Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Application of Vegetation Indices and Image Differencing of Landsat-8 and Sentinel-2 for Estimating Production in Semi-Steppe Rangelands

Raziyeh Soureshjani Samani[1], Ali Asghar Naghipour[*2], Pejman Tahmasbi Kohyani[3], Zahra Heidari Ghahfarrokhi[4]

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

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2026; Vol 20, Issue 1

Article history:
Received: 01.09.2025
Revised: 28.01.2026
Accepted: 15.02.2026

Keywords:
Vegetation indices,
Remote sensing,
Growth form,
Tang-e-Sayyad protected area.

Abstract

Background and Objective: Semi-steppe rangelands of Iran play a crucial role in providing forage, conserving biodiversity, and supporting ecosystem services. Accurate estimation of forage production and monitoring vegetation changes is essential for sustainable rangeland management. Traditional methods are labor-intensive and costly, whereas remote sensing and vegetation indices offer efficient alternatives. This study aimed to evaluate the performance of Landsat-8 and Sentinel-2 imagery, combined with image differencing techniques, for estimating rangeland production and monitoring vegetation dynamics in the Tang-e-Sayyad protected area, located in Chaharmahal va Bakhtiari province.

Methodology: Field sampling was conducted in eight sites during two phenological stages. Forage production of five plant growth form (annual grasses, annual forbs, perennial grasses, perennial forbs, and shrubs) was measured using the double-sampling method. Simultaneously, Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI images with minimum cloud cover were acquired. After preprocessing, a set of vegetation indices (e.g., NDVI, EVI, SAVI, PVI, DVI, MSAVI) was calculated. Image differencing was then applied between multi-temporal images to extract vegetation and production changes. The relationships between remote sensing indices and field data were analyzed using Pearson correlation in R software.

Results: The results revealed that Landsat-8 imagery performed better than Sentinel-2 in estimating forage production. Among vegetation indices, PVI1 and DVI showed the highest correlations (≈0.64) with the combined production of perennial forbs and perennial grasses in June. MSAVI1 and MSAVI2 demonstrated robustness under varying vegetation cover and soil background conditions. For annual forms, EVI had the strongest predictive power, while in shrublands, only EVI exhibited significant correlations. In general, most vegetation indices were able to reflect production dynamics, although their performance varied depending on phenological stage and plant functional type.

Conclusion: This study highlighted the potential of integrating vegetation indices with image differencing as a cost-effective, rapid, and accurate approach for

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

monitoring production changes in semi-steppe rangelands. The proposed method enables identification of areas with increasing or declining forage production, thereby supporting sustainable rangeland management. For future studies, incorporating optical and radar datasets is recommended to overcome limitations such as cloud cover and index saturation, thereby improving monitoring accuracy.

Cite this article: Soureshjani Samani, R., A.A. Naghipour, P. Tahmasbi Kohyani, Z. Heidari Ghahfarrokhi, 2026. Application of Vegetation Indices and Image Differencing of Landsat-8 and Sentinel-2 for Estimating Production in Semi-Steppe Rangelands. Journal of Rangeland, 20(1): 34-50.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4
Publisher: Iranian Society for Range Management

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

کاربرد شاخص‌های پوشش گیاهی و تفریق تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 و Sentinel-2 در برآورد تولید مراتع نیمه‌استپی

راضیه سورشجانی سامانی[۱]، علی اصغر نقی‌پور*[۲]، پژمان طهماسبی کهیانی[۳]، زهرا حیدری قهفرخی[۴]

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

[۲] نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: sh.rastgar@sanru.ac.ir

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

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۵؛ جلد ۲۰، شماره ۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۶/۱۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

واژه‌های کلیدی:
شاخص‌های پوشش گیاهی،
سنجش از دور،
شکل رویشی،
منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد.

