگیری شود. به نظر می‌رسد استفاده از هواپیمای بدون سرنشین (پهباد) با تصاویری با وضوح بالا، این فرصت را به ارمغان می‌آورد که با به‌تصویرکشیدن یک نقشه دقیق از تراکم مکانی جمعیت گیاهی می‌توان از فشار لگدمان نمودن گیاهان و محدودیت نیروکاری کار اجتناب نمود.

روش یک چهارم نقطه مرکزی بیشترین دقت (شاخص خطای نقطه ایده‌آل) و صحت (مقایسه با شاهد‌ها) پیش‌بینی از تراکم در میان روش‌های اعمال شده فقط در الگوی پراکنش تصادفی در شدت

تراکم پایین نشان می‌دهد که با نتایج مطالعات اسلام‌خان و همکاران (Islam Khan et al., 2016) و سیلوا و همکاران (Silva et al., 2017) که بر پایه داده‌های عرصه‌ای و شبیه‌سازی هستند، مطابقت دارد. اسلام‌خان و همکاران (Islam Khan et al., 2016)، میچل (Mitchell, 2007) و سیلوا و همکاران (Silva et al., 2017) که با شبیه‌ساز مونت کارلو روش‌های فاصله‌ای برآورد تراکم را بررسی نمودند، اظهار داشتند روش یک چهارم نقطه مرکزی زمانی که الگوی پراکنش به صورت تصادفی توزیع شده باشد روشی کارآمد است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که اگر جمعیت به طور کامل تصادفی توزیع شده باشد، از این روش باید برای بدست آوردن برآورد ثابت و بدون اریب از تراکم استفاده نمود و از کاربرد آن در الگوی پراکنش یکنواخت یا کپه‌ای اجتناب نمود.

با توجه به اینکه الگوی پراکنش تصادفی، نزدیک‌ترین پیش‌بینی برآورد به مقادیر واقعی تراکم (شاهد‌ها) را نشان می‌دهد. بنابراین نتایج نشان داد به‌طور کلی یک روش منحصر به فرد مناسب برای برآورد دقیق و صحیح تراکم جمعیت گیاهی *A. albispinus* برای شدت تراکم‌های مختلف با انواع الگوهای پراکنش به علت وجود عدم قطعیت آماری، را نمی‌توان مشخص نمود (White et al., 2008; Islam Khan et al., 2016).

در مطالعه حاضر، همه انواع الگوهای پراکنش که به ندرت تا به حال در یک مکان برای گونه مفروض یافت می‌شود، مورد مطالعه قرار گرفتند و به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش‌های نزدیک‌ترین به سومین فرد، زاویه منظم و یک چهارم نقطه مرکزی بهترین روش‌های برآورد تراکم گیاه از نظر دقت (شاخص خطای نقطه ایده‌آل) و صحت به‌ترتیب هستند. با این وجود باید به این نکته اشاره نمود که این روش‌ها باید بر اساس انواع الگوهای پراکنش و شدت تراکم‌های مختلف به کار روند.

همچنین با توجه به سطح وسیع گون‌زارها در استان چهارمحال و بختیاری و ارزش این گیاهان در جنبه‌های مختلف (زارع‌کیا و میرحاجی، ۱۳۹۶) به ویژه استحصال کتیرا و صدور مجوز بهره‌برداری از این گیاهان، با کاربرد روش‌های مذکور بتوان در مدت زمان کوتاه، اطلاعات دقیق و قابل اعتمادی از رویشگاه‌های مختلف این گونه از لحاظ تراکم به دست آورد و رویشگاه‌های این گونه را از نظر قابلیت، مدیریت و بهره‌برداری مورد پایش و ارزیابی قرار داد.

