Journal of Range & Watershed Management
https://jrwm.ut.ac.ir/

Volume 76 (4)
Online ISSN: 2423-7795

Investigating the Effect of the Sample Size and Plot Size on the Numerical Indices of Rangeland Biodiversity

Moslem Rostampour[1] | Alireza Eftekhari[2]

1. 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. Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 11 Apr. 2023
Revised: 23 Jun. 2023
Accepted: 18 Jul. 2023
Published online: 19 Feb. 2024

Keywords:
Sample size,
Diversity profile,
Refraction,
Numerical index,
Species richness.

Abstract

This research was carried out in an enclosure rangeland with four habitats of *Artemisia sieberi*, *Zygophyllum eurypterum*, *Stipa barbata* and *Amygdalus scoparia* located in the Shaskouh protected area, South Khorasan province. All the plant species of the rangeland were identified and counted in 200 plots. Due to the different vegetation form and distribution of each of the dominant species, in each of the four habitats, 20, 40, 60 and 80 plots (respectively) were established with two plot sizes: 2 × 2 meters and 4 ×4 meters (60 plots each). Also, species abundance in the whole rangeland and then in four habitats was determined. Numerical indices were used to evaluate biodiversity, and diversity ordering curves were used to compare four habitats. Also, the alpha and gamma species richness were determined by numerical indices, and single sample rarefaction and pooled rarefaction curves were used to compare species richness and determine data adequacy, respectively. The results showed that the total species richness (gamma) varies between 51 and 54 species based on the Jackknife, Bootstrap and Chao estimators. The results showed that the habitat with 80 plots has the highest species richness and diversity (S = 43 and H = 3.27) and 20 plots have the lowest species richness and diversity (S = 6 and H = 1.41). The results of the SHE analysis showed that with the increase in the number of plots, species evenness decreased. The pooled refraction curve showed that by increasing the number of plots to 110, all plant species in this rangeland will be observed. Also, with the increase in plot size, all values of species richness and diversity indices increased significantly ($p \leq 0.01$). Species evenness indices were not affected by plot size. The results of the present research showed that the numerical indices of species richness and diversity are dependent on plot size. Also, to estimate plant density, 80 plots of 2 × 2 meters in the steppe rangelands are recommended in manuals of rangeland assessment in different climate areas of Iran, and rangeland ecosystems monitoring in different climatic regions of Iran is highly accurate.

Cite this article: Rostampour, M., Eftekhari, A.R. (2024). Investigating the Effect of the Sample Size and Plot Size on the Numerical Indices of Rangeland Biodiversity. *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (4), 351-372. DOI:http//doi.org/10.22059/jrwm.2023.357691.1701

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

نشریه مرتع و آبخیزداری

دوره ۷۶ (۴)
شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

بررسی اثر تعداد و اندازه پلات بر شاخص‌های عددی تنوع زیستی مراتع

مسلم رستم پور[1] | علیرضا افتخاری[2]

۱. گروه مرتع و آبخیزداری و عضوگروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
رایانامه: rostampour@birjand.ac.ir
۲. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

کلیدواژه‌ها:
اندازه نمونه،
رتبه‌بندی تنوع،
جزء نادر،
شاخص عددی،
غنای گونه‌ای.

چکیده

این پژوهش در مرتعی از نوع قرق با چهار رویشگاه *Artemisia sieberi*، *Zygophyllum eurypterum*، *Stipa barbata* و *Amygdalus scoparia* واقع در منطقه حفاظت شده شاسکوه، استان خراسان جنوبی انجام شد. کلیه گونه‌های گیاهی مرتع قرق شناسایی و در ۲۰۰ پلات شمارش شد، به علت متفاوت بودن فرم رویشی و نحوه پراکنش هر کدام از گونه‌های غالب، در هر کدام از چهار رویشگاه، به ترتیب، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ عدد پلات با دو اندازه ۲×۲ متر و ۴×۴ متر (هر کدام ۶۰ پلات) مستقر شد. همچنین وفور گونه‌ای در کل مرتع و سپس در چهار رویشگاه، تعیین شد. جهت ارزیابی تنوع زیستی از شاخص‌های عددی و جهت مقایسه چهار رویشگاه از منحنی‌های رتبه‌بندی تنوع استفاده شد. همچنین غنای گونه‌ای آلفا و گاما توسط شاخص‌های عددی تعیین و از منحنی‌های جزء نادر انفرادی و تجمعی به ترتیب جهت مقایسه غنای گونه‌ای و تعیین کفایت نمونه‌برداری استفاده شد. نتایج نشان داد که غنای کل منطقه براساس شاخص‌های عددی جک‌نایف، بوت استرپ و چائو بین ۵۱ تا ۵۴ گونه متغیر است. رویشگاه با ۸۰ پلات، بیشترین غنا و تنوع گونه‌ای (S=۴۳ و H= ۳/۲۷) و ۲۰ پلات کمترین غنا و تنوع گونه‌ای (S=۶ و H= ۱/۴۱) را دارد. نتایج تحلیل SHE نشان داد که با افزایش تعداد پلات، یکنواختی گونه‌ای کاهش پیدا کرد. منحنی جزء نادر تجمعی نشان داد که با افزایش تعداد پلات به ۱۱۰، کل گونه‌های گیاهی موجود در منطقه مشاهده خواهد شد. همچنین با افزایش اندازه پلات، کلیه مقادیر غنا و تنوع گونه‌ای افزایش معنی‌داری پیدا کردند ($p\leq ۰/۰۱$). شاخص‌های یکنواختی گونه‌ای تحت تاثیر اندازه پلات قرار نگرفتند. همچنین جهت برآورد تراکم گیاهی، تعداد ۸۰ پلات ۲×۲ متر در مراتع استپی توصیه شده در دستورالعمل طرح ارزیابی مراتع مناطق مختلف آب و هوایی کشور و پایش اکوسیستم‌های مرتعی مناطق مختلف آب و هوایی ایران از دقت بالایی برخوردار است.

استناد: رستم‌پور، مسلم؛ افتخاری، علیرضا (۱۴۰۲). بررسی اثر تعداد و اندازه پلات بر شاخص‌های عددی تنوع زیستی مراتع. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۶(۴)، ۳۷۲-۳۵۱.
DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2023.357691.1701

ناشر : انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

ارزیابی تنوع زیستی در جوامع گیاهی، یکی از گام‌های مهم در زمینه حفاظت از اکوسیستم های طبیعی است. امروزه در بین اکولوژیست‌های گیاهی، کاربرد فنون مختلف ارزیابی مناسب تنوع گونه‌ای و پیامدهای شاخص‌های عددی از جمله علایق پژوهشی است (Cox et al., 2017). مطالعات کمی پوشش گیاهی شامل تنوع گونه‌ای، مستلزم داشتن چارچوب مناسب جهت نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از نمونه‌برداری می‌باشد و همواره بین چارچوب نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل آماری هماهنگی وجود دارد (David, 2019). به دلیل متفاوت بودن پوشش گیاهی شامل فرم رویشی و الگوی پراکنش و همچنین وسعت جوامع گیاهی، شدت نمونه‌برداری (تعداد و اندازه پلات) متفاوت خواهد بود (Bonham, 2013؛ مصداقی، ۲۰۱۴)، از طرفی براساس روش‌های آماری و گرافیکی، معمولاً اندازه‌های متفاوتی از پلات برای هر جامعه گیاهی برآورد می‌شود (مقدم، ۲۰۰۱)، بنابراین ضروری است که برای جوامع گیاهی موجود در یک منطقه می‌بایست از تعداد پلات مختلفی برای ارزیابی پوشش گیاهی استفاده شود.

از طرف دیگر، روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری و آنالیز تنوع زیستی وجود دارد که به دو گروه اصلی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شود (اجتهادی و همکاران، ۲۰۰۹)، اگرچه استفاده از روش‌های ناپارمتریک مثل شاخص‌های عددی عددی غنا، تنوع و یکنواختی گونه‌ای به علت سهولت محاسبات، در تحقیقات، متداول است (Magurran, 2013)، اما اکثر این شاخص‌ها، آزاد از توزیع آماری هستند و عموما تحت تاثیر تعداد پلات و تعداد گونه قرار می‌گیرند (Krebs, 2014). از این رو مقایسه آن‌ها با استفاده از روش‌های کلاسیک آماری امکان پذیر نیست. با این حال در مطالعات متعددی مشاهده می‌شود که از آزمون‌های پارامتریک همچون تی استیودنت با نمونه‌های مستقل یا وابسته و یا تحلیل واریانس و یا معادل ناپارامتریک آنها (U من ویتنی، ویلکاکسون، کروسکال–والیس) استفاده می‌شود. حتی در برخی از نرم‌افزارها مثل PAST از آزمون t هاچسون و آزمون ناپارمتری جایگشت برای مقایسه دو به دوی مقادیر تنوع گونه‌ای استفاده می‌کند (Hammer et al., 2001). اما باید در نظر داشت که شرط اصلی یعنی تعداد پلات یکسان در همه مناطق مورد مقایسه بایستی رعایت شود.

اثر روش‌های نمونه برداری، شکل، اندازه و تعداد پلات بر تنوع و تراکم گونه ای در تحقیقات مختلفی بررسی شده است. به عنوان مثال، کیلی و فوترینگام[1] (۲۰۰۵)،از لحاظ غنای گونه‌ای، تفاوت معنی‌داری بین قطعات مربعی و مستطیلی شکل در انواع مختلف پوشش گیاهی مشاهده نکرد. یا کاکس[2] و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند که در ارزیابی میدانی تراکم و تنوع گونه‌ای، نمونه‌برداری تصادفی با استفاده از کوادرات نسبت به به روش فتوکوادرات و خط نقطه[3] ترجیح داده می‌شود زیرا تراکم مشابه را در زمان کمتر تشخیص می‌دهد. به نظر می‌رسد بین شکل، اندازه و تعداد پلات بر روی غنای گونه‌ای، تعداد پلات، تاثیر بیشتری داشته باشد. مثلاً استولگرن[4] (۲۰۰۷) بیان می‌کند که غنای گونه‌ای گیاهان بومی در دو سایت چرا شده و قرق در پلات‌های یک متر مربعی و هزار مترمربعی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. اما در مورد چگونگی تأثیر اندازه و تعداد پلات بر تشخیص و برآورد غنای گونه‌ای اطلاعات اندکی وجود دارد (Zhang et al., 2014). در برخی از تحقیقات ارزیابی تنوع زیستی از پلات‌های ویتاکر و اصلاح شده آن استفاده می‌شود (قربانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ مصداقی، ۲۰۱۴). امیدزاده اردلی و همکاران (۲۰۱۷) با ارزیابی کارایی آنها بیان کردند که علیرغم دقت و صحت بالای آن برای ارزیابی تنوع زیستی، اما زمان نمونه‌برداری و به دنبال آن هزینه آن و تعداد پلات را محدود می‌کند.

تقریبا تمامی شاخص‌های عددی تنوع زیستی بر اساس معیار تراکم یا وفور گونه‌ای محاسبه می‌شوند و این دو معیار به طور طبیعی در بین گونه‌های گیاهی تغییر می‌کند و بیشتر تحت تاثیر روش و نمونه برداری و تعداد پلات قرار می‌گیرد (McCabe, 2011). حال برای مقایسه دو منطقه با تعداد پلات متفاوت چه باید کرد؟ برای حل این مسئله، محققین روش‌های پارامتری همچون منحنی درجه‌بندی تنوع

1 Keeley & Fotheringham
2 Cox
3 Point intercept
4 Stohlgren

و جزء نادر[1] را گزینه مناسبی برای آنالیز و مقایسه تنوع گونه‌ای در بین جوامع گیاهی می‌دانند (Colwell et al., 2012؛ Magurran, 2013). کاکس و همکاران (۲۰۱۷)، کاربرد منحنی‌های جزء نادر را در ارزیابی اثر روش‌های مختلف نمونه‌برداری (کوادرات، خط نقطه و فتوکوادرات) بررسی کردند، منحنی‌های جزء نادر بر اساس نمونه نشان داد که تفاوت بین اعداد هیل (غنا، تنوع شانون و تنوع سیمپسون) در روش‌های نمونه‌برداری قابل توجه است.

