ارتباط غنا، یکنواختی و واگرائی کارکردی با کارکرد اکوسیستمی در مراتع استپی سرد مرجن بروجن

رضا امیدی‌پور[۱]، عطاالله ابراهیمی*[۲]، پژمان طهماسبی[۳] و مرزبان فرامرزی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۰۲/۲۹

چکیده

حفاظت موثر از خدمات و کارکردهای اکوسیستم، وابسته به تنوع زیستی است. به دلیل گسترگی و چندوجهی بودن تنوع زیستی، در تحقیق حاضر از روش‌های مختلف ارزیابی تنوع زیستی (شاخص‌های تنوع گونه‌ای و تنوع کارکردی) برای ارزیابی رابطه بین تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم در مراتع استپی سرد بروجن در چهارمحال و بختیاری استفاده شد. به همین دلیل، ارتباط شاخص‌های مختلف تنوع گونه‌ای (غنا، یکنواختی، تنوع شانون و سیمپسون) و تنوع کارکرد تک ویژگی (میانگین وزنی جامعه) و چندویژگی (غنای کارکرد، یکنواختی کارکرد، واگرائی کارکرد، شاخص رائو) با کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده روزمینی در قالب دو فرضیه نسبت زی‌توده (اثر انتخاب) و تکمیلی آشیان‌های اکولوژیک مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه شاخص‌های تنوع گونه‌ای و تنوع کارکرد، علاوه بر فراوانی گونه‌های گیاهی، ویژگی‌های کارکردی موثر بر تولید زی‌توده روزمینی (شاخص‌های سطح، سطح ویژه، نیتروژن، فسفر، مقدار کلروفیل و محتوای خشک و وزن خشک همگی مربوط به برگ، ارتفاع و میانگین قطر تاج گیاه) با استفاده از ۶۳ کوادرات ۲×۲ مترمربعی در سال ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد. ارتباط بین شاخص‌های مختلف تنوع زیستی و زی‌توده روزمینی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های تنوع غنای گونه‌ای (R^2= ۰/۶۷)، شانون (R^2= ۰/۶۳) و سیمپسون (R^2=۰ /۴۹) ارتباط معنی‌دار و مثبتی با زی‌توده روزمینی داشتند. واگرایی کارکردی (R^2= ۰/۳۸) و غنای کارکردی (R^2= ۰/۳۳) نیز ارتباط معنی‌دار منفی و مثبتی با زی‌توده روزمینی داشتند. اکثر شاخص‌های تنوع کارکرد مبتنی بر یک ویژگی (میانگین وزنی فسفر برگ، نیتروژن برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ، طول برگ، محتوای خشک برگ و ارتفاع گیاه) دارای ارتباط منفی با کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده روزمینی بودند. نتایج رگرسیون چندگانه خطی نشان داد که شاخص‌های تنوع گونه، تنوع کارکرد تک ویژگی و تنوع کارکرد چند ویژگی به‌ترتیب ۶۷، ۵۵ و ۵۲ درصد از تغییرات کل کارکرد اکوسیستم را توجیه نمودند. از این‌رو، جنبه‌های مختلف تنوع زیستی دارای ارتباط معنی‌داری با کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده روزمینی هستند و برای حفاظت پایدار از خدمات و کارکردهای اکوسیستم، حفاظت از تنوع زیستی اهمیت بالایی دارد. همچنین در این منطقه، ارتباط تنوع زیستی و زی‌توده روزمینی، در قالب فرضیه استفاده تکمیلی آشیان اکولوژیک قابل تفسیر است که بیان می‌دارد که افزایش تنوع گیاهی موجب استفاده از همه قسمت‌های آشیان‌های اکولوژیک شده و در نتیجه آن رقابت بین گیاهان برای کسب منابع کاهش و کارکرد اکوسیستم به حداکثر خواهد رسید.

واژه‌های کلیدی: تنوع زیستی، حفاظت، نسبت زی‌توده، استفاده تکمیلی، کارکرد اکوسیستم.

[۱] - دانشجوی دکترای مرتع‌داری، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

[۲]- دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

*: نویسنده مسئول: ataollah.ebrahimi@sku.ac.ir

[۳]- دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

[۴]- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

مقدمه

تنوع زیستی از مهم‌ترین مفاهیم در بوم‌شناسی بوده و وجود آن برای حفظ و نگهداری خدمات و کارکردهای بوم‌شناختی در هر اکوسیستمی ضروری است (۵۰). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که جوامع یا اکوسیستم‌های که دارای تنوع زیستی بیشتری هستند، دارای سطوح بالاتری از کارکرد و خدمات اکوسیستمی نیز هستند (۲۸).

وابستگی خدمات و کارکردهای ارائه‌شده در هر اکوسیستم به تنوع زیستی از یک طرف و از طرفی دیگر، روند شتابان کاهش تنوع زیستی در دهه‌های اخیر (۳۰)، موجب افزایش نگرانی‌ها در زمینه کاهش خدمات و کارکردهای پایدار اکوسیستمی گردیده است (۱۵). در این راستا، ارتباط تنوع زیستی و کارکردهای مختلف در سیستم‌های گوناگون مورد توجه اکثر بوم‌شناسان قرار گرفته است.

تولید اولیه روزمینی (زی‌توده) یکی از کارکردهای اصلی در اکوسیستم‌های گیاهی از قبیل مراتع بوده و در بسیاری از تحقیقات به عنوان نماینده کارکرد اکوسیستم تعیین و ارتباط آن با شاخص‌های مختلف تنوع زیستی مورد بررسی قرار گرفته است (۳۸ و ۴۴). با توجه به اینکه مراتع یکی از بزرگترین اکوسیستم‌های جهان هستند و بیش از ۴۰ درصد سطح خشکی‌های کره زمین را می‌پوشانند (۶۲) و به دلیل همین گستردگی زیاد و خدمات اکوسیستمی آنها، در کانون توجهات بسیاری از مطالعات قرار گرفته‌اند (۹).

یکی از مباحث مهم و جدل‌آمیز در بوم‌شناسی، انتخاب شاخص مناسب برای تعیین و نمایش تنوع یک جامعه است (۶۳). با توجه به اینکه تنوع تنها شامل تعداد (غنا) و توزیع فراوانی (یکنواختی) گونه‌ها نبوده و باید ویژگی‌های کارکردی مختلف گیاهان را مورد توجه قرار داد (۱۶). برای مثال بین یک گونه گیاهی که به‌صورت همزمان علاوه بر حفاظت خاک، ترسیب کربن، تثبیت نیتروژن و کاهش فرسایش پاشمانی و نقش حفاظتی (گونه پرستار) دارد (مانند بسیاری از گون‌های بوته‌ای: Astragalus) با یک گونه علفی که صرفاً تولید زی‌توده انجام می‌دهد به لحاظ کارکردی تفاوت زیادی وجود دارد که با شاخص‌های مرسوم تنوع (از قبیل غنا و یکنواختی) قابل بیان نیست. به همین دلیل، گروه جدیدی از شاخص‌های اندازه‌گیری تنوع زیستی با عنوان شاخص‌های تنوع کارکردی[1] ارائه و مورد استفاده محققین قرار گرفته است. این شاخص‌ها، علاوه بر تعداد و فراوانی گیاهان، ارزش، محدوده، توزیع و فراوانی ویژگی‌های کارکردی موجودات زنده در یک جامعه را نیز مد نظر قرار می‌دهند (۱۷). به عبارت دیگر، تنوع کارکرد علاوه بر فراوانی گیاهان هر جامعه، ویژگی‌های کارکردی گیاهی را نیز مد نظر قرار می‌دهد.

تنوع کارکرد در سال‌های اخیر مورد توجه محققین و پژوهشگران به ویژه در زمینه بررسی کارکردهای اکوسیستم‌های مختلف و همچنین برای بررسی ارتباط تنوع زیستی و خدمات و کارکردهای اکوسیستمی مورد استفاده قرار گرفته است (۳۴ و ۶۳). نتایج بسیاری از این تحقیقات نشان دادند که ویژگی‌های کارکردی‌گیاهان بهتر از شاخص‌های کلاسیک (از قبیل غنای شاخص تنوع شانون و سیمپسون)، تغییرات در کارکرد اکوسیستم را توضیح می‌دهند (۵۱). به عبارت دیگر، گوناگونی در ویژگی‌های کارکردی گونه‌های گیاهی موجود در جوامع مختلف بر روی کارکرد اکوسیستم از قبیل زی‌توده روزمینی تاثیرگذار خواهد بود (۱۱).

در بررسی ارتباط تنوع و کارکرد اکوسیستم دو فرضیه مهم که تعیین‌کننده نوع ارتباط این دو متغیر را بیان می‌کند، وجود دارد که شامل فرضیه نسبت زی‌توده[2] و فرضیه تکمیلی آشیان‌های اکولوژیک[3] می‌باشد (۳۵).

فرضیه نسبت زی‌توده بر بنیاد این اصل استوار است که کارکرد اکوسیستم توسط گونه‌های فراوان‌تر که سهم زیادی از زی‌توده کل گیاهی را به خود اختصاص می‌دهند، قابل پیش‌بینی است. برای مثال، سهم گونه‌های غالبی از قبیل گون در تولید زی‌توده اکوسیستم‌های که این قبیل گیاهان بوته‌ای غالب هستند بیشتر از سهم سایر گونه‌ها خواهد بود (۱۹). هرچند این فرضیه همیشه و در هر اکوسیستمی قابل اثبات نیست (۵۳). از طرفی دیگر، فرضیه تکمیلی آشیان‌های اکولوژیکِ گونه‌های گیاهی بیان می‌دارد که در جوامع گیاهی متنوع‌تر به دلیل اینکه گیاهان

[1]- Functional diversity
[2]- Biomass Ratio Hypothesis
[3]- Niche Complementarity Hypothesis

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

آشیان‌های اکولوژیک مختلفی دارند و از سطوح مختلف غذایی (مثلا مواد غذایی اعماق مختلف) استفاده می‌کنند، استفاده بیشتری از منابع غذایی کرده و در نتیجه کارکرد اکوسیستم (برای مثال میزان زی‌توده) بیشتر خواهد بود (۲۰). بر اساس این فرضیه، در صورتی که گیاهان استراتژی و ویژگی‌های مختلفی را داشته باشند، این تفرق در صفات اکولوژیک و کارکردی منجر به کاهش رقابت و استفاده بیشتر گیاهان از منابع خواهد شد که در نهایت تولید و کارکرد اکوسیستم را افزایش خواهد داد (۲۶). مقایسه این دو فرضیه از مباحث جدید و به‌روز اکولوژی می‌باشد که هنوز پاسخی قطعی و نهایی دریافت نکرده است.