چکیده

سابقه و هدف: مراتع نیمه‌استپی ایران از مهم‌ترین منابع طبیعی کشور به شمار می‌روند که علاوه بر تأمین علوفه، نقش اساسی در حفظ تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی دارند. ارزیابی دقیق تولید و تغییرات پوشش گیاهی این مراتع، پیش‌شرط برنامه‌ریزی مدیریت پایدار و بهره‌برداری اصولی است. روش‌های سنتی برآورد تولید مرتع زمان‌بر و پرهزینه‌اند؛ در مقابل، داده‌های سنجش از دور و شاخص‌های پوشش گیاهی رویکردی کارآمد برای پایش تغییرات اکولوژیک محسوب می‌شوند. در این مطالعه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 و Sentinel-2 و تکنیک تفریق تصاویر، کارایی شاخص‌های پوشش گیاهی در برآورد تولید گیاهی و پایش تغییرات پوشش مراتع نیمه‌استپی منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد بررسی شد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری میدانی در هشت سایت و طی دو بازه زمانی فنولوژیک انجام گرفت. داده‌های تولید گیاهی برای شکل‌های رویشی مختلف شامل گراس‌های یک‌ساله، پهن‌برگان یک‌ساله، گراس‌های چندساله، پهن‌برگان چندساله و بوته‌ای به روش نمونه‌گیری مضاعف اندازه‌گیری شد. هم‌زمان تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 و Sentinel-2 با حداقل پوشش ابری تهیه و پس از پیش‌پردازش، مجموعه‌ای از شاخص‌های پوشش گیاهی (از جمله NDVI، EVI، SAVI، PVI، DVI و MSAVI) محاسبه گردید. سپس با استفاده از روش تفریق تصاویر، تغییرات پوشش و تولید گیاهی بین بازه‌های زمانی مختلف استخراج و همبستگی آن‌ها با داده‌های میدانی ارزیابی شد. تحلیل آماری داده‌ها با آزمون همبستگی پیرسون و در نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج: یافته‌ها نشان داد که تصاویر Landsat-8 نسبت به Sentinel-2 دقت بالاتری در برآورد تولید گیاهی داشتند. شاخص‌های PVI1 و DVI در ماه خرداد بیشترین همبستگی را با تولید شکل‌های رویشی پهن‌برگ چندساله و گراس چندساله نشان دادند (ضریب همبستگی حدود ۰/۶۴). همچنین شاخص‌های MSAVI1 و MSAVI2 توانستند اثر درصد متفاوت پوشش گیاهی و پس‌زمینه خاک را با دقت مناسبی تعدیل کنند. در تحلیل شکل‌های یک‌ساله، شاخص EVI عملکرد برتری در پیش‌بینی تولید داشت، در حالی که در پوشش بوته‌ای تنها همین شاخص ارتباط معنی‌داری نشان داد. به طور کلی، اکثر شاخص‌های گیاهی در هر دو ماهواره توانستند تغییرات تولید را بازتاب دهند، هرچند حساسیت و کارایی آن‌ها بسته به دوره فنولوژیک و نوع شکل رویشی متفاوت بود.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که استفاده ترکیبی از شاخص‌های گیاهی منتخب و تکنیک تفریق تصاویر روشی مقرون‌به‌صرفه، سریع و دقیق برای پایش تغییرات تولید مراتع نیمه‌استپی است. این رویکرد

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

امکان شناسایی نواحی با کاهش یا افزایش تولید را فراهم کرده و می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری در مدیریت پایدار مراتع باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، داده‌های اپتیکی و راداری به صورت هم‌افزا به کار گرفته شوند تا محدودیت‌هایی مانند اثر پوشش ابری و اشباع شاخص‌ها برطرف شود.

استناد: سورشجانی سامانی، ر.، ع.ا. نقی‌پور، پ. طهماسبی کهیانی، ز. حیدری قهفرخی، ۱۴۰۵. کاربرد شاخص‌های پوشش گیاهی و تفریق تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 و Sentinel-2 در برآورد تولید مراتع نیمه‌استپی. مرتع، ۲۰(۱): ۳۴-۵۰.

DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران © نویسندگان

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

مقدمه

مراتع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی، نقشی اساسی در تأمین علوفه دام، حفظ تنوع زیستی و ارائه خدمات اکولوژیکی ایفا می‌کنند (۳، ۶، ۱۸ و ۲۹). تولید در این اکوسیستم‌ها که به‌میزان ماده آلی تولید شده در واحد سطح و زمان اطلاق می‌شود، تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و مدیریت چرای دام قرار دارد (۵). اندازه‌گیری دقیق تولید مرتع برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی، برنامه‌ریزی مدیریت پایدار و تخمین ظرفیت چرای دام ضروری است (۱۴).

روش‌های مختلفی برای برآورد تولید مرتع به کار رفته است. این روش‌ها از شیوه‌های سنتی مبتنی بر نمونه‌برداری مستقیم و توزین گیاهان برداشت‌شده (۹ و ۱۲) تا روش‌های نوین سنجش از دور و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای متغیر است (۱، ۲، ۲۷ و ۳۵). در میان این رویکردها، شاخص‌های گیاهی به دلیل سهولت محاسبه، دسترسی گسترده به داده‌ها و قابلیت پایش وسیع، کاربرد فراوانی یافته‌اند (۱۴). یکی از روش‌های پرکاربرد در این زمینه، تکنیک تفریق تصاویر است که با مقایسه تصاویر ماهواره‌ای ثبت‌شده در زمان‌های مختلف، امکان ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی و به‌طور غیرمستقیم تغییرات تولید را فراهم می‌سازد (۳۱).

برای بهره‌برداری مؤثر از داده‌های سنجش از دور در مطالعات پوشش و تولید گیاهی، لازم است عوامل مختلفی همچون توپوگرافی، بازتاب خاک، شرایط اتمسفری و سایر منابع خطا شناسایی و کنترل شوند (۱۳). در گذشته، به دلیل محدودیت‌های داده‌های ماهواره‌ای، عمدتاً تغییرات در مقیاس‌های بزرگ همچون کاربری اراضی یا پوشش جنگلی بررسی می‌شد، اما پیشرفت فناوری سنسورها امکان پایش تغییرات ظریف‌تر را فراهم کرده است (۱ و ۳۸). در مطالعات تغییرات سطح زمین، روش‌های گوناگونی از جمله تفریق تصاویر و تشخیص تغییر پس از طبقه‌بندی به کار گرفته شده‌اند که در این میان روش تفریق تصاویر، روشی کارآمد و پرکاربرد شناخته می‌شود (۱۱). انتخاب آستانه مناسب برای جداسازی پیکسل‌های تغییر و بی‌تغییر از مراحل کلیدی این روش محسوب می‌شود و بسته به هدف تحقیق و ویژگی‌های منطقه متفاوت است (۴۰).

تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، ابزاری قدرتمند برای ارزیابی تولید مراتع است (۲۶ و ۲۸). تحلیل این شاخص‌ها با استفاده از روش تفریق تصاویر، علاوه بر بررسی تغییرات تولید، امکان پایش پویایی‌های پوشش گیاهی، تغییرات کاربری اراضی و اثرات تغییرات اقلیمی را نیز فراهم می‌سازد (۲۰). بدین ترتیب، سنجش از دور روشی مقرون‌به‌صرفه، دقیق و کارآمد در مقایسه با روش‌های سنتی محسوب می‌شود.

مطالعات متعددی به بررسی کاربرد روش تفریق تصاویر در پوشش و تولید گیاهی پرداخته‌اند. برای مثال، سینگ (۱۹۸۹) این روش را به‌عنوان یکی از نخستین و کارآمدترین تکنیک‌ها در پایش تغییرات پوشش گیاهی معرفی کرد. سپس، لو و همکاران (۲۰۰۴) با مرور جامع روش‌های تشخیص تغییر، بر مزایای استفاده از شاخص‌های گیاهی در این فرایند تأکید کردند. نتایج پژوهش کوپین و همکاران (۲۰۰۴) و کندی و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که ترکیب شاخص‌های گیاهی با روش تفریق تصاویر، توانایی بالایی در پایش تغییرات اکوسیستم‌ها دارد.

