

## تعیین الگوی پراکنش ۱۰ گونه هالوفیت براساس شاخص‌های کوادراتی و توزیع‌های احتمال گسسته (مطالعه موردی: اکوسیستم‌های بیابانی شرق کشور)

مسلم رستم‌پور<sup>۱</sup>، رضا یاری<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۱

### چکیده

یکی از اجزای مهم ساختار پوشش گیاهی، پراکنش گونه‌های گیاهی است و آگاهی از نوع الگوی پراکنش برای ارزیابی پوشش گیاهی و اقدامات مدیریتی و اصلاحی بسیار حائز اهمیت است. هدف از پژوهش حاضر، تعیین الگوی پراکنش ۱۰ گونه هالوفیت براساس روش‌های کوادراتی و توزیع‌های احتمال در اکوسیستم‌های بیابانی شرق کشور است. بدین منظور، در منطقه معرف هر رویشگاه، ۶۰ کوادرات ۴×۴ متر مستقر شد و تراکم گونه‌های غالب به روش شمارشی و سپس شاخص‌های کوادراتی براساس میانگین و واریانس محاسبه شد. همچنین از قانون تیلور (Taylor) و مدل رگرسیونی ایوا (Iwao)، شاخص‌های معکوس K توزیع دوجمله‌ای منفی و انحراف از توزیع پواسون ( $I_D$ ) به همراه برازش داده‌های تراکم بر سه توزیع احتمال پواسون، دوجمله‌ای مثبت و دوجمله‌ای منفی استفاده شد. نتایج شاخص‌های کوادراتی و توزیع‌های احتمال نشان داد که گونه‌های *Suaeda*، *Salsola tomentosa*، *Tamarix stricta* و *Aeluropus littoralis* دارای الگوی کپه‌ای، گونه‌های *Sedilizia rosmarinus* و *Haloxyton ammodendron* دارای الگوی تصادفی و گونه‌های *Tamarix aphylla*، *Hammada salicornica* و *Salsola richteri* دارای الگوی یکنواخت هستند. براساس رابطه خطی بین لگاریتم میانگین و لگاریتم واریانس ( $R^2_{adj}=0.94$ ,  $P<0/0001$ ) و رابطه خطی بین میانگین ( $\bar{x}$ ) و شاخص میانگین تجمع (IMC) داده‌های تراکم ( $R^2_{adj}=0.94$ ,  $P<0/0001$ )، الگوی کلی پراکنش گیاهان هالوفیت مورد مطالعه، کپه‌ای تعیین شد.

**کلیدواژه‌ها:** الگوی مکانی، توزیع پواسون، شاخص پراکنندگی، گیاهان شورپسند.

۱. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری و عضو گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران؛

rostampour@birjand.ac.ir

۲. استادیار پژوهش، بخش جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

\* این مقاله برگرفته از پژوهش مستقل است.

## مقدمه

مناطق خشک تقریباً ۲۰ تا ۲۵ درصد از مساحت زمین را تشکیل می‌دهند و یکی از آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌ها و منبع ارزشمند تنوع زیستی جهانی هستند (جیانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). رطوبت و شوری خاک نقش کلیدی در تنظیم چرخه‌های غذایی گیاهان بیابانی در مقیاس محلی ایفا می‌کنند و جزو عوامل کلیدی در پراکنش و توزیع گونه‌های هالوفیت در مناطق بیابانی هستند (رستم‌پور و همکاران، ۲۰۱۷؛ گنگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر تغییرات مکانی در ترکیب گونه‌های گیاهی، ساختار گونه‌ها و عملکرد اکوسیستم تأثیر بگذارد (زمونیک<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از اجزای مهم ساختار پوشش گیاهی، پراکنش گونه‌های گیاهی است. یکی از جنبه‌های مهم اکولوژی کمی گیاهی، تعیین و بررسی الگوی پراکنش مکانی گونه‌ها در محیط رشد و نمو آن‌هاست و آگاهی از نوع الگوی پراکنش برای ارزیابی پوشش گیاهی و اقدامات مدیریتی و اصلاحی بسیار حائز اهمیت است (موسایی سنجره‌ای و بصیری، ۲۰۰۷؛ مقدم، ۲۰۰۱). منظور از الگوی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی و یا جانوری؛ آرایش و یا موقعیت افراد در محیط نسبت به سایر افراد گونه است (جهانتاب و همکاران، ۲۰۱۲؛ روزاس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ مصطفی و بکری، ۲۰۲۰<sup>۵</sup>). گیاهان در هر محیط رشدی در طبیعت و منابع طبیعی به‌صورت تصادفی و غیرتصادفی پراکنش دارند و در الگوی غیرتصادفی به‌صورت یکنواخت و کپه‌ای رشد و پراکنش دارند (یوان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ فلاح‌چای و خوش‌منظر، ۲۰۱۹؛ کوهن<sup>۷</sup>، ۲۰۲۰).

وقتی حضور یا فقدان هر پایه گیاهی از یک گونه بر حضور یا فقدان پایه دیگر تأثیری نداشته باشد، الگوی پراکنش مکانی در طبیعت به‌صورت تصادفی است. در پراکنش یکنواخت و منظم، افراد یک گونه به فاصله نسبتاً یکسان و برابری در محیط پراکنده شده‌اند و معمولاً در طبیعت زمانی الگوی پراکنش

یکنواخت و منظم زمانی ایجاد می‌شود که قلمرو و محدوده پراکنش افراد معین و تقریباً برابر و یکسان و دامنه اکولوژیک افراد یکسان باشد (مقدم، ۲۰۰۵). اگر حضور فردی از یک گونه گیاهی به حضور فرد دیگری از همان گونه وابسته باشد، الگوی پراکنش مکانی تجمعی و یا کپه‌ای ایجاد می‌شود. در الگوی پراکنش یکنواخت و منظم افراد با فواصل منظم و تقریباً یکسانی در کنار همدیگر و نشان‌دهنده تأثیر منفی بین افراد گونه مثل رقابت، آللوپاتی و همچنین اینکه هر پایه گیاهی دارای آشیان اکولوژیکی مختص به خود است و الگوی پراکنش کپه‌ای زمانی اتفاق می‌افتد که اکثر یا تمام افراد جمعیت تمایل دارند در قسمت‌های بخصوصی از محیط حضور داشته باشند که مربوط به عوامل گونه‌ای و محیطی است (کریس<sup>۸</sup>، ۲۰۱۴؛ زارع‌چاهوکی و ناصری‌حصار، ۲۰۱۸).

شاخص‌های مختلفی با توجه به انتخاب واحد نمونه‌برداری (کوادر، نقطه) برای کمی نمودن الگوهای پراکنش گیاهان وجود دارد که شامل شاخص‌های تعیین الگوی پراکنش با استفاده از کوادر، شاخص‌های فاصله‌ای پراکنش و توزیع‌های احتمال است. بررسی الگوی پراکنش گیاهان نقش بسیار مهمی در ارزیابی یکنواختی و عدم یکنواختی محیطی، نوع روش تکثیر و تولیدمثل، انتشار و رقابت، الگوهای رفتاری گیاهان و تعیین روش‌های مناسب اندازه‌گیری خصوصیات کمی گیاهان مثل پوشش، تراکم و غیره دارد. همچنین آگاهی از الگوی مکانی پراکنش گیاهان در طبیعت برای ارزیابی همبستگی بین گونه‌ها، مباحث مربوط به روابط هتروتنیک از قبیل آللوپاتی، همزیستی و رقابت و همچنین در اکولوژی کمی تعیین روش‌های مناسب و دقیق برای اندازه‌گیری خصوصیات کمی گیاهان و همچنین تعیین روش نمونه‌برداری (تصادفی - سیستماتیک - طبقه‌بندی‌شده) ضروری است (موسایی سنجره‌ای و بصیری، ۲۰۰۷؛ وحیدی و همکاران، ۲۰۱۷؛ لئونگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

افراد یک گونه در یک منطقه جغرافیایی معین، الگوهای مکانی متفاوتی دارند. فرایند علمی درک این الگوها همیشه ساده نیست، اما مهم است که رفتار افراد را بشناسیم و پویایی

1. Jiang
2. Gong
3. Zemunik
4. Rozas
5. Moustafa & Bakry
6. Yuan
7. Cohen

8. Krebs
9. Leong

۲۰۱۷). همچنین دانستن الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی، در انتخاب فواصل کشت گیاهان در برنامه‌های بیابان‌زدایی و اصلاح مراتع، مفید است (آنیثاکوماری<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). در برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در مورد گیاهان چوبی مختلف در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اجتماع‌پذیری آن‌ها مورد تأیید قرار گرفته است؛ اگرچه برخی دیگر 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 فرایندهای 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 (ملهادو و پتر، ۲۰۰۴<sup>۳</sup>؛ فوچنگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۲).