بررسی این مکانیسم در اکوسیستم‌های با کارکردهای مختلف، نتایج متفاوتی را ارائه کرده است. در این بین، برخی بر نقش بیشتر گونه‌های غالب و ویژگی‌های کارکردی آنها (فرضیه نسبت زی‌توده) تاکید کرده و گروهی دیگر بر اهمیت وجود گوناگونی و تنوع در ویژگی‌های کارکردی (فرضیه استفاده تکمیلی) تاکید دارند. همچنین، برخی تحقیقات بر نقش همزمان گوناگونی و اهمیت گیاهان غالب تاکید نموده‌اند. در این راستا، روشیر[1] و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی با استفاده از شاخص‌های تنوع کارکرد تک ویژگی (میانگین وزنی جامعه) و چند ویژگی (شاخص رائو) نشان داد که شاخص‌های تنوع کارکرد، تک ویژگی حدود ۸۰ درصد از تغییرات کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده را توجیه می‌کند و بر نقش گونه‌های غالب تاکید دارد. در نتیجه‌گیری مشابه، موکانی[2] و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی ارتباط کارکرد اکوسیستم (مقدار زی‌توده) و شاخص‌های تنوع کارکردی در علفزارهای حاره‌ای نشان دادند که هرچند شاخص چند ویژگی، سهم بالایی از تغییرات کارکرد اکوسیستم را توجیه می‌کند، اما شاخص‌های تنوع کارکرد تک ویژگی و شاخص‌های متاثر از ویژگی‌های کارکردی گونه در بیشتر موارد ارتباط به مراتب قوی‌تر و بهتری با عملکرد ایجاد می‌کند و بر اهمیت فرضیه نسبت زی‌توده تاکید دارد. نتیجه‌گیری‌های مشابهی برای سایر کارکردهای گوناگونِ اکوسیستم از قبیل ترسیب کربن (۳۵)، زی‌توده درخت (۴۳ و ۵۷) و تجزیه لاشبرگ (۲۹) گزارش شده است. از سویی دیگر، سیبنکاس و روسچر[3] (۲۰۱۶) در تحقیقی به بررسی ارتباط تولید زی‌توده در آزمایش‌های تک، دو و چهارکشتی با گیاهان گندمی و پهن برگ با ساختار رشد متفاوت (بلند و کوتاه) در شرایط دسترسی به نور و مواد مغذی مختلف پرداختند و نشان دادند که تنوع موجب استفاده بیشتر از منابع شده و بر اهمیت فرضیه استفاده تکمیلی تاکید کردند. همچنین نیکالوس[4] و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی بر اهمیت وجود استفاده تکمیلی از آشیان بر بهبود ارتباط تنوع و کارکرد تاکید کردند. در تحقیقی دیگر، تاثیر همزمان هر دو فرضیه نسبت زی‌توده و استفاده تکمیلی بر افزایش کارکرد اکوسیستم در تجزیه لاشبرگ گزارش شده است (۲۲).

همچنین تاکنون برخی تحقیقات داخلی به بررسی ارتباط شاخص‌های مختلف تنوع و تنوع کارکرد با پرداخته‌اند. برای مثال، گهرنژاد و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی در مناطق زاگرس مرکزی ایران، ارتباط تنوع کارکرد و زی‌توده جوامع گیاهی را مورد بررسی قرار داده و تاکید کردند که ویژگی‌های گیاهان غالب از جمله شاخص سطح برگ درصد بیشتری از تغییرات کارکرد اکوسیستم را توجیه می‌کنند. همچنین گهرنژاد و همکاران (۱۳۹۶) در مقایسه کارایی شاخص‌های تنوع گونه‌ای (غنا) و تنوع کارکردی FAD2 [5]در برآورد زی‌توده بر کارایی بالاتر شاخص‌های تنوع کارکردی تاکید کردند. عابدی (۱۳۹۴) نیز به معرفی اکولوژی کارکرد محور پرداخته و برخی مبانی آن شامل تنوع کارکردی، صفات کارکردی، گزینش رویشگاه و کاربرد آنها در مطالعه اکولوژیک را بیان نمود. در تحقیقی دیگر، جعفریان و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی در شمال ایران به مدل‌سازی مکانی شاخص‌های تنوع کارکردی مبتنی بر یک و چند ویژگی با استفاده از مدل جنگل تصادفی[6] پرداختند و بر قابلیت بالاتر شاخص‌های تنوع کارکردی تک ویژگی تاکید کردند. بنابراین بررسی و مقایسه این دو مکانیسم‌ها در بررسی ارتباط تنوع کارکرد و پایداری از موارد ضروری برای پیش‌بینی کارکرد اکوسیستم می‌باشد.

[1]- Roscher
[2]- Mokany
[3]- Siebenkäs and Roscher
[4]- Niklaus
[5]- Functional Attribute Diversity
[6]- Random Forest

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

به همین دلیل، تحقیق حاضر در صدد است تا ارتباط بین زی‌توده روزمینی (به عنوان کارکرد اکوسیستم) و شاخص‌های مختلف تنوع گیاهی (تنوع گونه‌ای و تنوع کارکردی) را در قالب دو فرضیه موجود (نسبت زی‌توده و فرضیه تکمیلی آشیان‌های اکولوژیک) در مراتع مرجن استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار دهد. به صورت جزئی، در این تحقیق هدف، آزمون دو فرضیه زیر می‌باشد:

۱-کدام مولفه تنوع گیاهی (تنوع گونه‌ای یا تنوع کارکرد) ارتباط بهتری با کارکرد اکوسیستم مرتعی دارند؟

۲- ارتباط تنوع کارکرد و کارکرد اکوسیستم در قالب کدام فرضیه (نسبت زی‌توده یا استفاده تکمیلی) قابل توجیه است؟

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، مراتع مرجن در شهرستان بروجن در استان چهارمحال و بختیاری است. این مراتع در فاصله دو کیلومتری شهرستان بروجن و با مساحتی معادل ۵۶۹۴ هکتار در عرض شمالی "۵۱ '۵۸ °۳۱ تا "۲۹ '۰۸ °۳۲ و طول شرقی "۵۰ '۱۶ °۵۱ تا "۳۸ '۲۴ °۵۱ با میانگین ارتفاعی حدود ۲۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد (۴۸). اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس روش گوسن جزء مناطق استپی سرد محسوب می‌شود و میزان بارندگی سالیانه آن بر اساس داده‌های بلندمدت (۲۵ ساله) مربوط به ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان بروجن، برابر با ۲۵۳ میلی‌متر است (۶۵). پوشش گیاهی غالب منطقه را گیاهان چندساله خانواده گرامینه در کنار گیاهان بوته تشکیل می‌دهند.

برخی از مهم‌ترین گونه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه عبارتند از:

Bromus tomentellus Boiss, *Stipa hohenackeriana* Trin., *Noaea mucronat* (Forsk.) Aschers et. Sch., *Boissiera squarrosa* (Sol.) Nevski, *Acantholimon aspadanum* Bunge., *Eremurus spectabilis* M. B., *Scariola orientalis* (Boiss)Sojak, *Taeniatherum crinitum* (Schreb.) Nevski, *Alyssum marginatum* Steud., *Alyssum linifolium* Steph. ex Wild., *Astragalus verus* Olivier., *Euphorbia heteradena* Jaub & Spach., *Astragalus albispinus* Sirg. & Bornm, *Achillea wilhelmsii* C. Koch, L., *Bromus tectorum* L., *Poa bulbosa* L., *Stachis inflata* Benth, *Astragalus effusus* Bunge, *Chardinia orientalis* (L.) Kuntze, *Festuca ovina* L.

روش بررسی

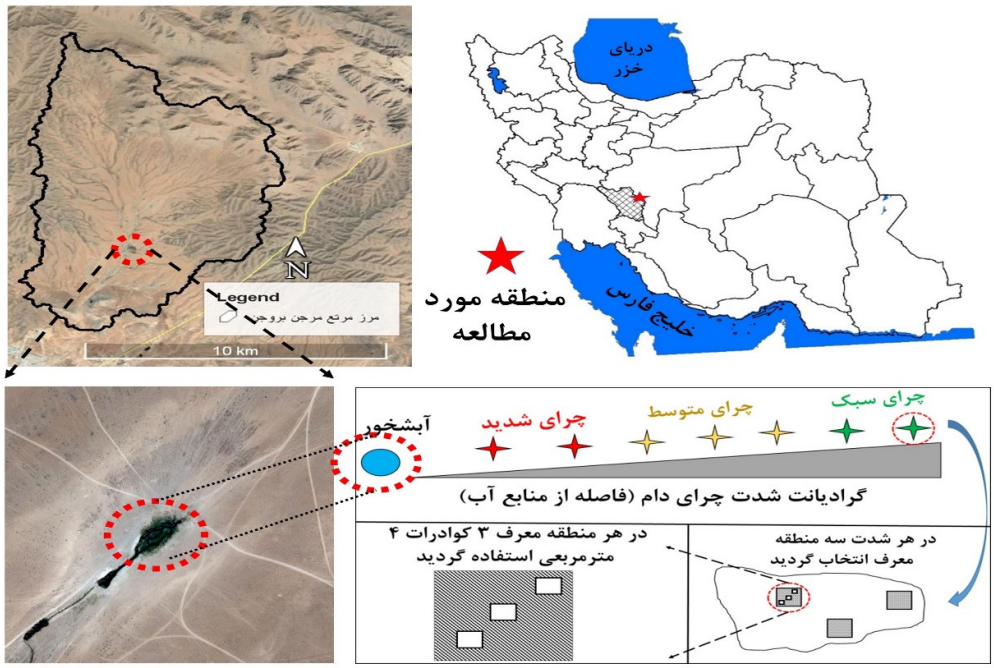
نحوه نمونه برداری از پوشش گیاهی

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در فصل اوج رشد گیاهی در اواسط خردادماه ۱۳۹۵ انجام گرفت. بر اساس نتایج تحقیقات گذشته (۲، ۵ و ۱۳) و به جهت اطمینان از شمول همه گونه‌های گیاهی و همه ویژگی‌های کارکردی و یافتن گرادیانی از تنوع کارکردی که مستقل از اقلیم و خاک باشد، نمونه‌برداری در طول گرادیان چرای دام انجام شد. استفاده از این گرادیان شدت چرا صرفاً برای ایجاد گرادیانی در مقدار زی‌توده روزمینی (از کم به زیاد) است. به عبارتی، چون هدف تحقیق حاضر بررسی ارتباط کارکرد اکوسیستم با شاخص‌های مختلف تنوع زیستی است، نمونه‌برداری از کارکرد اکوسیستم باید به گونه‌ای باشد که همه مقادیر عملکردی از کم تا زیاد در آن وجود داشته باشد. به همین دلیل و برای داشتن یک گرادیان طبیعی از تغییرات در کارکرد اکوسیستم (تولید زی‌توده روزمینی)، نمونه‌بردای در طول گرادیان چرایی انجام شد زیرا چرای دام تنها عاملی است که صرفاً زی‌توده را تغییر می‌دهد و بقیه عوامل محیطی ثابت می‌مانند.

