Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Correlation between Vegetation Indices and Ecological Diversity Components Using Landsat-8 Imagery

Leila Mahmoudzadeh[1], Pejman Tahmasebi[2], Ataollah Ebrahimi[2], Samaneh Sadat Mahzooni Kachapi[*3]

[1]. MSc. in Rangeland Science and Engineering, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[2]. Associate Prof., Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[3]. Corresponding author; Ph.D. in Rangeland Science and Engineering, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: samanehsadat.mahzooni@stu.sku.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2026; Vol 20, Issue 1

Article history:
Received: 19.08.2025
Revised: 11.12.2025
Accepted: 16.12.2025

Keywords:
Biodiversity,
Remote Sensing,
Vegetation Indices,
Semi-Steppe
Rangelands.

Abstract

Background and Objective: Precise monitoring of biodiversity, particularly plant diversity, is crucial for the sustainable management of rangeland ecosystems. Advances in remote sensing technologies and the availability of satellite imagery with appropriate spectral resolution have provided new opportunities for non-invasive biodiversity assessment. This study aimed to evaluate the effectiveness of vegetation indices derived from Landsat-8 satellite imagery in predicting three key dimensions of plant diversity-alpha, beta, and functional diversity in semi-steppe rangeland ecosystems.

Methodology: The study area encompasses approximately 5118.1 hectares of semi-steppe rangelands in Chaharmahal va Bakhtiari Province, characterized by high biodiversity. Six to eight sampling sites were selected, and vegetation sampling was conducted during peak growing season using a randomized systematic approach. At each site, three 30*30 m^2 macroplots were established, and species cover was evaluated along three transects within three 2*2 m^2 subplots. Simultaneously, Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) satellite images with a 30-meter spatial resolution were utilized to calculate a suite of vegetation indices, categorized into slope-based indices (e.g., NDVI, EVI, SAVI) and distance-based indices (e.g., AVI, MSAVI2, TSAVI2). Field data were aligned with satellite-derived indices to extract index values for each macroplot. Three diversity components-alpha, beta, and functional diversity were quantified: alpha diversity via species richness indices; beta diversity through similarity and dissimilarity metrics (e.g., Bray-Curtis and Cody indices); and functional diversity employing functional indices including Community Weighted Mean (CWM), Rao's quadratic entropy (RaoQ), Functional Richness (FRic), Functional Evenness (FEve), and Functional Divergence (FDiv) calculated using R and PAST software. Linear regression analyses were performed to assess the relationships between vegetation indices and diversity components, evaluating significance levels and coefficients of determination.

Results: For alpha diversity, the AVI index (R^2=0.25), which is highly sensitive to structural changes and vegetation density, exhibited the strongest correlation with species richness, while MSAVI2, EVI, and NDVI also showed significant associations. Beta diversity, influenced by spatial heterogeneity driven by grazing

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

and topographic variation, was well captured by AVI (R^2=0.50) and MSAVI2 (R^2=0.51). Regarding functional diversity, EVI demonstrated the highest correlation with the FRic index (R^2=0.32), indicating its strong capability in detecting vegetation structural attributes and functional composition. NDVI showed moderate explanatory power (R^2=0.28) for certain functional diversity components, and MSAVI2 notably contributed to estimating CWM-PG. The saturation effect of NDVI in dense vegetation and soil background variability were identified as limiting factors for its accuracy. Overall, AVI, EVI, and MSAVI2 outperformed other indices, particularly in analyzing spatial differentiation (beta diversity) and functional plant traits, establishing robust statistical relationships. These results suggest that, under specific ecological conditions of semi-steppe rangelands, selected spectral vegetation indices serve as effective tools for spatial-temporal monitoring of biodiversity, accurately reflecting plant diversity patterns.

Conclusion: This study confirms that vegetation indices derived from Landsat-8 data especially AVI, EVI, MSAVI2, and NDVI are capable of accurately estimating and monitoring biodiversity at multiple levels (alpha, beta, and functional diversity) within semi-steppe rangeland ecosystems. Incorporating these remote sensing-based indices into sustainable rangeland management can provide essential information for informed decision-making and ecosystem conservation. Although the accuracy of remote sensing data may be constrained compared to detailed field measurements, this approach offers a cost-effective complementary tool for ecological monitoring and management. Future research is recommended to integrate hyperspectral remote sensing data and more detailed field sampling to enhance prediction accuracy and generalizability.

Cite this article: Mahmoudzadeh, L., P. Tahmasebi, A. Ebrahimi, S. Sadat Mahzooni Kachapi, 2026. Correlation between Vegetation Indices and Ecological Diversity Components Using Landsat-8 Imagery. Journal of Rangeland, 20(1): 51-68.



© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

ارزیابی همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و مؤلفه‌های تنوع اکولوژیکی با بهره‌گیری از تصاویر لندست- ۸

لیلا محمودزاده[۱]، پژمان طهماسبی[۲]، عطاالله ابراهیمی[۲]، سمانه سادات محزونی کچپی[۳*]

[۱] کارشناسی ارشد علوم و مهندسی مرتع، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

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

[۳] نویسنده مسئول، دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

رایان‌نامه: samanehsadat.mahzooni@stu.sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۵؛ جلد ۲۰، شماره ۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۵/۲۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

واژه‌های کلیدی:
تنوع زیستی،
سنجش از دور،
شاخص‌های پوشش گیاهی،
مراتع نیمه‌استپی.

چکیده

سابقه و هدف: پایش دقیق تنوع زیستی، به‌ویژه تنوع گیاهی، برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌های مرتعی امری ضروری است. توسعه فناوری سنجش از دور و دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای با وضوح طیفی مناسب، فرصت‌های تازه‌ای برای ارزیابی غیرمداخله‌ای تنوع زیستی فراهم کرده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی توان شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست- ۸ در پیش‌بینی سه بعد کلیدی تنوع گیاهی شامل تنوع آلفا، تنوع بتا و تنوع کارکرد در اکوسیستم‌های مرتعی نیمه‌استپی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در گستره‌ای بالغ بر ۵۱۱۸/۱ هکتار در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری واقع شده و از تنوع زیستی بالایی برخوردار است. پس از انتخاب ۸ سایت، نمونه‌برداری میدانی از پوشش گیاهی در دوره اوج رشد گیاهان با استفاده از روش تصادفی- سیستماتیک انجام شد. در هر سایت سه ماکروپلات به ابعاد ۳۰*۳۰ مترمربعی استقرار یافته و پوشش گونه‌ای در امتداد سه ترانسکت و در قالب ۳ پلات ۲*۲ مترمربعی مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌زمان، از تصاویر ماهواره‌ای لندست- ۸ (سنجنده OLI) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد و شاخص‌های متعددی از پوشش گیاهی در دو گروه شیب‌محور (مانند NDVI، EVI و SAVI) و فاصله‌محور (مانند AVI، MSAVI2 و TSAVI2) محاسبه گردید. سپس، داده‌های پوشش گیاهی با داده‌های میدانی تطبیق یافته و مقادیر عددی شاخص‌ها برای هر ماکروپلات استخراج شد و سه مؤلفه تنوع شامل تنوع آلفا، تنوع بتا و تنوع کارکرد محاسبه شد. تنوع آلفا از طریق شاخص غنای گونه‌ای، تنوع بتا با بهره‌گیری از شاخص‌های شباهت و تفاوت ترکیب گونه‌ای (نظیر Bray-Curtis و Cody) و تنوع کارکرد از طریق شاخص‌های عملکردی (نظیر CWM، RaoQ، FRic، FEve، FDiv) در محیط‌های آماری R و PAST برآورد شدند. به‌منظور تحلیل روابط بین شاخص‌های پوشش گیاهی و مؤلفه‌های تنوع، از تحلیل رگرسیون خطی استفاده شد و سطح معنی‌داری و ضریب تعیین مدل‌ها بررسی گردید.