در مقایسه تنوع جوامع گیاهی، یک مسئله‌ای که وجود دارد این است که مقادیر دو مولفه اصلی تنوع، یعنی غنا و یکنواختی ممکن است در یک جامعه گیاهی همخوانی نداشته باشند و نمی‌توانند نشان دهنده وضعیت یک جامعه باشند، برای مقایسه این جوامع، راه‌حل، استفاده از نمودارهای رتبه‌بندی تنوع است، جوامعی که رتبه بالاتری دارند، متنوع‌ترند و جوامعی که رتبه‌بندی نمی شوند، بایکدگیر قابل مقایسه نیستند. مسئله دیگری که اغلب در مقایسه مقادیر غنای گونه‌ای در جوامع گیاهی پیش می‌آید این است که این برآوردها بر اساس تعداد پلات متفاوتی بدست آمده‌اند. هر چه تعداد پلات بیشتر باشد، مسلماً تعداد گونه‌های بیشتری مشاهده خواهد شد، از این‌رو با مقایسه این جوامع نمی‌توان بلافاصله متوجه شود کدام جامعه، غنای گونه‌ای بالاتری دارد. یک راه برای غلبه بر این مشکل این است که تمام نمونه‌های حاصل از جوامع مختلف به یک اندازه نمونه مشترک از تعداد مشابهی از افراد استاندارد شود، که به این روش، روش جزء نادر گفته می‌شود (Chao & Jost, 2015).

یکی از اولین اهداف تحقیقات مرتعداری، بررسی اثر یا اثرات یک پدیده یا تیمار بر خصوصیات پوشش گیاهی مرتع است، که جهت تجزیه و تحلیل این اهداف از آزمون‌های مقایسه‌ای استفاده می‌شود (بی همتا و زراع چاهوکی، ۲۰۱۵)، اما همانطور که اشاره شد، به علت تغییرات پوشش گیاهی در تیپ‌های گیاهی مختلف، معمولا از تعداد و اندازه‌های مختلف پلات برای نمونه‌برداری استفاده می‌شود و این موضوع، استفاده از روش‌های آماری مقایسه‌ای را با محدودیت مواجه می‌کند، روش‌های رتبه‌بندی و جزء نادر از جمله روش‌های ترسیمی و آماری هستند که جهت حل مشکل استفاده می‌شوند، اما اطلاعات در خصوص این دو روش اندک است، بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی و مقایسه تنوع و یکنواختی گونه‌ای در چهار رویشگاه مرتعی در مرتع قرق واقع در استان خراسان جنوبی با تعداد پلات و اندازه پلات مختلف با استفاده از روش‌های پارامتریک (منحنی‌های رتبه بندی تنوع) و ناپارمتریک (شاخص‌های عددی) است. همچنین در این پژوهش از روش جزء نادر هم برای مقایسه غنای چهار رویشگاه و هم تعیین کفایت نمونه‌برداری استفاده خواهد شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. مشخصات منطقه مورد مطالعه

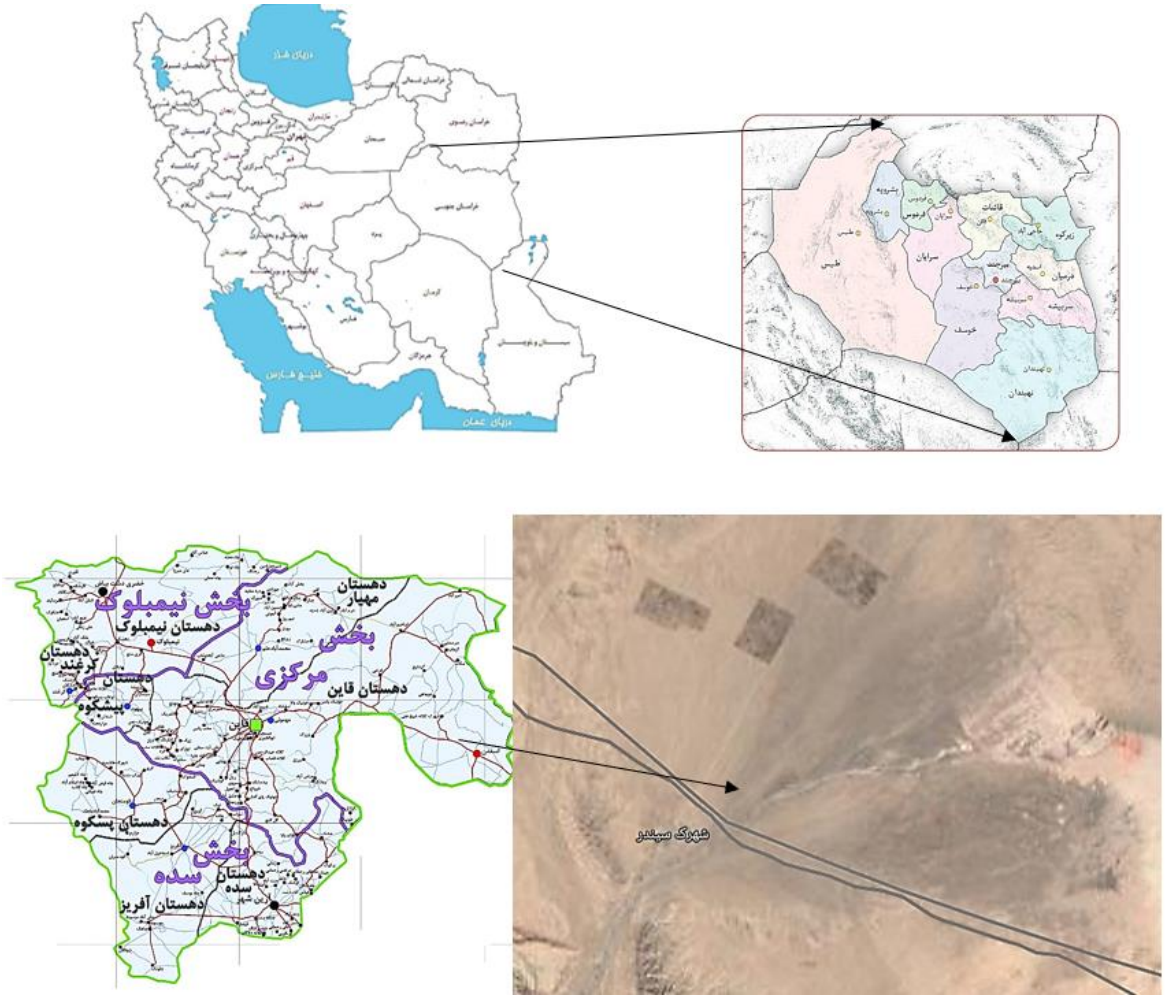
این پژوهش در دامنه‌های جنوبی منطقه حفاظت شده شاسکوه، دامنه‌های مشرف به دشت اسفدن، ۴۵ کیلومتری شهر قاین، مرکز شهرستان قاینات، استان خراسان جنوبی انجام شد، منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و ۲۴ ثانیه عرض شمالی و ۵۹ درجه ۳۰ دقیقه و ۴۶ ثانیه طول شرقی در ارتفاع تقریبی ۱۲۶۰ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). مرتع مدنظر در جاده اصلی قاین به زیرکوه، در ۱۵ کیلومتری روستای اسفدن و ۲ کیلومتری روستای سینیدر قرار دارد و با وسعت ۳۲۰ هکتار، حدود ۲۵ سال توسط اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان قاین محافظت می‌شود.

۲-۲. نمونه‌برداری

در پژوهش حاضر، در اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۹۹ که تقریباً اکثر گیاهان به مرحله گلدهی رسیده بودند، اقدام به نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری به روش تصادفی انجام گرفت. پس از پیمایش صحرایی، چهار رویشگاه مرتعی در آن تشخیص داده شد، منطقه مورد مطالعه یکی از اکوسیستم‌های درمنه‌زار واقع در مناطق خشک است و گونه‌های *Artemisia sieberi*، *Zygophyllum eurypterum*، *Stipa*

1 Rarefaction

barbata و *Amygdalus scoparia* در آن غالب بودند (شکل ۲). علت انتخاب منطقه مورد مطالعه بدین دلیل بود که این چهار گونه، جزو گونه‌های غالب مراتع استپی درمنه‌زار کشور هستند، و در منطقه مورد مطالعه، هر کدام یک تیپ گیاهی تشکیل داده‌اند. دلیل دوم این بود که این تیپ‌ها در منطقه قرق نیز قرار دارند و در این صورت، اثر حضور دام از پژوهش حذف شده است. کلیه گونه‌های گیاهی مرتع قرق شناسایی و در ۲۰۰ پلات ۲×۲ متر شمارش شد، تعداد پلات قبلاً توسط فرمول کوکران محاسبه شده بود (رستم پور، ۲۰۲۲). به علت متفاوت بودن فرم رویشی (گندمی، بوته‌ای و درختچه‌ای) و نحوه پراکنش هر کدام از گونه‌های غالب، در هر کدام از چهار رویشگاه واقع در منطقه قرق، به ترتیب، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ عدد پلات ۲×۲ متر مستقر شد. تعداد پایه هر گیاه در هر پلات شمارش و براساس آن تراکم و وفور گونه‌ای (تعداد پایه در گستره‌ای با ابعاد مشخص) (مقدم، ۲۰۰۱) محاسبه شد. به منظور بررسی اثر اندازه پلات، نیز در کل منطقه نیز بدون درنظر گرفتن نوع رویشگاه دو اندازه ۲×۲ متر و ۴×۴ متر (هر کدام ۶۰ پلات) مستقر شد و تراکم و وفور گونه‌ای در آنها محاسبه شد. مبنای انتخاب اندازه و تعداد پلات، دستورالعمل طرح ارزیابی مراتع مناطق مختلف آب و هوایی کشور (ارزانی، ۲۰۰۹) و دستورالعمل طرح پایش اکوسیستم‌های مرتعی مناطق مختلف آب و هوایی ایران (موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، ۲۰۲۰) است. براساس این دستورالعمل‌ها، در مناطق استپی می‌بایست ۶۰ عدد پلات ۲×۲ متر (بسته به سطح تاج پوشش گونه‌های گیاهی) تا حداکثر ۸۰ پلات مستقر شود.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به استان و شهرستان

شکل ۲. نمایی از رویشگاه *Zygophyllum eurypterum* واقع در دشت اسفدن، خراسان جنوبی

۲-۳. ارزیابی تنوع گونه‌ای آلفا و گاما با استفاده از روش‌های ناپارامتریک

شاخص‌های عددی ناپارامتریک (جدول ۱) براساس معیار وفور گونه‌ای با استفاده از توابع speciesdiv برای تنوع گونه‌ای (جینی-سیمپسون، سیمپسون، شانون-وینر) ، specieseve برای یکنواختی گونه‌ای (سیمپسون و پیلو)، margalef و menhinick به ترتیب برای شاخص‌های غنای گونه‌ای (آلفا) مارگالف و منهینیک، berger_parker_d برای شاخص غالبیت برگر-پارکر در بسته adiv و توابع specpool برای غنای گونه‌ای کل (گاما) (S، جک‌نایف ۱، جک‌نایف ۲، بوت استرپ و چائو) در بسته vegan محاسبه شد.