در حال حاضر، مطالعات بر روی الگوهای پراکنش گونه‌های گیاهی عمدتاً بر روی اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی متمرکز شده‌اند و تحقیقات در مورد الگوهای پراکنش گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌های بیابانی می‌بایست تقویت شود. با توجه به اهمیت و ارزش گونه‌های هالوفیت مهم برای اصلاح، احیا و مقابله با فرسایش بادی و جلوگیری از حرکت شن‌های روان در مناطق خشک و بیابانی و اهمیت پی بردن به الگوی پراکنش برای این امر هدف از پژوهش حاضر تعیین الگوی پراکنش ۱۰ گونه هالوفیت براساس روش‌های کوادراتی و توزیع‌های احتمال گسسته در مناطق خشک و بیابانی شرق کشور است.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در رویشگاه‌های هالوفیت در اکوسیستم‌های مرتعی و بیابانی شهرستان‌های فردوس، خوسف و زیرکوه در استان خراسان جنوبی و شهرستان زابل در استان سیستان و بلوچستان انجام شده است (جدول ۱). پس از بازدید از مناطق مورد مطالعه و شناسایی گونه‌های غالب و همراه، در بهار سال ۱۴۰۱ اقدام به نمونه‌برداری از پوشش گیاهی شد. بدین منظور،

جمعیت، تعاملات بین همسالان و ترکیب‌بندی و ساختار جامعه را درک کنیم (لودویگ و رینولدز، ۱۹۸۸<sup>۱</sup>؛ شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به اهمیت و ضرورت آگاهی از توزیع مکانی و الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی، به‌ویژه در بحث اصلاح و احیای بیولوژیک مناطق خشک و بیابانی و افزایش پوشش گیاهی در مناطق مختلف اکولوژیکی، تعیین الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی سازگار با محیط و دارای ارزش بوم‌شناختی، هدف مطالعه تعدادی از محققان در ایران و خارج کشور بوده است. پژوهش‌ها در مورد الگوهای پراکنش گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌های بیابانی محدود است؛ برای نمونه محبی و همکاران (۲۰۱۲) با مقایسه کارایی شاخص‌های فاصله‌ای و کوادراتی در تعیین الگوی پراکنش دو گونه مرتعی *Artemisia sieberi* و *Astragalus ammodendron* در رویشگاه‌های استان مرکزی دریافتند که پراکنش گونه *Ar.sieberi* از الگوی یکنواخت و توزیع *As.ammodendrom* از الگوی تصادفی با گرایش کپه‌ای تبعیت می‌کند. کیانی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی و تعیین الگوی کشت تاغ (*Haloxylon ammodenderon*) با استفاده از روش‌های فاصله‌ای در منطقه سیاه‌کوه استان یزد پرداختند. نتایج نشان داد که الگوی پراکنش گونه از الگوی تصادفی تبعیت می‌کند. به نظر می‌رسد شرایط یکنواخت رویشگاهی در این منطقه، مهم‌ترین عامل ایجاد الگوی تصادفی در مقیاس کوچک برای درختچه‌های تاغ بوده است. در مقیاس بزرگ‌تر، درختچه‌ها در فواصل دور از کویر تراکم بیشتری داشته و الگو به سمت کپه‌ای تغییر می‌یابد. نتایج بیدرنامی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که الگوی پراکنش *Calligonum polygonoides* در سیستان و بلوچستان به صورت کپه‌ای است.

تجزیه و تحلیل توزیع مکانی جمعیت به محققان محیط‌زیست و اکولوژی گیاهی کمی اجازه می‌دهد تا درک کنند که چگونه افراد در یک سایت مطالعه خاص رشد می‌کنند و اثرات متقابل بر یکدیگر دارند (شوکت و صدیق، ۲۰۰۴). الگوی پراکنش گیاهان می‌تواند در تعیین روش صحیح برآورد تراکم جوامع گیاهی مؤثر باشد (عکافی و همکاران،

2. Anithakumari  
3. Malhado & Petreire  
4. Fu-Cheng

1. Ludwig & Reynolds

در منطقه معرف هر رویشگاه، ۶۰ کوادرات ۴×۴ متر مستقر شد و تراکم گونه‌های غالب به روش شمارشی محاسبه شد. تعداد و ابعاد پلات براساس مطالعات قبلی تعیین شد (مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۲۰۲۰).

### تعیین الگوی پراکنش براساس شاخص‌های کوادراتی

پس از اندازه‌گیری تراکم ۱۰ گونه هالوفیت غالب هرکدام از رویشگاه‌های مورد مطالعه، میانگین و واریانس تراکم گونه‌ای محاسبه شد. سپس براساس میانگین  $(\bar{x})$  و واریانس  $(s^2)$  و تعداد پلات نمونه‌برداری شده  $(n)$ ، شاخص‌های فیشر  $(ID)$ ، لکسیس  $(I_L)$ ، چارلیر  $(I_{Ca})$ ، گرین  $(GI)$ ، مورسیستا  $(I_M)$ ،

شاخص لکه‌ای  $(IP)$ ، شاخص اندازه خوشه  $(ICS)$ ، شاخص فراوانی خوشه  $(ICF)$  و شاخص میانگین تجمع  $(IMC)$  محاسبه شد. از بین شاخص‌های مورد اندازه‌گیری، شاخص‌های لکسیس، چارلیر، گرین، شاخص لکه‌ای و اندازه خوشه، شکل اصلاح‌شده شاخص پراکنندگی فیشر  $(ID)$  هستند. از بین این شاخص‌ها، شاخص فراوانی خوشه براساس تابع  $K$  توزیع دو جمله‌ای منفی است. مقادیر بیشتر از یک شاخص‌های  $ID$ ،  $I_M$ ،  $IP$ ،  $IMC$ ،  $I_L$  و  $I_{Ca}$  و مقادیر بیشتر از صفر شاخص‌های  $I_{Ch}$ ،  $ICS$ ،  $GI$ ،  $ICF$  و  $I_p$  بیانگر کپه‌ای بودن داده‌هاست (جدول ۲).

جدول (۱): برخی از خصوصیات مناطق مورد مطالعه

Table (1): Some characteristics of the 4 study areas

رویشگاه	شهرستان	طول و عرض جغرافیایی	بارندگی	ارتفاع از سطح دریا
<i>Sedilizia rosmarinus-Salsola tomentosa</i>	فردوس	۳۴۰۱۸۵-۵۸۱۷۲۲	۹۵	۱۲۹۳
<i>Hammada salicornica-Aeluropus littoralis</i>	خوسف	۳۲۳۳۲۴-۵۸۲۷۱۱	۸۳/۹	۱۰۸۰
<i>Salsola richteri- Aeluropus littoralis</i>	زیرکوه	۳۳۳۷۴۰-۶۰۰۳۳۲	۱۵۶/۴	۹۵۸
<i>Tamarix aphylla-Haloxylon ammodendron</i>	زابل	۳۱۰۱۰۴-۶۱۲۹۲۴	۴۵/۳	۴۷۹

جدول (۲): شاخص‌های آماری براساس میانگین و واریانس برای تعیین الگوی پراکنش (اقتباس از لودویگ و رینولدز، ۱۹۸۸؛ کریس، ۲۰۱۴)

Table (2): Statistical indices based on mean and variance to determine the distribution pattern

نام شاخص	فرمول	الگوی پراکنش	منبع
Index of Dispersion (ID)	$ID = \frac{s^2}{\bar{x}}$	$ID > 1$ : کپه‌ای $ID = 1$ : تصادفی $ID < 1$ : یکنواخت	Fisher et al. (1962)
Lexis's Index ( $I_L$ )	$I_L = \sqrt{\frac{s^2}{\bar{x}}}$	$I_L > 1$ : کپه‌ای $I_L = 1$ : تصادفی $I_L < 1$ : یکنواخت	Fisher (1915)
Charlier's Index ( $I_{Ch}$ )	$I_{Ch} = \frac{s^2 - \bar{x}}{\bar{x}^2}$	$I_{Ca} > 0$ : کپه‌ای $I_{Ca} = 0$ : تصادفی $I_{Ca} < 0$ : یکنواخت	Fisher (1915)
Index of Cluster Size (ICS)	$ISC = \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 = ID - 1$	$ICS > 0$ : کپه‌ای $ICS = 0$ : تصادفی $ICS < 0$ : یکنواخت	David and Moore (1954)
Green's Index (GI)	$GI = \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 = \frac{ICS}{n - 1}$	$GI > 0$ : کپه‌ای $GI = 0$ : تصادفی $GI < 0$ : یکنواخت	Green (1966)

منبع	الگوی پراکنش	فرمول	نام شاخص
Douglas (1975)	ICF > 0: کپه‌ای ICF = 0: تصادفی ICF < 0: یکنواخت	$ICF = \frac{\bar{x}}{\frac{s^2}{\bar{x}} - 1} = \frac{\bar{x}}{ICS}$	Index of Cluster Frequency (ICF)
Lloyd (1967)	IMC > 1: کپه‌ای IMC = 1: تصادفی IMC < 1: یکنواخت	$IMC = \bar{x} + \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 = \bar{x} + ICS$	Index of Mean Crowding (IMC)
Lloyd (1967)	IP > 1: کپه‌ای IP = 1: تصادفی IP < 1: یکنواخت	$IP = \frac{\bar{x} + \frac{s^2}{\bar{x}} - 1}{\bar{x}} = \frac{IMC}{\bar{x}} = 1 + \frac{1}{ICF}$	Index of Patchiness (IP)
Morisita (1959)	I <sub>M</sub> > 1: کپه‌ای I <sub>M</sub> = 1: تصادفی I <sub>M</sub> < 1: یکنواخت	$I_M = \frac{n \sum x(x-1)}{n\bar{x}(n\bar{x}-1)} = \frac{n\bar{x}IP}{(n\bar{x}-1)}$	Morisita's Index (I <sub>M</sub> )
Krebs (2014)	I <sub>p</sub> > 0: کپه‌ای I <sub>p</sub> = 0: تصادفی I <sub>p</sub> < 0: یکنواخت	$I_p = 0.5 + 0.5 \left[ \frac{I_M - M_c}{n - M_c} \right]$	Standardized Morisita (I <sub>p</sub> )

**تعیین الگوی پراکنش براساس توزیع‌های احتمال**

احتمال، نشان‌دهنده الگوی پراکنش گونه گیاهی مورد نظر است. معکوس K توزیع دوجمله‌ای منفی، و انحراف از توزیع پواسون ( $I_D$ ) نیز محاسبه شد. شاخص انحراف از توزیع پواسون ( $I_D$ ) با Z آزمون شد (جدول ۴).