به همین دلیل، نمونه‌برداری در مکان‌هایی در فواصل مختلف از نقاط آبی ومحل اطراق دام موجود در منطقه انجام شد. تحقیقات گذشته به اثبات رسانیده است که با افزایش فاصله از نقاط آبی (آبشخور) و محل اطراق دام، شدت چرا کاهش می‌یابد (۴۱ و ۶۴) و پوشش به تنوع گیاهی پتانسیل منطقه سوق پیدا می‌کند. لازم به ذکر است سایر مشخصات مناطق از قبیل ویژگی‌های محیطی و فیزیوگرافی در مناطق نمونه‌برداری ثابت بود. در نهایت ۷ منطقه معرف در طول گرادیانت چرای دام، انتخاب و در هر مکان ابتدا سه ماکرو پلات ۳۰×۳۰ مترمربعی انتخاب و درون آنها، نمونه‌برداری از پوشش و ویژگی‌های کارکردی گیاهی با سه کوادرات ۲×۲ مترمربعی انجام گرفت (در مجموع ۶۳ کوادرات). نمایی از طرح نمونه‌برداری در شکل ۱ نمایش داده شده است.

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]



شکل ۱: نمایی کلی از موقعیت جعرافیایی و طرح نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

اندازه‌گیری کارکرد اکوسیستم

مشابه با تحقیقات گذشته (۱۳، ۲۶ و ۳۵)، در این تحقیق، زی‌توده روزمینی به عنوان کارکرد اکوسیستم انتخاب و اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری زی‌توده گیاهی روزمینی در هر کوادرات، کل پوشش گیاهان اعم از یکساله و چندساله از یک سانتی‌متری سطح خاک (۷) قطع و پس از تفکیک گونه‌ها در دمای ۷۵ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس توزین گردیدند (۴). در مورد گیاهان بوته‌ای موجود در پلات‌ها (از قبیل گون‌ها) اندازه‌گیری زی‌توده با استفاده از تعیین شاخص (روش آدلاید) انجام شد (۳). بدین منظور، ابتدا شاخه‌هایی از گیاه بوته‌ای که نماینده ۱۰ تا ۲۰ درصد کل گیاه باشند، قطع و این شاخص با گیاه موجود در هر کوادرات مقایسه و بر اساس مقایسه چشمی، مقدار زی‌توده رو زمینی هر گیاه به‌صورت تخمینی تعیین شد. در نهایت پس از پایان نمونه‌برداری در هر روز، واحدهای مرجع (شاخص‌ها) در دمای ۷۵ درجه‌سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و توزین گردید و مقدار زی‌توده گیاهان بوته‌ای موجود در کواردات برآورد شد (۴).

اندازه‌گیری ویژگی‌های کارکردی گیاهی

برای اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع کارکرد، علاوه بر داده‌های فراوانی گونه‌ای، ویژگی‌های کارکردی گیاهان مذکور نیز مورد نیاز می‌باشد (۱۴، ۱۷، ۳۹ و ۴۶). بطور معمول ویژگی‌های که دارای سهولت در اندازه‌گیری باشند و ارتباطی با میزان کارکرد اکوسیستم داشته باشند، انتخاب و اندازه‌گیری خواهند شد. در این تحقیق بر اساس نظر کارشناسان و همچنین مرور منابع موجود و تحقیقات مشابه ۱۰ صفت کمی شامل: ۱- سطح برگ، ۲- محتوای خشک برگ، ۳- شاخص سطح ویژه برگ، ۴- طول برگ، ۵-وزن خشک برگ، ۶- مقدار کلروفیل برگ، ۷- نیتروژن برگ، ۸- فسفر برگ، ۹- ارتفاع گیاه، ۱۰- میانگین قطر تاج گیاه؛ جهت اندازه‌گیری تنوع کارکردی مورد استفاده قرار گرفت. پس از تعیین ویژگی‌های کارکردی، برای اندازه‌گیری هر ویژگی کارکردی گیاهی (ویژگی‌های کمی)، بطور معمول ۲۰ تکرار (نمونه) از ۱۰ پایه گیاهی انتخاب و اندازه‌گیری گردید (۱۴). با توجه به اینکه انتخاب و اندازه‌گیری ویژگی‌های تمام گیاهان امکان‌پذیر نیست، لذا انتخاب گیاهان باید به صورتی باشد که این گیاهان در مجموع حدود ۸۰ درصد ترکیب کل جامعه گیاهی را شامل شوند

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

(۴۵). به عبارت دیگر، در برخی موارد گیاهی بسیار کمیاب باشد (اهمیت حضور) و یا مقدار زی‌توده آن به حدی کم باشد که نتوان برخی ویژگی‌های کارکردی آن را اندازه گرفت، در این قبیل موارد می‌توان از اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی آن صرف نظر کرد (در تحقیق حاضر از اندازه‌گیری نیتروژن، فسفر و کلروفیل چند گونه کمیاب صرف نظر شد). لازم به ذکر است فرآیند محاسبه با شاخص‌های تنوع کارکردی با وجود برخی داده‌های تعریف نشده (اندازه‌گیری نشده) نیز قابل اجرا بوده و تاثیر زیادی بر نتایج ندارد. هرچند تا کنون تحقیقی بیان ننموده است که چه سطحی از داده‌های تعریف نشده برای محاسبه شاخص‌های تنوع کارکردی قابل قبول است و خللی در نتایج وارد نمی‌سازد (۳۵). ویژگی‌های کارکردی گونه‌های غالب در هر منطقه نیز بر اساس روش‌های پیشنهادی موجود (۴۵) انجام گرفت.

اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای و تنوع کارکرد

محاسبه شاخص‌های تنوع گونه‌ای (غنا، یکنواختی و تنوع) در نرم‌افزار PAST صورت گرفت. در این راستا سه شاخص تنوع گونه‌ای شامل: ۱- غنای گونه‌ای، ۲- تنوع شانون-وینر و ۳- تنوع سیمپسون بر اساس روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند (۳۷):

رابطه (۱): $S = Number\ of\ Species$

رابطه (۲): $H = - \Sigma PiLnPi$

رابطه (۳): $D = 1 - \Sigma Pi^2$

که در آن S: غنای گونه؛ H: شاخص تنوع شانون-وینر، D: شاخص تنوع سیمپسون و *Pi*: نسبت فراوانی هر گونه به فراوانی کل آن، در هر کوادرات می‌باشد. همانطور که تنوع گونه‌ای دارای مولفه‌های مختلف غنا و یکنواختی است، تنوع کارکرد نیز دارای مولفه‌های مختلفی است که هر کدام بخشی از تنوع کارکرد جامعه را نشان می‌دهند (۳۹). در این راستا، ویلیجر[1] و همکاران (۲۰۰۸)، بیان نمودند که تنوع عملکرد نمی‌تواند به‌صورت یک تعداد منفرد (واحد) محاسبه گردد، زیرا تنوع کارکرد نیز همچون تنوع گونه‌ای شامل اجزا غنا، یکنواختی و واگرایی با در نظرگیری ارزش ویژگی‌ها و فراوانی گونه‌ای می‌باشد. به همین دلیل، با شامل کردن همه جنبه‌های تنوع کارکرد، می‌توان همه جوانب ارتباط تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم را آشکار ساخت. در این تحقیق، شاخص‌های تنوع کارکرد مورد استفاده عبارتند از شاخص‌های میانگین وزنی جامعه[2] (CWM)، شاخص مربع آنتروپی رائو (Q یا Rao یا FDQ)، شاخص غنای کارکرد[3] (FRic)، شاخص یکنواختی کارکرد[4] (FEve) و شاخص واگرایی کارکرد[5] (FDiv). در تحقیق حاضر محاسبه شاخص‌های مختلف تنوع کارکردی با استفاده از دو ماتریس (گونه در پلات و ویژگی در گونه) و به کمک بسته آماری "FD" در نرم‌افزار R انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که تعداد ستون در گونه در پلات (۶۳×۴۴) و تعداد ردیف در ماتریس ویژگی در گونه (۱۰×۶۳) باید کاملا یکسان باشند (هر دو برابر با ۶۳) تا دو ماتریس در هم ضرب شوند. به عبارتی، در ماتریس فراوانی اسامی گیاهان در ستون و در ماتریس ویژگی اسامی گیاهان در ردیف‌ها قرار می‌گیرند.

غنای کارکردی نشان‌دهنده گسترش فضایی ویژگی کارکردی در جامعه می‌باشد. این شاخص برای یک ویژگی به‌صورت محدوده مینیمم- ماکزیمم نشان داده می‌شود، اما برای بیش از یک ویژگی به‌صورت حجمی در فضای ویژگی‌ها نشان داده می‌شود. یکنواختی کارکردی به‌عنوان مقیاس یکنواختی از فضای بین گونه‌ها در فضای ویژگی‌ها می‌باشد. واگرایی کارکرد کمیتی از چگونگی ارزش ویژگی‌ها می‌باشد که در محدوده فضای ویژگی‌ها پخش شده‌اند. همچنین شاخص تنوع کارکرد رائو شاخصی است که برای نمایش تنوع کارکرد استفاده می‌گردد که بر مبنای تئوری آنتروپی بدست آمده و به‌صورت یک شکل رابطه درجه دوم (کوادراتیک) از ماتریس فواصل بین گونه‌ها و بردار فراوانی نسبی گونه‌ای بیان شده است که با استفاده از شاخص فاصله اقلیدوسی بین‌گونه‌ها در فضای ویژگی‌ها به‌دست می‌آید (۴۶). شاخص میانگین وزنی جامعه که برای هر ویژگی گیاهی به صورت مجزا محاسبه می‌شود، متأثر از ویژگی گونه غالب است. در صورتی که شاخص تنوع کارکرد مبتنی بر چند ویژگی (غنای کارکرد، یکنواختی کارکرد، واگرایی کارکرد، شاخص رائو)، گویای وجود تنوع و اختلاف در

[1]- Villager
[2]- Community weighted mean
[3]- Functional richness
[4]- Functional evenness
[5]- Functional divergence

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

ویژگی‌های کارکردی گونه‌های گیاهی می‌باشد (۳۵). بنابراین، نوع رابطه (مثبت یا منفی) و سطح ضریب تبیین (R^2)، تعیین‌کننده نوع مکانیسم ارتباط تنوع زیستی (گیاهی) و کارکرد اکوسیستم خواهد بود.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از بررسی نرمال‌بودن (Shapiro-Wilk Test) و همگنی واریانس داده‌ها (Levene's Test)، ارتباط معنی‌دار بین کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده (متغیر وابسته) و شاخص‌های تنوع و تنوع کارکرد (متغیر مستقل و پیشگو) با استفاده از رگرسیون خطی در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

برای بررسی قابلیت پیش‌بینی زی‌توده توسط سه گروه ۱- شاخص‌های تنوع گونه‌ای، ۲- شاخص تنوع کارکردی مبتنی بر یک ویژگی و ۳- شاخص تنوع کارکردی مبتنی بر چند ویژگی، با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی[1] صورت پذیرفت (۱۳، ۲۶ و ۴۵).

