مقاله پژوهشی **شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2**

پاسخ شاخص‌های تنوع عملکردی و تنوع گونه‌ای به عوامل توپوگرافی- اقلیمی در منطقه حفاظت‌شده انگمار، استان مازندران

سارا فرازمند*[۱] و ملیحه مزین[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۱ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

چکیده

تنوع زیستی موجود در اکوسیستم مرتع، به طور مستقیم تحت تأثیر ویژگی‌های زنده و عوامل محیطی اکوسیستم قرار دارد که متضمن پایداری این اکوسیستم در مقابل تغییرات محیطی و زیستی است. هدف از این مطالعه بررسی پاسخ شاخص‌های تنوع عملکردی و تنوع گونه‌ای به عوامل توپوگرافی- اقلیمی در منطقه انگمار در استان مازندران است. ویژگی‌های عملکردی گونه‌های گیاهی شامل سطح مخصوص برگ، درصد ماده خشک برگ و ارتفاع گیاهان در هر پلات ثبت و اندازه‌گیری شدند. عوامل محیطی شامل توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و عوامل اقلیمی شامل میانگین درجه حرارت سالانه، میانگین رطوبت سالانه و میانگین بارندگی سالانه بودند. شاخص‌های تنوع ویژگی عملکرد شامل FAD1، FAD2 و MFAD، شاخص‌های واگرایی عملکرد FDvar و شاخص‌های یکنواختی عملکرد FRao و هم‌چنین شاخص‌های تنوع گونه‌ای (شاخص سیمپسون، شانون، غنا و یکنواختی) در بسته FDiversity محاسبه‌شده و برای بررسی معنی‌دار بودن رابطه عوامل محیطی بر این شاخص‌ها از مدل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته (GLM) در نرم‌افزار R استفاده شد. نتایج نشان داد که در بین شاخص‌ها، رابطه غنای گونه‌ای با بارندگی و ارتفاع و شاخص شانون فقط با شیب معنی‌دار بوده است. شاخص سیمپسون با متغیرهای جهت و ارتفاع ارتباط معنی‌داری داشتند، اما یکنواختی با هیچ‌کدام از عوامل محیطی ارتباط معنی‌داری نداشت. نتایج حاصل از همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای با شاخص‌های تنوع ویژگی عملکرد نشان می‌دهد که در بین شاخص تنوع گونه‌ای، شاخص شانون بیشترین همبستگی را با شاخص تنوع عملکرد FAD1 دارد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که عوامل توپوگرافیکی-اقلیمی ارتباط مهمی با تنوع عملکرد دارد و یک ارتباط مثبت بین ویژگی‌های گونه‌های موجود در اکوسیستم و فرآیندهای اکوسیستم وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: تنوع گونه‌ای، ویژگی عملکردی، شیب، منطقه حفاظت‌شده انگمار.

[۱] . استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.

*: نویسنده مسئول: sara_farazmand@yahoo.com

۲ . استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]

مقدمه

به‌منظور مدیریت صحیح اکوسیستم‌های مرتعی باید ارتباط بین عوامل بوم‌شناختی موجود در طبیعت همچون عوامل پستی‌وبلندی، اقلیم، خاک با پوشش گیاهی و موجودات زنده به خوبی شناخته شود (۱۸، ۴ و ۲۳). بیش از یک قرن است که اکولوژیست‌ها برای یافتن عوامل محیطی کنترل‌کننده پراکنش و تنوع گونه‌های گیاهی تلاش می‌کنند (۲ و ۳۸). در دهه گذشته پیشرفت‌های قابل‌توجهی در استفاده از پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی به‌منظور درک سازوکارهای بوم‌شناختی، حفظ تنوع زیستی و پیش‌بینی پویایی توده‌های گیاهی و عملکرد جوامع گیاهی انجام شده است (۱۱). تنوع زیستی موجود در اکوسیستم مرتع، به طور مستقیم تحت تأثیر عوامل محیطی آن قرار دارد که همواره تضمین‌کننده پایداری این اکوسیستم در مقابل تغییرات محیطی و زیستی است. هرچه تنوع گیاهی در یک اکوسیستم بیشتر باشد، آن جامعه پایداری بیشتری دارد و در برابر آشوب‌های محیطی و مدیریتی بهتر مقاومت می‌کند (۳۶). تنوع گونه‌ای دو مؤلفه دارد. غنا که مربوط به تعداد گونه‌ها است و یکنواختی که سهم گونه‌ها را در ترکیب گیاهی مورد بررسی قرار می‌دهد. اهمیت اکولوژیکی تنوع را با تأثیر تنوع بر عملکرد پویایی و پایداری اکوسیستم می‌توان نشان داد. به طوری که کاهش تنوع یک سیستم باعث کاهش ارتجاع‌پذیری آن می‌شود و احتمال این وجود دارد که وقایع طبیعی نادر که قبلاً توسط این سیستم جذب می‌شدند منجربه تغییرات غیرقابل‌تصوری گردد (۵). بسیاری از اکولوژیست‌ها بر این باورند که برای ارزیابی تنوع زیستی و تعیین جهت عوامل تأثیرگذار بر آن بهتر است گونه‌های موجود در یک جامعه گیاهی را بر اساس ویژگی‌هایی که دارند به گروه‌های متفاوتی تقسیم شوند چون محدود کردن ارزیابی‌ها به سطح گونه پیچیدگی‌های موجود در یک جامعه را به خوبی نشان نمی‌دهد، این احتمال وجود دارد که جوامع گیاهی با غنای گونه‌ای زیاد تنوع اکولوژیکی کمتری نسبت به جوامع گیاهی با غنای گونه‌ای کم داشته باشند و به عبارتی تنوع عملکرد پایین داشته باشند (۳۵). تعداد و نسبت فراوانی گروه‌های گیاهی که از نظر اکولوژیکی باهم متفاوتند تنوع عملکرد در آن جامعه گیاهی تعریف می‌کنند (۱۲). توجه به تنوع عملکرد به جای تنوع گونه‌ای باعث شناخت بهتری از جریانات موجود در اکوسیستم می‌شود. همان‌طور که در تنوع هم به تعداد گونه (غنا) و هم فراوانی نسبی گونه و هم یکنواختی توجه می‌شود در تنوع عملکرد هم باید این اجزا را در نظر گرفت و در نتیجه باید تنوع عملکرد را دارای سه جز غنای عملکرد، یکنواختی عملکرد و واگرایی عملکرد دانست (۱۵ و ۲۴). در سال‌های اخیر با پیشرفت علوم طبیعی اهمیت تنوع زیستی در زمینه‌های مختلف آشکار شده و اهداف مدیریت مراتع به سمت افزایش تنوع زیستی متمرکز شده است. بیشتر تحقیقات تنوع زیستی در زمینه بررسی شاخص‌های تنوع آلفا و بتا متمرکز شده است. به‌طورکلی تنوع زیستی رویشگاه متأثر از عوامل محیطی می‌باشد. مطالعات زیادی در رابطه با تأثیر عوامل محیطی بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای انجام گرفته است (۱۴). در ارتباط با بررسی تنوع عملکرد با متغیرهای محیطی مطالعات بسیار کمی در ایران صورت گرفته است. شیدای کرکج و معتمدی (۲۰۲۰) در تحقیقی ارتباط تنوع عملکردی و تاکسونومیکی گیاهی با کارکرد ذخیره کربن خاک را در استان آذربایجان غربی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین تنوع تاکسونومیک و کربن خاک وجود ندارد. همچنین نتایج رگرسیون سلسله مراتبی نشان داد که کربن خاک با شاخص‌های سیلت، وزن مخصوص ظاهری، جهت دامنه اصلاح شده، شاخص تنوع عملکردی CVM و شاخص‌های MFAD و Feve رابطه خطی دارند. منصوری و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تنوع گونه‌ای و عملکرد جوامع گیاهی به چرای حیوانات در طول شیب تغییرات بارش در مناطق استپی و نیمه استپی نشان دادند که از بین شاخص‌های تنوع عملکرد تنها یکنواختی در جوامع گیاهی همبستگی معنی‌داری را با تنوع عملکرد داشته است و هم‌چنین عملکرد اکوسیستم بیشتر تحت تأثیر محدوده ویژگی گونه‌ها و یکنواختی گونه‌ها قرار می‌گیرد. مطالعات بسیار زیادی در خارج از کشور در زمینه ارتباط ویژگی‌های عملکردی گونه‌ها با عوامل محیطی انجام پذیرفت. آن‌ها نشان دادند که ویژگی‌های عملکردی گونه‌های گیاهی می‌توانند در مکان و زمان مدل‌سازی و پیش‌بینی شوند (۳۴). دیویس و همکاران (۲۰۱۳) در پیش‌بینی الگوهای مکانی حال و آینده ویژگی‌های عملکردی جوامع گیاهان در