از بین توزیع‌های گسسته برای داده‌های تراکم (شمارشی)، سه توزیع دوجمله‌ای منفی، پواسون و دوجمله‌ای مثبت انتخاب شد (جدول ۳) و داده‌های تراکم گونه‌های غالب با هر سه توزیع برازش داده شد و معنی‌داری برازش هر کدام از توزیع‌های

جدول (۳): خلاصه‌ای از توزیع‌های احتمال مورد استفاده در تعیین الگوی پراکنش

Table (3): Summary of common probability distributions used for determine the distribution pattern

توزیع	نوع	دامنه	چولگی	وضعیت میانگین و واریانس	الگوی پراکنش
دوجمله‌ای منفی	گسسته	۰ و ∞	راست	$\delta^2 > \mu$	کپه‌ای
پواسون	گسسته	۰ و ∞	راست تا بدون چولگی	$\delta^2 = \mu$	تصادفی
دوجمله‌ای مثبت	گسسته	۰ و N	راست و چپ	$\delta^2 < \mu$	یکنواخت

جدول (۴): شاخص‌های معکوس K و انحراف از توزیع پواسون (اقتباس از کریس، ۲۰۱۴)

Table (4): Inverse K and deviation from Poisson distribution

منبع	الگوی پراکنش	فرمول	نام شاخص
Bliss and Fisher (1953); Fisher (1941)	K > 0: کپه‌ای K = 0: تصادفی K < 0: یکنواخت	$IK = \frac{\bar{x}^2}{(s^2 - \bar{x})}$	معکوس K توزیع دوجمله‌ای منفی
Krebs (2014)	-	$I_D = \frac{(n-1)s^2}{\bar{x}}$	شاخص انحراف از توزیع پواسون ( $I_D$ )
Krebs (2014)	Z > 1.96: کپه‌ای -1.96 ≤ Z ≤ 1.96: تصادفی Z < -1.96: یکنواخت	$Z = \sqrt{2I_D} - \sqrt{2(n-1)} - 1$	Z

تعیین الگوی پراکنش به روش رگرسیون براساس رابطه رگرسیونی نمایی تیلور (Taylor) و یا خطی لگاریتمی بین میانگین  $(\bar{x})$  و واریانس  $(s^2)$ ، ضرایب  $a$  و  $b$ . الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی مورد مطالعه تعیین شد. همچنین براساس مدل رگرسیونی لکه‌ای ایوا (Iwao)، رابطه بین میانگین  $(\bar{x})$  و شاخص میانگین تجمع (IMC) محاسبه شد و ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  تعیین شد (جدول ۵). معنی داری هر کدام از ضرایب  $b$  و  $\beta$  دو مدل رگرسیونی توسط آزمون  $t$  بررسی شد. محاسبه تمام شاخص‌های کوادراتی، ضرایب مدل‌های رگرسیونی و برازش توزیع‌های احتمال در محیط R انجام شد (تیم R، ۲۰۲۱).

فرض صفر،  $H_0$ : داده‌ها از توزیع واقعی مد نظر تبعیت می‌کند. فرض جایگزین،  $H_1$ : داده‌ها از توزیع واقعی مد نظر تبعیت نمی‌کند. از این رو، از آنجاکه فرض صفر بیان می‌کند که توزیع تجربی داده‌ها با توزیع واقعی مطابقت دارد، اگر مقدار  $p$ -value آزمون نکویی برازش کای اسکوئر کمتر از ۰/۰۵ شد، فرض صفر رد می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها از توزیع خاص مد نظر پیروی نمی‌کند.

جدول (۵): مدل‌های رگرسیونی تعیین الگوی پراکنش (اقتباس از کربس، ۲۰۱۴)

Table (5): Regression models to determine the distribution pattern

منبع	الگوی پراکنش	فرمول	نام مدل
Taylor (1961)	$b > 1$ : کپه‌ای $b = 1$ : تصادفی $b < 1$ : یکنواخت	$\log s^2 = \log a + b \log \bar{x}$ $s^2 = a\bar{x}^b$	Taylor's power law model
Iwao (1968)	$\beta > 1$ : کپه‌ای $\beta = 1$ : تصادفی $0 < \beta < 1$ : یکنواخت	$IMC = \alpha + \beta \bar{x}$	Iwao's patchiness regression model

درختچه‌ای و درختی گز شاهی (*Tamarix aphylla*)، سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*)، جفته‌شور (*Salsola richteri*)، رمس (*Hammada salicornica*) و اشنان (*Sedilizia rosmarinus*) واریانس کمتری دارند. از بین گونه‌های مورد مطالعه، بونی بیشترین مقدار تمامی شاخص‌های مورد مطالعه (به جز شاخص ICF) را داراست. نتیجه شاخص  $IP$  و  $IM$  به هم‌دیگر نزدیک‌اند.

نتایج الگوی پراکنش گونه‌های هالوفیت به روش کوادراتی مقادیر شاخص‌های کوادراتی اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر در جدول (۶) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گونه‌های گراس بونی (*Aeluropus littoralis*)، علفی سیاه‌شور (*Suaeda monoica*) و علف شور یک‌ساله (*Salsloa kali*) بیشترین واریانس تراکم را دارند، در مقابل گونه‌های

جدول (۶): مقادیر شاخص‌های کوادراتی محاسبه‌شده در تعیین الگوی پراکنش گونه‌های هالوفیت مورد مطالعه

Table (6): Quadrate indices values to determine the distribution pattern of the studied halophytes

گونه‌های گیاهی	$\bar{x}$	$s^2$	ID	$I_L$	$I_{Ch}$	ICS
<i>Sedilizia rosmarinus</i>	۰/۹۷	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۸۴	-۰/۳۰	-۰/۲۹
<i>Salsloa tomentosa</i>	۲/۶۷	۸/۷۴	۳/۲۷	۱/۸۱	۰/۸۵	۲/۲۷
<i>Suaeda monoica</i>	۷/۸۷	۶۲/۴۷	۷/۹۴	۲/۸۲	۰/۸۸	۶/۹۴
<i>Salsloa kali</i>	۴/۲۲	۱۸/۳۸	۴/۳۶	۲/۰۹	۰/۸۰	۳/۳۶
<i>Salsola richteri</i>	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۸۰	۰/۸۹	-۰/۲۷	-۰/۲۰
<i>Aeluropus littoralis</i>	۶/۱۵	۹۲/۷۲	۱۵/۸۹	۳/۹۹	۲/۴۲	۱۴/۸۹
<i>Hammada salicornica</i>	۰/۷۷	۰/۶۴	۰/۸۳	۰/۹۱	-۰/۲۲	-۰/۱۷

ICS	I <sub>Ch</sub>	I <sub>L</sub>	ID	s <sup>2</sup>	$\bar{x}$	گونه‌های گیاهی
۰/۷۸	۱/۲۱	۱/۳۴	۱/۷۸	۱/۱۶	۰/۶۵	<i>Tamarix stricta</i>
-۰/۲۵	-۰/۶۳	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۳۰	۰/۴۰	<i>Tamarix aphylla</i>
۰/۲۴	۰/۵۴	۱/۱۲	۱/۲۴	۰/۵۶	۰/۴۵	<i>Haloxylon ammodendron</i>
-۰/۳۷	۰/۷۲	۰/۷۰	۰/۶۸	-۳/۳۶	-۰/۰۱	<i>Sedilizia rosmarinus</i>
۰/۵۱	۱/۸۷	۱/۸۵	۴/۹۴	۱/۱۷	۰/۰۶	<i>Salsloa tomentosa</i>
۰/۵۱	۱/۸۹	۱/۸۸	۱۴/۸۱	۱/۱۳	۰/۱۸	<i>Suaeda monoica</i>
۰/۵۱	۱/۸۱	۱/۸۰	۷/۵۸	۱/۲۶	۰/۰۹	<i>Salsloa kali</i>
-۰/۲۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۵۵	-۳/۷۵	-۰/۰۱	<i>Salsola richteri</i>
۰/۵۳	۳/۳۷	۳/۴۲	۲۱/۰۴	۰/۴۱	۰/۳۸	<i>Aeluropus littoralis</i>
-۰/۲۲	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۶۰	-۴/۵۶	۰/۰۰	<i>Hammada salicornica</i>
۰/۵۱	۲/۲۱	۲/۲۱	۱/۴۳	۰/۸۳	۰/۰۲	<i>Tamarix stricta</i>
-۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۱۵	-۱/۶۰	-۰/۰۱	<i>Tamarix aphylla</i>
۰/۲۵	۱/۵۷	۱/۵۴	۰/۶۹	۱/۸۴	۰/۰۱	<i>Haloxylon ammodendron</i>

براساس شاخص‌های کوادراتی مورد مطالعه، الگوی پراکنش گونه‌های علف شور بوت‌های (*Salsloa tomentosa*)، سیاه‌شور (*Suaeda monoica*)، علف شور یک‌ساله (*Salsloa kali*)، بونی (*Aeluropus littoralis*)، گز درختچه‌ای (*Tamarix stricta*) و سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*) کپه‌ای است و گونه‌های اشنان (*Sedilizia rosmarinus*)، جفنه‌شور (*Salsola richteri*)، رمس (*Hammada salicornica*) و گز شاهی (*Tamarix aphylla*) دارای الگوی پراکنش یکنواخت‌اند (جدول ۷). پاسخ تقریباً تمامی شاخص‌ها یکسان بود. براساس این شاخص‌ها، تنها گونه‌ای که الگوی پراکنش تصادفی دارد، گونه رمس (*Hammada salicornica*) است که مقدار شاخص گرین آن برابر با صفر شد.