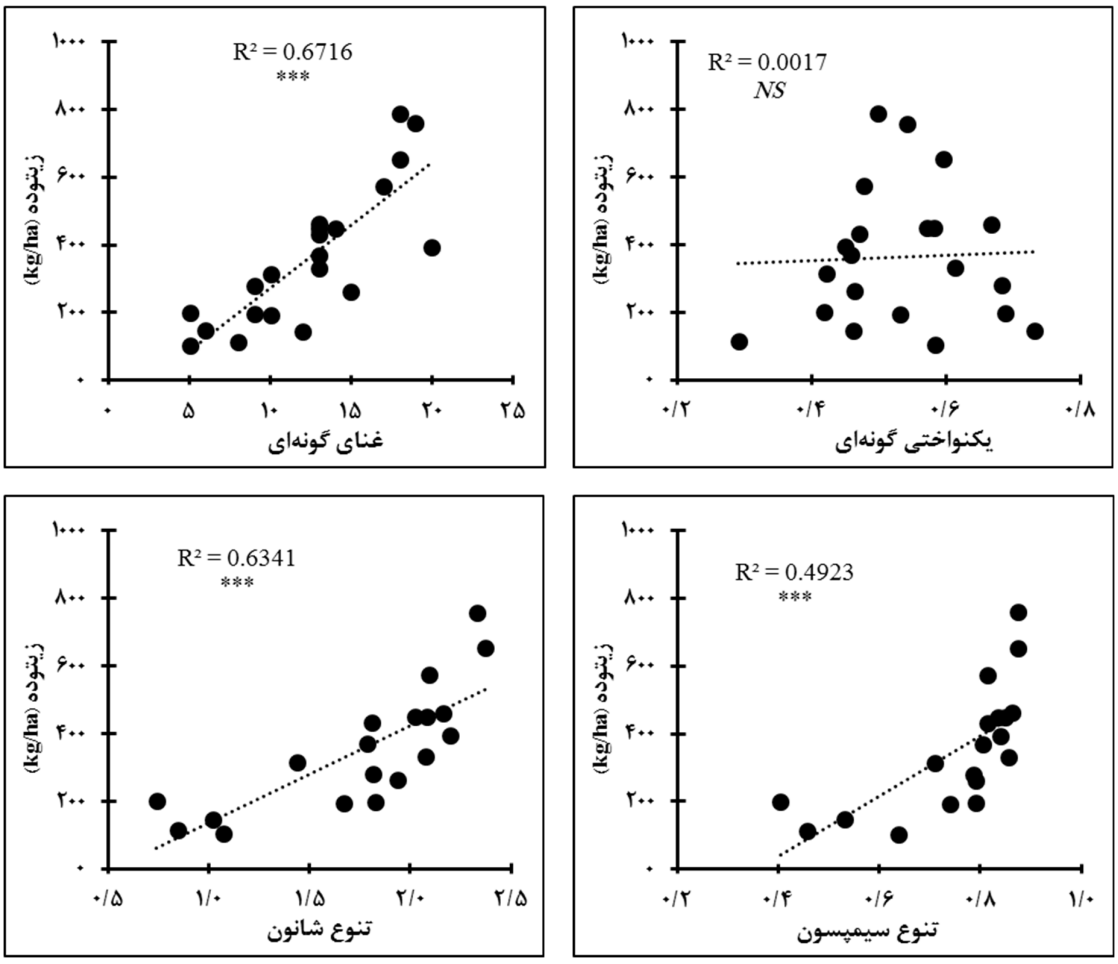
به جهت حذف هم‌خطی چندگانه[2] در هر گروه، تنها متغیرهایی که دارای ارتباط معنی‌داری با زی‌توده بودند (بر اساس آزمون رگرسیون خطی) به مدل نهایی وارد شدند. همچنین برای حذف خودهمبستگی[3] بین متغیرهای مورد بررسی، در هر گروه، یکی از شاخص‌های که دارای همبستگی بالای ۰/۸ بودند از مدل نهایی حذف شدند. در این راستا و به دلیل وجود همبستگی بالا بین غنای گونه‌ای و شاخص تنوع شانون (بالای ۰/۸)، شاخص تنوع شانون از مدل نهایی حذف شد. همچنین از مدل تنوع کارکرد مبتنی بر یک ویژگی، متغیرهای میانگین وزنی نیتروژن برگ، میانگین وزنی طول برگ و میانگین وزنی وزن خشک برگ به دلیل داشتن همبستگی بالایی با سایر شاخص‌ها حذف گردیدند.

نتایج

بررسی ارتباط بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون و همچنین غنای گونه‌ای با زی‌توده گیاهی وجود دارد ولی برای یکنواختی ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). بر اساس نتایج، غنای گونه‌ای دارای یک رابطه معنی‌دار مثبت (P-value=۰/۰۰۰) با زی‌توده گیاهی بود. به طور مشابهی، دو شاخص تنوع سیمپسون (P-value=۰/۰۰۰) و شاخص تنوع شانون (P-value=۰/۰۰۰) نیز دارای روابط معنی‌دار مثبتی با کارکرد زی‌توده‌ای در منطقه مورد بودند (شکل ۲).

[1]- Multiple linear regression
[2]- Multi-collinearity
[3]- Autocorrelation

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

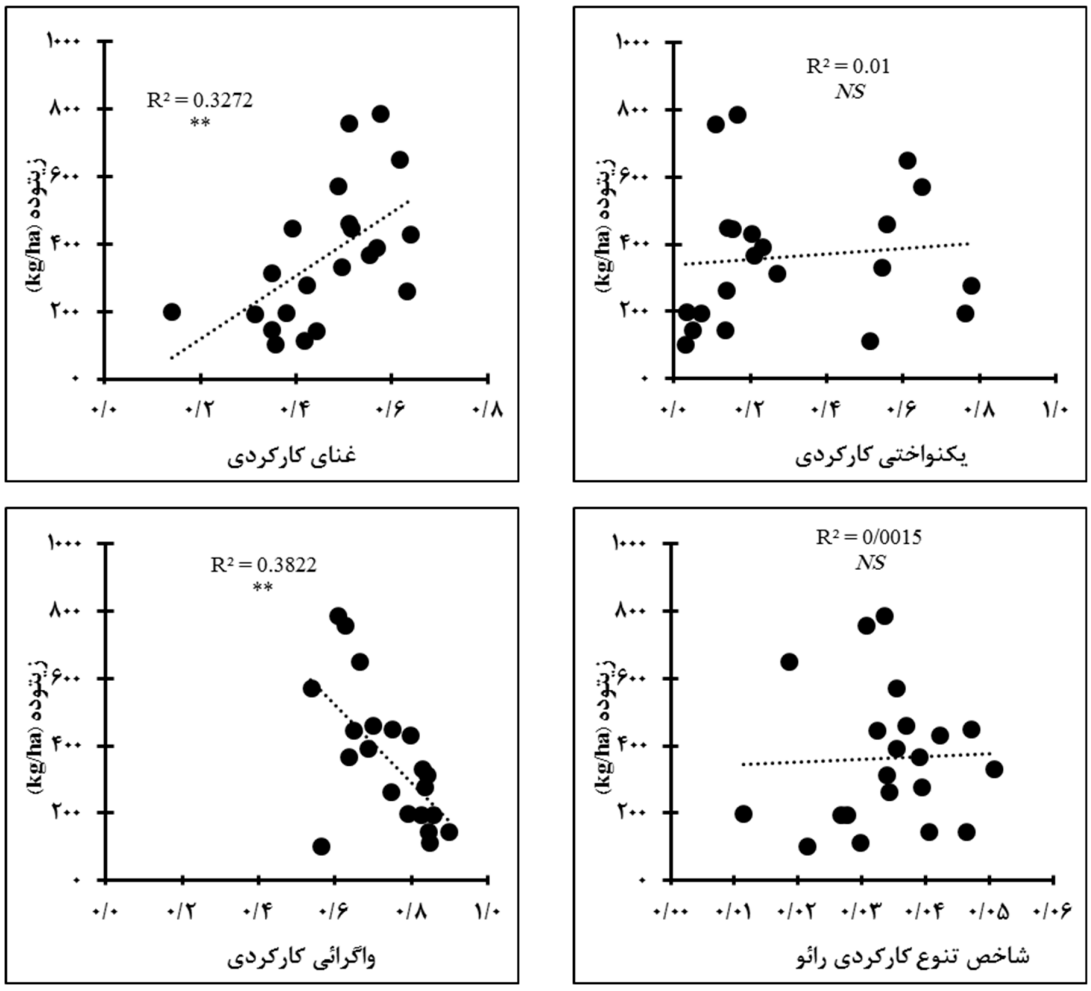


شکل ۲: ارتباط بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده بالای سطح زمین

نتایج بررسی ارتباط بین شاخص تنوع کارکردی مبتنی بر چند ویژگی با مقدار زی‌توده نشان داد که تنها دو شاخص غنای کارکردی و واگرایی کارکردی دارای ارتباط معنی‌داری با مقدار زی‌توده هستند (شکل ۳). رابطه غنای کارکردی با زی‌توده مثبت (*P*-value=۰/۰۰۷) بود در حالیکه برای شاخص واگرایی کارکردی یک رابطه منفی (*P*-value=۰/۰۰۳) با زی‌توده روزمینی مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد که بین دو شاخص یکنواختی کارکردی (*P*-value=۰/۶۶) و شاخص تنوع کارکردی رائو (*P*-value=۰/۸۶) ارتباط معنی‌داری با میزان زی‌توده گیاهی در سطح $P\leq$۰/۰۵ وجود نداشت (شکل ۳).