۲-۴. ارزیابی تنوع گونه‌ای آلفا و گاما با استفاده از روش‌های پارامتریک

شاخص‌های پارامتریک ارزیابی تنوع گونه‌ای براساس معیار وفور گونه‌ای با استفاده از توابع divparam برای تنوع گونه‌ای، eveparam برای یکنواختی گونه‌ای و بر اساس اعداد هیل (۰= q: غنای گونه‌ای، ۱= q: شاخص نمایی شانون-وینر و ۲= q : شاخص معکوس غالبیت سیمپسون) و نمودار رتبه‌بندی با استفاده از توابع plot.divparam و plot.eveparam با استفاده از بسته adiv رسم شد. همچنین به منظور مقایسه مقادیر یکنواختی گونه‌ای و تفکیک سهم مولفه‌های تنوع زیستی از تحلیل SHE به روش بوزاس و هایک (۱۹۹۸) و تابع she در بسته forams استفاده شد. در این روش، به دو صورت عمل شد، در روش اول مقادیر ln E در برابر ln M رسم شد که در آن: E: مقدار شاخص یکنواختی برای یک نمونه منفرد، E = eH/S و M: تعداد پایه در یک سری تجمعی از پلات‌ها، H: شاخص تنوع شانون-وینر و S: تعداد گونه‌ها است. در روش دوم، مقادیر ln S، H و ln E با افزایش تعداد پلات در یک نمودار ترسیم شدند (اجتهادی و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۱. مولفه‌های تنوع گونه‌ای

مولفه	نام شاخص	رابطه	حدود
غنای گونه‌ای	چائو۱	$S_1 = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$	۰-∞
	جک‌نایف ۱	$S_{jak\ 1} = S_{obs} + \left(\frac{n-1}{n}\right) \times k$	۰-∞
	جک‌نایف ۲	$S_{jak\ 2} = S_{obs} + \left[\frac{k \times (2n-3)}{n} - \frac{m(m-2)^2}{n \times (n-1)}\right]$	۰-∞
	بوت استرپ	$S_{boot} = S_{obs} + \sum_{k=1}^{S_{obs}} (1-p_k)^2$	۰-∞
	منهینیک	$D_{mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$	۰-∞
	مارگالف	$D_{mg} = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$	۰-∞
تنوع گونه‌ای	شانون-وینر	$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i\, LnP_i$	۰-۴/۵
	جینی-سیمپسون	$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^{S} p_i^2$	۰-۱
یکنواختی گونه‌ای	پیلو	$J' = H' / \ln(S)$	۰-۱
	سیمپسون	$V' = D / D_{max}$	۰-۱
غالبیت گونه‌ای	سیمپسون	$D = \sum_{i=1}^{S} p_i^2$	۰-۱
	برگر-پارکر	$BP = \frac{n_{max}}{N}$	۰-۱

که در آن S_{obs}: تعداد گونه‌های مشاهده شده، F_1: تعداد گونه های تک عضوی (تعداد گونه‌هایی با یک حضور در پلات)، F_2: تعداد گونه‌های دو عضوی (تعداد گونه‌هایی با دوبار حضور در پلات)، S: تعداد کل گونه، Nma: تعداد پایه فراوان‌ترین گونه، N: تعداد کل پایه‌ها در نمونه، P_i: نسبت پایه‌ها در گونه i ام، n: تعداد پلات، k: تعداد گونه‌های منحصر بفرد (مشاهده شده در یک پلات)، m: تعداد گونه‌های تکراری (مشاهده شده در دو پلات).

روش جزء نادر یک روش آماری برای برآورد تعداد گونه‌های مورد انتظار در یک نمونه تصادفی از افراد گرفته شده از یک مجموعه می‌باشد. جزء نادر به دو صورت کلی مبتنی بر تعداد پایه[1] و تعداد نمونه[2] محاسبه می‌شود (Mao & Colwell, 2005؛ Colwell et al., 2012) و منحنی‌های آن به دو شکل انفرادی و تجمعی ترسیم می‌شود. در این پژوهش چون داده‌های وفور گونه‌ای از پلات بدست آمده است، روش مبتنی بر تعداد نمونه استفاده شد. همچنین از منحنی‌های جزء نادر انفرادی با استفاده از تابع specaccum (روش rarefaction) برای بررسی کفایت نمونه‌برداری و از منحنی تجمعی با حدود طمینان ۹۵ درصد با استفاده از تابع rarefy برای مقایسه غنای گونه‌ای در مناطقی با تعداد پلات مختلف، استفاده شد. برازش توزیع وفور گونه‌ای هر کدام از چهار منطقه با ۵ مدل آماری (Null یا سری لگاریتمی، Preemption یا سری هندسی، لوگ نرمال، زیپ و مندلبروت) با استفاده از تابع radfit بررسی شد. کلیه منحنی‌های فوق توسط بسته vegan ترسیم شد (Oksanen et al., 2022).

1 Individual-Based
2 Sample Size-Based

۲-۵. تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن داده‌های وفور گونه‌ای با استفاد از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. در صورت نرمال نبودن داده‌های وفور، بر روی داده‌ها تبدیل آماری صورت گرفت (تابع decostand در بسته vegan) استفاده شد. همانطور که بیان شد، جهت مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی در چهار رویشگاه با تعداد پلات مختلف از روش‌های متداول آماری استفاده نشد، بلکه مقایسات توسط منحنی‌ها انجام گرفت. جهت مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی در دو منطقه با اندازه پلات ۲×۲ متر و ۴×۴ متر از آزمون ناپارامتریک جایگشت توسط تابع perm در بسته perm استفاده شد. به منظور ارزیابی دقت نمونه‌برداری، مقادیر اشتباه معیار از میانگین (SE) و ضریب تغییرات (CV) تراکم گیاهی برای تعداد و اندازه‌های مختلف پلات محاسبه شد (Krebs, 2014)، دقیق‌ترین تعداد و اندازه پلات، کوچکترین اشتباه معیار و ضریب تغییرات را خواهد داشت. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری در محیط R انجام شد (R Core Team, 2020).

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. ارزیابی اثر تعداد پلات بر شاخص‌های تنوع زیستی

۳-۱-۱. ارزیابی و مقایسه تنوع گونه‌ای

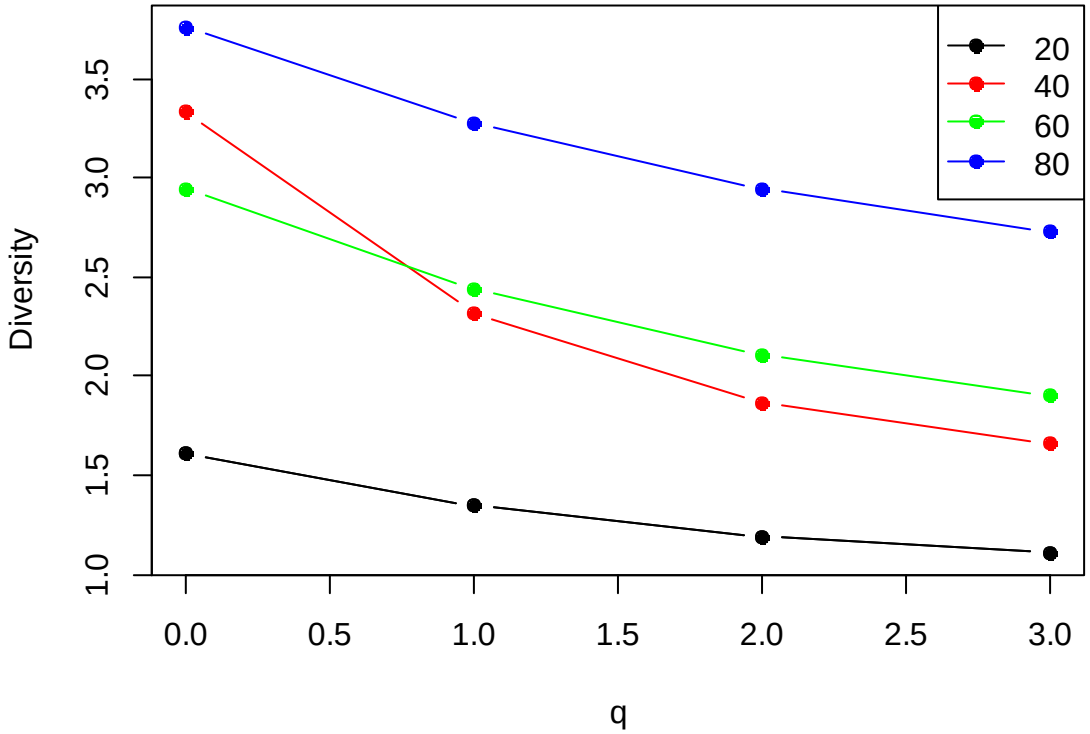
نتایج نشان داد که مقادیر وفور گونه‌ای از توزیع نرمال برخوردار نبودند، حتی تبدیل داده‌ها نیز تاثیری نداشت. در پژوهش حاضر، شاخص‌های عددی که براساس وفور گونه‌ای برآورد می‌شوند، از شرایط آزمون‌های پارامتریک برخوردار نیستند، بنابراین برای ارزیابی شاخص‌های تنوع از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پلات، شاخص‌های تنوع جینی-سیمپسون و شانون -وینر افزایش و شاخص‌های غالبیت سمپسون و برگر-پارکر کاهش می‌یابد (جدول ۲).

جدول ۲. مقادیرشاخص‌های عددی تنوع، غالبیت و یکنواختی گونه‌ای در کل مرتع و چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق

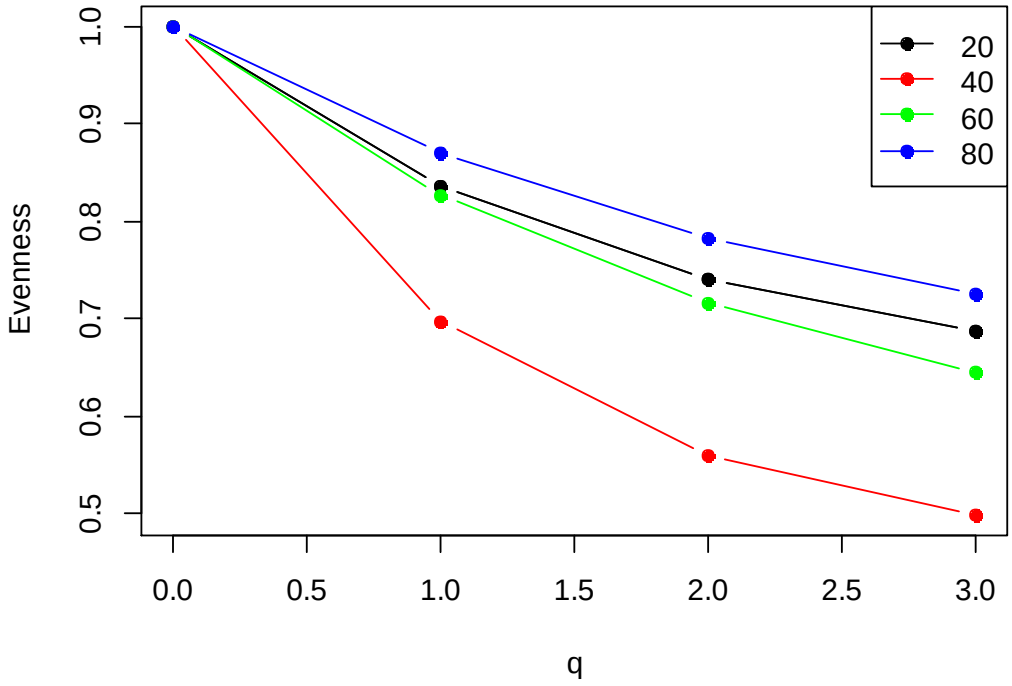
تعداد پلات	تنوع گونه‌ای		غالبیت گونه‌ای		یکنواختی گونه‌ای	
	شانون	جینی-سیمپسون	سیمپسون	برگر-پارکر	پیلو	سیمپسون
۲۰	۱/۴۱	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۷۸	۰/۵۵
۴۰	۲/۴۰	۰/۸۶	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۷۱	۰/۲۴
۶۰	۲/۴۳	۰/۸۸	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۸۳	۰/۴۳
۸۰	۳/۲۷	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۸۷	۰/۴۴
کل مرتع	۳/۳	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۸۴	۰/۳۹

جهت مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی، از منحنی رتبه‌بندی تنوع استفاده شد. نتایج نمودار رتبه‌بندی تنوع گونه‌ای در چهار رویشگاه نشان می‌دهد که پروفیل ۸۰ پلات در بالا قرار گرفته بیشترین تنوع گونه‌ای و پروفیل ۲۰ پلات در پایین قرار گرفته و کمترین تنوع گونه‌ای را دارد. از آنجایی که پروفیل‌های ۴۰ و ۶۰ پلات همدیگر را قطع می‌کنند قابل مقایسه نیستند (شکل ۳).