براساس شاخص‌های کوادراتی مورد مطالعه، الگوی پراکنش گونه‌های علف شور بوت‌های (*Salsloa tomentosa*)، سیاه‌شور (*Suaeda monoica*)، علف شور یک‌ساله (*Salsloa kali*)، بونی (*Aeluropus littoralis*)، گز درختچه‌ای (*Tamarix stricta*) و سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*) کپه‌ای است و گونه‌های اشنان (*Sedilizia rosmarinus*)، جفنه‌شور (*Salsola richteri*)، رمس (*Hammada salicornica*) و گز شاهی (*Tamarix aphylla*) دارای الگوی پراکنش یکنواخت‌اند (جدول ۷). پاسخ تقریباً تمامی شاخص‌ها یکسان بود. براساس این شاخص‌ها، تنها گونه‌ای که الگوی پراکنش تصادفی دارد، گونه رمس (*Hammada salicornica*) است که مقدار شاخص گرین آن برابر با صفر شد.

جدول (۷): الگوی پراکنش گونه‌های هالوفیت براساس شاخص‌های کوادراتی

Table (7): The distribution pattern of the studied halophytes based on quadrate indices

I <sub>M</sub>	IP	IMC	ICF	GI	ICS	I <sub>Ch</sub>	I <sub>L</sub>	ID	گونه‌های گیاهی
یکنواخت	یکنواخت	۰/۶۸	-۳/۳۶	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	<i>Se.ro</i>
کپه‌ای	کپه‌ای	۴/۹۴	۱/۱۷	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	<i>Sa.to</i>
کپه‌ای	کپه‌ای	۱۴/۸۱	۱/۱۳	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	<i>Su.mo</i>
کپه‌ای	کپه‌ای	۷/۵۸	۱/۲۶	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	<i>Sa.ka</i>
یکنواخت	یکنواخت	۰/۵۵	-۳/۷۵	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	<i>Sa.ri</i>
کپه‌ای	کپه‌ای	۲۱/۰۴	۰/۴۱	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	<i>Ae.li</i>
یکنواخت	یکنواخت	۰/۶۰	-۴/۵۶	تصادفی	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	<i>Ha.sa</i>
کپه‌ای	کپه‌ای	۱/۴۳	۰/۸۳	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	<i>Ta.st</i>
یکنواخت	یکنواخت	۰/۱۵	-۱/۶۰	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	یکنواخت	<i>Ta.aph</i>
کپه‌ای	کپه‌ای	۰/۶۹	۱/۸۴	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	کپه‌ای	<i>Ha.am</i>

سیاه‌شور (*Suaeda monoica*) تنها گونه‌هایی بودند که از توزیع دو جمله‌ای منفی که نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای است تبعیت می‌کنند. گونه‌های اشنان (*Sedilizia rosmarinus*) و سیاه‌تاغ

الگوی پراکنش گونه‌های هالوفیت براساس توزیع‌های احتمال براساس توزیع‌های احتمال مطالعه‌شده بر روی داده‌های تراکم گونه‌های هالوفیت، دو گونه بونی (*Aeluropus littoralis*) و

توزیع دوجمله‌ای مثبت که بیانگر الگوی پراکنش یکنواخت است، برازش بهتری دارند (جدول ۹). همچنین براساس مقدار K معکوس توزیع دوجمله‌ای منفی و مقدار Z انحراف از توزیع پواسون، الگوی پراکنش گونه‌های علف شور بوت‌های (*Salsola tomentosa*)، سیاه‌شور (*Suaeda monoica*)، علف شور یک‌ساله (*Salsola kali*)، بونی (*Aeluropus littoralis*) و گز درختچه‌ای (*Tamarix stricta*) کپه‌ای است و بقیه گونه‌ها از الگوی تصادفی تبعیت می‌کنند.

*(Haloxylon ammodendron)* تنها گونه‌هایی بودند که فقط از توزیع پواسون که حاکی از الگوی تصادفی است تبعیت می‌کنند. گونه‌های گیاهی جفنه‌شور (*Salsola richteri*)، رمس (*Hammada salicornica*) و گز شاهی (*Tamarix aphylla*) از هر دو توزیع پواسون و دوجمله‌ای مثبت تبعیت می‌کنند (جدول ۸). برای انتخاب توزیع مناسب، از آماره اطلاعات آکائیک (AIC) استفاده شد. توزیعی که کمترین میزان AIC را داراست، بهترین برازش را با داده‌های تراکم دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گونه‌های جفنه‌شور، رمس و گز شاهی با

جدول (۸): الگوی پراکنش گونه‌های هالوفیت براساس توزیع‌های احتمال

Table (8): The distribution pattern of the studied halophytes based on probability distributions

گونه‌های گیاهی	توزیع پواسون		انحراف از توزیع پواسون		توزیع دوجمله‌ای منفی		توزیع دوجمله‌ای مثبت	
	p.value	الگوی پراکنش	Z	الگوی پراکنش	p.value	الگوی پراکنش	p.value	الگوی پراکنش
<i>Se.ro</i>	۰/۹۱	تصادفی	-۱/۲۷	تصادفی	۰/۰۰	تصادفی	۰/۰۳	-
<i>Sa.to</i>	۰/۰۰	-	۷/۲۶	کپه‌ای	۰/۰۱	کپه‌ای	۰/۰۱	-
<i>Su.mo</i>	۰/۰۰	-	۱۶/۱۶	کپه‌ای	۰/۱۰	کپه‌ای	۰/۰۱	-
<i>Sa.ka</i>	۰/۰۰	-	۹/۷۱	کپه‌ای	۰/۰۳	کپه‌ای	۰/۰۰	-
<i>Sa.ri</i>	۰/۸۰	تصادفی	-۰/۸۲	تصادفی	۰/۰۰	تصادفی	۰/۳۴	یکنواخت
<i>Ae.li</i>	۰/۰۰	-	۲۶/۴۹	کپه‌ای	۰/۲۴	کپه‌ای	۰/۰۰	-
<i>Ha.sa</i>	۰/۷۷	تصادفی	-۰/۶۷	تصادفی	۰/۰۰	تصادفی	۰/۲۱	یکنواخت
<i>Ta.st</i>	۰/۰۰۲	-	۳/۰۸	کپه‌ای	۰/۰۰	کپه‌ای	۰/۰۰	-
<i>Ta.aph</i>	۰/۸۸	تصادفی	-۱/۰۷	تصادفی	۰/۰۰	تصادفی	۰/۱۲	یکنواخت
<i>Ha.am</i>	۰/۱۴	تصادفی	۱/۱۳	تصادفی	۰/۰۰	تصادفی	۰/۰۳	-

جدول (۹): مقادیر آماره اطلاعات آکائیک (AIC) دو توزیع پواسون و دوجمله‌ای مثبت برای برخی از گونه‌های هالوفیت مورد مطالعه

Table (9): Calculated values of Akaike Information Criteria (AIC) of probability distributions for some studied halophytes

AIC		
گونه گیاهی	توزیع پواسون	توزیع دوجمله‌ای مثبت
<i>Sa.ri</i>	۸۹/۷۸	۵۶/۵۵
<i>Ha.sa</i>	۹۱/۱۳	۵۵/۸۴
<i>Ta.aph</i>	۶۴/۷۱	۵۴/۹۲

کلی مربوط برای تعیین الگوی پراکنش استفاده شد (شکل ۱). معنی‌داری ضریب  $\beta$  یا شیب خط رگرسیون با استفاده از آزمون t انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار b بیشتر از ۱ است؛ ازاین‌رو الگوی کلی پراکنش گیاهان هالوفیت مورد مطالعه

الگوی پراکنش گونه‌های هالوفیت براساس روش‌های رگرسیونی

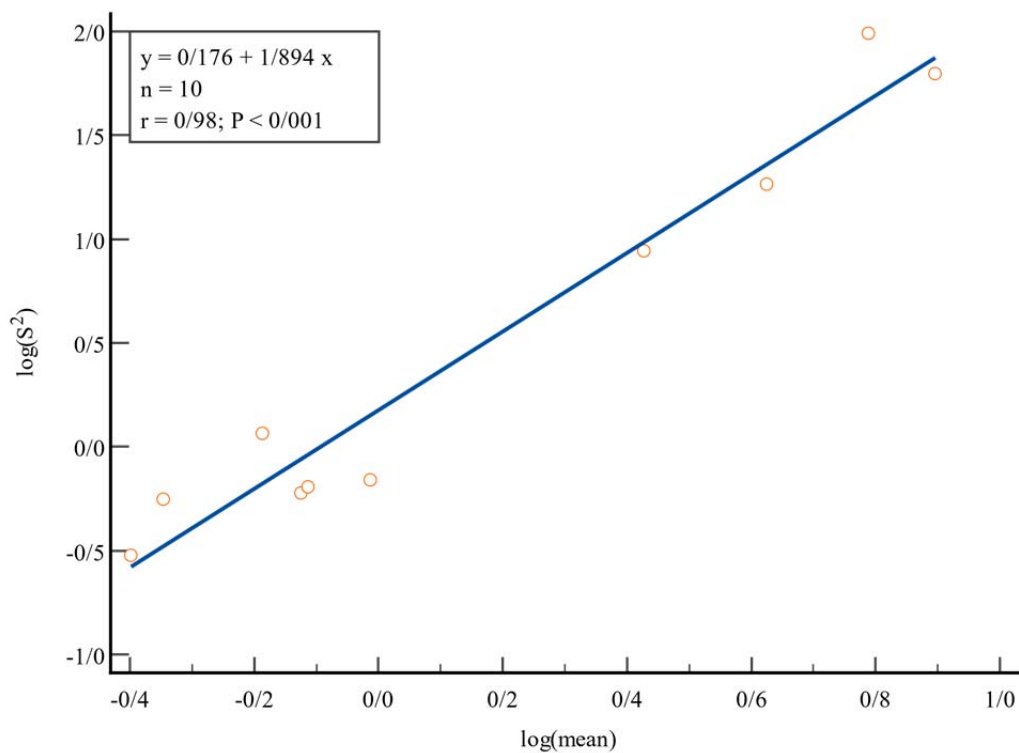
به‌دلیل معنی‌داری رابطه خطی بین لگاریتم میانگین و لگاریتم واریانس داده‌های تراکم ( $R^2_{adj}=0.94, P<0/0001$ )، از معادله