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

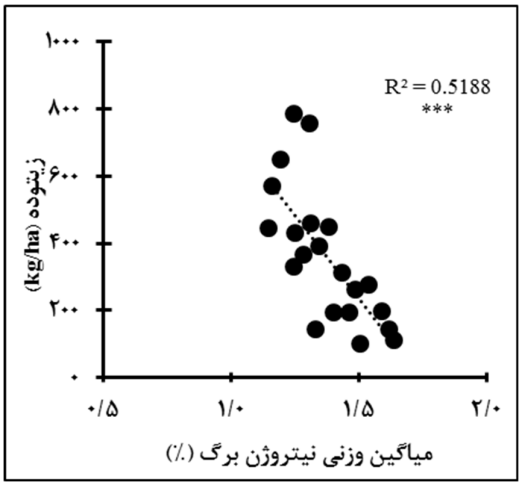
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

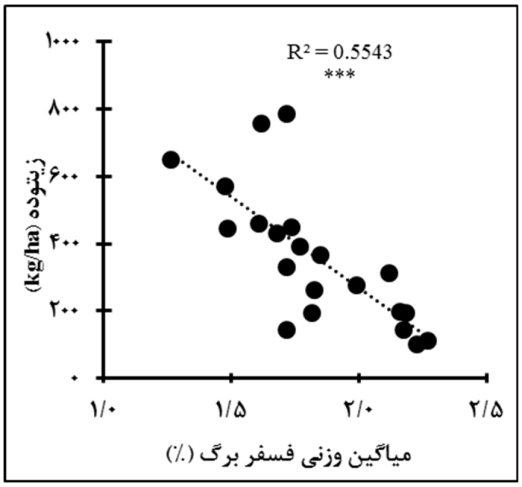


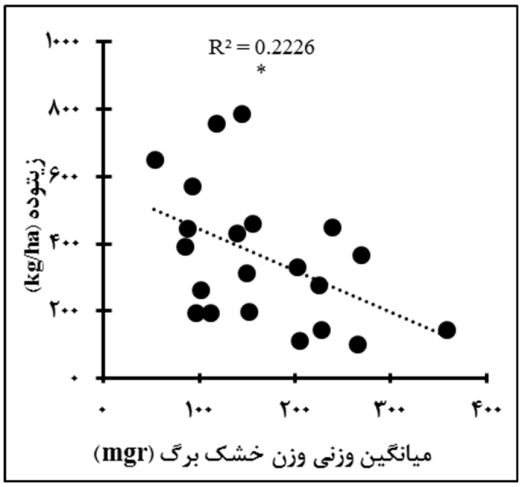
شکل ۳: ارتباط بین شاخص‌های تنوع کارکردی چندویژگی و کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده بالای سطح زمین

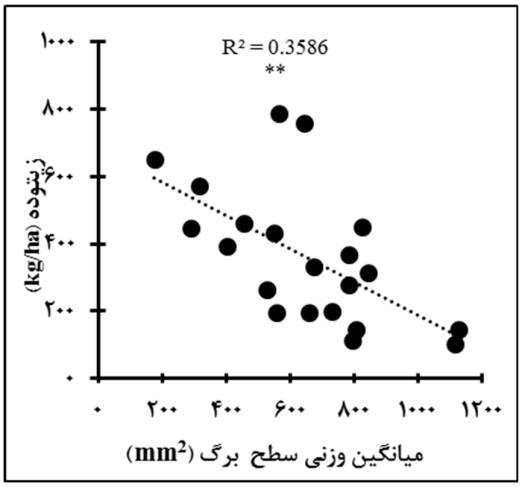
نتایج بررسی ارتباط بین شاخص تنوع کارکردی مبتنی بر یک ویژگی و عملکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده گیاهی نشان داد که عمده شاخص‌های مورد بررسی تنوع کارکردی مبتنی بر یک ویژگی دارای ارتباط معنی‌داری منفی با مقدار زی‌توده گیاهی می‌باشند در صورتی که تنها شاخص میانگین وزنی قطر تاج (*P*-value= ۰/۰۰۹) رابطه مثبت و همچنین دو شاخص میانگین وزنی سطح ویژه برگ (*P*-value= ۰/۳۳) و میانگین وزنی کلروفیل برگ (۰/۵۹ =*P*-value) فاقد ارتباط معنی‌داری با عملکرد زی‌توده بودند (شکل ۴). بهترین ارتباط بین شاخص‌های تنوع کارکرد مبتنی بر یک ویژگی با مقدار زی‌توده گیاهی به ترتیب مربوط به دو شاخص میانگین وزنی فسفر برگ (۰/۵۵ =R^2) و میانگین وزنی طول برگ (۰/۵۲ =R^2) بود (شکل ۴).

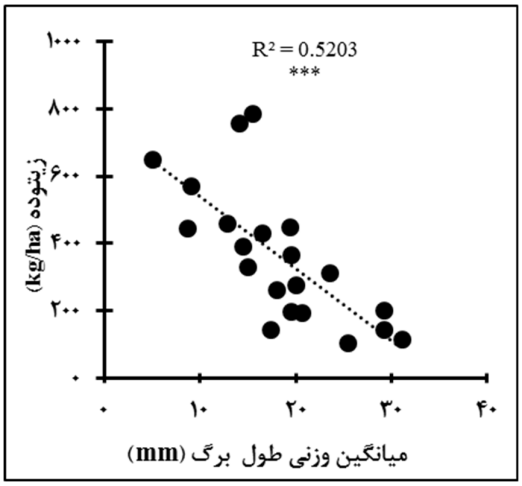
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

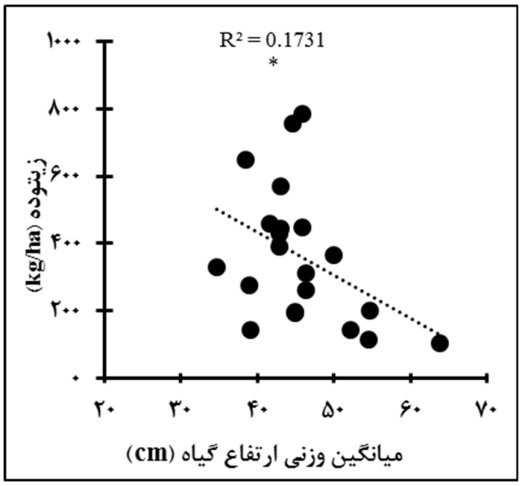




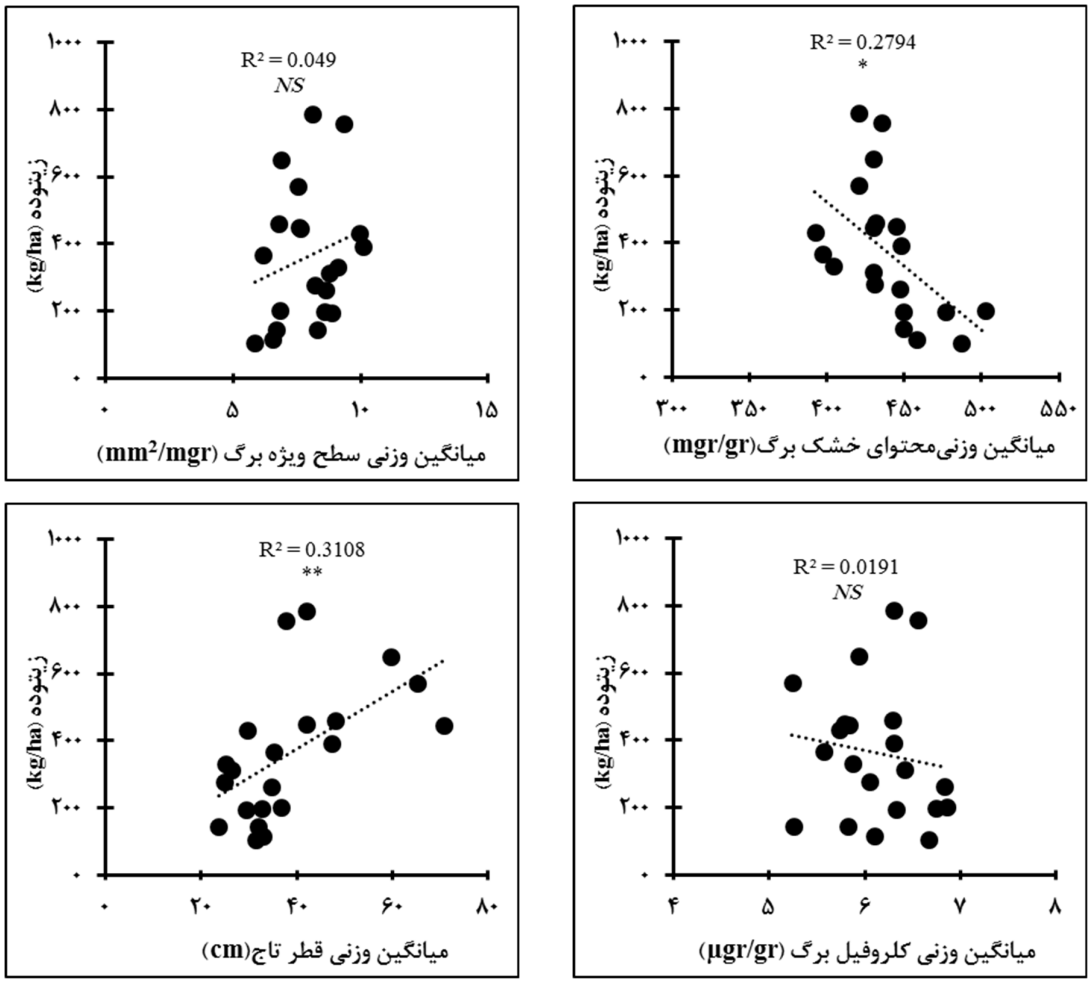








[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]



شکل ۴: ارتباط بین شاخص‌های تنوع کارکردی تک ویژگی و کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده بالای سطح زمین

نتایج رگرسیون چندگانه خطی نشان داد که از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل تنوع گونه‌ای دارای دقت بالاتری در برآورد مقدار زی‌توده گیاهی است (جدول ۱). بر اساس نتایج، بهترین متغیر تنوع گونه‌ای برای پیش‌بینی زی‌توده گیاهی که به مدل نهایی وارد گردید، شاخص غنای گونه‌ای بود که توانست بیش از ۶۷ درصد تغییرات متغیر وابسته (زی‌توده گیاهی) را توجیه کند. همچنین شاخص‌های تنوع کارکردی مبتنی بر یک ویژگی دارای برتری نسبی نسبت به شاخص‌های تنوع کارکردی مبتنی بر چند ویژگی بودند. هرچند هر دو گروه مذکور، بیش از ۵۰ درصد از تغییرات زی‌توده گیاهی را توجیه نمودند (جدول ۱).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

جدول ۱: نتایج رگرسیون خطی چندگانه بر اساس مدل گام به گام. S: غنای گونه‌ای، CWM-LPC: میانگین وزنی فسفر برگ، FDiv: واگرایی کارکرد، FRich: غنای کارکرد.