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]

سوئیس بیان داشتند که متغیرهای ادافیکی، توپوگرافی و اقلیمی می‌توانند در توصیف الگوهای مکانی ویژگی‌های عملکردی در سطح جوامع مانند مقادیر میانگین و بیشینه، ویژگی‌ها را با موفقیت بیان کنند. هم‌چنین این عوامل تنوع ویژگی‌های عملکردی جوامع گیاهی را تعیین می‌کنند که هنوز ناشناخته باقی‌مانده و احتیاج به تحقیقات بیشتری دارد. دیویس (۲۰۱۳) در پیش‌بینی الگوهای مکانی تنوع زیستی گونه‌های گیاهی در سویس با استفاده از چهار مدل GAM GBM, GLM و RF نشان داد که از بین متغیرهای خاکی، اسیدیته و درصد نیتروژن خاک، بیشترین تأثیر را در مدل‌های پراکنش گونه‌ای دارند. هم‌چنین پیش‌بینی کننده‌هایی با قدرت تفکیک بالاتر بهتر می‌توانند مدل‌های پراکنش گونه را پیش‌بینی کنند. با توجه به مرور منابع صورت گرفته و اهمیت جهانی بررسی تنوع عملکردی و به خصوص در ایران ارتباط بین تنوع عملکرد و عوامل اقلیمی-توپوگرافیکی به صورت مشخص مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا این تحقیق بر آن است تا این مهم را انجام داده و ارتباط این دو مورد را بررسی کند. با توجه به تغییرات اقلیمی رخ داده و پیش‌رو و اهمیت بررسی تنوع عملکرد، ضرورت تحقیق بیش‌ازپیش نمایان است. از طرف دیگر تاکنون هیچ مطالعه‌ای تغییرات تنوع عملکرد و رابطه آن با عوامل توپوگرافیکی-اقلیمی را در منطقه انگمار بررسی نکرده است، لذا این تحقیق در منطقه حفاظت شده انگمار استان مازندران با هدف شناسایی ارتباط بین تنوع عملکرد و عوامل توپوگرافیکی-اقلیمی انجام گرفته است. لازم به ذکر است که نتایج تحقیقات هنوز به یک جواب مشخص نرسیده است و تنوع نتایج در تحقیقات مختلف به متفاوت بودن شرایط محیطی و ترکیب گیاهی و نوع خاک مربوط است و درک جامعه علمی و تحقیقاتی از نقش جنبه‌های مختلف تنوع عملکردی و زیستی هنوز جزئی است و به مطالعات بیشتر و به صورت موردی در اقلیم‌های مختلف و شرایط ادافیکی متفاوت نیاز دارد.