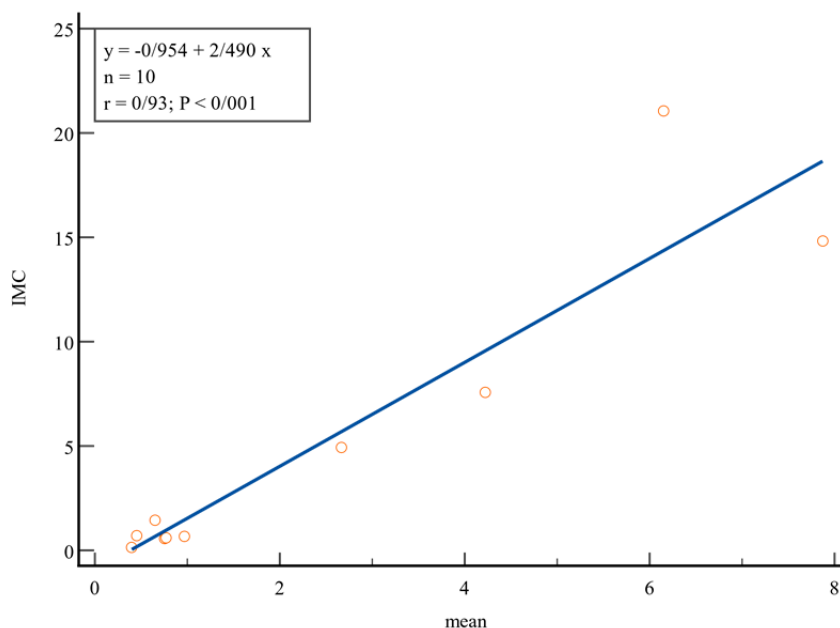
کپه‌ای است (جدول ۱۰). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد رابطه بین میانگین ( $\bar{x}$ ) و شاخص میانگین تجمع (IMC) داده‌های تراکم نیز خطی است ( $R^2_{adj}=0.94, P<0/0001$ ) (شکل ۲). در اینجا نیز معنی‌داری ضریب  $\beta$  نیز بررسی شد. از آنجاکه شیب خط رگرسیون ( $\beta$ ) بیشتر از ۱ است، با این روش نیز الگوی کلی پراکنش گیاهان هالوفیت مورد مطالعه، کپه‌ای تعیین شد.

جدول (۱۰): پارامترهای مدل‌های رگرسیونی تیلور و آیوا در تعیین الگوی پراکنش گونه‌های هالوفیت مورد مطالعه

Table (10): Taylor's Power Law and Iwao's Patchiness Regression Parameters Pertaining to determine the distribution pattern of the studied halophytes				
قانون توان تیلور				
$P_{reg}$	$R^2_{adj}$	$SE_b$	$\beta$	$\alpha$
P<0/0001	۰/۹۴	۰/۱۵	۱/۸۹۴	۰/۱۷۶
رگرسیون لکه‌ای آیوا				
$P_{reg}$	$R^2_{adj}$	$SE_b$	$\beta$	$\alpha$
P<0/0001	۰/۸۴	۰/۳۵	۲/۴۹۰	-۰/۹۵۴



شکل (۱): قانون توان تیلور، رابطه بین لگاریتم میانگین ( $\bar{x}$ ) و لگاریتم واریانس ( $S^2$ ) داده‌های تراکم گونه‌های هالوفیت مورد مطالعه  
 Figure (1): Taylor's power law, relationship between log variance ( $S^2$ ) and log mean ( $\bar{x}$ ) density of the studied halophytes



شکل (۲): رگرسیون لکه‌ای آیوا، رابطه بین میانگین ( $\bar{x}$ ) و شاخص میانگین تجمع (IMC) داده‌های تراکم گونه‌های هالوفیت مورد مطالعه

Figure (2): Iwao's patchiness regression, relationship between mean crowding index (IMC) and mean ( $\bar{x}$ ) density of the studied halophytes

### بحث و نتیجه‌گیری

را به‌درستی تشخیص دادند. هر دو گونه گیاهی جزو گیاهانی هستند که در محیط‌های با خاک شور و سطح ایستابی بالا رشد می‌کنند (جعفری و رستم‌پور، ۲۰۱۹؛ جلال و همکاران، ۲۰۲۲). نتیجه پژوهش محمودیان و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که شوری و رطوبت خاک از مهم‌ترین عوامل محیطی در پراکنش گونه بونی هستند. گونه‌های علف شور بوته‌ای (*Salsola tomentosa*)، بونی و سیاه‌شور در منطقه خوسف پراکنش زیادی دارند. موسوی کوهی و همکاران (۲۰۱۹) بیان می‌کنند که خاک منطقه خوسف به شدت تحت تأثیر املاحی است که شوری را تا ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر افزایش می‌دهد و تنها گیاهان هالوفیت یا شورزی قادر به حیات و بقا در چنین شرایطی هستند.

یکی دیگر از گونه‌هایی که کپه‌ای بودن آن تأیید شد، گز درختچه‌ای (Ta.st) بود. اگرچه کاشت گز در دهه‌های اخیر به منظور احیای پوشش گیاهی به‌عنوان پروژه‌های کنترل بیابان‌زایی و احیای اراضی شور در کویرهای مختلف توسعه پیدا کرده است و به جامعه گیاهی غالب تبدیل شده‌اند، پژوهش‌ها نشان می‌دهد درختچه گز بر اثر تجمع نمک تأثیر نامطلوب بر محیط خاک گذاشته (یانگ-ژونگ، ۲۰۱۲) و

در پژوهش حاضر، از بین روش‌های تعیین الگوی پراکنش گیاهان، از سه روش کوادراتی، رگرسیونی و توزیع‌های احتمال استفاده شد. نتایج روش کوادراتی نشان داد که از بین ۱۰ گونه مورد مطالعه، شش گونه دارای الگوی کپه‌ای و چهار گونه دارای الگوی یکنواخت هستند. دمگارد و ایروین<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) معتقدند که بیشتر گونه‌های گیاهی از نظر مکانی دارای الگوی کپه‌ای هستند. فرایندهای دموگرافیک و اکولوژیکی محلی (مانند رشد رویشی و پراکنندگی محدود بذر) منجر به یک الگوی مکانی کپه‌ای در یک منطقه همگن از نظر محیطی می‌شود. در منطقه مورد مطالعه تقریباً تمامی روش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، الگوی پراکنش دو گونه بونی (*Aeluropus littoralis*) و سیاه‌شور (*Suaeda monoica*) را کپه‌ای تشخیص دادند.

گونه بونی، بالاترین مقدار شاخص‌های محاسباتی را داشت و شاخص‌ترین گونه گیاهی با الگوی کپه‌ای است. گیاه بونی، گندمی متراکم، کپه‌ای، پرپشت، ریزوم‌دار، دارای ریشه‌های رشته‌ای و استولون‌های خزننده و گسترده است (محمودیان ۲۰۲۱). از این رو شاخص‌های کوادراتی، کپه‌ای بودن این گونه

فراوانی بالاتری هم در فراجمعه و هم در جوامع محلی دارند (ژو و ژنگ،<sup>۴</sup> ۲۰۰۸). رقابت، برای به حداکثر رساندن استفاده از منابع موجود در میان گونه‌های رقیب عمل می‌کند. قدرت رقابت در نهایت تنوع و ویژگی‌های گونه‌های همزیستی را تعیین می‌کند (رنجان و کلوسمیر، ۲۰۲۲). حتی رقابت در جوامع غنی از گونه‌های گیاهی می‌تواند منجر به انقراض گونه‌های گیاهی شود (ادواردز<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

با مروری بر منابع می‌توان دریافت که روش‌های فاصله‌ای یا بدون پلات یکی از رایج‌ترین روش‌های تعیین الگوی پراکنش هستند. در پژوهش حاضر به دلیل اینکه در مناطق خشک و بیابانی فاصله گیاهان از یکدیگر زیاد است و عموماً تراکم بوته‌ای‌ها و درختچه‌ای‌ها کم است، امکان استفاده از روش‌های فاصله‌ای وجود دارد؛ اما در برخی از پژوهش‌ها ثابت شده است که روش‌های فاصله چندان قابل اعتماد نیستند (وایت<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ هیجیک<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

خان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش می‌کند که روش‌های بدون پلات اگرچه سریع‌ترند، زمانی ترجیح داده می‌شوند که نمونه‌برداری مبتنی بر کوادرات دشوار یا بسیار پرهزینه باشد. روش‌های فاصله‌ای نسبت به روش‌های کوادراتی از توان کمتری در تخمین تراکم گیاه برخوردارند (شن<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). جمالی و همکاران (۲۰۲۰) برای مقایسه روش‌های فاصله‌ای با یکدیگر، از روش پلات به‌عنوان شاهد استفاده نمودند و توصیه کردند روش‌های فاصله‌ای زمانی استفاده شود که الگوی توزیع گونه‌های گیاهی شناخته‌شده باشد. برای مثال اگر الگوی پراکنش تصادفی باشد، تراکم گونه‌ای به روش فاصله‌ای و اگر الگوی پراکنش غیرتصادفی باشد، تراکم به روش کوادرات یا ترانسکت خطی برآورد می‌شود (کریس، ۲۰۱۴).