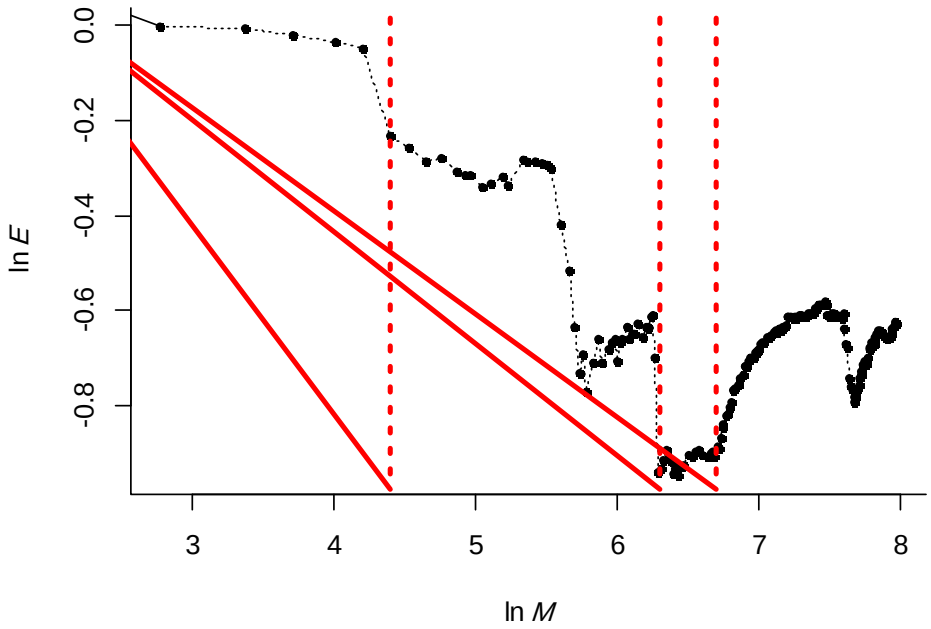
همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، رویشگاه با ۴۰ پلات، کمترین مقدار شاخص یکنواختی گونه‌ای را دارد. برای مقایسه سایر رویشگاه‌ها از منحنی رتبه‌بندی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که به علت عدم قطع خطوط پروفیل‌ها، کلیه رویشگاه‌ها با یکدیگر قابل مقایسه هستند (شکل ۴). از لحاظ یکنواختی گونه‌ای، از زیاد به کم، به ترتیب رویشگاه‌های با تعداد پلات ۸۰ تایی، ۲۰ تایی، ۶۰ تایی و ۴۰ تایی قرار دارند. با نگاه به جدول ۲، مشاهده می‌شود که مقدار شاخص یکنواختی سیمپسون در تعداد ۲۰ پلات بیشتر است و در شاخص پیلو تعداد ۸۰ پلات بیشتر است. برای حل این مسئله، مقادیر ln E در برابر ln M رسم شد (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پلات، میزان یکنواختی گونه‌ای کاهش می‌یابد.



شکل ۳. نمودار رتبه‌بندی تنوع گونه‌ای بر اساس اعداد هیل در چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق (تعداد پلات: ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰)

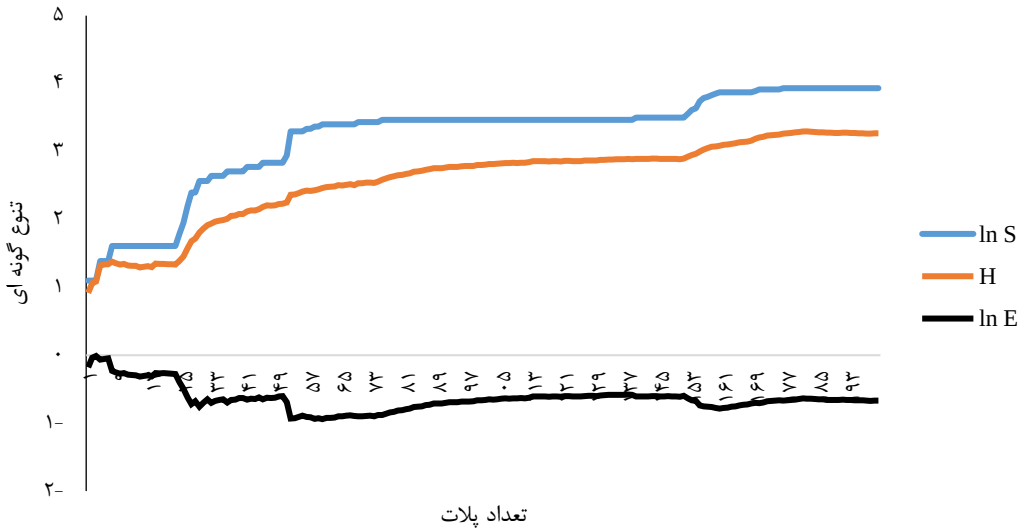


شکل ۴. نمودار پروفیل یکنواختی گونه‌ای بر اساس اعداد هیل در چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق (تعداد پلات: ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰)



شکل ۵. نمودار ln E در برابر ln M براساس وفور گونه‌ای در فرآیند تجمعی. خط چین‌ها نشان دهنده مرز بین رویشگاه‌ها و به ترتیب ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ پلات است.

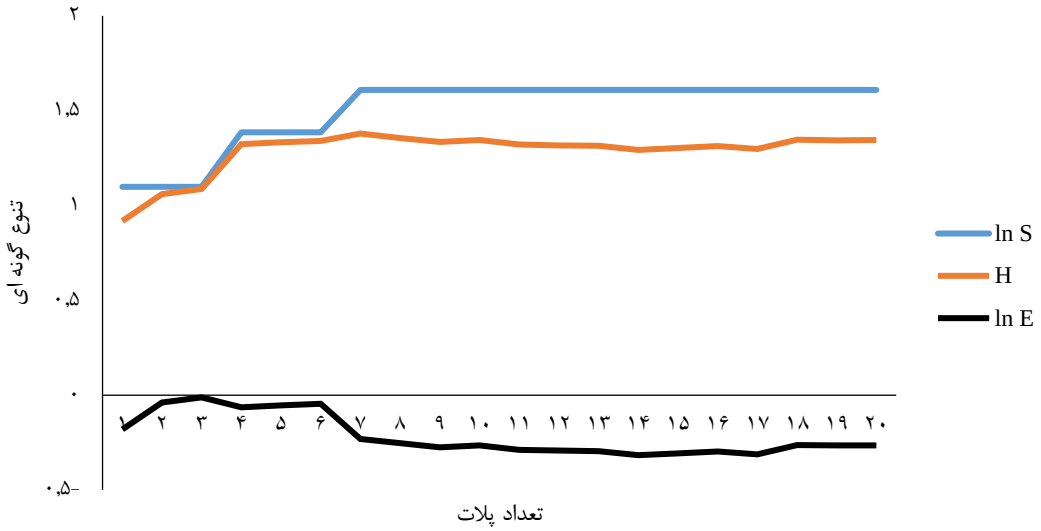
نتایج روش دوم تحلیل SHE نیز نشـــان می‌دهد که در کل مرتع، با افزایش تعداد پلات غنا و تنوع گونه‌ای افزایش و یکنواختی گونه‌ای کاهش می‌یابد (شکل ۶). در هر چهار رویشگاه نیز نمودارهای تحلیل SHE ترسیم شده است (شکل‌های ۷ تا ۱۰). همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد پلات در رویشگاه با ۲۰ و ۴۰ پلات، تغییرات یکنواختی گونه‌ای روندی کاهشی و در رویشگاه با ۶۰ و ۸۰ پلات، روندی ثابت دارد.



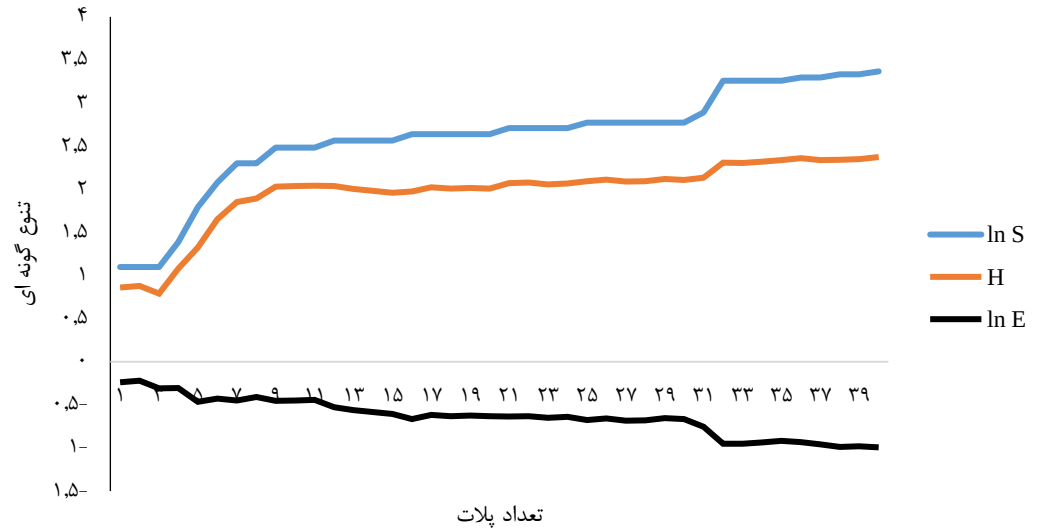
شکل ۶. تحلیل SHE به مؤلفه‌های غنا (S)، تنوع (شاخص شانون، H) و یکنواختی (E) در مقیاس لگاریتم طبیعی برای کل مرتع مورد مطالعه

۳-۱-۲. ارزیابی و مقایسه غنای گونه‌ای

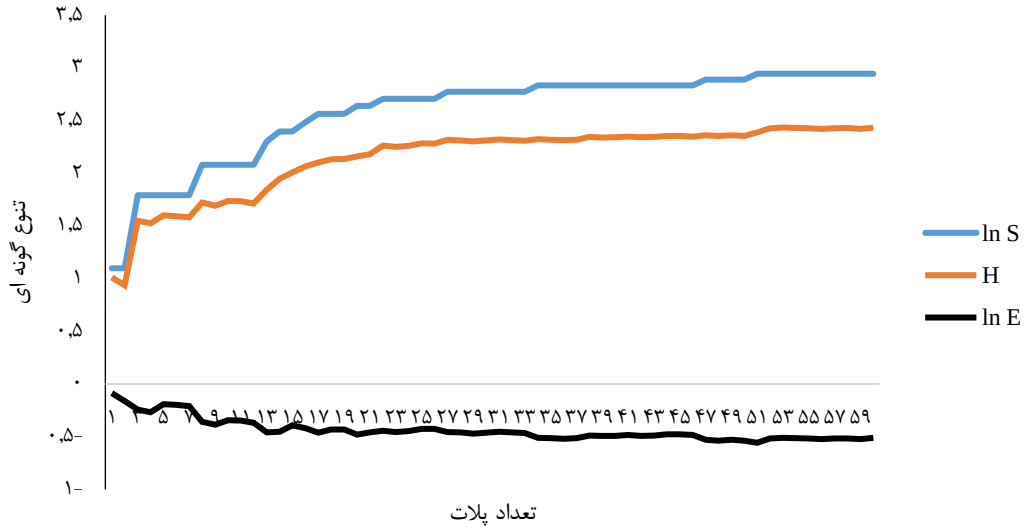
غنای گونه‌ای کل مرتع (گاما) بر اساس شاخص‌های عددی ناپارامتریک همچون جک‌نایف، بوت استرپ و چائو بین ۵۱ تا ۵۴ گونه متغیر است (جدول ۳)، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پلات، غنای گونه‌ای ابتدا افزایش، سپس کاهش و در ادامه افزایش داشت. حداکثر غنای گونه‌ای آلفا در رویشگاه با ۸۰ پلات، ۴۳ گونه گیاهی است (جدول ۴).