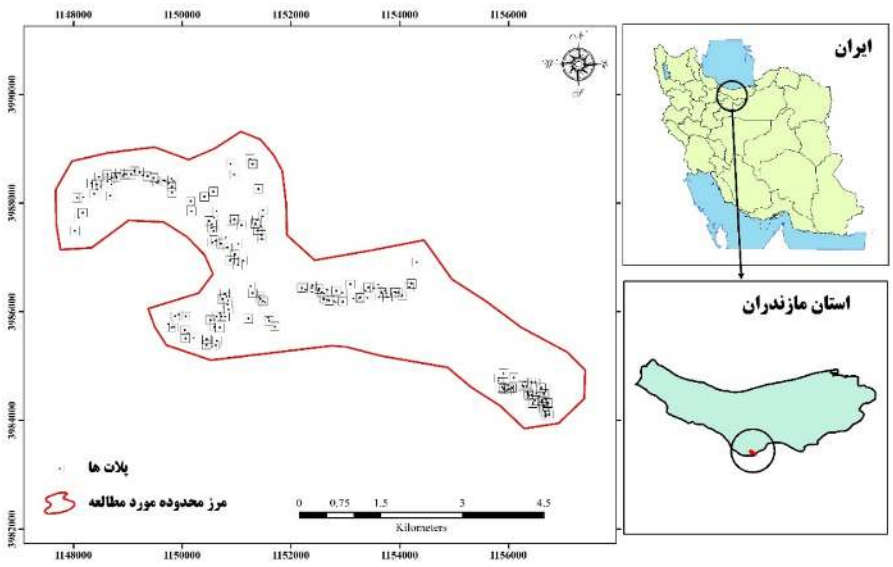
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت شده انگمار در یک‌صد کیلومتری جنوب شرقی آمل بوده و در محدوده طول جغرافیایی ۵۲ درجه، ۱۱ دقیقه و ۱۸ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۵ دقیقه و ۲۳ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه و ۳۶ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه و ۴۱ ثانیه واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۲۰۰۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱). دامنه ارتفاعی آن از ۲۲۰۰ متر تا ۳۹۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. منطقه دارای خاک نسبتاً عمیق از نوع رسی، شنی و سیلتی لومی بوده و از نظر تشکیلات زمین‌شناسی بر روی سازندهای مربوط به دوره ائوسن قرار دارد. از نظر اقلیمی، میانگین درجه حرارت در زمستان ۰/۰۳- و در تابستان ۱۹ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه به روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد بوده، هم‌چنین میانگین رطوبت نسبی منطقه ۶۲ درصد و میانگین بارندگی سالانه آن ۳۷۷ میلی‌متر می‌باشد. گونه‌های گیاهی غالب منطقه شامل *Leucopoa sclerophylla*، *Agropyron repens*، *Thymus kotschyanus*، *Stachys lavandulifolia*، *Onobrychis radiata*، *Astragalus aegobromus* و *Cirsium hygrophilous* می‌باشند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان و ایران و پلات‌های مستقر شده در منطقه

جمع‌آوری داده‌ها

برای نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و خاک از روش نمونه‌برداری طبقه‌بندی تصادفی- مساوی به پیشنهاد هیرزل و گوسن (۲۰۰۲) استفاده شد که نشان دادند این روش بهترین روش نمونه‌گیری برای مدل‌سازی پوشش گیاهی در رابطه با عوامل محیطی است. به این منظور ابتدا منطقه مورد مطالعه بر اساس ارتفاع، شیب و جهت به تعدادی طبقه یا واحد همگن نمونه‌برداری تقسیم شد. نقشه‌های طبقات ارتفاع، طبقات جهت و طبقات شیب روی‌هم‌گذاری شد تا واحدهای نمونه‌برداری بدست بیاید. واحدهای با مساحت کم و نقاط ریز روی نقشه حذف شد، این نقشه چندین مرحله فیلتر شد تا در نهایت ۲۰ واحد نمونه‌برداری حاصل گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه اسکن گردید و سپس زمین مرجع شد. توپوگرافی در خطوط میزان ۲۰ متری رقومی گردید. این لایه‌های رقومی شده اصلاح و از آن برای ساخت نقشه مدل رقومی زمین (DEM) استفاده گردید. سپس با استفاده از نقشه DEM، نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت تهیه گردید. نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت هرکدام به تفکیک به چند حالت طبقه‌بندی شد (بر اساس مطالعات تفصیلی – اجرایی جهت انجام عملیات بیولوژیک) تا بهترین طبقه‌بندی قابل اجرا در عرصه انتخاب شود و در نهایت واحد نمونه‌برداری حاصل گردید (۱۶). هم‌چنین داده‌های اقلیمی از اداره کل هواشناسی استان مازندران گردآوری شد. متغیرهای اقلیمی شامل میانگین بارندگی سالیانه، میانگین رطوبت سالانه، میانگین درجه حرارت سالانه اندازه‌گیری گردید (۲۰).

روش تحقیق

نمونه‌برداری در فصل رویش منطقه آغاز گردید. در هر واحد نمونه‌برداری (بر اساس تلفیق نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع) تعداد ۱۰ پلات یک مترمربعی به طور تصادفی مستقر گردید و در پلات‌ها لیست گونه‌ها، تعداد آن‌ها و درصد پوشش آن‌ها یادداشت گردید. در واقع در ۲۰ واحد نمونه‌برداری ۲۰۰ پلات ۱ مترمربعی مستقر گردید. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری با GPS ثبت شد و با روی‌هم گذاری نقشه نقطه‌ای این نقاط و نقشه‌های شیب و جهت (چهار جهت اصلی و ۴ جهت فرعی) و ارتفاع داده‌های فیزیوگرافی مربوط به نقاط نمونه‌برداری به دست آمد. ویژگی‌های عملکردی در این تحقیق شامل سطح ویژه برگ، درصد ماده خشک برگ و ارتفاع گیاهان در هر پلات برای همه گونه‌های گیاهی ثبت شد. برای محاسبه ویژگی سطح مخصوص برگ، ابتدا برگ‌های هر گونه گیاهی حداقل ده پایه از هر گونه جدا شدند. سپس برگ‌ها توسط دستگاه اسکن‌کننده، اسکن شدند. در مرحله بعد برگ‌های اسکن شده با نرم‌افزار Leaf area matter سطح آن‌ها به‌دست آمد. از نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ، سطح ویژه برگ به دست آمد که واحد آن میلی مترمربع بر میلی‌گرم است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]