باین‌حال از مزایای روش‌های فاصله‌ای در برآورد تراکم می‌توان به اریبی کمتری و اجرای آسان و انجام محاسبات آسان اشاره کرد (لاور،<sup>۹</sup> ۲۰۲۳)؛ ولی در طرح‌های پایش و ارزیابی

احتمالاً مانع رشد و جوانه‌زنی گیاهان اطراف می‌شوند و این به کپه‌ای بودن این گونه کمک می‌کند. در این خصوص، اثرات آللوپاتی گیاهان بر سایر گونه‌های مجاور را نیز می‌توان در توجیه این الگو مؤثر دانست. ذوالفقاری و همکاران (۲۰۲۲) وجود الگوی کپه‌ای در توده‌های انارشیطان (*Tecomella undulata*) در استان بوشهر را به دلیل شرایط خشک و کمبود رطوبت خاک دانست.

گونه‌های اشنان (*Sedilizia rosmarinus*) و سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*) از الگوی تصادفی تبعیت می‌کنند. در اکوسیستم‌های طبیعی الگوی تصادفی به‌ندرت مشاهده می‌شود (مقدم، ۲۰۰۵). با وجود این، انتشار بذر توسط باد و جوانه‌زنی و تکثیر سریع گیاه سیاه‌تاغ (میرزایی ندوشن و همکاران، ۲۰۰۰) در رویشگاه‌های منطقه مورد مطالعه می‌تواند دلیلی بر انتشار تصادفی این گونه باشد. انتشار این گونه در شهرستان سراپان به‌حدی است که به اراضی کشاورزی اطراف نیز هجوم آورده و باعث نگرانی روستاییان منطقه شده است. بذر گونه اشنان که دارای گلپوش بال‌دار است، به‌راحتی توسط باد منتشر می‌شود (بهات<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) و به پراکنش تصادفی این گونه کمک می‌کند.

توزیع یکنواخت نیز در محیط‌های طبیعی به‌ندرت اتفاق می‌افتد (بارانیان و همکاران، ۲۰۱۱)، مگر آنکه عملیات نهال‌کاری انجام شده باشد. در توزیع یکنواخت، موجودات زنده در یک الگوی نسبتاً منظم پخش می‌شوند. ویژگی‌های گونه‌ها به شکل توزیع منابع بستگی دارد (رنجان و کلوسمیر،<sup>۲</sup> ۲۰۲۲). الگوی یکنواخت اغلب زمانی اتفاق می‌افتد که افراد باید برای یک منبع محدودکننده مانند آب یا نور رقابت کنند. درختچه‌های بیابانی معمولاً برای آب رقابت می‌کنند. برای یک تراکم گیاهی معین، یکنواختی توزیع گیاه در زمان جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه، ممکن است به‌طور قابل توجهی بر رقابت بین گیاهان تأثیر بگذارد (لیو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). بین توانایی رقابت گیاهان با تراکم و وفور گونه‌ای همبستگی مثبتی وجود دارد، به‌طوری‌که گونه‌های رقابتی‌تر با باروری بالاتر تمایل به

4. Zhou & Zhang  
5. Edwards  
6. White  
7. Hijbeek  
8. Shen  
9. Lawer

1. Bhatt  
2. Ranjan & Klausmeier  
3. Liu

مرتعی خشک و نیمه خشک در سراسر جهان طی قرن گذشته به تدریج افزایش یافته است (چن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). در مناطق خشک مثل منطقه مورد مطالعه، به دلیل ناهمگونی یا تفاوت بین افراد، واریانس اغلب بسیار بزرگتر از میانگین است و احتمالاً استفاده از توزیع پواسون را محدود می کند (ژو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲).

کالاگان<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در فراتحلیلی گزارش کردند که معمولاً داده های شمارشی پوشش گیاهی از توزیع دو جمله ای منفی پیروی می کنند. توزیع دو جمله ای منفی به عنوان توزیع گاما-پواسون نیز شناخته می شود. واریانس  $np/(1-p)^2$  بزرگتر از میانگین  $np/(1-p)$  است؛ بنابراین معمولاً برای مدل سازی شمارش های پراکنده بیش از توزیع پواسون ترجیح داده می شود (ژو و همکاران، ۲۰۱۲). توزیع دو جمله ای منفی را می توان به عنوان گسترش توزیع پواسون دید که امکان پراکندگی بیش از حد را به دلیل تنوع بیولوژیکی فراهم می کند. این پراکندگی بیش از حد نیز به شدت با فراوانی صفرها در داده های شمارش مرتبط است (هونیکل<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). اما در پژوهش حاضر، داده های تراکم، برازش کمتری با این توزیع داشتند. به نظر می رسد برای استفاده از توزیع های احتمال، حجم نمونه زیاد باشد. کریس (۲۰۱۴) برای استفاده از آماره  $K$  معکوس توزیع دو جمله ای منفی، روش های کوادراتی و آزمون  $Z$  انحراف از توزیع پواسون، به ترتیب حداقل ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ پلات را توصیه می کند. از این رو در پژوهش حاضر نیز حد وسط در نظر گرفته شد و تعداد ۶۰ پلات نمونه برداری شد.

نکته ای که باید در نظر گرفت این است که الگوهای پراکنش براساس تراکم گونه ای با الگوهای توزیع گونه ای براساس وفور گونه ها (SADs) که ساختار جامعه را توصیف می کنند و جزء کلیدی نظریه و پژوهش های تنوع زیستی هستند، متفاوت است (آنتائو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). اگرچه توزیع دو جمله ای منفی و لوگ-نرمال پواسون نیز در این الگوها رایج اند (بالدریج<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).

مراتع که عموماً خصوصیات مثل درصد پوشش گیاهی، ترکیب گیاهی، تولید و تنوع گونه ای در قالب کوادرات اندازه گیری می شود، کاربرد روش های فاصله ای محدود است.

در پژوهش حاضر، علاوه بر شاخص های ساده کوادراتی که صرفاً دو فاکتور میانگین و واریانس را در نظر می گرفتند، از روش های آماری مثل قانون توان تیلور و توزیع های احتمال نیز استفاده شده است. قانون توان تیلور اگرچه در علوم فیزیک و اقتصاد کاربردهای متعددی دارد، در علوم بوم شناسی برای بررسی روابط بین دو صفت یک گیاه، رابطه سطح به گونه و تعیین الگوی پراکنش استفاده می شود (چن و شیومی، ۲۰۱۹). نتیجه روش های رگرسیونی نشان داد که الگوی کلی پراکنش گیاهان هالوفیت مورد مطالعه، کپه ای است؛ این نشان از لکه ای بودن منابع غذایی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مثل رطوبت خاک، شوری و بافت خاک است. نتیجه پژوهش جیانگ و همکاران (۲۰۲۱) در اکوسیستم های بیابانی چین نشان داد که کپه ای بودن گونه های گیاهی جنس *Suaeda* به شدت تحت تأثیر فرایندهای آشیان اکولوژیک قرار گرفته است. مقدار آب خاک و مقدار نمک به ترتیب عوامل محیطی کلیدی مؤثر بر توزیع گونه ای اشکوب های گیاهی و بوته ای بودند. اکوسیستم های خشک از نظر مکانی ناهمگن و فاقد مواد مغذی خاک هستند. پراکندگی بذر در چنین محیط های خشن که سازگاری برای پراکندگی در فواصل طولانی نادر است و پراکندگی ضعیف رایج است، کاملاً محدود است.

در پژوهش حاضر، نتایج برازش توزیع های احتمال با تراکم گونه های گیاهی مورد مطالعه نشان داد که عموماً گونه های گیاهی از توزیع پواسون و دو جمله ای مثبت تبعیت می کنند. داده های شمارشی مثل تراکم، معمولاً با توزیع پواسون  $y \sim \text{Pois}(\lambda)$  مدل سازی می شوند که میانگین و واریانس آن هر دو برابر  $\lambda$  هستند. در این توزیع، فرض می شود که تعداد گیاهان قابل انتظار در کلیه کوادرات ها یکسان باشد؛ لذا زیستگاه های همگن و یکنواخت، جزء مفروضات این توزیع است (کریس، ۲۰۱۴). به دلیل نامساعد بودن شرایط آب و هوایی و خاک و فعالیت های انسانی، ناهمگونی منابع خاک در اکوسیستم های

2. Chen  
3. Zhou  
4. Callaghan  
5. Hawinkel  
6. Antão  
7. Baldrige

1. Chen & Shiyomi

گونه‌های گیاهی نیز می‌شوند. از این رو در طرح‌های بیابان‌زدایی و احیای اراضی شور، علاوه بر اثرات تنش‌های محیطی بر خصوصیات رویشی و عملکردی، به نحوه پراکنش آن‌ها نیز باید توجه شود.