نتایج: در بعد تنوع آلفا، نتایج نشان داد که شاخص AVI (R^2=0.25) با حساسیت بالا نسبت به تغییرات ساختاری و تراکم پوشش گیاهی، بالاترین همبستگی را با غنای گونه‌ای نشان داد و شاخص‌های MSAVI2، EVI و NDVI نیز ارتباط معنی‌داری داشتند. تنوع بتا که تحت تاثیر تغییرات فضایی ناشی از چرای دام و ویژگی‌های توپوگرافی قرار داشت، به‌خوبی توسط شاخص AVI (R^2=0.50) و MSAVI2 (R^2=0.51) نمایان شد. در خصوص تنوع کارکرد، شاخص EVI (R^2=0.32) بیشترین ارتباط را با شاخص FRic داشته که بیانگر قابلیت بالای این شاخص در شناسایی ویژگی‌های زیتوده و ترکیب عملکردی گونه‌های گیاهی است. شاخص

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

NDVI با ضریب تعیین متوسط (R^2=0.28) در برآورد برخی مؤلفه‌های کارکرد و شاخص MSAVI2 نیز در تخمین CWM-PG نقش قابل‌توجهی ایفا نمودند. اشباع شاخص NDVI در پوشش‌های گیاهی متراکم و اثرات متغیرهای خاکی از عوامل محدود کننده دقت این شاخص بودند. به‌طور کلی، شاخص‌های AVI، EVI و MSAVI2عملکرد بهتری نسبت به سایر شاخص‌ها داشتند و توانستند به‌ویژه در تحلیل تفاوت‌های مکانی (بتا) و ساختار عملکردی گیاهان، روابط آماری قوی‌تری برقرار نمایند. این نتایج حاکی از آن است که در شرایط اکولوژیکی خاص مراتع نیمه‌استپی، شاخص‌های طیفی منتخب ابزارهای مؤثری برای پایش فضایی و زمانی تنوع زیستی در مناطق طبیعی هستند و قادرند الگوهای تنوع گیاهی را با دقت نسبی مطلوب بازتاب دهند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه مؤید آن است که شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از داده‌های لندست- ۸ به‌ویژه AVI، EVI، MSAVI2 و NDVI قادر به برآورد و پایش دقیق تنوع زیستی در سطوح مختلف (آلفا، بتا و کارکرد) در اکوسیستم‌های مرتعی نیمه‌استپی هستند. بهره‌گیری از این رویکرد در مدیریت پایدار مراتع، می‌تواند اطلاعات کلیدی برای تصمیم‌گیری و مدیریت زیست‌بوم‌های حساس فراهم آورد. اگرچه دقت داده‌ها در مقایسه با مطالعات میدانی محدودیت دارد، اما این روش می‌تواند به‌عنوان مکملی کارآمد در پایش اکولوژیکی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود، برای ارتقاء دقت پیش‌بینی‌ها و تعمیم‌پذیری نتایج، ترکیب داده‌های سنجش از دور هایپراسپکترال و داده‌های میدانی تفصیلی‌تر در مطالعات آتی توصیه می‌شود.

استناد: محمودزاده، ل.، پ. طهماسبی، ع. ابراهیمی، س. محزونی کچپی، ۱۴۰۵. ارزیابی همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و مؤلفه‌های تنوع اکولوژیکی با بهره‌گیری از تصاویر لندست- ۸. مرتع، ۲۰(۱): ۵۱-۶۸.

DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

مقدمه

پوشش گیاهی یکی از مؤلفه‌های کلیدی در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها است و نقش تعیین‌کننده‌ای در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی ایفا می‌کند. با این‌حال، صنعتی شدن، فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی، موجب دگرگونی‌های قابل‌توجهی در الگوهای پوشش گیاهی شده است (۲۹). این تغییرات منجر به کاهش تدریجی تنوع زیستی گیاهی در مقیاس‌های مختلف شده‌اند (۵ و ۲۷)، درحالی‌که فشار ناشی از بحران‌های اقلیمی جهانی این روند را با سرعتی نگران‌کننده تسریع کرده است (۲۸). چنین روندهایی چالش‌های جدی در مسیر پایش و ارزیابی مؤثر اکوسیستم‌ها ایجاد کرده‌اند، درحالی‌که نظارت دقیق و مداوم بر تنوع زیستی در بعد مکانی و زمانی و همچنین عوامل محرک آن، بیش از پیش احساس می‌شود (۳۵ و ۴۳). بنابراین، توسعه روش‌های دقیق و کارآمد برای مدیریت پایدار و حفاظت از تنوع زیستی اهمیت روزافزونی یافته است (۱۶).

تنوع زیستی، به‌ویژه تنوع گیاهی، نقش اساسی در تثبیت عملکرد و پایداری اکوسیستم‌های مرتعی در طول زمان ایفا می‌کند (۸). این تنوع، با تأثیرگذاری بر ساختار اکوسیستم، باعث افزایش ثبات و حفظ تعادل اکولوژیکی می‌شود که برای استمرار فرآیندهای اکوسیستم حیاتی است (۶). تنوع گیاهی به‌عنوان یکی از اجزای مهم تنوع زیستی، نه تنها موجب حفظ پایداری اکوسیستم‌های زمینی می‌شود، بلکه نقش مهمی در حفاظت از محیط زیست و خدمات اکوسیستمی ایفا می‌کند. با این وجود، تغییرات شدید آب و هوایی و گسترش فعالیت‌های انسانی، باعث تخریب زیستگاه‌ها و تغییرات سریع در الگوهای تنوع گیاهی شده است که این عوامل تهدیدی جدی برای عملکرد پایدار اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌آیند (۳). بنابراین، درک بهتر این تغییرات و عوامل مؤثر بر آن‌ها برای حفظ تعادل اکولوژیکی و مدیریت پایدار منابع طبیعی ضروری است.

پیشرفت‌های اخیر در سنجش از دور و دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای با وضوح طیفی بالا، امکان پایش دقیق محیط‌های اکولوژیکی را فراهم کرده است (۱۳). این فناوری امکان شناسایی ویژگی‌های گیاهی حتی در سطح گونه‌های گیاهی را فراهم نموده و جایگزین مناسبی برای روش‌های میدانی در مناطق وسیع و غیرقابل دسترس محسوب می‌شود (۱۷ و ۲۱). در این راستا، شاخص‌های پوشش گیاهی به‌عنوان ابزارهای غیرمخرب سنجش از دور، به‌طور گسترده‌ای در مطالعات اخیر برای ارزیابی و نظارت بر تنوع زیستی به‌کار می‌روند (۱ و ۳۹). این شاخص‌ها با بازتاب ویژگی‌های ساختاری و عملکردی گیاهان، امکان برآورد و تحلیل مؤلفه‌های مختلف تنوع را ازجمله تنوع آلفا (غنای گونه‌ای در یک واحد فضایی) و تنوع بتا (تفاوت گونه‌ای میان واحدهای فضایی) در سطوح مختلف فراهم می‌کنند (۷ و ۴۱). همچنین، توسعه سنجش از دور موجب ارتقاء ابزارهای تحلیل تنوع کارکرد و بررسی اثرات آن بر پویایی اکوسیستم‌ها شده است (۱۴ و ۳۵).

به‌منظور حفاظت و ارزیابی دقیق تنوع زیستی، دسترسی به اطلاعات جامع درباره پراکنش گونه‌ها و تغییرات زمانی آن‌ها ضروری است. این هدف با تحلیل مؤلفه‌های کلیدی تنوع گیاهی تحقق می‌یابد که شامل تنوع آلفا، تنوع بتا و تنوع کارکرد می‌شود. تنوع آلفا، نشان‌دهنده تعداد گونه‌های مختلف در یک جامعه اکولوژیکی یا سطح نمونه‌برداری شده است و به تفاوت‌های گونه‌ای در یک مکان مشخص می‌پردازد (۲۳ و ۴۲). تنوع بتا، میزان شباهت یا تفاوت ترکیب گونه‌ها میان زیستگاه‌ها و زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد و شاخصی مهم در تحلیل تغییرات فضایی و زمانی است (۲۵ و ۴۰). علاوه بر این، تنوع کارکرد که به تنوع در صفات کارکردی گونه‌ها اشاره دارد، نقش حیاتی در پیش‌بینی پاسخ جوامع زیستی به تغییرات محیطی و ثبات اکوسیستم ایفا می‌کند (۸ و ۱۵). بنابراین، بررسی دقیق این مؤلفه‌ها برای تدوین استراتژی‌های مؤثر حفاظت و مدیریت پایدار تنوع زیستی ضرورت دارد (۳۰ و ۴۴).

در زمینه کاربرد تصاویر ماهواره‌ای لندست- ۸ در برآورد شاخص‌های پوشش و تنوع گیاهی، مطالعات متعددی انجام شده است. مادونسلا و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که داده‌های طیفی لندست- ۸ توان مناسبی برای برآورد تنوع آلفا در جنگل‌های ساوانا دارد (۲۴). بایرام کمکی و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که شاخص EVI بیشترین ضریب تبیین را با درصد پوشش گیاهی در داده‌های لندست- ۸ دارد (۴). همچنین، مالینیز و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که تصاویر لندست- ۸ و RapidEye در

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

مدل‌سازی تنوع درختان عملکرد بهتری نسبت به سنتینل-۲ ارائه می‌دهند (۲۶). در مطالعه‌ای توسط فیشر و همکاران (۲۰۲۳)، بالاترین زیتوده در ماه ژوئن و اوج غنای گونه‌ای در مارس گزارش شد (۱۰). همچنین، مطالعاتی نظیر لوین و همکاران (۲۰۰۷) و لرنا و همکاران (۲۰۲۲) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های پوشش گیاهی و تنوع آلفا را نشان دادند (۱۸ و ۲۰). رامیرز و سومل (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که تنوع بتا در جنگل‌های بومی اروگوئه نسبت به علف‌زارها بیشتر است (۳۱). در حوزه تنوع عملکرد، ژائو و همکاران (۲۰۲۲) شاخص FRic را به‌عنوان بهترین شاخص زیتوده معرفی کردند (۴۵). ما و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی با وضوح بالا قادر به نشان دادن ۵۵ درصد تنوع عملکردی در جنگل‌های اروپا هستند (۲۲).