برای تعیین ماده خشک برگ، ابتدا نمونه‌های تر برگ برای گونه توزین شده سپس داخل آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شد تا کاملاً خشک شود. درصد ماده خشک برگ برای گونه گیاهی به صورت نسبت وزن تر برگ به وزن خشک محاسبه گردید که واحد آن گرم بر میلی‌گرم می‌باشد برای محاسبه ارتفاع گیاه از خط کش ۳۰ سانتی‌متری استفاده گردید. بدین صورت که خط کش از سطح زمین تا بافت فتوسنتز کننده گیاه قرار داده شد و ارتفاع گیاه (بر حسب متر) اندازه‌گیری گردید (۱). در منطقه مورد مطالعه ۶۷ گونه گیاهی شناسایی شدند که از این تعداد ۲۲ گونه گیاهی که در بیش‌تر از ۲۰ پلات حضور داشتند، ویژگی‌های عملکردی آن‌ها وارد آنالیز شد (۷).

با استفاده از نرم‌افزار R بسته FDiversity شاخص‌های تنوع گونه‌ای شامل غنای گونه‌ای، یکنواختی، سیمپسون و شانون و هم‌چنین شاخص‌های تنوع عملکرد از جمله شاخص‌های غنای گونه‌ای (MFDA, FAD1, FAD2)، شاخص واگرایی (FDvar) و شاخص یکنواختی Rao محاسبه شدند (جدول ۱) و با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) مورد تحلیل و آنالیز قرار گرفتند (۶). برای مقایسه میانگین بین متغیرهای مختلف محیطی از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و هم‌چنین از آزمون همبستگی اسپیرمن برای بررسی ارتباط شاخص‌های تنوع عملکرد و تنوع گونه‌ای استفاده گردید (۳). لازم به ذکر است که همه آنالیزها در نرم‌افزار R نسخه ۳,۱,۱ و بسته FDiversity انجام گرفت (۲۷).

جدول ۱: روابط ریاضی هر یک از شاخص های تنوع گونه ای و تنوع عملکردی

نام شاخص	نام نویسنده	رابطه ریاضی
شاخص شانون	شانون و ویور (۱۹۴۹)	$H = -\sum_{i=1}^{S} w_i \ \ln(w_i)$
شاخص سیمپسون	سیمپسون (۱۹۴۹)	$D = 1 - \sum_{i=1}^{S} wi^2$
شاخص یکنواختی	پایلو (۱۹۷۵)	$\mathrm{J} = \left[-\sum \mathrm{p_i} \ln(\mathrm{p_i})\right] / \ln \mathrm{S}$
شاخص واگرایی کارکرد	مایسون (۲۰۰۳)	$FDvar = \frac{2}{\pi} \arctan(5V)$
تنوع ویژگی کارکرد	والکر و همکاران (۱۹۹۹)	$\mathrm{FAD2} = \sum_{i=1}^{s} \sum_{j>1}^{s} \mathrm{ED_{ij}}$ $\mathrm{ED_{ij}} = \sqrt{\sum_{t=1}^{T} (\mathrm{X_{tj}} - \mathrm{X_{ti}})^2}$
تنوع ویژگی کارکرد اصلاح شده	اسچرما و همکاران (۱۹۹۹)	$\mathrm{MFAD} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j>1}^{N} \mathrm{dij}}{\mathrm{N}}$
شاخص رائو	رائو (۱۹۸۲)	$\mathrm{Rao} = \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j>1}^{s} \mathrm{d_{ij}} \ \mathrm{w_i w_j} = \frac{1}{2} \acute{w} \ \mathrm{DW}$

شاخص تنوع شانون، متداول‌ترین شاخص اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای است که در سال ۱۹۴۹ معرفی شد (۳۱). در این رابطه، Ḣ: نمایه شانون-وینر، wi: فراوانی نسبی گونه i ام در نمونه مورد نظر است. در شاخص تنوع سیمپسون S: تعداد کل گونه‌ها و Wi: نسبت افراد گونه i ام در جامعه می‌باشد (۳۳).

شاخص یکنواختی پایلو توسط پایلو در سال ۱۹۷۵ ارائه شده است و دامنه تغییرات آن از صفر تا بی‌نهایت می‌باشدکه از تقسیم عدد شانون بر تعداد گونه‌ها حاصل می‌شود. برای محاسبه این شاخص بایستی تمامی گونه‌های جامعه شناسایی شوند. که در آن p_i: نسبتی از گونه i ام در جامعه و S: تعداد کل گونه‌ها در قطعات نمونه است. در شاخص واگرایی کارکرد مایسون (۲۰۰۳) v ارزش ویژگی گونه‌ها می‌باشد.

شاخص FAD2 (والکر و همکاران، ۱۹۹۹) عبارتست از مجموع فواصل استاندارد بین تمام زوج گونه‌ها در فضای ویژگی‌ها. محققین چندین توصیه در مورد ارزش ویژگی‌ها در این روش بیان می‌کنند از قبیل استفاده از فاصله

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]

اقلیدوسی به‌عنوان فاصله اکولوژیکی (ED) در بین دو گونه. لازم بذکر است، مقادیر FAD2 از مجموع تمام زوج گونه‌ها بدست می‌آید. در این شاخص T کل تعداد ویژگی‌ها و Xti و Xtj شامل ارزش ویژگی t ام از گیاهان i و j می‌باشند. در این رابطه، EDij عبارتست از فاصله اقلیدوسی بین دو گونه و S عبارت است از تعداد گونه‌ها.

شاخص MFAD تنوع ویژگی کارکردی اصلاح شده عبارت است از نسخه اصلاح شده‌ای از FAD2 است که از سوی اسچرما و همکاران (۲۰۰۹) برای اجتناب از نقض معیارهای تک‌اندیشی پیشنهاد شده است. برای یک مجموعه داده شده با S گونه و T صفت، ابتدا واحدهای کارکردی تعریف شدند. تعداد واحدهای کارکردی از ترکیب گونه‌هایی با صفات دقیقاً مشابه در واحد کارکردی نتیجه می‌شوند که در این معادله dij نبود تشابه بین واحدهای کارکرد i و j است و N تعداد واحدهای کارکردی است.