نکته پایانی اینکه خصوصیات مثل رطوبت و شوری خاک جزو عوامل محدودکننده جوامع گیاهی در اکوسیستم‌های بیابانی هستند و علاوه بر تأثیری که بر خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان هالوفیت و ساموفیت می‌گذارند و پراکنش آن‌ها را محدود می‌کنند، احتمالاً منجر به توزیع ناهمگن

## منابع

- Akafi, H., Ejtehadi, H., & Sepehri, A. (2017). Spatial Distribution Pattern of Certain Plant Species Use of Quadrates Indices in Ghamishloo National Park. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(4), 907-919.
- Anithakumari, P., Muralidharan, K., & Chandran, K.P. (2017). Red palm weevil incidence: Spatial pattern and implications in technology adoption. *Journal of Plantation Crops*, 45(2), 101-109.
- Antão, L.H., Magurran, A.E., & Dornelas, M. (2021). The Shape of Species Abundance Distributions across Spatial Scales. *Front. Ecol. Evol.* 9,626730.
- Baldrige, E., Harris, D. J., Xiao, X., & White, E. P. (2016). An extensive comparison of species-abundance distribution models. *PeerJ*, 4, e2823.
- Baranian, E., Basiri, M., Bashari, H., & Tarkesh, M. (2011). Study of spatial pattern of plants using point pattern analysis, spatial and quadrates indices (rangeland of Fereidan in Isfahan Province). *Journal of Rangeland*, 5(3), 258-269.
- Bhatt, A., Bhat, N. R., & Thomas, M.T. (2019). Germination Behavior of *Seidlitzia Rosmarinus* Boiss., a Perennial Halophyte of Arabian Deserts. *Agriculture and Natural Resources* 53 (4), 348-54.
- Bidarnamani, F., Fahmideh, L., & Shabanipoor, M. (2019). Comparison of Distance-based and Quadrates-based Methods to Determine the Dispersion Methods of *Calligonum polygonoides* in Sistan and Baluchestan Province, Iran. *Journal of Arid Biome*, 9(1), 113-123.
- Bliss C.I., & Fisher R.A. (1953). Fitting the negative binomial distribution to biological data. *Biometrics*, 9,176-200.
- Callaghan, C. T., Borda-de-Água, L., van Klink, R., Rozzi, R., & Pereira, H. M. (2023). Unveiling global species abundance distributions. *Nature ecology & evolution*, 7(10), 1600-1609.
- Chen, G., Zeng, D., Chen, F., Fan, Z., & Geng, H. (2003). A research review on "fertile islands" of soils under woody plant canopy in arid and semi-arid regions. *Journal of Applied Ecology*, 14, 2295-2300
- Chen, J., & Shiyomi, M. (2019). A power law model for analyzing spatial patterns of vegetation abundance in terms of cover, biomass, density, and occurrence: derivation of a common rule. *Journal of plant research*, 132(4), 481-497.
- Cohen, J. (2020). Every variance function, including Taylor's power law of fluctuation scaling, can be produced by any location-scale family of distributions with positive mean and variance. *Theoretical Ecology*, 13, 1-5.
- Damgaard, C., & Irvine, K. M. (2019). Using the beta distribution to analyze plant cover data. *Journal of Ecology*, 107(6): 2747-2759.
- David, F.N., & P.G. Moore. (1954). Notes on contagious distributions in plant populations. *Annals of Botany of London*, 18:47-53.
- Douglas, J.B. (1975). Clustering and aggregation. *Sankhya, Series B*, 37,398-417.
- Edwards, K. F., Kremer, C. T., Miller, E. T., Osmond, M. M., Litchman, E., & Klausmeier, C. A. (2018). Evolutionarily stable communities: a framework for understanding the role of trait evolution in the maintenance of diversity. *Ecology letters*, 21(12), 1853-1868.
- Fallahchay, M., & Khoshmanzar, S. (2019). Determination of spatial distribution pattern analysis of *Acer velutinum* species in two elevation classes using distance sampling methods (Case Study: Asalem Nav Forests, Series No. 2). *Iranian Forest Ecology Journal*, 7(13), 83-90.
- Fisher, R.A. (1915) Frequency Distribution of the Values of the Correlation Coefficient in Samples from an Indefinitely Large Population. *Biometrika*, 10, 507-521.
- Fisher, R. A. (1941). The negative binomial distribution. *Annals of Eugenics*, 11, 182-187.
- Fisher, R.A. (1962). The Simultaneous Distribution of Correlation Coefficients. *Sankhya, Series A*, 24, 1-8.
- Fu-Cheng, Qu, Z., Jiping, W., & Lei, J. (2012). Effect of distribution patterns of *Artemisia sphaerocephala* on soil wind erosion: A field evaluation of wind speed profile and roughness. *Procedia Environmental Sciences*, 12(20), 310-317.
- Gong, Y., Lv, G., Guo, Z., Chen, Y., & Cao, J. (2017). Influence of aridity and salinity on plant nutrients scales up from species to community

- level in a desert ecosystem. *Scientific reports*, 7(1), 6811.
23. Green, R.H. (1966). Measurement of non-randomness in spatial distributions. *Researches in Population Ecology* 8:1-7.
  24. Hawinkel, S., Rayner, J. C. W., Bijmens, L., & Thas, O. (2020). Sequence count data are poorly fit by the negative binomial distribution. *PLoS one*, 15(4), e0224909.
  25. Hijbeek, R., Koedam, N., 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.
  26. Iwao, S. (1968) A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Researches on Population Ecology*, 10, 1–20.
  27. Jafari, M., & Rostampour, M. (2019). Soil and plant relationships. Volume one: *ecology, statistics and analysis*. University of Tehran Press, Tehran, Iran.
  28. Jahantab, E., Ghasemi Aryan, Y., Sepehri, A., Hanafi, B., & Yazdan Panah, E. A. (2012). Study on distribution pattern of dominant plant species of mountainous rangelands in Central Zagros (Case Study: Dyshmuk region in Kohgilouyeh and Boyerahmad province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(3), 482-489.
  29. 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. *Environmental monitoring and assessment*, 192(6), 343.
  30. Jalal, R., Sheikh, H., Alotaibi, M., Shami, A., Ashy, R., Baeshen, N., Abulfaraj, A., Baz, L., Refai, M., Baeshen, N., Fadhlina, A., Arifullah, M., & Baeshen M. (2022) The Microbiome of *Suaeda monoica* and *Dipterygium glaucum* From Southern Corniche (Saudi Arabia) Reveals Different Recruitment Patterns of Bacteria and Archaea. *Frontiers in Marine Science*, 9. 865834. 10.3389.
  31. Jiang, L., Lv, G., Gong, Y., Li, Y., Wang, H., & Wu, D. (2021). Characteristics and driving mechanisms of species beta diversity in desert plant communities. *PLoS one*, 16(1): e0245249.
  32. Khan, M. N., Hijbeek, R., Berger, U., Koedam, N., Grueters, U., Islam, S. M., Hasan, M. A., & Dahdouh-Guebas, F. (2016). An Evaluation of the Plant Density Estimator the Point-Centred Quarter Method (PCQM) Using Monte Carlo Simulation. *PLoS one*, 11(6), e0157985.
  33. Kiani, B., Fallah, A., Tabari Kouchaksarayi, M., Hosseini, S., & Irannezhad Parizi, M.H. (2013). Comparing distance-based and quadrature-based methods to identify spatial pattern of saxaul *Haloxylon ammodendron* C.A.Mey (Siah-Kooh Region, Yazd Province). *Forest and Wood Products*, 65(4), 475-486.
  34. Krebs, C. J. (2014). *Ecological Methodology*. 3rd edition. Addison-Wesley Educational Publishers, Inc.
  35. Lawer E. A. (2023). Comparative analysis of plotless sampling methods for estimating woody plant density in a West African savanna agroforestry parkland. *Environmental monitoring and assessment*, 195(2), 263.
  36. Leong, S., Leong, S., Andrew, G., & Beattie, C. (2019). Dispersion pattern and sampling plan for Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in a citrus orchard. *UKM Journal Article Repository*, 24(2), 25-40.
  37. Liu, S., Baret, F., Allard, D., Jin, X., Andrieu, B., Burger, P., Hemmerlé, M., & Comar, A. (2017). A method to estimate plant density and plant spacing heterogeneity: application to wheat crops. *Plant methods*, 13, 38.
  38. Lloyd, M. (1967). Mean crowding. *Journal of Animal Ecology*, 36,1-30.
  39. Ludwig, J.A., & Reynolds, J.F. (1988). *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley, New York, USA.
  40. Mahmoodian, A., Akharian, M., & Taher, M. N. (2021). Investigation of distribution of *Aeluropus litoralis* in Exclusion and grazed areas in the saline and alkaline rangelands of Golestan province. *Iranian Journal of Natural Ecosystems*, 12(2), 1-15.
  41. Malhado A.C., & Petrere, J.M. (2004). Behavior of dispersion indices in pattern. Detection of a population of Angico, *Andenathera peregrine*. *Barz. Journal of Biology*, 64(2), 243-249.
  42. Mirzaie-Nodoushan, H., Asadi-Karam, F., & Mirhosseini, A. (2000). Investigation of the effective factors on *Haloxylon* sp. Seed germination. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 4(1), 1-23.
  43. Moghaddam, M.R. (2001). *Statistical and descriptive ecology of vegetation*. Tehran University Press.
  44. Moghaddam M.R. (2005). *Ecology of Terrestrial Plants*. University of Tehran Press, Tehran, Iran.
  45. Mohebi, Z., Zare Chahouki, M.A., Tavili, A., Jafari, M. & Fahimipour, A. (2012). Comparing the efficiency of distance and quadrature indices in determining *Artemisia sieberi* and *Astragalus ammodendron* distribution pattern in Markazi Province. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*, 25(1 (94)), 27-35.
  46. Morisita, M. (1959). Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Memoirs of the Faculty of science*, 2(4), 215–235.
  47. Mousaei Sanjerehei, M., & Bassiri, M. (2007). Comparison and evaluation of indices of dispersion patterns of plants on *Artemisia sieberi*