مراتع نیمه‌استپی منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد از مهم‌ترین زیست‌بوم‌های مرتعی استان چهارمحال و بختیاری به‌شمار می‌آیند (۱۷). این منطقه علاوه بر تأمین بخش قابل توجهی از علوفه دام و حیات‌وحش استان، زیستگاه گونه‌های گیاهی اندمیک و ارزشمند مرتعی است. با توجه به اهمیت پایش تغییرات پوشش و تولید گیاهی در مراتع و نقش کلیدی شاخص‌های گیاهی در این زمینه، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی توان شاخص‌های پوشش گیاهی و تکنیک تفریق تصاویر ماهواره‌ای (Image Differencing) در برآورد و تفکیک تولید شکل‌های مختلف رویشی مراتع نیمه‌استپی با استفاده از تصاویر Landsat-8 و Sentinel-2 است. این رویکرد می‌تواند به درک بهتر از پویایی مراتع، ارزیابی دقیق‌تر تولید گیاهی و ارائه ابزاری کارآمد برای مدیریت پایدار منابع طبیعی منجر شود.

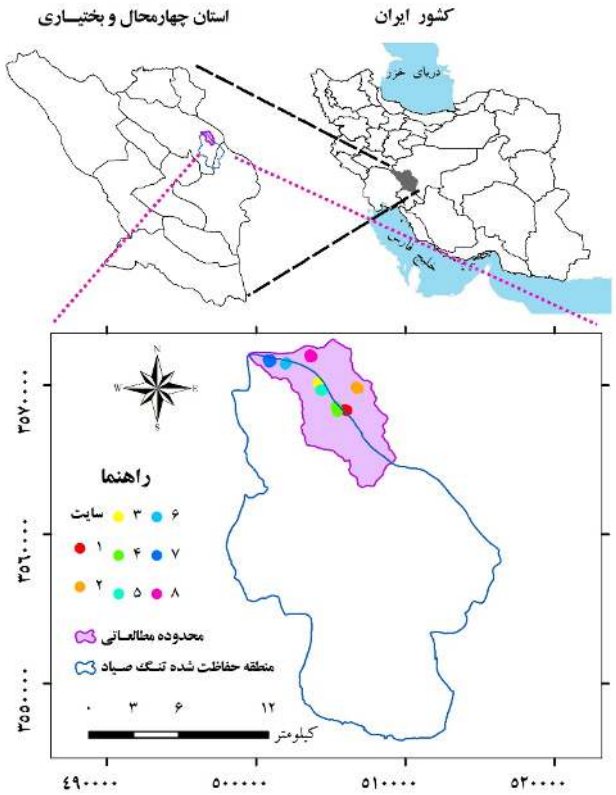
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده و بین مختصات جغرافیایی ´۵۹ °۵۰ تا ´۱۰ °۵۱ طول شرقی و ´۳ °۳۲ تا ´۱۷ °۳۲ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در بخش شرقی شهرستان شهرکرد و مجاور شهرستان‌های فرخ‌شهر و بروجن واقع شده و فاصله آن تا مرکز استان (شهرکرد) حدود ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر است. نزدیک‌ترین شهر به این محدوده، فرخ‌شهر است. وسعت کل منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد حدود ۲۷ هزار هکتار است. ارتفاع منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد از سطح دریا بین ۲۰۶۹ تا ۳۱۳۷ متر متغیر است. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۲۷۷ تا ۴۲۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه بین ۱/۶ تا ۵/۱۱ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (۱۷ و ۲۵). بر اساس اقلیم نمای گوسن و آمبرژه، این منطقه در قلمرو اقلیمی استپی سرد و ارتفاعات قرار می‌گیرد (۳۲). از نظر پوشش گیاهی، تنگ صیاد دارای گونه‌های شاخص مرتعی از جمله گاوچاق‌کن (*Scariola orientalis*)، استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana*)، گون زرد (*Astragalus verus*)، هزارخار بختیاری (*Cousinia bachtiarica*)، گون توت‌فرنگی‌دار (*Astragalus microphysa*)، چوبک تماشایی (*Acanthophyllum bracteatum*)، جارو علفی (*Bromus tomentellus*) و کافوری (*Camphorosma monspeliaca*) است که نقش مهمی در ترکیب پوشش گیاهی منطقه دارند.