شاخص تنوع عملکرد رائو (۱۹۸۲) به صورت متوسط مقادیر اختلافات زوجی بین گونه‌ها و ارزش فراوانی نسبی آن‌ها تعریف می‌گردد که در آن dij عبارت است از فاصله بین گونه‌های i و j؛ D عبارتست از ماتریس فاصله با عناصر اجزا dij و w: عبارتست از فراوانی نسبی گونه‌ها.

نتایج

نتایج به‌دست آمده از مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای نشان داد که در بین شاخص‌ها، غنای گونه‌ای با بارندگی و ارتفاع ارتباط معنی‌داری در سطح یک درصد داشته و به ترتیب R^2 به میزان ۰/۴۲۱ و ۰/۳۸۳ دارند و با شیب و جهت ارتباط معنی‌داری ندارند. شاخص شانون فقط با شیب در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و R^2 آن ۰/۰۴۸ می‌باشد. شاخص سیمپسون با متغیرهای جهت و ارتفاع ارتباط معنی‌داری داشتند که R^2 آن‌ها به ترتیب ۰/۰۰۴ و ۰/۰۵۱ بوده است. هم‌چنین یکنواختی با هیچ‌کدام از عوامل محیطی ارتباط معنی‌داری نداشت (جدول ۲ و ۳).

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون GLM در بررسی شاخص‌های تنوع گونه‌ای به عوامل اقلیمی

شاخص‌ها	بارندگی		درجه حرارت		رطوبت	
	R^2	P	R^2	P	R^2	P
شانون (H)	۰/۰۳۱	۰/۰۷۵	۰/۰۲۴	۰/۵۲۰	۰/۰۰۴	۰/۸۶۲
سیمپسون (D)	۰/۳۲۵	۰/۹۸۳	۰/۱۲	۰/۳۲۹	۰/۰۳	۰/۳۱۶
غنای گونه‌ای (S)	۰/۴۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۶۴	۰/۰۵۶	۰/۴۲۷
یکنواختی (D)	۰/۰۲۳	۰/۳۱۷	۰/۰۶۲	۰/۱۲۶	۰/۴۷۱	۰/۲۱۰

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون GLM در بررسی شاخص‌های تنوع گونه‌ای به عوامل توپوگرافی

شاخص‌ها	شیب		جهت		ارتفاع	
	R^2	P	R^2	P	R^2	P
شانون (H)	۰/۰۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۳۲۷	۰/۰۵۱	۰/۷۶۱
سیمپسون (D)	۰/۱۲۵	۰/۰۱۲	۰/۰۳۸	۰/۵۸۱	۰/۰۶۶	۰/۰۴۲
غنای گونه‌ای (S)	۰/۳۲۹	۰/۰۴۲	۰/۱۱۹	۰/۰۰	۰/۳۸۳	۰/۰۰
یکنواختی (D)	۰/۰۲۸	۰/۰۸۶	۰/۰۴۵	۰/۷۱۲	۰/۴۵۱	۰/۳۳۵

نتایج حاصل از جدول ۴ و ۵ بیانگر این مطلب است که شاخص‌های FDvar و Rao با میزان بارندگی ارتباط معنی‌داری داشته‌اند. هیچ‌کدام از شاخص‌های تنوع ویژگی عملکرد با متغیرهای محیطی ارتباط معنی‌داری نداشتند. هم‌چنین FAD2 و Rao با شیب، MFAD با جهت و FAD1، MFAD و Rao با ارتفاع رابطه معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. بالاترین R^2 مربوط به شاخص Rao به میزان ۰/۴۳۸ است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]

جدول ۴: نتایج حاصل از آزمون GLM در بررسی شاخص‌های تنوع عملکرد به اقلیمی

شاخص‌ها	بارندگی		درجه حرارت		رطوبت	
	R^2	P	R^2	P	R^2	P
FAD1	۰/۳۱۶	۰/۰۸۲	۰/۰۴۹	۰/۲۳۵	۰/۰۶۸	۰/۶۵۲
FAD2	۰/۱۲۷	۰/۱۲۶	۰/۰۰۲	۰/۱۴۸	۰/۰۰۴	۰/۰۸۲
MFAD	۰/۰۵۱	۰/۱۷۵	۰/۰۲۶	۰/۳۵۱	۰/۰۲۱	۰/۱۲۸
FDvar	۰/۰۰۳	۰/۰۳۶	۰/۰۶۸	۰/۰۸۳	۰/۱۲۵	۰/۰۷۵
Rao	۰/۰۵۹	۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۲۲۹	۰/۰۰۶	۰/۴۶۱

جدول ۵: نتایج حاصل از آزمون GLM در بررسی شاخص‌های تنوع عملکرد به توپوگرافی

شاخص‌ها	شیب		جهت		ارتفاع	
	R^2	P	R^2	P	R^2	P
FAD1	۰/۰۵۹	۰/۰۹۵	۰/۳۶۹	۰/۰۰۷	۰/۰۶۸	۰/۰۱۸
FAD2	۰/۰۰۵	۰/۰۵۲	۰/۰۲۱	۰/۰۶۲	۰/۰۸۱	۰/۰۷۳
MFAD	۰/۲۱۰	۰/۰۷۱	۰/۰۶۲	۰/۰۴۱	۰/۰۵۲	۰/۰۰
FDvar	۰/۰۱۴	۰/۰۶۶	۰/۱۲۸	۰/۰۷۸	۰/۱۴۲	۰/۱۲۹
Rao	۰/۴۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۹۳	۰/۴۳۰	۰/۰۰۴

نتایج حاصل از همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای با شاخص‌های تنوع ویژگی عملکرد نشان می‌دهد که FAD1 با شاخص شانون و سیمپسون در سطح پنج درصد، با غنای گونه‌ای در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار داشتند. شاخصMFAD با یکنواختی در سطح پنج درصد همبستگی معنی‌دار در سطح پنج درصد از خود نشان داد. هم‌چنین شاخص Rao با شاخص‌های سیمپسون، غنای گونه‌ای و یکنواختی در سطح پنج درصد معنی‌دار داشتند و بقیه همبستگی‌ها معنی‌دار نشدند (جدول ۶).