شاخص		متغیرهای وردی به مدل نهایی	مدل نهایی	*R*	R^2	*P-value*
تنوع گونه‌ای		غنا گونه‌ای، شاخص سیمپسون	Y = 37.04*(S) - 96.17	۰/۸۱۹	۰/۶۷۲	۰/۰۰۰
تنوع کارکردی	**تک کارکردی**	میانگین وزنی فسفر برگ، میانگین وزنی سطح برگ، میانگین وزنی ارتفاع، میانگین وزنی محتوای ماده خشک، میانگین وزنی قطر تاج	Y = -540.46 *(CWM-LPC) + 1349.52	۰/۷۴۵	۰/۵۵۴	۰/۰۰۰
	چندکارکردی	غنای کارکردی، واگرایی کارکردی	Y = -892.56 * (FDiv) + 661.74*(FRich) + 717.11	۰/۷۲۴	۰/۵۲۴	۰/۰۰۱

بحث و نتیجه‌گیری

حفاظت از اکوسیستم‌های مختلف و خدمات و کارکردهای فراهم شده توسط این اکوسیستم‌ها از نیازهای اساسی پایداری زندگی بشر بوده و افزایش علاقمندی و تحقیقات در زمینه ارتباط تنوع زیستی و کارکردهای مختلف اکوسیستم تاکیدی بر این مطلب است (۵۵ و ۵۸).

تفسیر رفتار اکوسیتم‌های طبیعی همچون مراتع نیازمند شناخت نوع روابط و مکانیسمی است که بین اجزاء آن و کارکرد آن وجود دارد؛ ارتباط تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم (برای مثال تولید زی‌توده) از جمله این روابط است که در این رابطه دو نظریه وجود دارد یکی قائل به مکانیسم (استفاده تکمیلی) است که در این نظریه عقیده بر آن است که گیاهان به واسطه تقسیم آشیان اکولوژیک و تسهیل شرایط گونه‌ها برای یکدیگر، موجب استفاده از همه منابع اکوسیستم و درنهایت منجر به افزایش کارکرد اکوسیستم و در پی آن پایداری بیشتر آن می‌شوند (۳۶)، در حالی که در نظریه کارکردی گونه غالب، (مکانیسم اثر انتخاب)، ارتباط بین تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم، تابعی از انتخاب یک کارکرد خاص که تحت تاثیر ویژگی کارکردی گونه غالب اتفاق می‌افتد، تعیین می‌شود (۴۳). به همین دلیل (انتخاب کارکرد و ویژگی خاص) به آن اثر انتخاب یا اثر نمونه‌برداری هم گفته می‌شود. در این تحقیق این دو نظریه در یک منطقه استپی سرد در استان چهارمحال و بختیاری، آزمایش شده است. در این بخش از تحقیق حاضر، تفسیر نتایج به ترتیب ارائه آنها در قسمت نتایج و در سه بخش ارائه شده است که شامل: ۱- نتایج و ارتباطات شاخص‌های تنوع گونه‌ای، ۲- نتایج و ارتباطات شاخص‌های تنوع کارکردی و ۳- تحلیل درصد تغییرات قابل توجیه بر اساس مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی.

نتایج این تحقیق نشان داد که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای (شاخص شانون و شاخص سیمپسون) و شاخص غنای گونه‌ای (تعداد گونه در واحد نمونه‌برداری) با میزان تولید زی‌توده روزمینی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، در حالی که ارتباطی برای یکنواختی مشاهده نشد (شکل ۲). وجود ارتباط مثبت بین غنای گونه‌ای و کارکرد اکوسیستم در سایر تحقیقات آزمایشگاهی (۲۹ و ۵۴) و تجربی (۱۰ و ۶۳) گزارش شده است. همچنین وجود ارتباط مثبت غنای گونه‌ای و زی‌توده در سایر اکوسیستم‌ها از قبیل اکوسیستم‌های جنگلی گزارش شده است (۴۷ و ۵۲). وجود ارتباط مثبت بین تنوع و غنای گونه‌ای با کارکرد اکوسیستم به واسطه این امر می‌باشد که با افزایش تعداد و فراوانی گیاهان، استفاده بیشتر از منابع غذایی خاک (مواد مغذی) صورت گرفته که منجر به کاهش هدررفت منابع و تبدیل بیشتر آنها به زی‌توده گیاهی است. به عبارت دیگر، با افزایش تعداد گونه (غنا و تنوع)، به دلیل اینکه هر گونه آشیان اکولوژیک مختص خود را دارد، استفاده بهتری از منابع غذایی اکوسیستم به وجود می‌آید و کارکرد اکوسیستم افزایش خواهد یافت. البته این افزایش منوط به عدم وجود رقابت بین گیاهان برای دسترسی به منابع غذایی است (۲۷). به بیانی دیگر، در مناطق خشک که تعداد گونه‌ها کمتر از سایر مناطق است و منابع غذایی اکوسیستم به ویژه رطوبت خاک دارای محدودیت نسبی است، افزایش تعداد گونه به واسطه خالی بودن اکثر قسمت‌های سطح زمین (عدم اشغال همه فضای آشیان اکولوژیک)، موجب افزایش تنوع و در پی آن افزایش کارکرد اکوسیستم خواهد شد. که این موضوع نیز در منطقه مورد مطالعه هم با افزایش غنا و در پی آن تنوع و متاقب این دو کارکرد اکوسیستم شده است. در حالی که

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

در مناطق مرطوب و مناطق با حاصلخیزی بالا، افزایش تنوع ممکن است منجر به افزایش رقابت بین گیاهان گردد (۳۱) و در این شرایط ممکن است حداکثر کارکرد اکوسیستم در حداکثر تنوع اتفاق نیافتد. همچنین در منطقه مورد مطالعه، به نظر می رسد با افزایش غنای گونه‌ای، موجبات افزایش مکانیسم تسهیل گیاهان فراهم شده است (۴۷). برای مثال، گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (برای مثال *Astragalus verus*) موجب بهبود حاصلخیزی خاک شده و شرایط را برای حضور سایر گونه‌ها در محیط فراهم می‌کنند. از طرفی دیگر، ارتباط معنی‌داری بین یکنواختی و تولید زی‌توده وجود نداشت (شکل ۲). این نتیجه بیانگر اهمیت بیشتر حضور و غیاب گونه‌ها در ترکیب گیاهی نسبت به فراوانی نسبی آنها است. به عبارت دیگر، با افزایش سهم نسبی (فراوانی نسبی) گیاهان در ترکیب گیاهی، میزان تولید زی‌توده اکوسیستم تغییر معنی‌داری نشان نداد. با توجه به اینکه میزان تولید زی‌توده گیاهی و همچنین پتانسیل تولید زی‌توده در گیاهان مختلف یکسان نیست، افزایش یکنواختی گونه‌ای، می‌تواند به دلیل کاهش فراوانی نسبی گونه‌های غالب که تاثیر بیشتری در تولید زی‌توده اکوسیستم دارند، موجب کاهش تولید زی‌توده شود. وجود ارتباط منفی (۶ و ۶۱) و عدم وجود ارتباط (۵۹) بین یکنواختی و کارکرد اکوسیستم در مطالعات پیشین، تأییدی بر این توجیه نتایج حاصله از مطالعه حاضر می‌باشد.

در تحقیق حاضر برای بررسی ارتباط کارکرد اکوسیستم و جنبه‌های مختلف تنوع کارکردی، از شاخص‌های مختلف که هرکدام بیان‌کننده بخش خاصی از تنوع کارکرد هستند استفاده شد. نتایج نشان داد که ارتباط مختلفی بین شاخص‌های تنوع کارکردی و کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده روزمینی وجود دارد. برای مثال، زی‌توده اکوسیستم به‌صورت یک رابطه معنی‌دار مثبت و منفی توسط شاخص‌های به ترتیب غنای کارکرد و واگرایی کارکرد قابل پیش‌بینی بود در حالی که بین شاخص‌های یکنواختی کارکرد و شاخص رائو ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). افزایش غنای کارکرد نشان می‌دهد که طیف وسیعی از گونه‌هایی با کارکرد منطقه وجود دارد که بیشتر منابعی که به صورت پتانسیل در اکوسیستم در دسترس هستند را به وسیله تعداد گروه‌های کارکردی زیادی استفاده می‌کنند (۳۵). به عبارت دیگر، افزایش تعداد گیاهان با ویژگی‌های کارکردی مختلف، از یک سو منجر به افزایش غنای کارکرد (شکل ۳) و از سویی دیگر، منجر به افزایش کارکرد اکوسیستم خواهد شد. این افزایش ناشی از کاهش رقابت بین گیاهان مختلف به دلیل عدم شباهت در ویژگی‌های مختلف آنها و همچنین استفاده بیشتر از همه منابع غذایی اکوسیستم است (۲۱). در این رستا و در تایید مطلب ارائه شده، وجود ارتباط مثبت و مستقیم بین غنای کارکرد و شاخص میانگین وزنی ارتفاع گیان مورد تأکید قرار گرفته است (۶۰). واگرایی کارکرد به‌عنوان میزان واگرایی در پراکنش فراوانی افراد در طول فضای آشیان اکولوژیک تعریف می‌گردد (۳۹) که وجود ارتباط منفی آن با کارکردهای مختلف اکوسیستم گزارش شده است. همچنین وجود ارتباط مثبت (۳۳)، منفی (۴۰) و حتی عدم وجود ارتباط (۱۷) واگرائی کارکرد با کارکردهای مختلف در تحقیقات متعدد گزارش شده است. در تحقیق حاضر، یک ارتباط منفی بین واگرائی کارکردی و کارکرد اکوسیستم مشاهده شد که بیانگر خالی بودن قسمت‌های زیادی از آشیان اکولوژیک است. به‌عبارت دیگر، سهم زیادی از آشیان اکولوژیک توسط هیچ گونه‌ای اشغال نشده است و با ورد گونه جدید علاوه بر افزایش استفاده از همه آشیان اکولوژیک، کارکرد اکوسیستم افزایش خواهد یافت. این امر ناشی از محدودیت اقلیمی (کمبود رطوبت) منطقه است که موجب کاهش حاصلخیزی و قابلیت تولید آن شده است. به همین دلیل و در تایید این نتیجه، ارتباط مثبت بین دو شاخص غنای گونه‌ای و غنای کارکردی با کارکرد اکوسیستم به وجود خواهد آمد و نتایج این تحقیق آنرا اثبات کرد.

تفاوت در نتایج و نوع روابط می‌تواند ناشی از روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل داده‌ها باشد (۲۳) و یا حتی تعداد و نوع ویژگی‌های مورد بررسی گیاهان می تواند باشد که در این راستا و برای رسیدن به اجماع، استفاده از روش‌های استاندارد در تعیین ویژگی‌ها برای تعیین کارکردها و همچنین روش‌های تجزیه و تحلیل آماری برای تبیین نتایج و نتیجه‌گیری صحیح‌تر ضروری به نظر می‌رسد.