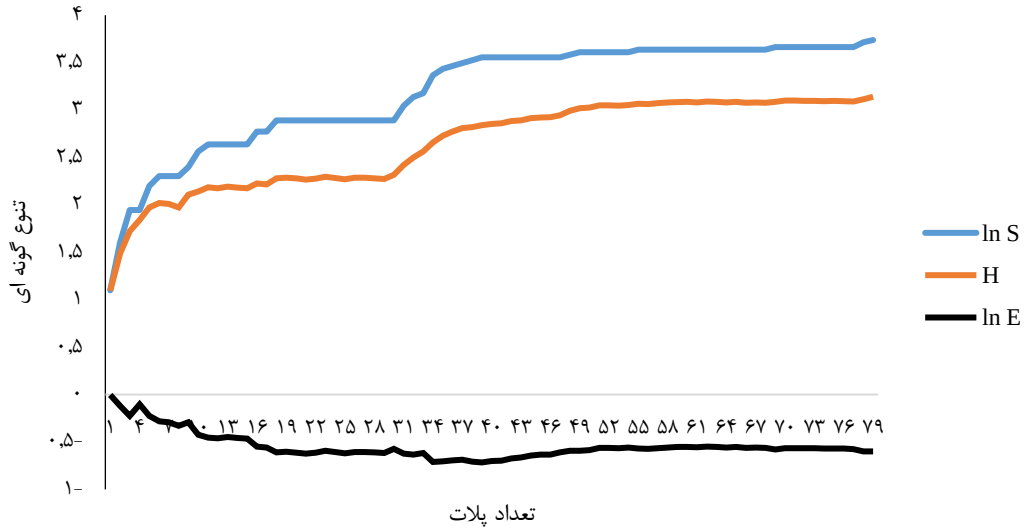
شکل ۷. تحلیل SHE به مؤلفه‌های غنا (S)، تنوع (شاخص شانون، H) و یکنواختی (E) در مقیاس لگاریتم طبیعی برای رویشگاه با ۲۰ پلات



شکل ۸. تحلیل SHE به مؤلفه‌های غنا (S)، تنوع (شاخص شانون، H) و یکنواختی (E) در مقیاس لگاریتم طبیعی برای رویشگاه با ۴۰ پلات



شکل ۹. تحلیل SHE به مؤلفه‌های غنا (S)، تنوع (شاخص شانون، H) و یکنواختی (E) در مقیاس لگاریتم طبیعی برای رویشگاه با ۶۰ پلات



شکل ۱۰. تحلیل SHE به مؤلفه‌های غنا (S)، تنوع (شاخص شانون، H) و یکنواختی (E) در مقیاس لگاریتم طبیعی برای رویشگاه با ۸۰ پلات

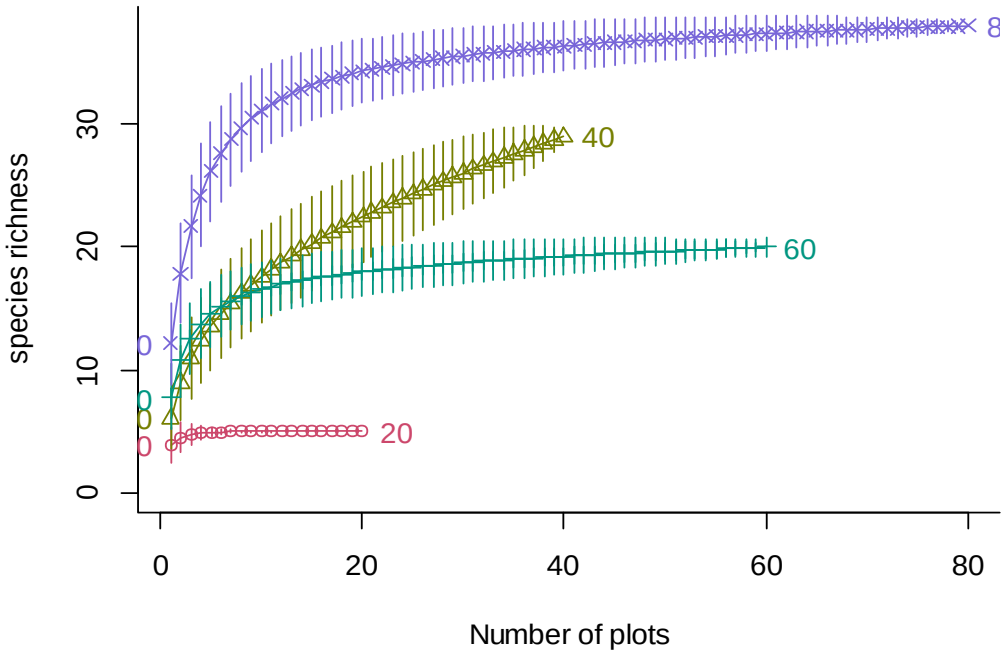
جدول ۳. مقادیر شاخص‌های عددی غنای گونه‌ای گاما در کل مرتع قرق

	S	جک‌نایف ۱	جک‌نایف ۲	بوت استرپ	چائو
غنای کل	۵۱	۵۳/۹۸	۵۱/۰۵	۵۳/۱۸	۵۱/۷۵

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های عددی غنای گونه‌ای آلفا در چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق

تعداد پلات	غنای گونه‌ای (تعداد گونه)				وفور گونه‌ای (تعداد پایه در یک متر مربع)
	S	چائو ۱	منهینیک	مارگالف	
۲۰	۶	۵	۰/۲۸	۰/۸۲	۵/۶
۴۰	۲۹	۳۵	۱/۴۵	۴/۶۷	۲/۵
۶۰	۱۹	۱۹	۰/۶۶	۲/۶۵	۳/۵
۸۰	۴۳	۴۳/۵	۱/۱۷	۵/۸۳	۴/۲

برای مقایسه غنای گونه‌ای در چهار رویشگاه، از منحنی جزء نادر استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که تعداد ۲۰ پلات دارای کمترین غنای گونه‌ای (۶ گونه) و تعداد ۸۰ پلات دارای بیشترین غنای گونه‌ای (۳۵ گونه) می‌باشد. بین تعداد ۴۰ پلات و ۶۰ پلات به علت تداخل حدود اطمینان ۹۵ درصد تفاوتی از لحاظ غنای گونه‌ای وجود ندارد (شکل ۱۱). از اینرو تفاوت بین تعداد پلات ۲۰ تایی و ۸۰ تایی کاملا واضح است. همچنین نمودار نشان می‌دهد که تعداد ۸۰ پلات و ۶۰ پلات به دلیل رسیدن منحنی به خط مجانب مناسب است، اما تعداد ۴۰ پلات به خط مجانب نمی‌رسد و از اینرو کفایت لازم برای نمونه‌برداری به منظور برآورد حداکثر غنای گونه‌ای را ندارد. تعداد ۲۰ پلات اگر چه به خط مجانب رسیده است، اما این نشان می‌دهد که برای تعداد پلات کم، روش جزء نادر مناسب نیست.

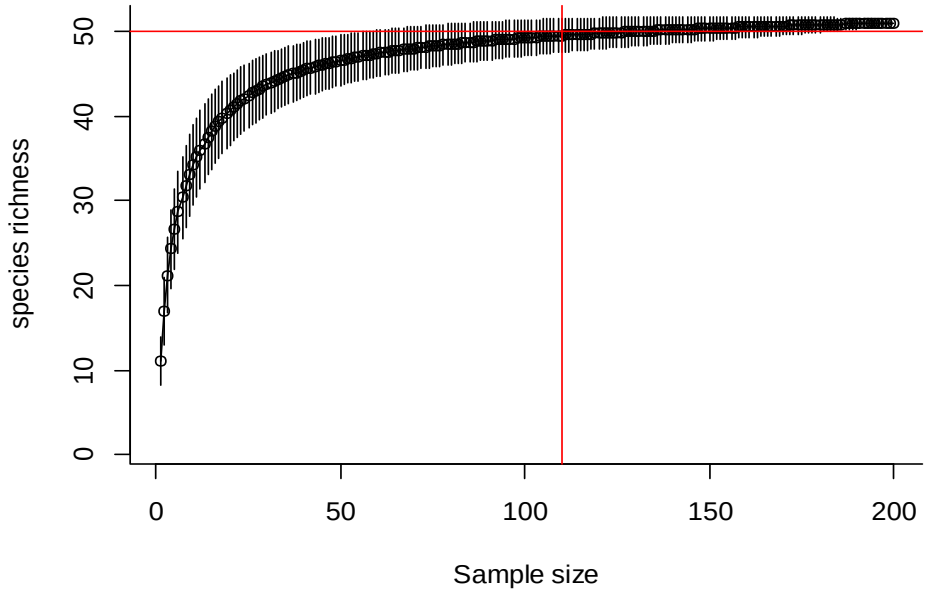


شکل ۱۱. نمودار جزء نادر انفرادی در چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق (تعداد پلات: ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰)

۳-۱-۳. ارزیابی کفایت نمونه‌برداری

در خصوص ارزیابی کفایت نمونه‌برداری برای غنای گونه‌ای، تعداد گونه گیاهی اهمیت دارد. منحنی جزء نادر کلی نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پلات، تعداد گونه نیز افزایش می‌یابد و این روند افزایش تا بیشتر از ۱۱۰ پلات باقی می‌ماند (شکل ۱۲). همچنین این نمودار نشان دهنده کفایت نمونه‌برداری است بدین صورت که با افزایش تعداد پلات به ۱۱۰، کل گونه‌های گیاهی موجود در منطقه (۵۱

=غنای کل) مشاهده خواهد شد، از این رو در منطقه مورد مطالعه می توان انتظار داشت که با ۲۰۰ پلات، کلیه گونه‌های گیاهی موجود در منطقه را مشاهده نمود.