جدول ۶: نتایج همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های تنوع عملکرد با تنوع گونه‌ای

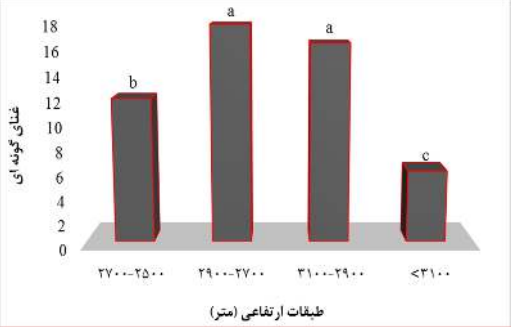
شاخص‌ها	شاخص شانون (H)	شاخص سیمپسون (D)	غنای گونه‌ای (S)	یکنواختی (D)
FAD1	۰/۳۲۲*	۰/۱۵۳*	۰/۱۱۳**	-۰/۱۱۸
FAD2	۰/۲۱۹	۰/۱۳۱	۰/۰۷۲	۰/۰۲۲
MFAD	۰/۰۴۱	-۰/۲۸۱	۰/۱۲۲	۰/۳۰۱*
FDvar	۰/۳۸۶	-۰/۱۷۴	-۰/۲۸۱	۰/۱۵۱
Rao	۰/۰۱۰	۰/۱۷۲*	۰/۰۳۲*	۰/۰۵۱*

**: معنی‌داری در سطح یک درصد *: معنی‌داری در سطح پنج درصد

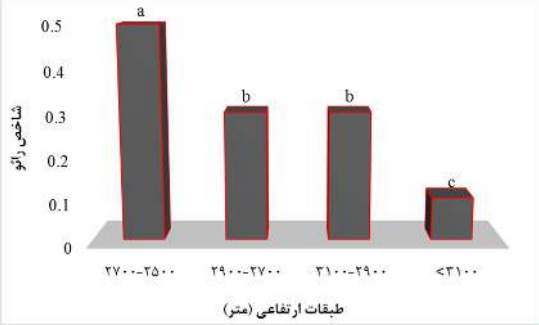
در بین شاخص‌ها، تنوع گونه‌ای و غنای گونه‌ای با متغیر ارتفاع از بالاترین R^2 برخوردار بوده، لذا برای بررسی اثرات طبقات ارتفاعی مختلف بر این شاخص از آنالیز یک‌طرفه واریانس به کار برده شد. مقایسه چند دامنه‌ای دانکن بیانگر این مطلب است که در بین طبقات مختلف ارتفاعی بیشترین غنای گونه‌ای مربوط به طبقه (۲۷۰۰-۲۹۰۰) متر می‌باشد و هم‌چنین بین طبقات ۲۵۰۰-۲۷۰۰ با این طبقات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است، ولی با طبقه بیشتر از ۳۱۰۰ متر اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۲). هم‌چنین در بین شاخص‌های تنوع عملکرد، شاخص رائو با متغیر ارتفاع از بالاترین همبستگی برخوردار بوده و نتایج حاصل از مقایسه چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که در بین طبقات مختلف ارتفاعی بیشترین تنوع عملکرد مربوط به طبقه میانی ۲۷۰۰-۲۹۰۰ متر بوده است. بین طبقات ۲۵۰۰-۲۷۰۰ و طبقات ۲۷۰۰-۲۹۰۰ متر و بیشتر از ۳۱۰۰ متر اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اما بین طبقه ۲۷۰۰ -۲۹۰۰ و طبقه ۲۹۰۰-۳۱۰۰ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]



شکل ۲: شاخص غنای گونه‌ای در طبقات مختلف ارتفاعی (برحسب متر)



شکل ۳: شاخص رائو (Rao) در طبقات مختلف ارتفاعی (برحسب متر)