از میان شاخص‌های تنوع کارکرد، شاخص‌های مبتنی بر یک ویژگی (تک ویژگی) به علت مستقل بودن ویژگی‌های

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

کارکردی از یکدیگر دارای بیشترین ارتباط با زی‌توده گیاهی می‌باشند (۸). در تحقیق حاضر، بیشتر شاخص‌های تنوع کارکرد تک ویژگی ارتباط منفی با کارکرد اکوسیستم داشتند در حالی که تنها شاخص میانگین وزنی قطر تاج دارای ارتباط مثبتی با کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده روزمینی بود. این ارتباط مثبت ناشی از حضور گیاهان غالب با میانگین تاج به نسبت بزرگ‌تر از سایر گیاهان نظیر *Astragalus verus* Olivier. می‌باشد که با وسعت تاج وسیع و پایدار خود یک شرایط میکروکلیمایی را ایجاد که هم غنای گونه ای و هم تولید را افزایش می دهد علاوه بر این گونه، می‌توان به گیاهانی از قبیل *Astragalus albispinus* Sirg. & Bornm، *Noaea mucronat* (Forsk.) Aschers et. Sch. و *Acantholimon aspadanum* Bunge. اشاره نمود. همچنین وجود برخی گندمیان چند ساله از قبیل *Bromus tomentellus* Boiss و *Stipa hohenackeriana* Trin. که دارای تاج پوشش بزرگتری نسبت به سایر گیاهان علفی و عموماً موجود در منطقه مانند *Boissiera squarrosa* (Sol.) Nevski، *Taeniatherum crinitum* (Schreb.) Nevski و *Alyssum linifolium* Steph. ex Wild. باشد.

وجود ارتباط منفی بین شاخص‌های تنوع کارکرد مبتنی بر یک ویژگی با کارکرد اکوسیستم در تولید زی‌توده نشان دهنده ارزش کمتر ویژگی‌های کارکردی گونه‌های غالب است. به عبارت دیگر، با توجه به اینکه شاخص تنوع کارکرد میانگین وزنی جامعه که از حاصلضرب فروانی نسبی هر گونه در ارزش ویژگی آن گونه به دست می‌آید، ارتباط مستقیمی با فراوانی و ارزش هر گونه دارند. در این راستا اگر گونه‌های غالب (فراوانی بیشتر) دارای ارزش ویژگی بالاتری باشند، ارتباط مستقیمی بین این شاخص و کارکرد اکوسیستم به‌دست خواهد آمد. برای مثال بیشترین مقدار نیتروژن برگ، مربوط به گیاهانی از قبیل *Astragalus effuses* Bunge، *Astragalus campylanthus* Boiss. و *Astragalus caragana* F. et M. به مقدار به ترتیب ۱/۸۳، ۱/۷۶ و ۱/۷۲ درصد مشاهده شد که فراوانی آنها در مقایسه با گیاهان غالب منطقه کمتر بود. همچنین بیشتر بودن سطح برگ برخی گیاهان از قبیل *Gundelia tournefortii* L.، *Echinops leiopolyceras* Bornm.، *Cichorium intybus* L. و *Eremurus spectabilis* M. B. و *Tragopogon longirostris* نسبت به گونه‌های غالب که تاثیر بیشتری در تولید زی‌توده اکوسیستم مورد بررسی داشتند موجب ایجاد روابط منفی بین تنوع کارکرد و کارکرد اکوسیستم شده است. به عبارت دیگر، این نتیجه نشان می‌دهد که گونه‌های با سهم بیشتر در تولید زی‌توده، دارای ویژگی‌های کارکردی هستند که ارزش کمتری در تمایز کارکردی گیاهان در مقایسه با سایر گیاهان دیگر دارد. این ارتباط منفی شواهدی برای تایید فرضیه نسبت زی‌توده یا اثر انتخاب (۲۷) است که بر نقش بیشتر گونه‌های غالب در کارکرد اکوسیستم اشاره دارد را فراهم نمی‌کند. همراستا با نتیجه حاضر، پاکوت و مس‌یر[1] (۲۰۱۱) پیشنهاد کردند که فرضیه اثر انتخاب بیشتر در جوامع حاصلخیز مشاهده خواهد شد در حالی که در مناطق با حاصلخیزی کم و محدود (از قبیل مناطق خشک و نیمه‌خشک) استفاده گیاهان از قسمت‌های مختلف فضای آشیان اکولوژیک موجب افزایش کارکرد اکوسیستم شده و موجب تایید فرضیه استفاه تکمیلی خواهد شد. به عبارتی در این قبیل مناطق، غنای گونه‌ای و تنوع کارکرد نقش مهمتری در ایجاد و تولید کارکردهای مختلف اکوسیستم از قبیل زی‌توده روزمینی دارند (۱۲). بر اساس فرضیه استفاده تکمیلی از آشیان اکولوژیک (۵۶)، ارتباط مثبتی بین تعداد گونه، تنوع کارکرد و استفاده بهتر از منابع اکوسیستم وجود دارد که منجر به افزایش کارکرد اکوسیستم خواهد شد (۲ و ۱۱). به‌طور کلی این فرضیه بیشتر در مناطق تحت استرس مورد تایید واقع خواهد شد (۴۳) هرچند که ممکن است در سایر مناطق با شرایط مشابه یا شرایط غیرمشابه هم عامل اصلی ارتباط تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم باشد. در نهایت نتایج رگرسیون چندگانه به خوبی مشخص نمود که وجود جنبه‌های مختلف تنوع زیستی (تنوع گونه‌ای یا تنوع کارکردی) دارای ارتباطات مختلفی با کارکرد اکوسیستم است و برای حفظ و نگهداری حداکثری کارکرد اکوسیستم، توجه به همه جنبه‌های مختلف تنوع زیستی مهمتر و ضروری‌تر است.

[1]- Paquette and Messier

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

به‌طورکلی وجود تنوع زیستی برای حفاظت از کارکردهای مختلف اکوسیستم ضروری است و شناخت ارتباطات و مکانیسم‌های ارتباط تنوع و کارکرد اکوسیستم اهمیت زیادی دارد. با توجه به چندبعدی بودن تنوع زیستی، استفاده از شاخص‌های مختلف تنوع زیستی برای نمایش همه جنبه‌های تنوع زیستی ضروری است. نتایج این تحقیق، به روشنی نشان داد که هر کدام از جنبه‌های مختلف تنوع زیستی (تنوع گونه‌ای و تنوع کارکردی) قادر به توجیه بخشی از ارتباط تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم هستند. به همین دلیل، برای حفاظت پایدار از خدمات و کارکردهای ارائه شده از هر اکوسیستم، حفاظت از همه سطوح تنوع زیستی ضروری است. نتایج این تحقیق شواهدی را مبنی بر اهمیت بیشتر وجود گوناگونی و تنوع در جوامع گیاهی را فراهم می‌کند که تأییدکننده فرضیه استفاده تکمیلی از آشیان‌های اکولوژیک است. بر اساس این فرضیه، هرچه گوناگونی در گیاهان و صفات و ویژگی‌های کارکردی آنها ایجاد گردد، به دلیل استفاده از همه بخش‌های آشیان اکولوژیک، رقابت کمتری بین گیاهان برای دست‌یابی به منابع غذایی صورت گرفته و استفاده کامل‌تری از همه منابع اکوسیستم صورت می‌گیرد که این امر به نوبه خود موجب به حداکثر رسیدن کارکرد اکوسیستم خواهد شد. همچنین لزوم توجه به رویکردهای دیگر بررسی ارتباط تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم از قبیل رویکرد کارکرد محور (۱) و تفکیک گیاهان به گروه‌های مختلف کارکردی از اهمیت بالایی برخوردار است که باید در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

References

1. Abedi, M., 2015. Functional based approach and its importance in analysis of rangeland ecology. The 6th National Conference on Range and Range Management. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 10 p. (In Persian)
2. Ali, A., Y. En-Rong., X.C. Scott., C. Jun-Yang & L. Xiang-Yu, 2017. Community-Weighted Mean of Leaf Traits and Divergence of Wood Traits Predict Aboveground Biomass in Secondary Subtropical Forests. Science of the Total Environment, 574: 654–62.
3. Andrew, M.H., I.R. Noble & R.T. Lange, 1976. A Non-Destructive Method for Estimating the Weight of Forage on Shrubs. The Rangeland Journal, 1(3): 225–31.
4. Arzani, H. & M. Abedi., 2015. Rangeland assessment: Vegetation measurement. University of Tehran, 322 p.
5. Barnes, A.D., P. Weigelt., M. Jochum., D. Ott., D. Hodapp., N.F. Haneda & U. Brose, 2016. Species richness and biomass explain spatial turnover in ecosystem functioning across tropical and temperate ecosystems. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 371(1694): 20150279.
6. Bock, C.E., Z.F. Jones & J.H. Bock, 2007. Relationships between species richness, evenness, and abundance in a southwestern savanna. Ecology, 88(5):1322-1327.
7. Bonham, C.D., 2013. Measurements for Terrestrial Vegetation. 2nd, John Wiley & Sons, 246 p.
8. Butterfield, B.J. & K.N. Suding., 2013. Single-trait functional indices outperform multi-trait indices in linking environmental gradients and ecosystem services in a complex landscape. Journal of Ecology, 101(1):9-17.
9. Buyantuyev, A., J. Wu & C. Gries, 2007. Estimating vegetation cover in an urban environment based on Landsat ETM+ imagery: a case study in Phoenix, USA. International Journal of Remote Sensing, 28:269-291.
10. Cardinale, B.J., K. Gross., K. Fritschie., P. Flombaum., J.W. Fox., C. Rixen., J. Van Ruijven., P.B. Reich., M. Scherer-Lorenzen & B.J. Wilsey, 2013. Biodiversity simultaneously enhances the production and stability of community biomass, but the effects are independent. Ecology, 94(8):1697-1707.
11. Cavanaugh, K.C., J.S. Gosnell., S.L. Davis., J. Ahumada., P. Boundja., D.B. Clark., B. Mugerwa., P.A. Jansen., T.G. O'Brien., F. Rovero & D. Sheil, 2014. Carbon storage in tropical forests correlates with taxonomic diversity and functional dominance on a global scale. Global Ecology and Biogeography, 23(5):563-573.
12. Chisholm, R.A., H.C. Muller-Landau., K.A. Rahman., D.P. Bebber., Y. Bin., S.A. Bohlman., N.A. Bourg., J. Brinks., S. Bunyavejchewin., N. Butt & H. Cao, 2013. Scale-dependent relationships between tree species richness and ecosystem function in forests. Journal of Ecology, 101(5):1214-1224.
13. Conti, G. & S. Díaz., 2013. Plant Functional Diversity and Carbon Storage–an Empirical Test in Semi-arid Forest Ecosystems. Journal of Ecology, 101(1): 18–28.
14. Cornelissen, J.H.C., S. Lavorel., E. Garnier., S. Diaz., N. Buchmann., D.E. Gurvich., P.B. Reich., H. Ter Steege., H.D. Morgan., M.G.A. Van Der Heijden & J.G. Pausas, 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. Australian journal of Botany, 51(4):335-380.
15. Deng, H., 2012. A Review of Diversity-Stability Relationship of Soil Microbial Community: What Do We Not Know? Journal of Environmental Sciences, 24(6): 1027–35.
16. Díaz, S. & M. Cabido., 2001. Vive La Difference: Plant Functional Diversity Matters to Ecosystem Processes. Trends in ecology & evolution 16(11): 646–55.