به‌طور کلی، روش‌های فاصله‌ای تراکم، به طور دقیق و صحیح تراکم را برآورد می‌کنند در حالیکه نیروی کار کمتری نیز مورد نیاز است. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، پیشنهاد می‌شود که در انتخاب روش فاصله‌ای تراکم، الگوی پراکنش و در برخی موارد شدت تراکم گونه‌های گیاهی در نظر گرفته شود. روش زاویه منظم در الگوی پراکنش یکنواخت در شدت تراکم پایین و روش یک چهارم نقطه مرکزی در الگوی پراکنش تصادفی در شدت تراکم پایین و روش نزدیک‌ترین به سومین فرد در سایر انواع الگوهای پراکنش و شدت تراکم‌های مختلف، بهترین روش‌های برآورد فاصله‌ای تراکم برای گونه گیاهی *A. albispinus* است.

منابع

- بارانیان، ا.، بصیری، م.، بشری، ح.، ترکش، م. ۱۳۹۳. تاثیر اندازه و شکل پلات بر دقت و تعداد نمونه در مطالعه تراکم و تاج پوشش گیاهی (مطالعه موردی: منطقه فریدن اصفهان)، مجله مرتع، ۸(۱): ۲۵-۳۶.
- بارانیان، ا.، بصیری، م.، بشری، ح.، ترکش، م. ۱۳۹۰. بررسی الگوی پراکنش پایه‌های گیاهی با استفاده از روش‌های آنالیز نقطه‌ای، شاخص‌های کوادراتی و فاصله‌ای (مطالعه موردی: منطقه فریدن اصفهان)، مجله مرتع، ۵(۳): ۲۵۸-۲۶۹.
- پردل، ف.، ابراهیمی، ع.، عزیزی، ز. ۱۳۹۶. پایش تغییرات مکانی و زمانی تولید گیاهی از طریق محاسبه و تعمیم شاخص‌های گیاهی مبتنی بر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: مرتع مرجن بروجن، مجله مرتع، ۱۱(۲): ۱۶۶-۱۷۸.
- پیرمحمدی، ز.، مهدوی، ع. ۱۳۹۸. کارایی شاخص‌های نمونه‌برداری در تحلیل الگوی مکانی گونه‌های چوبی در جنگل زاگرس مرکزی (منطقه کلخانی کوه‌دشت لرستان)، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، ۷(۱۴): ۳۲۷-۳۴۳.
- جهانتاب، ا.، قاسمی آریان، ی.، سپری، ع.، حنفی، ب.، یزدان‌پناه، ع.ا. ۱۳۹۱. تعیین الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی غالب مراتع کوهستانی زاگرس مرکزی (مطالعه موردی: منطقه دیشموک در استان کهگیلویه و بویراحمد)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹(۳): ۴۸۹-۴۸۲.
- حسین‌پور، ل.، جعفریان، ز.، رستگار، ش.، قلیچ‌نیا، ح. ۱۳۹۶. تعیین الگوی پراکنش زرشک (*Berberis integerrima*) با استفاده از نمونه‌برداری صد درصد، شاخص‌های فاصله‌ای و نقطه‌ای مراتع مشجر اسب‌چر استان مازندران، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، ۵(۱۰): ۱۳۹-۱۵۴.
- زارع‌کیا، ص.، میرحاجی، ت. ۱۳۹۶. ارزیابی مقدماتی چند گونه گون علفی چندساله به منظور انتخاب ژنوتیپ برتر ایستگاه تحقیقات مراتع همد آبرسد، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، ۵(۱۰): ۸۷-۹۹.
- Bonham, C.D. 2013. Measurements for terrestrial vegetation. 2nd edition, John Wiley & Sons, UK.
- Byth, K., Ripley, B.D. 1980. On sampling spatial patterns by distance methods. Biometrics, 36: 279-284. <https://doi.org/10.2307/2529979>.
- Cottam, G., Curtis, J.T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology, 37(3): 451-460. <https://doi.org/10.2307/1930167>.
- Dobrowski, S.Z., Murphy, S.K. 2006. A practical look at the variable area transect. Ecology, 87: 1856-1860.
- Elshorbagy, A., Corzo, G., Srinivasulu, S., Solomatine, D.P. 2010. Experimental investigation of the predictive capabilities of data-driven modeling techniques in hydrology - Part 2: Application. Hydrology and Earth System Sciences, 14(10): 1943-1961. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1943-2010>.
- Elzinga, C.L., Salzer, D.W., Willoughby, J.W. 1998. Measuring and monitoring plant population. Bureau of Land Management National Business Center, Denver, Colorado.