- shrublands in Yazd Province. *Journal of Water and Soil Science*, 11 (40), 483-495.
48. Mousavi Kouhi, S.M., Moudi, M. Soltani Moghadam, E., & Sarchahi Moghadam, H. (2019). The investigating of sodium accumulation in some halophytic species of Zygophyllaceae, Polygonaceae, Asteraceae and Amaranthaceae. *Nova Biologica Reperta*, 6, 96-105.
  49. Moustafa, M., & Bakry, S. (2020). Spatial distribution of the plum scale insect, *Parlatoria oleae* (Colvee) (Hemiptera: Diaspididae) infesting mango trees in Egypt. *International journal of Horticulture, Agriculture and Food science (IJHAF)*, 4(2): 14-20.
  50. R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
  51. Ranjan, R., & Klausmeier, C. A. (2022). How the resource supply distribution structures competitive communities. *Journal of theoretical biology*, 538, 111054.
  52. Research Institute of Forests and Rangelands. (2020). *Rangeland Ecosystems Monitoring in different climatic regions of Iran*.
  53. Rostampour, M., Jafari, M., Tavili, A., Azarnivand, H., & Eslami, S. V. (2017). Investigation of Plant species composition and diversity along a soil salinity gradient in margin rangelands of Petregan Playa, Southern Khorasan. *Desert Ecosystem Engineering*, 6(16), 11-24.
  54. Rozas, V., Zas, R., & Solla, A. (2009). Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain. *European Journal of Forest Research*, 128(3), 273-285.
  55. Shaukat, S.S., & Siddiqui, I. A. (2004). Spatial pattern analysis of seeds of an arable soil seed bank and its relationship with above ground vegetation in an arid region. *Journal of Arid Environment*, 57(3), 311-327.
  56. Shen, G., Wang, X., & He, F. (2020). Distance-based methods for estimating density of nonrandomly distributed populations. *Ecology*, 101(10), e03143.
  57. Sheykholeslam, A., Asgardoan, S., & Yazdian, F. (2011). Investigation on spatial pattern of wild cherry (*Cerasus avium*) in hyrcanian forest (Case study: Pajim Forest, Behshahr). *Research Journal of Forest Science and Engineering*, 1(1), 35-42.
  58. Taylor, L. R. (1961). Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189(4766), 732-735.
  59. Vahidi, K., Gholinejad, B., & Karami, P. (2017). Comparing distance and quadrature indices in determining the distribution pattern of three shrub species (Case study: suburban rangeland of Kurdistan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(4), 856-863.
  60. 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 sets. *BMC ecology*, 8, 6.
  61. Yong-zhong, S., Xue-fen, W., Rong, Y., Xiao, Y., & Wen-jie, L. (2012). Soil fertility, salinity and nematode diversity influenced by *Tamarix ramosissima* in different habitats in an arid desert oasis. *Environmental management*, 50(2), 226-236.
  62. Yuan, Z., Wang, T., Zhu, X., Sha, Y., & Ye, Y. (2011). Patterns of spatial distribution of *Quercus variabilis* in deciduous broadleaf forests in Baotianman Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 19(2), 224-231.
  63. Zare Chahouki, M.A., & Naseri Hesar, N. (2018). Habitat distribution modeling of some plant species using logistic regression in the semi-arid rangelands. (Case study: Eshtehard rangelands). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(1), 93-100.
  64. Zemunik, G., Turner, B. L., Lambers, H., & Laliberté, E. (2016). Increasing plant species diversity and extreme species turnover accompany declining soil fertility along a long-term chronosequence in a biodiversity hotspot. *Journal of Ecology*, 104(3), 792-805.
  65. Zhou, M., Li, L., Dunson, D., & Carin, L. (2012). Lognormal and Gamma Mixed Negative Binomial Regression. *Proceedings of the 29th International Conference on International Conference on Machine Learning*. Edinburgh, Scotland.
  66. Zhou, S. R., & Zhang, D. Y. (2008). A nearly neutral model of biodiversity. *Ecology*, 89(1), 248-258.
  67. Zolfaghari, Z., Moradi, M., Basiri, R., & Ghasemi, A. (2022). Evaluation of *Tecomella undulata* R. spatial distribution pattern in Bushehr province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 24(3), 131-143.

## Investigating the Distribution Pattern of Ten Halophytes Species Using Quadrate Indices and Discrete Probability Distribution: A Case Study of Eastern Iran's Desert Ecosystems

Moslem Rostampour,<sup>\*1</sup> Reza Yari<sup>2</sup>

Received: 13/10/2023

Accepted: 28/02/2024

### Expanded abstract

**Introduction:** determining the spatial distribution pattern of species in their environment is regarded as an important aspect of quantitative plant ecology. On the other hand, evaluating vegetation and arid land reclamation attempts requires awareness of the type of distribution pattern. Moreover, the study of plant distribution patterns significantly contributes to the assessment of the plants' environmental uniformity or heterogeneity, reproduction type, distribution, competition, and behavioral patterns, helping to determine appropriate methods for measuring quantitative properties of vegetation such as coverage and density. However, studies on the distribution patterns of plant species are mainly focused on forest and rangeland ecosystems, and desert ecosystems are under-researched in this regard. Therefore, this study sought to determine the distribution pattern of ten halophyte species in eastern Iran's desert ecosystems using quadrat methods and the probability distribution function.

**Materials and Method:** This study was carried out in the halophyte habitats in the rangeland and desert ecosystems of Ferdows, Khosf, and Zirkouh in South Khorasan province and Zabol in Sistan and Baluchistan province. After visiting the study area and identifying its dominant species, the sampling of the region's vegetation habitats was performed in the spring of 2022 using a random systematic method. To this end, sixty 4\*4-meter quadrats were placed in the key area of each habitat, where the density of the dominant species was calculated by the counting method. Then, after measuring the density of ten species of dominant halophytes in each habitat under study, the mean and variance of species density were calculated. After that, Index of Dispersion (ID), Lexis's Index ( $I_L$ ), Charlier's Index ( $I_{Ch}$ ), Index of Cluster Size (ICS), Green's Index (GI), Index of Cluster Frequency (ICF), Index of Mean Crowding (IMC), Index of Patchiness (IP), Morisita's Index, ( $I_M$ ) and Standardized Morisita ( $I_p$ ) were calculated based on mean ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ), and sampling plot number ( $n$ ).

Moreover, coefficients  $a$  and  $b$  distribution patterns were determined for ten halophyte species based on Taylor's power law model or the linear logarithmic relationship between mean ( $\bar{x}$ ) and variance ( $s^2$ ). In addition, Iwao's patchiness regression model was used to calculate the relationship between the mean ( $\bar{x}$ ) and the Index of Mean Crowding (IMC), based on which  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients were determined. Finally, invers K indices of negative binomial distribution and deviation from the Poisson distribution ( $I_D$ ) were determined, and the fit of plant density data was examined regarding three discrete statistical distributions, including Poisson, binomial, and negative binomial distributions.

1. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management and Research Group of Drought and Climate Change, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran; Email: rostampour@birjand.ac.ir

2. Assistant Professor, Khorasan-e-razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran



**Results:** The results of the analysis of quadrat indices and probability distribution function revealed that *Salsola tomenosa*, *Suaeda Monoica*, *Salsola kali*, *Aeluropus Littoralis*, and *Tamarix Stricta* had a clumped pattern, *Sedilizia Rosmarinus* and *Haloxylon Ammodendron* followed a random pattern, and *Salsola richteri*, *Hammada Salicornica*, and *Tamarix aphylla* enjoyed a uniform pattern. Moreover, *Aeluropus littoralis* was found to have the highest amount of all the indices (except ICF).

On the other hand, the results of the analysis for IP and IM indices were close to each other. Furthermore, according to the halophyte species density data obtained from the analysis of the probability distribution function, *Aeluropus littoralis* and *Suaeda monoica* were the only species that followed the negative binomial distribution which indicates a clumped pattern. On the other hand, *Sedilizia rosmarinus* and *Haloxylon ammodendron* were the only species that followed the Poisson distribution which indicates a random pattern. Moreover, *Salsola richteri*, *Hammada Salicornica*, and *Tamarix aphylla* were found to have followed both Poisson and binomial distribution functions. However, based on the linear relationship between mean logarithm and variance logarithm ( $R^2_{adj} = 0.94$ ,  $P < 0/0001$ ) and the linear relationship between the mean and Index of Mean Crowding (IMC) of density data ( $R^2_{adj} = 0.94$ ,  $p < 0/0001$ ), the overall distribution pattern of the studied halophyte species was identified to have a clumped pattern.

**Discussions and Conclusion:** This study used quadrat, regression, and possibility distribution methods to identify the plants' distribution patterns. Accordingly, the results of the quadrat method indicated that out of the ten species studied, six species had a clumped pattern and four species enjoyed a uniform pattern. Moreover, almost all the methods used in the study area showed that *Aeluropus littoralis* and *Suaeda monoica* followed the clumped distribution pattern. On the other hand, *Tamarix stricta* were found to exert a negative influence on the soil due to salt accumulation and possibly prevent the growth and germination of the surrounding plants, thus contributing to the plant's patchiness. The findings of the study also revealed that *Sedilizia rosmarinus* and *Haloxylon ammodendron* followed a random distribution pattern. On the other hand, while a random distribution pattern is rarely observed in natural ecosystems, the distribution of seeds through wind and livestock, and germination and rapid reproduction of the *Haloxylon ammodendron* in the regional sites of the study area may be regarded as possible reasons for the random distribution of the species.

The results of the analysis of regression methods suggested that the halophyte species generally followed a clumped distribution pattern, indicating the patchiness of nutritional sources and the soil's physical and chemical properties such as moisture, salinity, and texture. It should be noted soil moisture and salinity are considered the main constraining factors of plant communities in desert ecosystems that affect the physiological and morphological properties of halophyte and *psammophyte* plants and limit their distribution, probably contributing to the heterogeneous distribution of plant species. Therefore, the effects of environmental stress on the vegetative and functional properties of plant species and their distribution pattern should be taken into account in developing desert greening and saline land reclamation plans.

**Keywords:** Spatial Pattern, Poisson Distribution, Index of Dispersion, Halophyte.