شکل ۱۲. نمودار جزء نادر تجمعی (منحنی تجمع گونه‌ای) در کل مرتع قرق

۳-۱-۴. توزیع وفور گونه‌ای

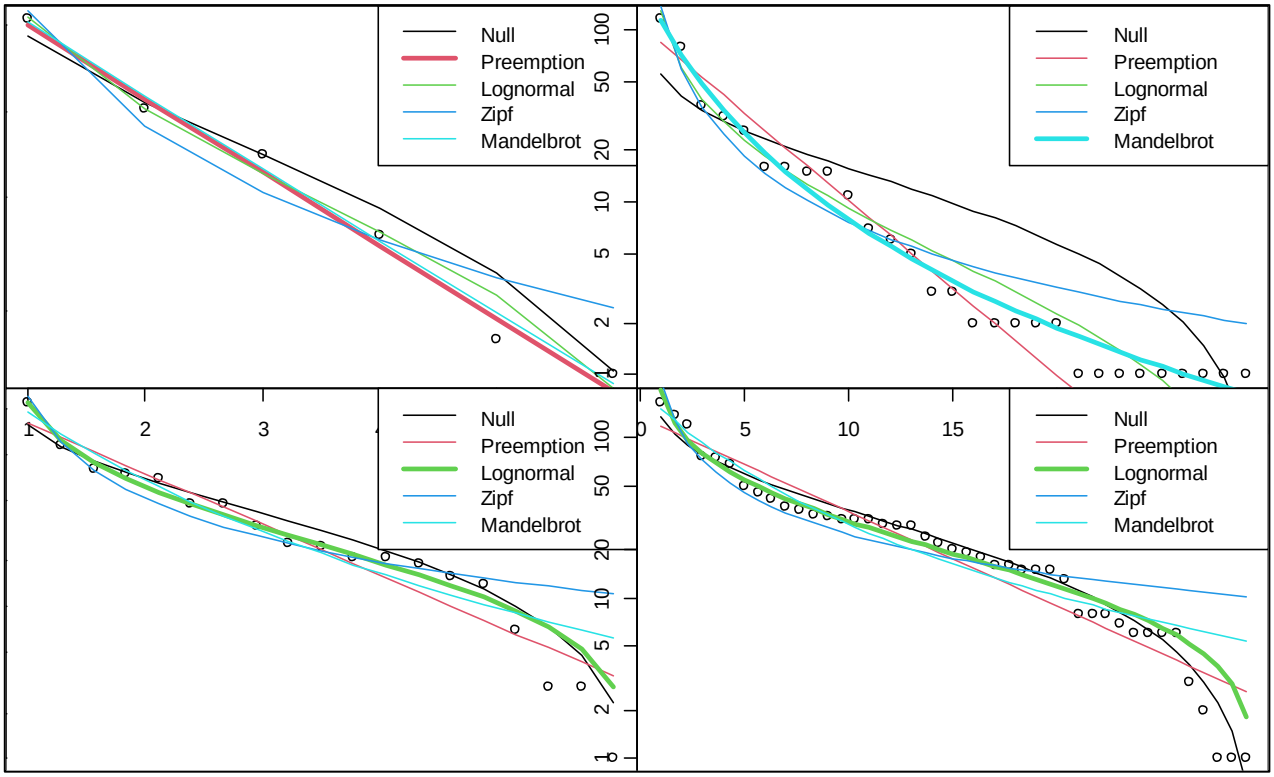
یکی دیگر از روش‌های ارزیابی تنوع زیستی، استفاده از مدل‌های توزیع وفور گونه‌ای است. برازش توزیع وفور گونه‌ای هر کدام از چهار رویشگاه با ۵ مدل آماری (سری لگاریتمی، سری هندسی، لوگ نرمال، زیپ و مندلبروت) نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پلات از ۲۰ به ۸۰ تا، شکل توزیع وفور گونه‌ای رویشگاه‌های مورد مطالعه به ترتیب از مدل سری هندسی به سمت مدل لوگ نرمال تغییر می‌کنند (شکل ۱۳).

۳-۲. ارزیابی اثر اندازه پلات بر شاخص‌های تنوع زیستی

نتایج آزمون ناپارامتریک جایگشت نشان می‌دهد که اثر اندازه پلات بر کلیه شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شده است و با افزایش اندازه پلات، کلیه مقادیر افزایش معنی‌داری پیدا کردند (جدول ۵). شاخص‌های یکنواختی گونه‌ای تحت تاثیر اندازه پلات قرار نگرفتند. شاخص‌های غالبیت گونه‌ای نیز در پلات ۲×۲ متر بیشتر از ۴×۴ متر هستند.

۳-۳. ارزیابی دقت نمونه‌برداری

نتایج نشان می‌دهد که تراکم گیاهی به عنوان پایه محاسبات شاخص‌های تنوع زیستی، در کل مرتع مورد مطالعه، به طور متوسط حدود ۱۴ پایه در مترمربع است، بر این اساس، مرتع با ۶۰ پلات، دارای تراکم گیاهی در حد متوسط تراکم کل مرتع است، از این‌رو نسبت به سایر پلات‌ها از صحت بیشتری برخوردار است (جدول ۶). تعداد ۸۰ پلات، کمترین میزان ضریب تغییرات تراکم را دارد، از این‌رو دقیق‌ترین تعداد پلات محسوب می‌شود (جدول ۷).



شکل ۱۳. برازش توزیع وفور گونه‌ای هر کدام از چهار رویشگاه با پنج مدل آماری (Null یا سری لگاریتمی، Preemption یا سری هندسی، لوگ نرمال، زیپ و مندلبروت)

جدول ۵. مقایسه شاخص‌های عددی تنوع زیستی در اندازه پلات ۲×۲و ۴×۴ متر در چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق

مولفه	شاخص	اندازه پلات		p.value
		۲×۲ متر	۴×۴ متر	
وفور گونه‌ای	–	۵۳۱	۶۶۰	۰/۰۰
غنای گونه‌ای	S	۱۷	۲۵	۰/۰۰
	چائو۱	۱۷	۲۶	۰/۰۰
	منهینیک	۰/۷۴	۱/۲۲	۰/۰۰
	مارگالف	۲/۵۵	۳/۹۷	۰/۰۰
تنوع گونه‌ای	شانون–وینر	۲/۲۳	۲/۶۴	۰/۰۰
	جینی–سیمپسون	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۰۱
یکنواختی گونه‌ای	پیلو	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۱۱
	سیمپسون	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۶۹
غالبیت گونه‌ای	سیمپسون	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۱
	برگر–پارکر	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۰۶

جدول ۶. مقادیر آمار توصیفی تراکم گیاهی در چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق (تعداد پلات: ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰)

تعداد پلات اولیه	میانگین	اشتباه معیار از میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۲۰	۱۲	۰/۸۳	۳/۷۱	۳۱/۱۹
۴۰	۱۰	۰/۵۹	۳/۷۵	۳۸/۲۴
۶۰	۱۴	۰/۶۹	۵/۳۴	۳۸/۰۸
۸۰	۱۷	۰/۵۹	۵/۲۷	۳۰/۶۸
کل مرتع	۱۴	۰/۴۰	۵/۶۲	۳۹/۵۸

جدول ۷. مقادیر آمار توصیفی تراکم گیاهی در چهار رویشگاه واقع در مرتع قرق (اندازه پلات: ۲×۲ و ۴×۴)

اندازه پلات	میانگین	اشتباه معیار از میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۲×۲	۱۰	۰/۵۸	۴/۰۷	۳۸/۳۷
۴×۴	۱۰	۱/۱۶	۷/۵۴	۷۴/۸۳

۴. بحث و نتیجه‌گیری

۴-۱. بحث

این پژوهش، به بررسی اثر تعداد و اندازه پلات بر شاخص‌های ناپارمتریک مولفه های تنوع زیستی پرداخت. شاخص‌ها و روش‌های مورد استفاده در این پژوهش، بر اساس معیار وفور گونه‌ای بود. اگر در ارزیابی‌های میدانی، مقادیر حضور / عدم حضور (۱/۰) گونه‌ای ثبت شده باشد، فقط غنای گونه‌ای به درستی برآورد می‌شود و تنوع و یکنواختی به نحو صحیحی محاسبه نمی‌شود (Pavoine, 2020). از آنجایی که وفور گونه‌ای که مبنای محاسبات شاخص‌های عددی تنوع گونه‌ای است، از توزیع نرمال برخودار نیست، امکان بررسی اثر تیمار (تعداد پلات) بر متغیرهای بوم شناختی (مولفه‌های تنوع گونه‌ای) توسط آزمون‌های فرض آماری پارامتریک وجود نداشت. از طرفی به علت متفاوت بودن تعداد پلات، امکان مقایسه آنها توسط آزمون‌های ناپارامتریک نیز وجود نداشت. از این رو در این پژوهش، کارایی روش‌های رتبه بندی مولفه‌های تنوع و جزء نادر جهت مقایسه مقادیر تنوع گونه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شاخص‌های عددی غنا و تنوع گونه‌ای، با نتایج منحنی‌های رتبه‌بندی اعداد هیل و جزء نادر انفرادی همخوانی دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش تعداد پلات، بر مقادیر غنا و تنوع گونه‌ای افزوده می‌شد. در مقاله چائو و همکاران (۲۰۱۴) با بیش از ۲۷۰۰ استناد، اشاره شده است که برآوردگرها غنای گونه‌ای با افزایش شدت نمونه‌برداری (در اندازه و تعداد) افزایش می‌یابند. در خصوص تنوع ژنتیکی، بشالخانوف[1] و همکاران (۲۰۰۹) نتیجه گرفتند که با افزایش اندازه نمونه از ۶ تا ۱۴۰، بر غنا و شاخص شانون افزوده می‌شد. میرزازاده و همکاران (۲۰۲۲) نیز مشابه پژوهش حاضر به این نتیجه دست یافتند که وفور و غنای گونه‌ای رویشگاه *Fagus orientalis* و *Carpinus betulus* با افزایش اندازه پلات از ۴۰۰ تا ۵۰۰۰ متر مربع، ابتدا افزایش، سپس کاهش و در ادامه افزایش داشتند، اما بین اندازه پلات ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ متر مربع هیچ گونه تفاوتی از لحاظ شاخص تنوع شانون-وینر وجود نداشت، که این برعکس نتیجه پژوهش حاضر است که با افزایش اندازه پلات، بر شاخص تنوع شانون-وینر افزوده می‌شد. در علوم مرتع اگر چه پژوهشی مشابه پیدا نشد، با این وجود نزدیک به این موضوع، فخار ایزدی و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که با افزایش تعداد پلات (از ۵ تا ۱۶۰) بر میزان تولید علوفه افزوده می شود، اما بین اندازه پلات (۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ متر مربع) تفاوت معنی‌داری از لحاظ تولید علوفه وجود ندارد.

1 Bashalkhanov

در تحقیقات مختلف از روش‌های هیل، تسالیس و رنی برای رتبه‌بندی مولفه‌های تنوع گونه‌ای استفاده می‌شود. چون اعداد هیل، نشان دهنده تعداد گونه موثر است و بر سایر معیارها ارجحیت دارد (Hsieh et al., 2016)، در پژوهش حاضر، رتبه‌بندی بر اساس روش هیل انجام شد، چائو و جوست (۲۰۱۵) کارایی اعداد هیل را حتی در منحنی‌های جزء نادر نیز تایید کردند، لینستر و کبولد[1] (۲۰۱۲) و روزول[2] و همکاران (۲۰۲۱) کارایی منحنی‌های جزء نادر و رتبه‌بندی تنوع براساس اعداد هیل را در بررسی تغییرات تنوع گونه‌ای تایید کردند.