- Engeman, R.M., Nielson, R.M., Sugihara, R.T. 2005. Evaluation of optimized variable area transect sampling using totally enumerated data sets. *Environmetrics*, 16(7): 767-772. <https://doi.org/10.1002/env.736>.
- Engeman, R.M., Sugihara, R.T. 1998. Optimization of variable area transect sampling using Monte Carlo simulation. *Ecology*, 79(4): 1425-1434. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[1425:OOVATS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[1425:OOVATS]2.0.CO;2).
- Engeman, R.M., Sugihara, R.T., Pank, L.F., Dusenberry, W.E. 1994. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation. *Ecology*, 75: 1769-1779. <https://doi.org/10.2307/1939636>.
- Ghaderi, S., Fathipour, Y., Asgari, S. 2018. Population density and spatial distribution pattern of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on different tomato cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(3): 543-556.
- Hijbeek, R., Koedam, N., Islam Khan, M.N., Kairo, J.G., Schoukens, J., Dahdouh-Guebas, F. 2013. An evaluation of plotless sampling using vegetation simulations and field data from a Mangrove Forest. *Plos One*, 8(6): e67201-e67201. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067201>.
- Islam Khan, M.N.I., Hijbeek, R., Berger, U., Koedam, N. 2016. An evaluation of the plant density estimator the Point-Center Quarter Method (PCQM) using Monte Carlo simulation. *Plos One*, 11(6): e0157985- e0157985. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157985>.
- Jamali, H., Ghehsareh Ardestani, E., Ebrahimi, A., Pordel, F. 2020. Comparing distance-based methods of measuring plant density in an arid sparse scrubland: testing field and simulated sampling. *Environ Monit Assess* 192, 343. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08329-8>.
- Krebs, C.J. 2014. *Ecological methodology*, University of British Columbia, New York.
- Maassoumi, A.A. 2000. Important notes on *Astragalus* subgenus *Tragacantha* Bunge in Iran. *Journal of Botany*, 8(2): 309-326.
- Mitchell, K.W. 2007. *Quantitative analysis by the point-centered quarter Method*. Hobart and William Smith Colleges, Geneva.
- Mulyana, B., Rohman, R., Purwanto, R.H. 2018. Application of point sampling method in estimation of stand basal area in community forest. *Journal of Sylva Indonesiana*, 1(1): 45-54.
- Nath, V.D., Pelissier, R., Garcia, C. 2010. Comparative efficiency and accuracy of variable area transects versus square plot for sampling tree diversity and density. *Agroforest Systems*, 79: 223-236. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9255-5>.
- Silva, L.B., Alves, M., Elias, R.B., Silva, L. 2017. Comparison of T-square, point centered quarter, and N-tree sampling methods in *Pittosporum undulatum*

- invaded woodlands. *International Journal of Forestry Research*, 2017: 1-13. <https://doi.org/10.1155/2017/2818132>.
- White, N.A., Engeman, R.M., Sugihara, R.T., Krupa, H.W. 2008. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation on totally enumerated field data set. *BMC Ecology*, 8(6): 1-11. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-8-6>
- Zhu, X., Zhang, J. 2009. Quartered neighbor method: A new distance method for density estimation. *Frontiers of Biology in China*, 4: 574-578. <https://doi.org/10.1007/s11515-009-0039-0>.