اگرچه داده‌های سنجش از دور در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای برای پایش تنوع زیستی و مکان‌یابی مناطق با تنوع بالا استفاده شده‌اند، اما بخش قابل‌توجهی از این پژوهش‌ها عمدتاً بر تنوع آلفا متمرکز بوده‌اند و تحلیل تنوع بتا کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۱۱ و ۳۲). این درحالی است که تنوع کارکردی گیاه که مستقیماً با کارکرد و پایداری اکوسیستم در ارتباط است (۴۵)، می‌تواند همراه با تنوع بتا در سطوح مختلف مکانی از طریق داده‌های سنجش از دور ارزیابی شود (۳۴)، که این امر امکان تحلیل هم‌زمان ساختار فضایی و کارکرد اکولوژیکی جوامع گیاهی را فراهم می‌آورد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای لندست- ۸، تلاش شده است تا مؤلفه‌های کلیدی تنوع گیاهی شامل تنوع آلفا، تنوع بتا و تنوع کارکردی در اکوسیستم‌های مرتعی نیمه‌استپی مورد بررسی قرار گیرد. این مطالعه می‌کوشد با تکیه بر ظرفیت‌های سنجش از دور، درک بهتری از الگوهای تنوع زیستی در مقیاس‌های مکانی فراهم آورد و گامی در جهت بهبود پایش و مدیریت منابع طبیعی بردارد.

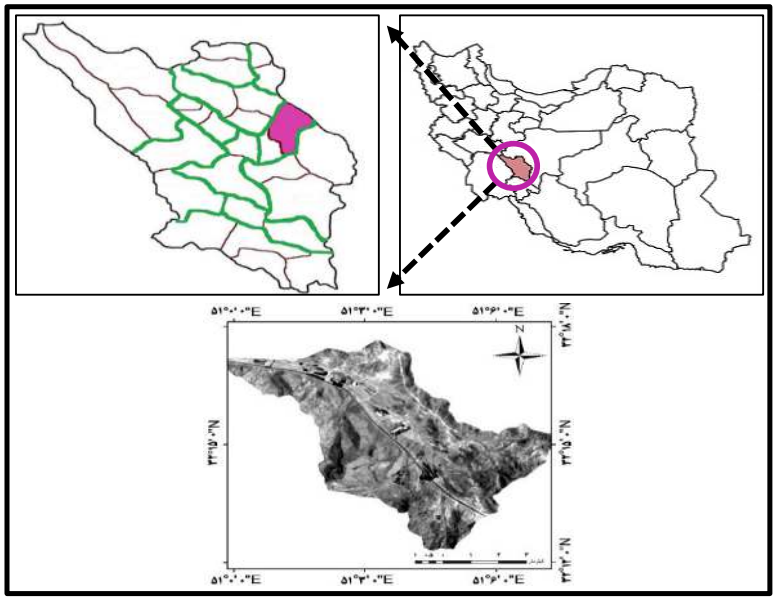
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مراتع نیمه‌استپی منطقه تنگ صیاد در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده و با مساحتی حدود ۵۱۱۸/۱ هکتار، دارای پوشش گیاهی و تنوع زیستی قابل‌توجهی است. این منطقه در محدوده جغرافیایی ´۵۹ °۵۰ تا ´۱۰ °۵۱ طول شرقی و ´۳ °۳۲ تا ´۱۷ °۳۲ عرض شمالی قرار داشته و ارتفاع متوسط آن حدود ۲۷۲۰ متر از سطح دریا است (شکل ۱). میانگین دمای سالانه منطقه بین ۶/۸ تا ۶/۱۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه حدود ۴۲۴ میلی‌متر گزارش شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن و آمبرژه، اقلیم منطقه خشک تا نیمه‌خشک است. این منطقه به دو واحد مدیریت چرایی، شامل مناطق قرق و چرای مفرط تقسیم شده است. گونه‌های گیاهی غالب منطقه شامل: *Scariola orientalis*، *Stipa hohenackeriana*، *Astragalus verus*، *Cousinia bachtiarica*، *Astragalus microphysa*، *Acanthophyllum bracteatum*، *Bromus tomentellus* و *Camphorosma monspeliaca* است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان چهارمحال و بختیاری و مرز منطقه

تهیه تصاویر ماهواره‌ای جهت محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

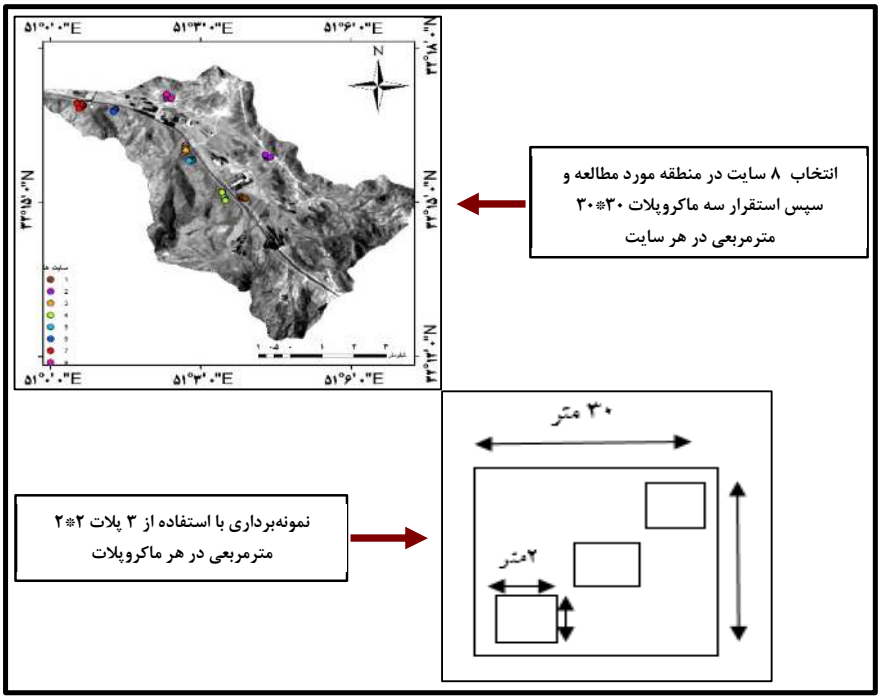
در این مطالعه، از تصاویر چندطیفی سنجنده OLI ماهواره لندست- ۸ استفاده شد. برای این منظور، تصاویر مربوط به ماه‌های می و ژوئن که نشان‌دهنده یک اوج در توسعه فنولوژی برای گونه‌های گیاهی موجود در منطقه مورد مطالعه است، از ردیف ۳۸ و گذر ۱۶۴ با درجه ابرناکی کمتر از ۱۰ درصد از سایت سازمان فضایی اروپا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه شد. داده‌های ماهواره لندست ۸ که دارای ۹ باند طیفی و ۲ باند حرارتی است (۱۹) در یک نواری به پهنای ۱۸۵ کیلومتری جمع‌آوری می‌گردند. سنجنده این ماهواره با ارائه تصاویری با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای چندطیفی و ۱۵ متر برای باند پانکروماتیک (۲) از سطح زمین و مناطق قطبی، در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج کوتاه و طیف مادون قرمز حرارتی به‌کار گرفته می‌شود. لذا، با در نظر گرفتن ابعاد ماکروپلات‌های ۳۰*۳۰ مترمربعی در نمونه‌برداری میدانی، باندهای با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر جهت محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده شد.

نمونه‌برداری میدانی

پس از مشخص شدن محدوده مورد مطالعه، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در دوره رشد فعال گونه‌ها (از اواخر اردیبهشت تا اوایل خرداد) انجام شد. در ابتدا، با انجام پیمایش میدانی و ارزیابی شرایط اکولوژیکی، تعداد ۸ سایت واجد شرایط جهت نمونه‌برداری انتخاب گردید. سپس در هر سایت ۳ ماکروپلات به ابعاد ۳۰*۳۰ مترمربعی مستقر گردید. نمونه‌برداری از فاکتورهای پوشش گیاهی با استفاده از روش تصادفی- سیستماتیک و به‌کارگیری سه پلات ۲*۲ متر در امتداد سه ترانسکت (برای هماهنگی با داده‌های ماهواره‌ای، فاصله بین ترانسکت‌ها ۵۰ متر در نظر گرفته شد) انجام شد (۳۷). داده‌های جمع‌آوری شده برای برآورد پوشش در بازه‌های زمانی فاقد نمونه‌برداری، تعمیم داده شدند. در این فرآیند، علاوه بر ثبت پوشش کل، پوشش هر گونه گیاهی به‌تفکیک فرم رویشی نیز ثبت و طبقه‌بندی شد (شکل ۲) و (جدول ۱).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]



شکل ۲: نمایی از طرح نمونه‌برداری از فاکتورهای پوشش در منطقه مورد مطالعه و توزیع پلات‌های نمونه‌برداری در هر یک از سایت‌ها