در این پژوهش، دو مولفه اصلی تنوع گونه‌ای، یعنی غنای گونه‌ای و یکنواختی گونه‌ای به تفکیک برآورد شد. این نکته را باید در نظر داشت که هنگام استفاده از غنای گونه به صورت جداگانه به عنوان جانشین تنوع گونه‌ای، محدودیت‌هایی وجود دارد، زیرا چنین داده‌هایی اطلاعاتی در مورد وضعیت بومی، اندمیسم، نادر بودن، فراوانی، عملکرد یا حساسیت ارائه نمی‌دهند (Fleishman et al., 2006). غنای گونه‌ای اگر چه نقش بسزایی در کمی کردن ارزش حفاظتی رویشگاه‌ها دارد (Paillet et al., 2010)، اما سهم متفاوتی را که گونه‌های مختلف در تنوع زیستی ایجاد می‌کنند در مقیاس‌های جغرافیایی خاص ارزیابی نمی‌کنند (Perrin & Waldren, 2020). بدین دلیل، در کنار محاسبه شاخص‌های عددی غنای گونه‌ای آلفا و گاما، یکنواختی گونه‌ای هم بررسی شد. یکنواختی گونه‌ای، نحوه توزیع گونه‌های گیاهی در بین افراد جامعه را نشان می‌دهد (عصری، ۱۹۹۵؛ مصداقی، ۲۰۱۴)، نتایج شاخص یکنواختی پیلو نشان داد که با افزایش تعداد پلات یکنواختی گونه‌ای نیز افزایش می‌یابد. برعکس، شاخص یکنواختی سیمپسون نشان داد که در تعداد ۲۰ پلات، یکنواختی گونه‌ای بیشتر از ۸۰ پلات است. نمودار تحلیل SHE نیز کاهش یکنواختی را با افزایش تعداد پلات نشان داد. با توجه به روند ثابت تغییرات یکنواختی گونه ای در کل مرتع و رویشگاه های با ۶۰ و ۸۰ پلات، به نظر می رسد سهم غنای گونه ای در تنوع زیستی منطقه مورد مطالعه بیشتر از یکنواختی گونه ای باشد. این نتیجه با نتایج تحقیقات غلامی و همکاران (۲۰۱۲)، باقری و همکاران (۲۰۱۴)، سالاریان و همکاران (۲۰۱۵)، اصغری آغوزگله و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد.

در تحقیقات متعدد، تنوع گونه‌ای عموما از طریق شاخص‌های عددی ارزیابی می‌شود. کاربرد شاخص‌های عددی تنوع گونه‌ای برای تشخیص ساختار پیچیده جامعه مورد انتقاد قرار گرفته است، زیرا بسیاری از اطلاعات گونه‌های اولیه از دست می‌رود (Kent, 2011). شاخص تنوع شانون (Shannon)، شانون–وینر (Shannon – Wiener) یا Shannon - Weiner (غلط املایی) یا شانون–ویور (Shannon - Weaver) (غلط رایج) پرکاربردترین شاخص عددی تنوع است (Barrantes & Sandoval, 2009) و مقدار آن بین این شاخص معمولاً بین ۱/۵ تا ۳/۵ تغییر می‌کند. نتیجه پژوهش حاضر نشان داد که در رویشگاه با ۸۰ پلات، عدد این شاخص به ۳/۲۷ می‌رسد و به نظر نمی‌رسد این شاخص برای ارزیابی منطقه مورد مطالعه کارایی داشته باشد. مگوران (۲۰۱۳) نیز کارایی این شاخص را در ارزیابی بیشه‌زارهای ایرلند شمالی تشخیص نداد. برخی از بوم شناسان به شاخص‌های تنوع با شک و تردید نگاه می‌کنند و می‌پرسند آیا این شاخص‌ها از نظر زیستی معنی‌دار هستند یا خیر (Leinster & Cobbold, 2012). چرا که این شاخص‌ها بر اساس تئوری اطلاعات (مثل شانون، بریلوئین و رنی) در علوم کامپیوتر و تئوری احتمالات (مثل سیمپسون، جینی و بولا) درعلوم اقتصادی اقتباس شده‌اند. کونوپینسکی[3] (۲۰۲۰) با اذعان به اینکه شاخص شانون در تمامی سطوح تنوع زیستی (از ژن تا اکوسیستم) به طور گسترده استفاده می‌شود، تاکید کرد شاخص اصلی شانون دیگر نباید به عنوان معیار تنوع ژنتیکی مورد استفاده قرار گیرد و باید با برآوردگرهای نااریب مثل شاخص چائو جایگزین شود. در جدول ۸، برخی از شاخص‌های عددی محاسبه شده در پژوهش حاضر، براساس حساسیت به تعداد پلات و قابلیت تشخیص تنوع مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، شاخص جینی–سیمپسون و مدل سری لگاریتمی به دلیل حساسیت کمتر به تعداد پلات و قابلیت بالا در تشخیص تنوع گونه‌ای، روش‌های مناسب‌تری برای ارزیابی تنوع زیستی هستند.

1 Leinster & Cobbold
2 Roswell
3 Konopiński

جدول ۸. مقایسه شاخص‌های عددی تنوع گونه‌ای و مدل‌های توزیع وفور گونه‌ای از لحاظ حساسیت به تعداد پلات (اقتباس از Magurran, 2013)

شاخص	غنای گونه‌ای			تنوع گونه‌ای		غالبیت گونه‌ای		یکنواختی گونه‌ای	مدل توزیع وفور گونه‌ای	
	S	منهینیک	مارگالف	شانون- وینر	جینی- سیمپسون	سیمپسون	برگر- پارکر	پیلو	سری لگاریتمی	لوگ نرمال
حساسیت به تعداد پلات	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	کم	کم	کم	زیاد	کم	متوسط
قابلیت تشخیص تنوع	خوب	خوب	خوب	متوسط	متوسط	متوسط	ضعیف	ضعیف	خوب	خوب

نتیجه منحنی جزء نادر نشـان داد که حداقل تعداد پلات برای برآورد غنای گونه‌ای کل، ۱۱۰ عدد می باشـد. در تحقیقات علوم مرتع معمولا در هر تیپ گیاهی، بین ۱۰ تا ۳۰ پلات مسـتقر می شـود (مقدم و قربانی پاشـاکلایی، ۲۰۰۱؛ ارزانی، ۲۰۰۹؛ جعفریان و ارزانی، ۲۰۰۹؛ پایرنج و همکاران، ۲۰۱۰؛ بارانیان و همکاران، ۲۰۱۴)، این تعداد پلات شاید برای مقایسه سایر خصوصیات پوشش گیاهی مثل درصد پوشش، تولید، لاشبرگ، ترسیب کربن و سایر خصوصیات خاک، این تعداد نمونه کافی باشد، اما برای ارزیابی غنای گونه‌ای که مستلزم شناسایی و ثبت گونه‌های نادر است، این تعداد نمونه هیچ وقت کفاف نمی‌کند. روش‌های عددی کوکران، ویگرت و هندریکس و روش‌های گرافیکی جزو روش‌های تعیین تعداد پلات بهینه در تحقیقات علوم مرتع هستند که جهت ارزیابی پوشش گیاهی استفاده می شوند و کاربرد و مقایسه آنها با روش ویتاکر (ارزیابی تنوع زیستی) نیاز به پژوهش دارد. تعداد نمونه بسیار کوچک نتایج نادرست و گمراه کننده‌ای به همراه دارد و تعداد نمونه بسـیار زیاد هم هزینه‌بر اسـت (Eckblad, 1991). چن[1] و همکاران (۲۰۰۹) نیز نتیجه گرفتند که بین احتمال شـناسـایی و ثبت گونه‌های گیاهی با اندازه و تعداد پلات ارتباط قوی وجود دارد. هرچقدر هم نمونه‌برداری شـود، باز هم یک فرد نمونه‌بردار حدود ۱۰ تا ۳۰ درصـد گونه‌ها را یادداشـت نمی‌کند (Archaux, 2009). از این رو در مطالعات فلوریسـتیک و تنوع گونه‌ای (در کل، جامعه شـناسـی گیاهی) تعداد پلات مورد نیاز، خیلی بیشـتر از مطالعات ارزیابی و اندازه‌گیری جنگل و مرتع اسـت. البته معنای عملی «کم» و «زیاد» بودن تعداد پلات برای جوامع طبیعی کماکان در هاله‌ای از ابهام اسـت. کربس (۲۰۱۴) تعداد n=۱۰۰ پلات را به صـورت تقریبی، نمونه زیادی از یک جامعه می‌داند اما در حال حاضر این چیزی بیش از یک حدس نمی‌باشد.

برای ارزیابی و مقایسه غنای گونه‌ای در بین دو جامعه گیاهی، اگر فرم رویشی، الگوی پراکنش و روش نمونه‌برداری یکسان است، اما تعداد نمونه متفاوت، توصیه می‌شود از روش جزء نادر استفاده شود. اسمیت و ون بله[2] (۱۹۸۴) توصیه می‌کنند وقتی که تعداد پلات‌کم است برآورد کننده جک‌نایف را به کار برده و وقتی که تعداد پلات زیاد است، می‌بایست برآورد کننده بوت استرپ را استفاده نمود. برای ارزیابی تنوع و یکنواختی گونه‌ای، اگر روش نمونه‌برداری و تعداد نمونه ثابت اسـت، از شـاخص عددی متناسـب با آن منطقه (بسـته به غالبیت و نادر بودن گونه‌ها) و برای مقایسه از روش‌های آماری ناپارامتریک استفاده شود. در درجه اول، آزمون t هاچسون توصیه می‌شود، چون فرمول منحصـر به فردی برای برآورد واریانس و درجه آزادی (متفاوت از واریانس و درجه آزادی آزمون t کلاسـیک) شـاخص تنوع شـانون–وینر و غالبیت سـیمپسـون دارد (Hammer et al., 2001). در درجه دوم، از آزمون‌های ناپارامتریک همچون یوی من ویتنی و جایگشت دو نمونه‌ای (برای دو گروه مستقل) و ویلکاکسون (دو گروه وابسته) و کروسکال–والیس و جایگشت چندنمونه‌ای (برای بیشتر از دو گروه) اسـتفاده شـود. اما اگر روش نمونه‌برداری متفاوت اسـت، نمی‌توان با قاطعیت گفت که منحنی‌های رتبه‌بندی تنوع و یکنواختی

1 Chen
2 Smith & van Belle

گونه‌ای به روش هیل یا رنی مناسب باشد. شرط اصلی و اساسی در آزمون‌های مقایسه‌ای ناپارامتریک مولفه‌های تنوع گونه‌ای، تصادفی بودن داده‌هاست، از این‌رو، روش‌های نمونه‌برداری غیرتصادفی (مثل روش سیستماتیک) اصلا توصیه نمی‌شود.

در پژوهش حاضر به دلیل حضور فراوان گونه‌های گندمی (*Stipa barba*) در زیر اشکوب گونه‌های درختچه‌ای (*Zygophyllum eurypterum* و *Amygdalus scoparia*)، از دو اندازه پلات ۴ متر مربع و ۱۶ متر مربع استفاده شد. چیتری و اتیپکوا[1] (۲۰۰۳) با مطالعه حدود ۴۱ هزار رلوه در مقالات چاپ شده (سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۰) در ۶ مجله اصلی جامعه شناسی گیاهی اروپا، رلوه ۴ متر مربعی را برای تیپ‌های گیاهی علفی کوتەزی و رلوه ۱۶ متر مربعی را برای مراتع و درختچه‌زارهای کوتاه قد توصیه کردند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد کلیه شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای وابسته به اندازه پلات هستند و این از معایب ارزیابی تنوع زیستی در مراتع با استفاده از شاخص‌های عددی است. همانطور که در جدول ۸ نشان داده شد، اکثر شاخص‌های غنای گونه‌ای حساسیت زیادی به تعداد پلات دارند. کونوپینسکی (۲۰۲۰) نیز اذعان کرد که حتی برآوردگرهای نااریب مثل چائو، چائو و شن[2] هم مستقل از اندازه نمونه (تعداد پلات) نیستند. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش اندازه پلات، غالبیت گونه‌ای کاهش پیدا کرد. احتمالا با افزایش اندازه پلات، تعداد گونه گیاهی مشاهده شده در هر پلات بیشتر می‌شود، در نتیجه فراوانی نسبی گونه‌ها (P_i) کاهش پیدا کرده و از این رو شاخص غالبیت را کاهش می‌دهد.