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در بین شاخص‌ها، رابطه غنای گونه‌ای با بارندگی و ارتفاع و شاخص شانون فقط با شیب معنی‌دار بوده است. شیب‌های شمالی به دلیل کمتر قرار گرفتن در معرض نور آفتاب هوای معتدل‌تری نسبت به شیب‌های جنوبی دارند در نتیجه خاک آنها دارای رطوبت بیشتری است که شرایط مناسب برای حضور گونه‌های گیاهی وجود دارد. هم چنین نتایج نشان داد که شاخص‌های تنوع گونه ای با دامنه شیب رابطه معنی‌داری دارند. در دامنه‌های شیب دار نسبت به محدوده‌های با شیب کم شرایط میکروکلیمیایی ناهمگون‌تری از عوامل محیطی در موقعیت نقطه در دامنه غالب است. به طوری که با تجمع رسوب در قسمت‌های پایین دامنه عمق خاک بیشتر شده و یک گرادیان میکروکلیمای خاک از بالا به پایین ایجاد می‌شود. در شرایطی که عناصر غذایی خاک در نتیجه قابلیت تولید در مقیاس کوچک برای نقاط در موقعیت مختلف دامنه دارای یک روند و ساختار مکانی مشخص خواهد شد. در چنین حالتی از غیریکنواختی در مقیاس کوچک آشیان‌های مختلفی اکولوژیکی به وجود می‌آید و شرایط برای حضور و استقرار گونه‌های گیاهی با صفات متفاوت مساعدتر می‌شود. نتایج حاکی از آن است که غنای گونه‌ای در ارتفاعات مختلف از سطح دریا اختلاف معنی‌دار داشته و ارتفاعات میانی منطقه مورد مطالعه بیشترین غنای گونه‌ای را داشته است که با یافته‌های فخیمی و همکاران (۲۰۱۰) و احسانی و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. آن‌ها علت آن را واقع شدن پوشش گیاهی در یک زون انتقالی با شرایط مساعد دمایی و رطوبتی که در آن گیاهان مناطق فوقانی و تحتانی باهم همپوشانی دارند، ذکر کردند. نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای و تنوع عملکرد بیانگر این مطلب است که همبستگی ضعیفی بین این شاخص‌ها وجود دارد که با نتایج منصوری و همکاران (۲۰۱۳) و پچی و گاستون (۲۰۰۶) و صابریان (۲۰۱۰) مطابقت دارد. این بدان معنی است که مکانیسمی که همزیستی خیلی از گونه‌ها را باعث می‌شود لزوماً عملکرد متفاوت بین گونه‌ها را در برنمی‌گیرد (۱۰). این موضوع مؤید این مطلب است که تنوع گونه‌ها، تفاوت عملکردی گونه‌ها را که فرآیندهای اکوسیستم را تنظیم می‌کند شامل نمی‌شود. اگر عملکرد اکوسیستم ارتباط مهمی با تنوع عملکرد دارد به این علت است که یک ارتباط مثبت بین ویژگی‌های گونه‌های موجود در اکوسیستم و فرآیندهای اکوسیستم وجود دارد (۷). حالت ارتجاعی اکوسیستم ممکن است تحت تأثیر ویژگی گونه‌های گیاهی با فراوانی کمتر قرار گیرد (۳۵ و ۳۷). به بیان دیگر عملکرد اکوسیستم بیشتر تحت تأثیر محدوده ویژگی گونه‌ها و یکنواختی گونه‌ها قرار می‌گیرد که همبستگی بین تنوع عملکرد و یکنواختی جوامع گیاهی را تائید می‌کند (۱۹). عملکرد اکوسیستم بیشتر تحت تأثیر محدوده ویژگی گونه‌ها و یکنواختی گونه‌ها قرار می‌گیرد. شاخص‌های MFDA, FDA1 و FDA2 در ارتباط مستقیم با تعداد گونه هستند. در واقع این شاخص‌ها را می‌توان معادل غنای عملکرد در نظر گرفت که بر مبنای ویژگی استوار است. با افزایش تعداد گونه افزایش یا کاهش می‌یابند (۳). شاخص FAD1 که معادل غنای گونه‌ای می‌باشد، دارای عملکرد کمی می‌باشد. این مطلب مؤید آن است که در شرایطی که غنای کارکرد

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]

کم شود استفاده تکمیلی از منابع غذایی اتفاق افتاده و کارکرد کاهش می‌یابد که با یافته‌های جعفریان و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. استفاده تکمیلی از منابع غذایی باعث پایداری کارکرد سیستم در شرایطی که یک گونه از سیستم حذف شود، دارد. طبق تئوری داروین هر چقدر یک جامعه گیاهی تعداد گونه کمتری را در خود جای دهد احتمالاً همپوشانی کمتری در محدوده مصرف منابع غذایی در آنها دیده می‌شود و بر عکس تنوع بیشتر همپوشانی بیشتری را سبب می‌گردد. شاخص رائو کمیتی است که اندازه‌ای برای درجه بی‌نظمی در هر سیستم است. هرچه درجه بی‌نظمی بالاتر باشد آنتروپی بیشتر است. این شاخص در حقیقت تفاوت ویژگی‌های گونه‌هاست که در آن باید درصد فراوانی گونه‌ها لحاظ شود. در این تحقیق شاخص تنوع عملکرد رائو با متغیر ارتفاع بالاترین R^2 داشته است که با نتایج منصوری و همکاران (۲۰۱۳) و جعفریان و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. زولتان (۲۰۰۵) نیز شاخص رائو را برای اندازه‌گیری تنوع عملکرد استفاده نموده و بیان داشت که این شاخص به ازای افزایش غنای گونه‌ای ممکن است کاهش یابد. از آنجایی که شاخص‌های به کار برده شده در این تحقیق شاخص‌های چند ویژگی را باهم محاسبه می‌نمایند، ممکن است این همبستگی پایین ناشی از آن باشد. لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از شاخص‌هایی که به طور جداگانه ویژگی‌های عملکردی را در نظر می‌گیرند به کار گرفته شود تا ارتباط بین این شاخص‌ها افزایش یابد. هم‌چنین عوامل اقتصادی اجتماعی و هم‌چنین کاربری اراضی نیز در مطالعات آینده به عنوان متغیرهای تأثیرگذار علاوه بر عوامل محیطی انجام گیرد تا پیش‌بینی الگوهای عملکرد گونه‌ها بهتر انجام شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در پروژه های بنیادی یا پروژه‌های اجرایی مورد استفاده قرار گیرد به دلیل این که ویژگی‌های کارکردی شدت و جهت تغییرات اکوسیستم را در نتیجه عوامل محیطی به خوبی نشان می-دهند.