جدول ۱: لیست گونه‌های غالب موجود در سایت‌های نمونه‌برداری

نام گونه‌ها	خانواده	فرم رویشی	نام فارسی
Scariola orientalis (Boiss.) Sojak	*Compositae*	فورب	گاو چاق کن
Bromus tectorum L.	*Gramineae*	گراس	علف بام
Chardinia orientalis (L.) O. Kuntze.	*Asteraceae*	فورب	سرنیزه کاکلی
Stipa hohenackeriana Trin. & Rupr.	*Gramineae*	گراس	استپی بیابانی (گیس پیرزن)
Cousinia bachtiarica Boiss. & Hausskn.	*Asteraceae*	فورب	هزارخار بختیاری
Astragalus verus Olivier	*Fabaceae*	بوته	گون زرد
Boissiera squarrosa Nevs.	*Gramineae*	گراس	دیزسیانچ
Astragalus microphysa Boiss.	*Fabaceae*	بوته	گون
Acanthophyllum bracteatum Boiss.	*Caryophyllaceae*	بوته	چوبک
Bromus tomentellus Boiss.	*Gramineae*	گراس	جارو علفی
Phlomis persica Boiss.	*Lamiaceae*	فورب	گوش بره ایرانی
Camphorosma monspeliaca L.	*Chenopodiaceae*	بوته	

محاسبه شاخص‌های تنوع گیاهی

به‌منظور کمی‌سازی ابعاد مختلف تنوع زیستی، سه مؤلفه اصلی تنوع شامل: تنوع آلفا، بتا و عملکردی در مقیاس ماکروپلات مورد ارزیابی قرار گرفتند. تنوع آلفا که بیانگر غنای گونه‌ای و یکنواختی گونه‌ها در هر واحد نمونه‌برداری است، از طریق شمارش و ثبت گونه‌های گیاهی در امتداد ترانسکت‌ها و محاسبه میانگین تنوع در سطح هر ماکروپلات محاسبه گردید.

برای برآورد تنوع بتا، از مجموعه‌ای از شاخص‌های تنوع بین مکانی (Beta diversity) و نیز شاخص‌های شباهت و فاصله (Similarity and distance indices) مبتنی بر الگوی حضور و غیاب گونه‌ها استفاده شد. در این راستا، ماتریسی از میانگین درصد پوشش گونه‌های گیاهی در سطح هر ماکروپلات تهیه و در محیط نرم‌افزار PAST مورد تحلیل قرار گرفت تا تغییرات ترکیب گونه‌ای بین واحدهای نمونه‌برداری آشکار گردد (جدول ۲).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

جدول ۲: شاخص‌های تنوع بتای مورد استفاده

شاخص‌های تنوع بتا (Beta diversity)	شاخص‌های شباهت و فاصله (Similarity and distance indices)
Wittaker	Euclidean
Harrison	Chord
Wilson and Shmida	Bray-curtis
Mourell	Morisita
Routledge	Rho
Wiliams	Correlation
Cody	Cosine
Harrison2	Manhattan
	Gower

تنوع عملکردی نیز با بهره‌گیری از شاخص‌های استاندارد شامل: میانگین وزنی جامعه (CWM)، مربع آنتروپی رائو (RaoQ)، غنای عملکرد (FRic)، یکنواختی عملکرد (FEve) و واگرایی عملکرد (FDiv) ارزیابی گردید. این شاخص‌ها با استفاده از دو ماتریس گونه در پیکسل و ویژگی در گونه، توسط بسته آماری "FD" در محیط نرم‌افزار R 4.2.2 (۳۸) محاسبه شدند (جدول ۳).

جدول ۳: شاخص‌های تنوع کارکرد مورد استفاده

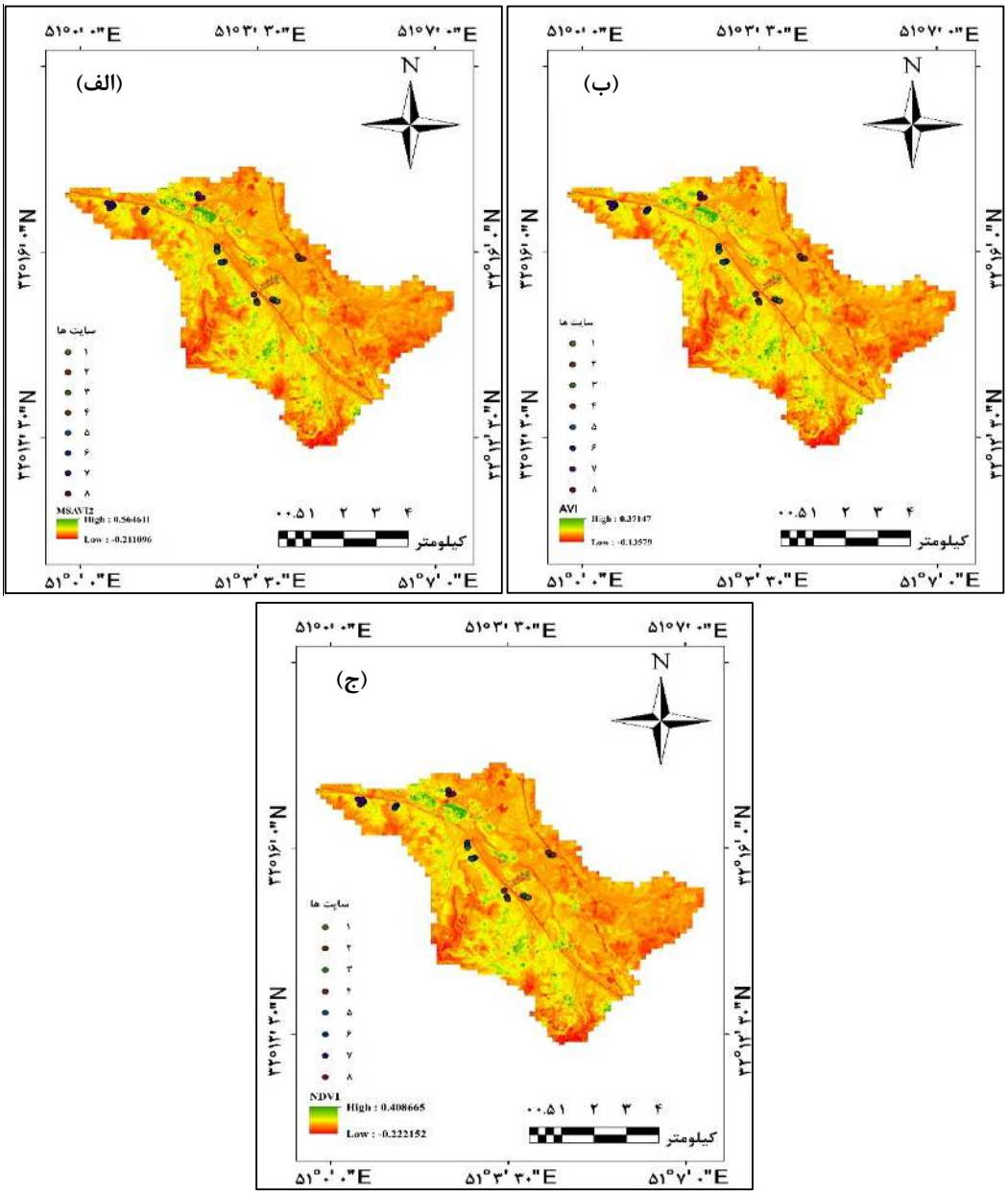
شاخص‌ها	فرمول	توضیح پارامترها
میانگین وزنی جامعه (Community Weighted Mean)	$CWM = \sum_{i=1}^{s} Wi\ Xi$	s: تعداد کل گونه‌ها Wi: فراوانی نسبی گونه i Xi: ارزش ویژگی گونه i
مربع آنتروپی رائو (Quadratic entropy)	$d_{ij} = \sum_{t=1}^{T}(X_{tj} - X_{ti})^2$ $Rao = \sum_{i=1}^{S-1}\sum_{j>1}^{S} d_{ij}\ PiPj$	dij: فاصله بین گونه‌های i و j Pi: فراوانی نسبی گونه i Pj: فراوانی نسبی گونه j
غنای عملکرد (Functional Richness)	نشان دهنده گسترش فضای ویژگی عملکردی توسط جامعه می‌باشد.	برای یک ویژگی به‌صورت محدوده مینیمم- ماکزیمم برای بیش از یک ویژگی به‌صورت حجمی در فضای ویژگی‌ها
یکنواختی عملکرد (Functional Evenness)	$FEve = \frac{\sum_{b=1}^{S-1} min\left(PEW_b \ \frac{1}{s-1}\right) - \frac{1}{s-1}}{1 - \frac{1}{s-1}}$	PEWb: یکنواختی وزنی جزئی
واگرایی عملکرد (Functional Divergence)	$\Delta d = \sum_{i=1}^{s} W_i \times (dG_i - \overline{dG})$ $\Delta\lvert d\rvert = \sum_{i=1}^{s} W_i \times \lvert dG_i - \overline{dG}\rvert$ $FDiv = \frac{\Delta d + \overline{dG}}{\Delta\lvert d\rvert + \overline{dG}}$	Wi: فراوانی نسبی گونه i dG:میانگین فاصله اقلیدوسی هر یک از گونه‌ها

محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

به‌منظور استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی، نرم‌افزارهای Idrisi TerrSet 2020 و ArcMap 10.6.1 به‌کار گرفته شدند. ابتدا، باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار Idrisi TerrSet فراخوانی و با استفاده از فرمول‌های ترکیبی باندی (نسبت باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک)، شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شدند. شاخص‌های استخراج شده در دو دسته اصلی شامل: شاخص‌های شیب‌محور مانند NDVI، RATIO، RVI، TVI، CTVI، TTVI، EVI و SAVI و شاخص‌های فاصله‌محور مانند DVI، PVI، PVI1، PVI2، PVI3، WDVI، TSAVI1، TSAVI2، MSAVI1، MSAVI2 و AVI طبقه‌بندی شدند. شاخص‌های فاصله‌محور بر پایه مدل‌های رگرسیونی بین باند قرمز (متغیر مستقل) و باند مادون قرمز نزدیک (متغیر وابسته)، و با بهره‌گیری از خط خاک به‌عنوان مبنای نقاط فاقد پوشش گیاهی محاسبه شدند. در نهایت، مقادیر عددی شاخص‌ها به‌وسیله ابزار Extract در نرم‌افزار ArcMap استخراج و جهت تلفیق با داده‌های زمینی و تحلیل‌های آماری- اکولوژیکی آماده‌سازی شدند (شکل ۳).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]



شکل ۳: مونه‌ای از نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی و توزیع سایت‌های نمونه‌برداری. (الف): MSAVI2، (ب): AVI و (ج): NDVI

محاسبه ارزش رقومی شاخص‌های پوشش گیاهی متناسب با شاخص‌های تنوع گیاهی

در این تحقیق، برای هم‌سویی داده‌های رقومی شاخص‌های پوشش گیاهی با شاخص‌های تنوع زیستی، تحلیل‌ها در مقیاس ماکروپلات انجام گرفت. به‌منظور نمایندگی دقیق پوشش گیاهی مرتبط با هر نمونه، میانگین مقادیر رقومی (Digital Number) شاخص‌های پوشش گیاهی در محدوده هر ماکروپلات محاسبه شد و به‌عنوان شاخص‌های تنوع آلفا و کارکرد به‌کار گرفته شد. در مقابل، برای ارزیابی تنوع بتا که به تفاوت‌های مکانی میان نمونه‌ها می‌پردازد، اختلافات زوجی مقادیر DN بین ترانسکت‌های متمایز براساس شاخص‌های تنوع بتا و معیارهای شباهت و فاصله اندازه‌گیری شد. این روش، امکان تحلیل دقیق تغییرات فضایی پوشش گیاهی و بررسی روابط آن با

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

شاخص‌های تنوع زیستی را در سطوح مختلف نمونه‌برداری فراهم کرد. علاوه بر این، داده‌های رقومی پوشش گیاهی مطابق با ساختار ماتریسی مقادیر تنوع زیستی تنظیم گردید تا ارتباط مناسبی میان این دو دسته داده برقرار شود.

تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی ارتباط بین شاخص‌های تنوع زیستی گونه‌های گیاهی و داده‌های رقومی شاخص‌های پوشش گیاهی، تحلیل رگرسیون خطی در نرم‌افزار R 4.2.2 انجام شد. شاخص‌های تنوع آلفا، بتا و کارکردی به‌عنوان متغیرهای وابسته و میانگین مقادیر رقومی (DN) شاخص‌های پوشش گیاهی به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شدند. با هدف سنجش میزان همبستگی مدل‌ها، ضریب تعیین (R^2) محاسبه شد و شاخص‌هایی که بالاترین مقدار R^2 و سطح معنی‌داری آماری (P-value) مطلوب را داشتند، به‌عنوان شاخص‌های بهینه برای برآورد تنوع گیاهی در نظر گرفته شدند. داده‌های زمینی و رقومی با توجه به تطابق دقیق مکانی هم‌راستا گردیده و نتایج آماری برجسته (به‌دلیل حجم بالای نتایج آماری به‌دست آمده) به‌همراه نمودارهای تحلیلی مرتبط در بخش نتایج گزارش شده‌اند.

نتایج

تحلیل‌های رگرسیون خطی به‌وضوح نشان داد که شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده از داده‌های سنجش از دور، قادر به پیش‌بینی قابل اتکا و معنی‌دار شاخص‌های مختلف تنوع زیستی گیاهی در منطقه مورد مطالعه هستند. در زمینه تنوع آلفا، شاخص‌های AVI (R^2=0.25, P-value=0.007)، MSAVI2 (R^2=0.25, P-value=0.009)، EVI (R^2=0.24, P-value=0.009) و NDVI (R^2=0.23, P-value=0.01) همبستگی مثبت و قابل‌توجهی با شاخص تنوع آلفا نشان دادند که نشانگر قابلیت این شاخص‌ها در بازتاب وضعیت گونه‌ای محلی در سطح ماکروپلات است (شکل ۴).

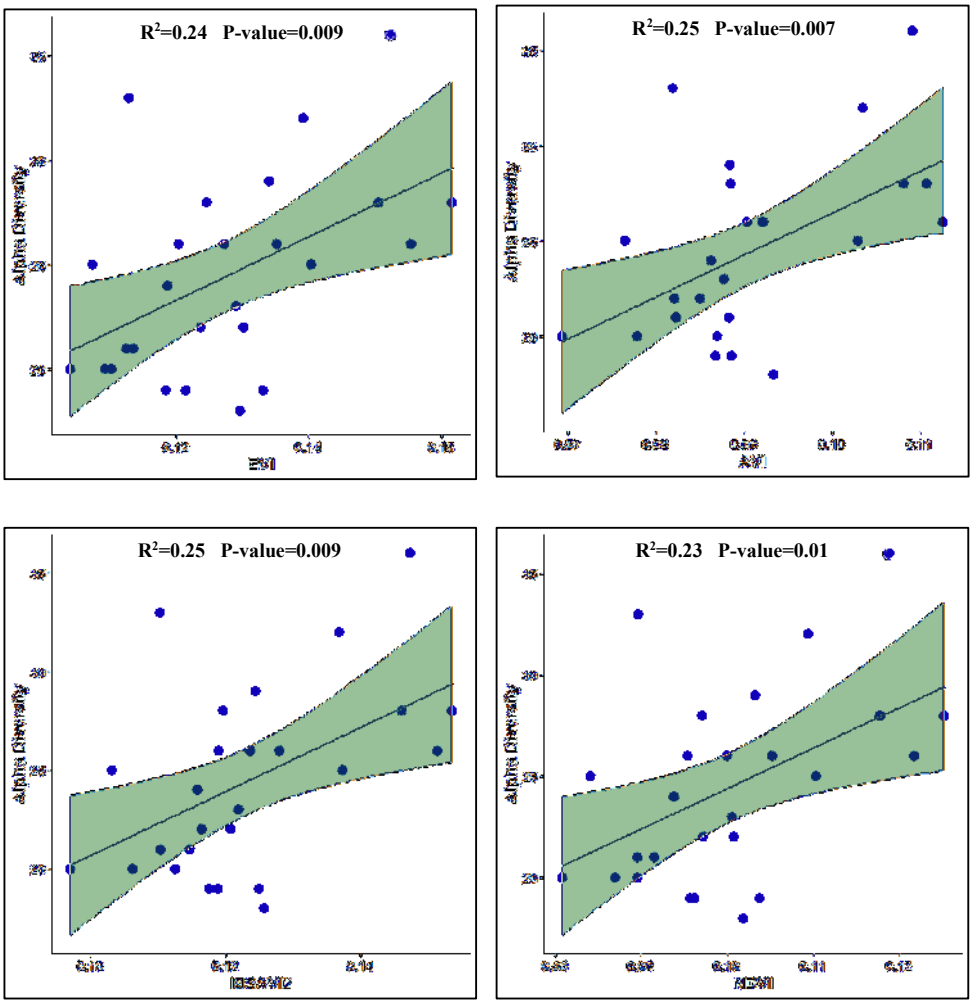
از منظر تنوع بتا، تحلیل‌ها نشان دادند که شاخص‌های MSAVI2 (R^2=0.51, P-value=0.000) و AVI (R^2=0.50, P-value=0.000) به‌ترتیب با بیشترین توان پیش‌بینی با شاخص Cody نسبت به شاخص‌های مختلف تنوع بتا شامل Wilson، Harrison، Mourelle، Wittaker و Routledge همبستگی قوی و معنی‌داری نشان دادند. همچنین، شاخص EVI با شاخص Wittaker (R^2=0.34, P-value=0.001) و NDVI با شاخص Bray-Curtis (R^2=0.21, P-value=0.01) روابط مثبت و آماری معنی‌داری را نشان دادند که اهمیت این شاخص‌ها را در بازنمایی تفاوت‌های مکانی گونه‌ها و ساختار جامعه گیاهی برجسته می‌سازد (شکل ۵).