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

17. Díaz, S., S. Lavorel., F. de Bello., F. Quétier., K. Grigulis & T.M. Robson, 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(52):20684-20689.
18. Engel, P., V.G. Martinson & N.A. Moran, 2012. Functional diversity within the simple gut microbiota of the honey bee. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(27): 11002-11007.
19. Finegan, B., M. Peña-Claros., A. de Oliveira., N. Ascarrunz., M.S. Bret-Harte., G. Carreño-Rocabado., F. Casanoves., S. Díaz., P.E. Velepucha., F. Fernandez & J.C. Licona, 2015. Does functional trait diversity predict above-ground biomass and productivity of tropical forests? Testing three alternative hypotheses. Journal of Ecology, 103(1):191-201.
20. Finke, D.L. & W.E. Snyder., 2008. Niche partitioning increases resource exploitation by diverse communities. Science, 321(5895):1488-1490.
21. Fornara, D.A. & D. Tilman., 2008. Plant Functional Composition Influences Rates of Soil Carbon and Nitrogen Accumulation. Journal of Ecology, 96(2): 314–22.
22. García-Palacios, P., E.A. Shaw., D.H. Wall & S. Hättenschwiler, 2017. Contrasting mass-ratio vs. niche complementarity effects on litter C and N loss during decomposition along a regional climatic gradient. Journal of Ecology, 105(4):968-978.
23. Garnier, E. & M.L. Navas., 2012. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. Agronomy for Sustainable Development, 32(2):365-399.
24. Goharnejad, A., P. Tahmasebi., E. Asadi & J. Motamedi, 2017. Comparison of Species Richness and FAD2 Functional Diversity in Order to Estimate the Biomass Production in the Central Zagros. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 24(1):1-15. (In Persian)
25. Goharnejad, A., P. Tahmasebi., E. Asadi & J. Motamedi, 2017. Investigating the relation of functional diversity and biomass of plant communities in the central Zagross. Journal of plant Ecosystems conservation, 3(7):145-160. (In Persian)
26. Grigulis, K., S. Lavorel., U. Krainer., N. Legay., C. Baxendale., M. Dumont., E. Kastl., C. Arnoldi., R.D. Bardgett., F. Poly & T. Pommier, 2013. Relative contributions of plant traits and soil microbial properties to mountain grassland ecosystem services. Journal of Ecology, 101(1):47-57.
27. Grime, J.P., 1973. Competitive Exclusion in Herbaceous Vegetation. Nature, 242(5396): 344.
28. Gross, K., B.J. Cardinale., J.W. Fox., A. Gonzalez., M. Loreau., H. Wayne Polley., P.B. Reich & J. van Ruijven, 2013. Species richness and the temporal stability of biomass production: a new analysis of recent biodiversity experiments. The American Naturalist, 183(1):1-12.
29. Hector, A., A.J. Beale., A. Minns., S.J. Otway & J.H. Lawton, 2000. Consequences of the reduction of plant diversity for litter decomposition: effects through litter quality and microenvironment. Oikos, 90(2):357-371.
30. Hooper, D.U., F.S. Chapin, J.J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J.H. Lawton, D.M. Lodge, M. Loreau, S. Naeem & B. Schmid, 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecological monographs, 75(1):3-35.
31. Huston, M.A. & A.C. McBride., 2002. Evaluating the relative strengths of biotic versus abiotic controls on ecosystem processes. Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives. Oxford University Press, Oxford, pp. 47-60.
32. Jafarian, Z., M. Kargar., R. Tamartash & S.J. Alavi, 2019. Spatial distribution modelling of plant functional diversity in the mountain rangeland, north of Iran. Ecological indicators, 97: 231-238.
33. Klumpp, K. & J.F. Soussana., 2009. Using functional traits to predict grassland ecosystem change: a mathematical test of the response-and-effect trait approach. Global Change Biology, 15(12): 2921-2934.
34. Liu, J., X. Zhang., F. Song., S. Zhou., M.W. Cadotte & C.J. Bradshaw, 2015. Explaining maximum variation in productivity requires phylogenetic diversity and single functional traits. Ecology, 96(1): 176-183.
35. Loreau, M. & A. Hector., 2001. Partitioning Selection and Complementarity in Biodiversity Experiments. Nature 412(6842): 72.
36. Loreau, M., 1998. Biodiversity and Ecosystem Functioning: A Mechanistic Model. Proceedings of the National Academy of Sciences, 95(10): 5632–36.
37. Magurran, A.E. & B.J. McGill., 2011. Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment. Oxford University Press, 364 p.
38. Majeková, M., F. de Bello., J. Doležal & J. Lepš, 2014. Plant functional traits as determinants of population stability. Ecology, 95(9): 2369-2374.
39. Mason, N.W., D. Mouillot., W.G. Lee & J.B. Wilson, 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. Oikos, 111(1): 112-118.
40. Mokany, K., J. Ash & S. Roxburgh, 2008. Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. Journal of Ecology, 96(5): 884-893.
41. Motamedi, J., E.S. Karkaj & F. Alilou, 2016. Variation in biomass and morphology of Artemisia fragrans Willd. under grazing in northwest mountainous rangelands of Iran. Acta Ecologica Sinica, 36(6): 477-482.
42. Niklaus, P.A., M. Baruffol., J.S. He., K. Ma & B. Schmid, 2017. Can niche plasticity promote biodiversity–productivity relationships through increased complementarity? Ecology, 98(4):1104-1116.
43. Paquette, A. & C. Messier., 2011. The Effect of Biodiversity on Tree Productivity: From Temperate to Boreal Forests. Global Ecology and Biogeography, 20(1): 170-180.
44. Paquette, A., S. Joly & C. Messier, 2015. Explaining forest productivity using tree functional traits and phylogenetic information: two sides of the same coin over evolutionary scale? Ecology and Evolution, 5(9): 1774-1783.
45. Perez-Harguindeguy, N., S. Diaz., E. Garnier., S. Lavorel., H. Poorter., P. Jaureguiberry., M.S. Bret-Harte., W.K. Cornwell., J.M. Craine., D.E. Gurvich & C. Urcelay, 2016. Corrigendum to: new handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of botany, 64(8): 715-716.

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]

46. Pla, L., F. Casanoves & J. Di Rienzo, 2011. Quantifying functional biodiversity. Springer Science & Business Media. 109 P.
47. Poorter, L., M.T. Van Der Sande., J. Thompson., E.J.M.M. Arets., A. Alarcón., J. Álvarez-Sánchez., N. Ascarrunz., P. Balvanera., G. Barajas-Guzmán., A. Boit & F. Bongers, 2015. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. Global Ecology and Biogeography, 24(11): 1314-1328.
48. Pordel, F., A. Ebrahimi & Z. Azizi, 2017. Evaluating spatio-temporal phytomass changes using vegetation index derived from Landsat 8 (Case study: Mrajan rangeland, Boroujen). Rangeland, 11(2): 166-178. (In Persian)
49. Roscher, C., J. Schumacher., M. Gubsch., A. Lipowsky., A. Weigelt., N. Buchmann., B. Schmid & E.D. Schulze, 2012. Using plant functional traits to explain diversity–productivity relationships. PloS one, 7(5): 36-60.
50. Schmid, B.D., D. Tilman., D. Wardle., M. Loreau., S. Naeem., P. Inchausti., J. Bengtsson., J.P. Grime., A. Hector., D.U. Hooper., M.A. Huston., D. Raffaelli & B. Schmid, 2001. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. Science, 294(5543): 804–808.
51. Siebenkäs, A. & C. Roscher., 2016. Functional Composition Rather than Species Richness Determines Root Characteristics of Experimental Grasslands Grown at Different Light and Nutrient Availability. Plant and soil, 404(1–2): 399–412.
52. Souza, D.G., J.C. Sfair., A.S. de Paula., M.F. Barros., K.F. Rito & M. Tabarelli, 2019. Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. Forest Ecology and Management, 435: 57-65.
53. Tahmasebi, P., M. Moradi & R. Omidipour, 2017. Plant functional identity as the predictor of carbon storage in semi-arid ecosystems. Plant Ecology & Diversity, 10(2-3): 139-151.
54. Tilman, D., D. Wedin & J. Knops, 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. Nature, 379(6567): 718–720
55. Tilman, D., F. Isbell & J.M. Cowles, 2014. Biodiversity and ecosystem functioning. Annual review of ecology, evolution, and systematics, 45:471-493.
56. Tilman, D., J. Knops., D. Wedin., P. Reich., M. Ritchie & E. Siemann, 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. Science, 277(5330):1300-1302.
57. Tobner, C.M., A. Paquette., D. Gravel., P.B. Reich., L.J. Williams & C. Messier, 2016. Functional identity is the main driver of diversity effects in young tree communities. Ecology letters, 19(6): 638-647.
58. Van der Plas, F., 2019. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Naturally Assembled Communities. Biological Reviews, 2019: 1-26
59. Van Rooijen, N.M., W. De Keersmaecker., W.A. Ozinga., P. Coppin., S.M. Hennekens., J.H. Schaminée., B. Somers & O. Honnay, 2015. Plant species diversity mediates ecosystem stability of natural dune grasslands in response to drought. Ecosystems, 18(8): 1383-1394.
60. Villéger, S., N.W. Mason & D. Mouillot, 2008. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. Ecology, 89(8): 2290-2301.
61. Weiher, E. & P.A. Keddy., 1999. Relative abundance and evenness patterns along diversity and biomass gradients. Oikos, 86(2): 355-361.
62. Wick, A., F. Benjamin., A. Geaumont., K. Sedivec & J. Hendrickson, 2016. Grassland Degradation: In Biological and Environmental Hazards, Risks and Disasters. Elsevier Philadelphia, PA, USA, PP 257–276.
63. Zhang, Q., A. Buyantuev., F.Y. Li., L. Jiang., J. Niu., Y. Ding., S. Kang & W. Ma, 2017. Functional dominance rather than taxonomic diversity and functional diversity mainly affects community aboveground biomass in the Inner Mongolia grassland. Ecology and evolution, 7(5): 1605-1615.
64. Zhao, W.Y., J.L. Li & J.G. Qi, 2007. Changes in vegetation diversity and structure in response to heavy grazing pressure in the northern Tianshan Mountains, China. Journal of Arid Environments, 68(3): 465-479.
65. Zarei, A., E. Asadi., A. Ebrahimi., M. Jafari & A. Malekian. 2019. Investigation on variation in precipitation and temperature under climatic scenarios in Chaharmahal va Bakhtiari rangeland. Rangeland, 12(4): 426-436. (In Persian)

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.13.8]