References

1. Adl, H., 2007. Biomass estimation and leaf area index of important species in Yasuj forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(4): 417-426. (In Persian)
2. Aghajanloo, F. & A. Ghorbani, 2016. Effects of some environmental factors on Ferula gummosa and Ferula ovina distribution in Shilander mountainous rangelands of Zanjan. Rangeland, 9(4): 407-419. (In Persian)
3. Casanoves, F., L. Pla, J.A. Di Rienzo & S. Dı´az, 2011. FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity, Methods in Ecology and Evolution, 2: 233–237.
4. Comstock, J.P. & J.R. Ehleringer, 1992. Plant adaptation in the Great Basin and Colorado Plateau. Naturalist, 21: 43-52.
5. De Bello F., W. Thuiller, J. Leps, P. Choler, J.C. Clement, P. Macek, M.T. Sebastia & S. Lavorel, 2009. Partitioning of functional diversity reveals the scale and extent of trait convergence and divergence. Journal of Vegetation Science, 20: 475-486.
6. Dubuis, A., 2013. Predicting spatial patterns of plant biodiversity: from species to communities. Ph.D. Thesis, University of Lausanne, 295 p.
7. Dubuis, A., S. Giovanettina, L. Pellisier, J. Pottier, P. Vittoz & A. Gusian, 2013. Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variable. Journal of Vegetation Science, 24: 593-606.
8. Ehsani, S.M., R. Tamartash, G. Heshmati & E. Sheidai Karkaj, 2020. Selection of protected sites for management planning based on floristic and species diversity evaluation (Case study: Valuye Kiasar, Mazandaran). Journal of Plant Research, 33(2): 465-476. (In Persian)
9. Fakhimi abarghoei, A., M. Mesdaghi, P. Gholami & H. Naderi, 2010. Topographic effects on plant species diversity in steppe rangelands, Yazd Province, Range and Desert Research, 18(3): 408-419. (In Persian)
10. Fukami, T., T. Martijn Bezemer, S.R. Mortimer & W.H. Putten, 2005. Species divergence and trait convergence in experimental plant community assembly. Ecology Letters, 12: 1247-1346.
11. Getzin, S., Ch. Dean, F. He, J.A. Trofymow, K. Wiegand & T. Wiegand, 2006. Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. Ecography, 29: 671-682.
12. Hanspach, J., I. Kuhn, S. Pompe & S. Klotz, 2011. Predictive performance of plant species distribution models depends on species traits. Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics, 12(3): 219-225.
13. Hirzel, A. & A. Guisan, 2002. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling?

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]

Ecological Modelling, 157: 331–341.
14. Hosseini, A., 2014. Diversity of tree and shrub species in relation to topographic factors and mass characteristics in Iranian Oak Trees of Ilam Province. Plant Researches, 27(2): 194-203. (In Persian)
15. Jafari, M., M.A. Zarechahoki & A. Tavili, 2006. Relationship between vegetation and soil in rangelands of Qom province. Journal of Research and Construction, 73: 110-116. (In Persian)
16. Jafarian, Z., H. Arzani, G.H. Zahedi & H. Azarnivand, 2010. Application of diagnostic analysis to determine the relationship between plant species distribution with environmental factors and satellite data in Rine Rangelands of Mazandaran Province. Watershed Research, 23(3): 64-71. (In Persian)
17. Jafarian, Z., M. Dehghan, F. Barjaste & M. Kargar, 2019. Assessment of diversity and functional species group as one of the biodiversity indicators in response to elevation Gradient (Case Study: Cheshmeh Sorkho Rangeland, Ravar Kerman), Journal of Environmental Study, 45(2): 317-329. (In Persian)
18. Kargar, M., Z. Jafariyan, R. Tamartash & S.J. Alivi, 2015. The effects of some soil properties and topography on some functional traits of Stachys lavandulifolia Vahl. In Angemar rangeland, Lasem watershed. Rangeland, 8(4): 342-350. (In Persian)
19. Loreau, M., S. Naeem & P. Inchausti, 2002. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives, Oxford University Press, 304 p.
20. Mahdavi, M., 2002, Applied hydrology, Volume II, Fourths edition, University of Tehran publication, 427 pp.
21. Mansoori, Z., P. Tahmasebi, M. Saeedfar & H.A. Shirmardi, 2013. Response of diversity of plant communities to animal grazing during slope of rainfall changes to conserve steppe and semi-steppe areas. Journal of Plant Ecological Conservation, 1 (3): 91-104. (In Persian)
22. Mason, N.W.H., K. MacGillivray, J.B. Steel & J.B., Wilson, 2003. An index of functional diversity. Journal of Vegetation Science, 14: 571–578.
23. Omidzadeh ardali, E., M.A. Zare chahuoki, H. Arzani & P. Tahmasbi, 2014. Comparison of species diversity indices using multi-scale plots (Case study: Karsanak rangeland in Shahrekord). Rangeland, 7(4): 292-303. (In Persian)
24. Pellissier, L., J. Pottie, P. Vitto, A. Dubuis & A. Guisan, 2010. Spatial pattern of floral morphology: possible insight into the effects of pollinators on plant distributions. Oikos, 119: 1805–1813.
25. Petchey, O.L. & K.J. Gaston, 2006. Functional diversity (FD), back to basic and looking forward. Ecology Letters, 9: 741-758.
26. Pielou, E.C., 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York.
27. R development core team, 2008. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, 2673 p. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.
28. Rao, C.R., 1982. Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. Theoretical Population Biology, 21(1): 24–43.
29. Saberian, GH.R., 2010. Degree of Correlation between Vegetation and Topographic Factors in the White Garmsar plain of Semnan Province, MA Thesis, 113 p. (In Persian)
30. Schmera, D., T. Eros & J. Podani, 2009. A measure for assessing functional diversity in ecological communities. Aquatic Ecology, 43(1): 157–167.
31. Shannon, C. & W. Weaver, 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 131 p.
32. Sheidai Karkaj, E. & J. Motamedi, 2020. Relationship between plant functional and taxonomic diversity with soil carbon storage in Nazluchay mountain rangelands, West Azerbaijan. Rangeland, 14(4): 715-730. (In Persian)
33. Simpson, E.H., 1949. Measurements of diversity. Nature, 163:688.
34. Sonnier, G., B. Shiply & M.L. Navas, 2010. Plant traits, species pools and the prediction of relative abundance in plant communities: a maximum entropy approach. Journal Vegetation Science, 21: 318-331.
35. Tahmasebi, P., 2009. Analysis of Performance Rangeland Ecosystems, Tehran, Pelk Publication, 224 p. (In Persian)
36. Tilman, D. & J.A. Downing, 1994. Biodiversity and stability in grasslands. Nature, 367 (6461): 363-365.
37. Walker, B., A. Kinzing & J. Langridge, 1999. Plant attributes diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. Ecosystems, 2: 95-113.
38. Yousefi, H., R. Erfanzadeh & O. Esmaeilzadeh, 2015. Impact of wild boar (Sus scrofa) disturbances on diversity and richness indices of soil seed bank in the rangeland plant communities. Rangeland, 9(1): 55-65. (In Persian)
39. Zoltan, B., 2005. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. Journal of Vegetation Science, 16: 533-540.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.13.2]