از سوی دیگر، در ارزیابی تنوع کارکردی، نتایج نشان دادند که شاخص‌های EVI (R^2=0.32, P-value=0.002) و NDVI (R^2=0.28, P-value=0.005) ارتباط مثبت و قابل‌توجهی با شاخص غنای کارکردی گونه‌ها (FRic) نشان دادند. شاخص AVI (R^2=0.28, P-value=0.004) و MSAVI2 (R^2=0.23, P-value=0.01) نیز با شاخص میانگین وزنی گراس‌های چندساله (CWM-PG) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. این نتایج بیانگر آن است که شاخص‌های رقومی پوشش گیاهی علاوه بر تنوع گونه‌ای، می‌توانند شاخص‌های مهم کارکرد اکوسیستم را نیز به‌خوبی برآورد کنند (شکل ۶).

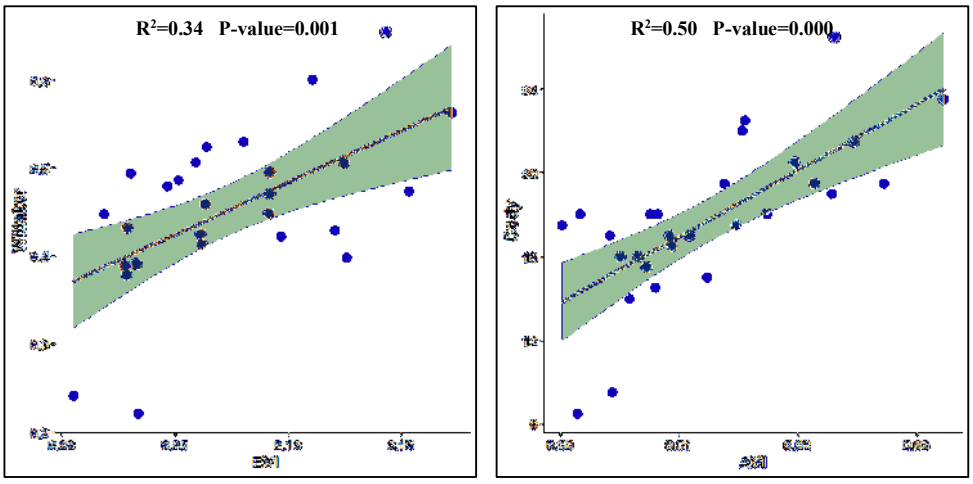
این نتایج برجسته تأکید می‌کند که شاخص‌های AVI، EVI، NDVI و MSAVI2 به‌عنوان شاخص‌های پوشش گیاهی، ابزارهای قدرتمندی برای ارزیابی دقیق و کمّی تنوع زیستی گونه‌ای و کارکردی در محیط‌های طبیعی به‌شمار می‌روند. توان بالای این شاخص‌ها در بازتاب ابعاد مختلف تنوع زیستی، پتانسیل قابل‌توجهی برای کاربرد در مطالعات پایش اکولوژیکی و مدیریت منابع طبیعی فراهم می‌آورد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

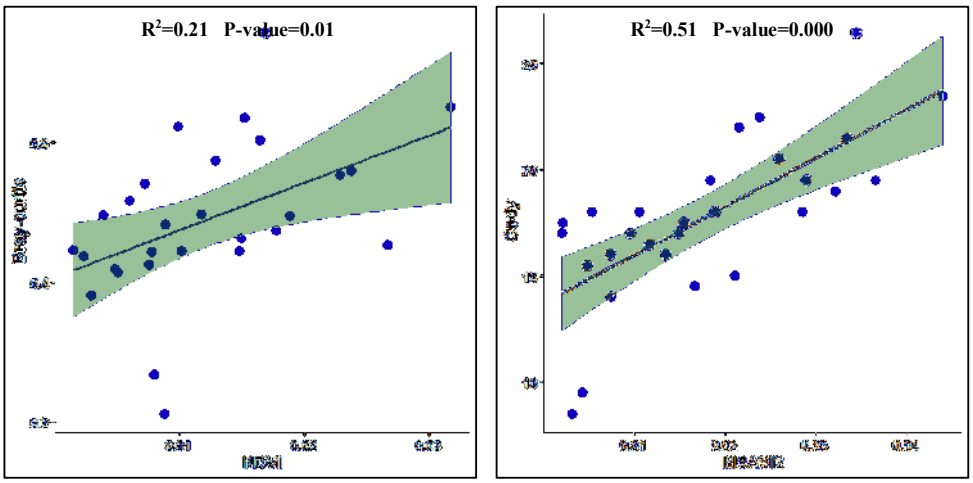


شکل ۴: نتایج تحلیل رگرسیون خطی بین ارزش‌های رقومی شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره لندست- ۸ با شاخص تنوع آلفا

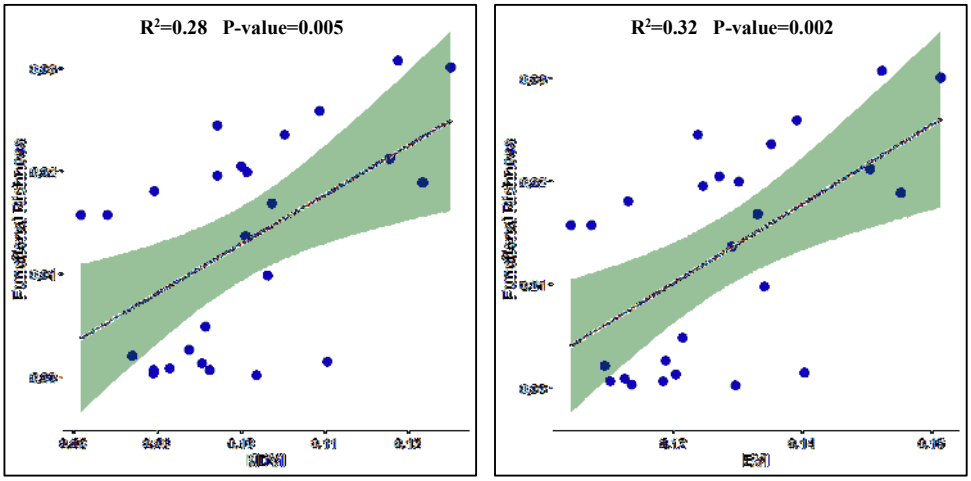


[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

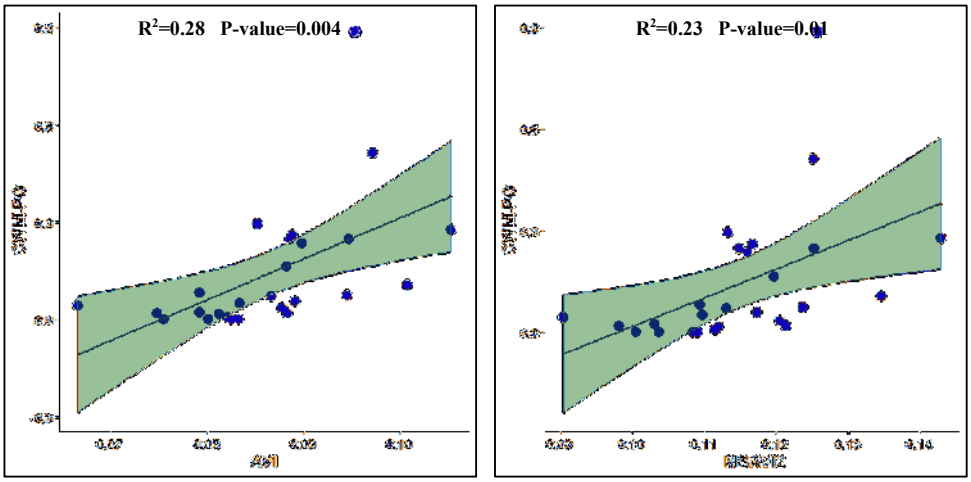


شکل ۵: نتایج تحلیل رگرسیون خطی بین ارزش‌های رقومی شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره لندست- ۸ با شاخص‌های تنوع بتا



[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]



شکل ۶: نتایج تحلیل رگرسیون خطی بین ارزش‌های رقومی شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره لندست- ۸ با شاخص‌های تنوع کارکرد

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، بررسی قابلیت شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست- ۸ در تبیین تنوع زیستی گیاهی در سه بعد آلفا، بتا و کارکردی در اکوسیستم‌های مرتعی نیمه‌استپی بود. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری نشان داد که برخی شاخص‌های طیفی، نظیر AVI و EVI، دارای قدرت تبیین معنی‌دار و قابل قبولی در ارتباط با مؤلفه‌های مختلف تنوع زیستی هستند. این یافته‌ها می‌تواند مبنای توسعه ابزارهای سنجش از دور در پایش اکولوژیکی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مراتع واقع شود. در مناطق نیمه‌استپی که پوشش گیاهی نسبتاً پراکنده و تنوع گونه‌ای تحت تأثیر رطوبت و چرای دام است، شاخص‌هایی مانند AVI قادر به تفکیک دقیق‌تر تفاوت‌های گیاهی در مقیاس‌های محلی هستند.