از طرفی، شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای، همه گونه‌های گیاهی را به یک چشم نگاه می‌کنند، در حالیکه هر گونه گیاهی یک موجود تکاملی منحصر به فرد است و تقریباً هیچ دو گونه‌ای را نمی‌توان پیدا کرد که پراکنش و نقش یکسانی در جامعه گیاهی داشته باشند (Barrantes & Sandoval, 2009). در اکوسیستم‌های مرتعی که گیاهان شامل علوفه‌ای، حفاظتی، سمی، دارویی، صنعتی و خاردار و ناخواسته هستند، غنا و تنوع گونه‌ای بالا، لزوماً نشان‌دهنده کیفیت و مطلوبیت بالا از جنبه مدیریت مرتع نیست. به نظر می‌رسد در تحقیقات علوم مرتع، که جنبه تولید علوفه در آن حائز اهمیت است، ارزیابی تنوع کارکردی بر تنوع گونه‌ای ارجحیت داشته باشد.

۴-۲. نتیجه‌گیری

این پژوهش به این سوال پاسخ داد که آیا تعداد و اندازه پلات بر شاخص‌های تنوع زیستی تاثیرگذار است یا خیر؟ نهایتاً پاسخی که می‌توان داد این است که با افزایش تعداد و اندازه پلات، شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای افزایش و شاخص‌های غالبیت گونه‌ای کاهش می‌یابند، از این‌رو در پژوهش حاضر، کلیه شاخص‌های ارزیابی تنوع زیستی، تحت تاثیر تعداد نمونه قرار دارند. همچنین جهت برآورد تراکم گیاهی، تعداد ۸۰ پلات ۲×۲ متر در مراتع استپی توصیه شده در دستورالعمل طرح ارزیابی مراتع مناطق مختلف آب و هوایی کشور و دستورالعمل طرح پایش اکوسیستم‌های مرتعی مناطق مختلف آب و هوایی ایران از دقت بالایی برخوردار است.

سپاس‌گزاری

این پژوهش، در قالب طرح تحقیقاتی و با حمایت مالی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تحت قرارداد شماره ۱۷۳۱۰/۲۴۶ به انجام رسیده است. در اینجا از ریاست محترم بخش تحقیقات مرتع و معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه بیرجند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

1 Chytrý & Otýpková
2 Chao and Shen

References

Archaux, F. (2009). Could we obtain better estimates of plot species richness from multiple-observer plant censuses? *Journal of Vegetation Science 20*, 603–611.

Arzani, H. (2009). Rangeland Assessment in Different climate areas –Iran. Tehran: Research Institute of forests and Rangelands of Iran, 200 p. (In Persian).

Asghari Aghozgoleh, K., Jalilvand, H., & Asadi, H. (2022). Determining the contribution of the diversity of understory plant species in broadleaf and coniferous trees reforestation (case study: Colet Forest of Mazandaran). *Environmental Sciences, 20*(1), 129-150. doi: 10.52547/envs.2021.1048. (In Persian).

Asri, Y. (1995). *Phytocociology*. Tehran: Researchs Institute of Forests and Rangelands, 134:285. (In Persian).

Bagheri, A., Ghorbani, R., Bannayan Aval, M., & Schaffner, U. (2014). Effect of different levels of environmental protection on plant species diversity. *Journal of Agroecology, 6*(1), 60-69. doi: 10.22067/jag.v6i1.35674. (In Persian).

Baraniyan, E., Bassiri, M., & Bashari, H. (2014). Effects of Plot Size and Shape on Sample Size in Vegetation Cover Measurements (Rangeland of Fereidan in Isfahan province). *Journal of Rangeland, 8*(1):25-36.

Barrantes, G., & Sandoval, L. (2009). Conceptual and statistical problems associated with the use of diversity indices in ecology. *Revista de Biología Tropical 57*(3), 451-460.

Bashalkhanov, S., Pandey, M., & Rajora, O. P. (2009). A simple method for estimating genetic diversity in large populations from finite sample sizes. *BMC genetics, 10*, 84. https://doi.org/10.1186/1471-2156-10-84

Bihamta, M.R. & Zare Chahouki, M.A. 2015. *Principle of Statistic for the Natural Resources Science*. Tehran: University of Tehran Press, 300p (In Persian).

Bonham, C. D. (2013). *Measurements for terrestrial vegetation*, New York: John Wiley and Sons.

Buzas, M. A. & Hayek, L. C. (1998). SHE Analysis for Biofacies Identification. *Journal of Foraminiferal Research ,28* (3), 233–239.

Chao, A. & Jost, L. (2015). Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species. *Methods in Ecology and Evolution, 6*, 873-882.

Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. & Ellison, A.M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs, 84*, 45-67.

Chen, G., M. Kéry, J. Zhang & K. Ma. (2009). Factors affecting detection probability in plant distribution studies. *Journal of Ecology, 97*, 1383–1389.

Chytrý, M. & Otýpková, Z. (2003). Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. *Journal of Vegetation Science, 14(4)*, 563–570.

Colwell, R.K., Chao, A., Gotelli, N.J., Lin, S.Y., Mao, C.X., Chazdon, R.L., & Longino, J.T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology, 5*(1), 3–21.

Cox, K. D., Black, M. J., Filip, N., Miller, M. R., Mohns, K., Mortimor, J., Freitas, T. R., Greiter Loerzer, R., Gerwing, T. G., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2017). Community assessment techniques and the implications for rarefaction and extrapolation with Hill numbers. *Ecology and evolution, 7*(24), 11213–11226. https://doi.org/10.1002/ece3.3580

David, V. (2019). *Statistics in Environmental Sciences*. New York: Wiley.

Eckblad, J. W. (1991). How many samples should be taken? *Journal of Bioscience 41*, 346–348.

Ejtehadi, H., Sepehri A. & Akefi, H. R. (2009). *Methods of measuring biodiversity*. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad Publications. (In Persian).

Fakhar Izadi, N., Naseri, K., & Mesdaghi, M. (2016). The Effects of Plot Size and Shape on Accuracy and Precision of Estimation of Production at Some Pastures by Sampling Simulation. *Iranian Journal of Applied Ecology, 4* (14), 51-60. (In Persian).

Fleishman, E., Noss, R. F. & Noon, B. R. (2006). Utility and limitations of species richness metrics for conservation planning. *Journal of Ecological Indicators 6*, 543-553.

Gholami, P., Ghorbani, J., & Shokri, M. (2012). SHE analysis in defining species diversity of vegetation components in exclosure and grazing areas (case study: Mahoor, Mamasani Rangelands, Fars Province). *Renewable Natural Resources Research, 3*(2 (serial number 8)), 51-59. sid. https://sid.ir/paper/212390/en. (In Persian).

Ghorbani, J. Taya, A. Shokri, M. & Naseri, H. R. (2011). Comparison of Whittaker and Modified-Whittaker plots to estimate species richness in semi-arid grassland and shrubland. *Desert Journal, 16*, (1),17-22.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T. & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4.

Hsieh, T. C., Ma, K. H. & Chao A. (2016). iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Journal of Methods in Ecology and Evolution 7*(12), 1451-1456.

Jafarian jelodar, Z., & Arzani, H. (2009). Floristic study and estimating species diversity indices in Taleghan subwatersheds. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *16*(3), 317-328. (In Persian).

Keeley, J. & Fotheringham, Cj. (2005). Plot shape effects on plant species diversity measurements. *Journal of Vegetation Science, 16*, 249-256.

Kent, M. (2011). *Vegetation Description and Data Analysis: A Practical Approach*, 2nd Edition. New Jersey: Wiley-Blackwell.

Konopiński, M. K. (2020). Shannon diversity index: a call to replace the original Shannon's formula with unbiased estimator in the population genetics studies. *PeerJ, 8*, e9391. https://doi.org/10.7717/peerj.9391

Krebs, C. J. (2014). *Ecological Methodology*, 3rd edition. Boston: Addison-Wesley Educational Publishers, Inc.

Leinster, T. & Cobbold, C. A. (2012). Measuring diversity: the importance of species similarity. *Journal of Ecology, 93*(3), 477-489.

Magurran, A. E. (2013). *Measuring biological diversity*. New York: John Wiley & Sons.

Mao, C. X. & Colwell, R. K. (2005). Estimation of species richness: mixture models, the role of rare species, and inferential challenges. *Journal of Ecology, 86*, 1143-113.

McCabe, D. J. (2011). Sampling biological communities. *Nature Education Knowledge, 3*(10), 63.

Mesdaghi, M., 2014. *Plant ecology*. Mashhad: Jahad Daneshgahi Mashhad Press. (In Persian).

Mirzazadeh, A., Pourbabaei, H., Daryaei, MG. & Bonyad, A. (2022). Effects of plot size on assessment of tree species diversity in Caspian forests of Iran. *Biodiversitas, 23*, 4879-4886.

Moghaddam, M. R. (2001). *Quantitative Plant Ecology*. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian).

Moghaddam, M.R. & Ghorbani Pashakolaee, J. (2001). A Comparison of Different Plot Sizes and Shapes Efficiency to Estimate of Standing Crop in Steppe, High-steppe and Semi-steppe Regions of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources, 54*(2), 191-204. (In Persian).

Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., & et al. (2022) Vegan: Community Ecology Package. R Package Version 2.6-4. http://CRAN.Rproject.org/package=vegan

Omidzadeh Ardali, E., Zare Chahouki, A. M., Arzani, H., Ebrahimi, A. & Tahmasebi, P. (2017). Comparison of Performance of three the multi-scale plots for evalution of palnt diversity in Karsanak Rangeland of Shahrekord. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 30*(1), 12-25.

Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Odor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R. J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastià, M. T., Schmidt, W., Standovár, T., Tóthmérész, B., & Virtanen, R. (2010). Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation biology: the journal of the Society for Conservation Biology, 24*(1), 101–112. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x

Pairanj, J., Ebrahimi, A., & Ranjbar, A. (2010). Rangeland management based on species diversity of rangeland types (Case study of Karsanak Rangeland of Chaharmahal-Va–Bakhtiari). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 8*(1), 48-58. (In Persian).

Pavoine, S. (2020). adiv: Analysis of Diversity. R package version 2.0.1, URL: https://CRAN.R-project.org/package=adiv>.

Perrin, P. M. & S. Waldren. (2020). Vegetation richness and rarity in habitats of European conservation value in Ireland. *Journal of Ecological indicators, 117*, 106387. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106387

R Core Team, (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Research Institute of Forests and Rangelands (2020). Rangeland Ecosystems Monitoring in different climatic regions of Iran. (In Persian).

Rostampour, M. (2022). Rangeland Ecosystems Monitoring in different climatic regions of Iran, South Khorasan Province, Qaen Site. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands. (In Persian).

Roswell, M., Dushoff, J., & Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos, 130*, 321-338.

Salarian, T., Jouri, M. H., Askarizadeh, D., & Mahmoudi, M. (2015). The Study of Diversity Indices of Plants Species Using SHE Method (Case Study: Javaherdeh Rangelands, Ramsar, Iran). *Journal of Rangeland Science, 5*(1), 28-36.

Smith, E. R. & van Belle, G. (1984). Nonparametric estimation of species richness. *Journal of Biometrics, 40*, 119-129.

Stohlgren, T. J. (2007). *Measuring plant diversity: lessons from the field*. Oxford: Oxford University Press.

Zhang, J., Nielsen, S. E., Grainger, T. N., Kohler, M., Chipchar, T., & Farr, D. R. (2014). Sampling plant diversity and rarity at landscape scales: importance of sampling time in species detectability. *PloS one, 9*(4), e95334. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095334.