در بعد تنوع آلفا، شاخص AVI با ضریب تعیین (R^2=0.25)، بهترین عملکرد را در میان شاخص‌های طیفی نشان داد. این موضوع بیانگر آن است که تغییرات در تراکم و نوع گونه‌ها (خصوصاً گونه‌های غالب) در الگوهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای بازتاب می‌یابد. اگرچه این میزان همبستگی از نظر آماری نسبتاً متوسط تلقی می‌شود، اما در شرایط خاص اکولوژیکی مناطق نیمه‌استپی که پوشش گیاهی اغلب پراکنده، کوتاه‌قد و ناهمگن است، چنین ضریبی از اهمیت کاربردی برخوردار است. AVI که بر پایه جذب تابش در باند قرمز و بازتاب در باند مادون‌قرمز طراحی شده است، نسبت به شاخص‌های سنتی‌تری مانند NDVI حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات زیتوده سبز، سطح برگ و وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان دارد. در نتیجه، شاخص AVI می‌تواند نوسانات تراکم گیاهی و تغییر در ترکیب گونه‌ای، به‌ویژه در سطح گونه‌های غالب و دارای برگ پهن را بهتر بازتاب دهد. این یافته با پژوهش‌های (۲۰)، (۳۲) و (۳۶) هم‌راستا است که نشان داده‌اند همبستگی بین تنوع طیفی و تنوع آلفا در زیست‌بوم‌هایی با پوشش پراکنده، بیشتر تابع تنوع ساختاری و وضعیت فیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی است تا صرفاً تعداد گونه‌ها. بنابراین، در شرایطی که تفکیک گونه‌ای در سطح پیکسل غیرممکن است، تنوع آلفا بیشتر از طریق تغییر در الگوهای بازتاب طیفی گونه‌های غالب و رقابت‌گر نمایان می‌شود.

در مورد تنوع بتا، شاخص AVI با ضریب تعیین نسبتاً بالاتری (R^2=0.50) توانست بخشی از واریانس تفاوت‌های ترکیب گونه‌ای میان واحدهای نمونه‌برداری را تبیین کند. تنوع بتا که نشانگر ناهمگونی زیستی در مقیاس چشم‌انداز است، بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی موضعی (نظیر شیب، جهت، تفاوت‌های خاکی) و عوامل مدیریتی (مانند تفاوت در شدت چرای دام و بهره‌برداری انسانی) قرار دارد و باعث می‌شود که ترکیب گونه‌ای از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر تغییر قابل‌توجهی داشته باشد. در منطقه مطالعه شده،

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

تفاوت‌های آشکار در شدت چرای دام و شرایط توپوگرافیک منجر به شکل‌گیری الگوهای ناهمگن پوشش گیاهی شده است که در تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص هستند. در واقع، شاخص AVI به‌دلیل حساسیت بالا به مقادیر متوسط پوشش سبز، رطوبت گیاهی و شرایط فیزیولوژیکی گیاهان توانسته این تغییرات فضایی را نسبت به شاخص‌هایی مانند NDVI بهتر نشان دهد. مطالعات پیشین نیز مؤید این نتیجه هستند. برای مثال گامون و همکاران (۲۰۲۰)، نشان دادند که شاخص‌های پوشش گیاهی با ناهمگنی طیفی بالا معمولاً با تنوع بتای بالاتر مطابقت دارند و می‌توانند در تفکیک الگوهای پراکندگی گونه‌ها در مقیاس چشم‌انداز مؤثر باشند. همچنین، پژوهش‌های (۹) و (۳۳) نیز به نتایج مشابهی اشاره نمودند که ناهمگنی طیفی می‌تواند به‌عنوان نمایه‌ای غیرمستقیم از ناهمگنی ترکیب گونه‌ای عمل کند، به‌ویژه در زیست‌بوم‌هایی که تنوع گونه‌ای به‌شدت وابسته به عوامل محیطی موضعی است.

در زمینه تنوع کارکرد، شاخص EVI نسبت به دیگر شاخص‌ها بیشترین قدرت پیش‌بینی را با مقدار ضریب تعیین (R^2=0.32) نسبت به شاخص FRic داشت. این نتیجه قابل توجیه است، چرا که شاخص EVI در مقایسه با شاخص NDVI حساسیت بالاتری نسبت به ساختار فیزیولوژیکی گیاهان، به‌ویژه در مناطق با پوشش گیاهی متراکم‌تر یا ناهمگن دارد. شاخص FRic که بر اساس موقعیت گونه‌ها در فضای صفات کارکردی تعریف می‌شود، به‌شدت تحت تأثیر صفاتی چون ارتفاع گیاه، سطح برگ و نوع فتوسنتز است. شاخص EVI نیز که برای افزایش حساسیت به ساختار تاج پوشش، کاهش تأثیر خاک و بهبود دقت در نواحی با پوشش گیاهی متراکم طراحی شده است، به‌خوبی می‌تواند بازتاب دهنده تغییرات در ویژگی‌های کارکردی گیاهان باشد. در نتیجه، شباهت ویژگی‌های بیوفیزیکی گیاهان در نواحی مختلف می‌تواند به همبستگی بالاتر با شاخص EVI منجر شود. این همبستگی، هرچند نسبتاً ضعیف است، اما در مناطق مرتعی که بسیاری از صفات کارکردی به‌طور مستقیم در بازتاب‌های طیفی نمود پیدا نمی‌کنند، داده‌های سنجش از دور می‌توانند تخمین اولیه‌ای از تنوع کارکردی ارائه دهند. نتایج پژوهش حاضر با مطالعاتی نظیر (۸) و (۴۵) هم‌راستا است که نشان داده‌اند امکان تخمین ویژگی‌های کارکردی گیاهان از طریق تلفیق داده‌های طیفی و صفات گیاهی وجود دارد، به‌ویژه اگر از شاخص‌هایی استفاده شود که نسبت به رطوبت گیاه و ساختار برگ حساسیت بالاتری داشته باشند. همچنین باید توجه داشت که عملکرد ضعیف‌تر شاخص‌های سنتی مانند NDVI در تبیین تنوع کارکردی، ناشی از اشباع سریع در نواحی با پوشش متوسط به بالا و عدم حساسیت کافی به ویژگی‌های ساختاری پیچیده‌تر گیاهان است.

به‌طور کلی، مقایسه سه بعد تنوع زیستی نشان داد که تنوع بتا نسبت به تنوع آلفا و کارکردی همبستگی بیشتری با شاخص‌های طیفی دارد. این یافته را می‌توان چنین تبیین نمود که ناهمگنی ترکیب گونه‌ای بین واحدهای نمونه‌برداری تأثیر مستقیمی بر ناهمگنی طیفی دارد و برخلاف تنوع آلفا که غالباً تحت تأثیر گونه‌های غالب است، تنوع بتا بازتاب دقیق‌تری از ناهمگنی فضایی کل جامعه گیاهی را ارائه می‌دهد. همچنین، مؤلفه کارکردی تنوع زیستی به‌دلیل پیچیدگی ذاتی در ساختار صفات کارکردی، وجود گونه‌های نادر یا مخفی و محدودیت تفکیک طیفی سنجنده، به سطح بالاتری از داده‌های طیفی (نظیر داده‌های هایپراسپکترال) برای مدل‌سازی دقیق‌تر نیاز دارد که از ظرفیت تصاویر چندطیفی مانند لندست فراتر می‌رود بنابراین، با همبستگی ضعیف‌تری همراه بودند. در مجموع، نتایج این پژوهش بیانگر آن است که اگرچه داده‌های ماهواره‌ای نمی‌توانند جایگزین کامل برداشت‌های میدانی در مطالعات تنوع زیستی باشند، اما به‌عنوان ابزار مکمل و کارآمد، قابلیت خوبی برای پایش فضایی و زمانی این شاخص‌ها دارند و می‌تواند به تصمیم‌گیری مدیریتی و حفاظتی کمک شایانی نماید.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

References

1. Ahmad, A., J. Ordoñez, P. Cartujo & V. Martos, 2020. Remotely piloted aircraft (RPA) in agriculture: A pursuit of sustainability. Agronomy, 11(1): 7.
2. Bande, P., E. Adam, M.A.M. Abd Elbasit & S. Adelabu, 2018. Comparing Landsat 8 and Sentinel-2 in Mapping Water Quality at VAAL DAM. IGARSS, 9280-9283.
3. Barnosky, A.D., N. Matzke, S. Tomiya, G.O. Wogan, B. Swartz, T.B. Quental ... & E.A. Ferrer, 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? Nature, 471(7336): 51-57.
4. Bayram Komaki, Ch., R. Asadikia & H. Niknahad Ghoramakhar, 2019. Estimation of vegetation cover percentage and biomass using remote sensing indices (Case study: Central Alborz Protected Area, Karaj County). Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources, 10(1): 1-16. (In Persian)
5. Bonanomi, G., E. Allevato, A. Rita, G. Cesarano, L. Saulino, G. Di Pasquale, M. Allegrezza, S. Pesaresi, M. Borghetti, S. Rossi & A. Saracino, 2018. Anthropogenic and environmental factors affect the tree line position of Fagus sylvatica along theApennines (Italy). Journal of Biogeography, 45(11): 2595-2608.
6. Cardinale, B.J., J.E. Duffy, A. Gonzalez, D.U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G.M. Mace, D. Tilman, D.A. Wardle, A.P. Kinzig, G.C. Daily, M. Loreau, J.B. Grace, A. Larigauderie, D.S. Srivastava & S. Naeem, 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. Nature, 486(7401): 59-67.
7. Cooper, M. 2023. An inverse latitudinal gradient in species richness of forest red millipedes chersastus attems, 1926 and centrobolus cook, 1897. International Journal of Engineering Science Invention Research & Development, 10(2): 5-23.
8. Craven, D., N. Eisenhauer, W.D. Pearse, Y. Hautier, F. Isbell, C. Roscher, M. Bahn, C. Beierkuhnlein, G. Bönisch, N. Buchmann, C. Byun, J.A. Catford, B.E.L. Cerabolini, J.H.C. Cornelissen, J.M. Craine, E.D. Luca, A. Ebeling, J.N. Griffin, A. Hector, J. Hines, A. Jentsch, J. Kattge, J. Kreyling, V. Lanta, N. Lemoine, S.T. Meyer, V. Minden, V. Onipchenko, H.W. Polley, P.B. Reich, J.V. Ruijven, B. Schamp, M.D. Smith, N.A. Soudzilovskaia, D. Tilman, A. Weigelt, B. Wilsey & P. Manning, 2018. Multiple facets of biodiversity drive the diversity- stability relationship. Nature ecology & evolution, 2(10): 1579-1587.
9. Feilhauer, H., F. Thonfeld, U. Faude, K.S. He, D. Rocchini & S. Schmidtlein, 2013. Assessing floristic composition with multispectral sensors-A comparison based on monotemporal and multiseasonal field spectra. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 218-229.
10. 10. Fischer, F.M., K. Chytrý, H. Chytrá, M. Chytrý & J. Těšitel, 2023. Seasonal beta-diversity of dry grassland vegetation: Divergent peaks of above-ground biomass and species richness. Journal of Vegetation Science, 34(2): e13182.
11. Foody, G.M. & M.E. Cutler, 2006. Mapping the species richness and composition of tropical forests from remotely sensed data with neural networks. Ecological modelling, 195(1-2): 37-42.
12. Gamon, J.A., R. Wang, H. Gholizadeh, B. Zutta, P.A. Townsend & J. Cavender-Bares, 2020. Consideration of scale in remote sensing of biodiversity. Remote sensing of plant biodiversity, 425-447.
13. Garcia, N., J.C. Campos, D. Silva, J. Alírio, L.B. Duarte, S. Arenas-Castro, I. Pôças, A. Loureiro, A.C. Teodoro & N. Sillero, 2024. Biodiversity dataset and atlas of the special area of conservation Montesinho/Nogueira, Portugal. Biodiversity Data Journal, 8, 12: e118854.
14. Jucker, T., J. Caspersen, J. Chave, C. Antin, N. Barbier, F. Bongers & D.A. Coomes, 2017. Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes. Global change biology, 23(1): 177-190.
15. Kang, S., J. Niu, Q. Zhang, X. Zhang, G. Han & M. Zhao, 2020. Niche differentiation is the underlying mechanism maintaining the relationship between community diversity and stability under grazing pressure. Global Ecology and Conservation, 24: e01246.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

16. Kishore, B.S.P.C., A. Kumar, P. Saikia & M.L. Khan, 2024. Alpha and beta diversity mapping in Indian tropical deciduous forests using high-fidelity imaging spectroscopy. Advances in Space Research, 73(2): 1413-1426.
17. 17. Lass, L.W. & T.S. Prather, 2004. Detecting the locations of Brazilian pepper trees in the Everglades with a hyperspectral sensor. Weed Technology, 18(2): 437-442.
18. Levin, N., A. Shmida, O. Levanoni, H. Tamari & S. Kark, 2007. Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices. Diversity and Distributions, 13(6): 692-703.
19. Lima, T.A., R. Beuchle, A. Langner, R.C. Grecchi, V.C. Griess & F. Achard, 2019. Comparing Sentinel 2 MSI and Landsat 8 OLI Imagery for Monitoring Selective Logging in the Brazilian Amazon. Remote sensing, 11: 1- 21.
20. Llerena Gordillo, S.A. & A. Kurbatova, 2022. NDVI-alpha diversity relationship in tropical montane cloud forest of Ecuador.
21. Loarie, S.R., L.N. Joppa & S.L. Pimm, 2007. Satellites miss environmental priorities. Trends in Ecology & Evolution, 22(12): 630-632.
22. Ma, X., M.D. Mahecha, M. Migliavacca, F. van der Plas, R. Benavides, S. Ratcliffe, J. Kattge, R. Richter, T. Musavi, L. Baeten, I. Barnoaiea, F.J. Bohn, O. Bouriaud, F. Bussotti, A. Ioppi, T. Domisch, A. Huth, B. Jaroszewicz, J. Joswig, D.E. Pabon-Moreno, D. Papale, F. Selvi, G. Vaglio Laurin, F. Valladares, M. Reichstein & C. Wirth, 2019. Inferring plant functional diversity from space: the potential of Sentinel-2. Remote Sensing of Environment, 233: 111368.
23. MacArthur, R.H. 1965. Pattern in species diversity. Biology. Rev. 40: 510-533.
24. Madonsela, S., M.A. Cho, A. Ramoelo & O. Mutanga, 2017. Remote sensing of species diversity using Landsat 8 spectral variables. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 133: 116-127.
25. Magurran, A.E. 2016. How ecosystems change. Science, 351(6272): 448-449.
26. Mallinis, G., I. Chrysafis, G. Korakis, E. Pana & A.P. Kyriazopoulos, 2020. A random forest modelling procedure for a multi-sensor assessment of tree species diversity. Remote Sensing, 12(7): 1210.
27. Nagendra, H., D. Rocchini, R. Ghate, B. Sharma & S. Pareeth, 2010. Assessing plant diversity in a dry tropical forest: comparing the utility of Landsat and Ikonos satellite images. Remote Sensing, 2(2): 478-496.
28. Ortega, M.A., L. Cayuela, D.M. Griffith, A. Camacho, I.M. Coronado, R.F. Del Castillo & J. Muñoz, 2024. Climate change increases threat to plant diversity in tropical forests of Central America and southern Mexico. Plos one, 19(2): e0297840.
29. Phiri, D., J. Morgenroth & C. Xu, 2019. Long-term land cover change in Zambia: An assessment of driving factors. Science of The Total Environment, 697: 134206.
30. Qian, L.S., J.H. Chen, T. Deng & H. Sun, 2020. Plant diversity in Yunnan: Current status and future directions. Plant diversity, 42(4): 281-291.
31. Ramírez, L.R. & I. Säumel, 2023. Moderation and mediation of land use change! Interplay between β-diversity and landscape structures in agri-and silvicultural modified grasslands of South America. Land Degradation & Development, 34(14): 4307-4319.
32. Rocchini, D., H. Nagendra, R. Ghate & B.S. Cade, 2009. Spectral distance decay. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(10): 1225-1230.
33. Rocchini, D., J.L. Hernández Stefanoni & K.S. He, 2015. Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: A conceptual review. Ecological Informatics, 25: 22-28.
34. Rocchini, D., S. Luque, N. Pettorelli, L. Bastin, D. Doktor, N. Faedi ... & H. Nagendra, 2018. Measuring β-diversity by remote sensing: A challenge for biodiversity monitoring. Methods in Ecology and Evolution, 9(8): 1787-1798.
35. Rocchini, D., N. Salvatori, C. Beierkuhnlein, A. Chiarucci, F. De Boissieu, M. Förster & J.B. Féret, 2021. From local spectral species to global spectral communities: A benchmark for ecosystem diversity estimate by remote sensing. Ecological informatics, 61: 101195.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]

36. Skidmore, A.K.N., N.C. Pettorelli, G.N. Coops, M. Geller …& R. Hansen, 2015. Environmental science: agree etrics to track from space. Nature, 523: 405-403.
37. 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.
38. Team, R.C. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 1-12.
39. 39. Tsouros, D.C., S. Bibi & P.G. Sarigiannidis, 2019. A review on UAV-based applications for precision agriculture. Information, 10(11): 349.
40. Vellend, M. 2010. Conceptual synthesis in community ecology. The Quarterly review of biology, 85(2): 183-206.
41. Whittaker, R.H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecological monographs, 30(3): 279-338.
42. Whittaker, R.H. & S.A. Levin, 1977. The role of mosaic phenomena in natural communities. Theor. Pop. Biology, 12: 117-139.
43. Zhang, Y., J. She, X. Long & M. Zhang, 2022. Spatio-temporal evolution and driving factors of eco-environmental quality based on RSEI in Chang-Zhu-Tan metropolitan circle, central China. Ecological Indicators, 144: 109436.
44. Zhang, Y., Y. Wang & X. Liu, 2024. Late Holocene vegetation diversity change and potential response to climate variations on the northern Qinghai-Tibetan Plateau. Quaternary International, 695: 45-54.
45. Zhao, Y.P., Z.W. Wang, R. WENDU, Y.J. Zhao & Y.F. Bai, 2022. Remotely sensed monitoring method of grassland plant functional diversity and its relationship with productivity based on Sentinel-2 satellite data. Chinese Journal of Plant Ecology, 46(10): 1234.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.3.3]