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

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

نمونه‌برداری میدانی

پس از تعیین محدوده مطالعه، نمونه‌برداری پوشش گیاهی در دو بازه زمانی انجام شد: نخست در اواسط فروردین ماه (به مدت ۳ روز) و سپس دوره دوم مطابق با حداکثر رشد در اواخر اردیبهشت و اوایل خرداد (به مدت ۴ روز) انجام شد (شکل ۲). برای این منظور، بر اساس پیمایش‌های میدانی و شرایط مدیریتی چرای دام، ۸ سایت انتخاب گردید (شکل ۱). نمونه‌برداری از گیاهان با روش تصادفی- سیستماتیک انجام شد. نقطه اول مربوط به نمونه‌برداری در هر سایت به صورت تصادفی تعیین شد. در داخل هر پیکسل لندست (۳۰×۳۰ متر) و هر پیکسل سنتینل (۲۰×۲۰ متر) سه پلات ۲×۲ متری (۳۳) به‌صورت سیستماتیک قرار گرفتند. سپس با فاصله حداقل ۵۰ متر به صورت سیستماتیک، نقاط بعدی نمونه‌برداری مربوط به هر پیکسل انجام شد. تولید گیاهی برای سه شکل رویشی شامل یک‌ساله‌ها (مجموع گراس یک‌ساله (AG) و پهن‌برگ یک‌ساله (AF))، چندساله‌های علفی (مجموع گراس چندساله (PG) و پهن‌برگ چندساله (PF)) و بوته‌ای (Sh) محاسبه شد. موقعیت همه پلات‌ها توسط دستگاه GPS ثبت گردید. درصد تاج پوشش نیز به روش برآورد چشمی تخمین زده شد.

برای اندازه‌گیری تولید سالانه، از روش نمونه‌گیری مضاعف استفاده گردید. بدین ترتیب که ابتدا تولید گیاهی در همه پلات‌ها بر اساس مشاهده برآورد شد و در یک‌سوم پلات‌ها گیاهان علفی (یک‌ساله و چندساله) در ارتفاع یک سانتی‌متر از سطح خاک قطع گردیدند. پس از خشک کردن نمونه‌ها در آزمایشگاه، رابطه رگرسیونی میان وزن خشک واقعی و برآورد چشمی محاسبه و تولید واقعی به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری تولید گونه‌های بوته‌ای از روش آدلاید (۴ و ۳۹) استفاده شد. در این روش، ابتدا شاخه‌هایی که نماینده ۱۰ تا ۲۰ درصد از حجم تاج پوشش بوته بودند، انتخاب گردیدند. سپس، تولید کل گیاه به‌صورت مقایسه چشمی با این شاخه‌ها برآورد شد. بخش‌های فتوسنتز کننده گیاهان در هر دوره رشد تفکیک و وزن تر آن‌ها برآورد شد و پس از خشک شدن در هوای آزاد، وزن خشک به‌عنوان معیار تولید نهایی ثبت شد.



شکل ۲: تصاویری از پوشش گیاهی منطقه نمونه‌برداری؛ الف) اواسط فروردین ماه، ب) اواخر اردیبهشت ماه

تهیه تصاویر ماهواره‌ای

برای تحلیل داده‌های سنجش از دور، تصاویر چند طیفی سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 از پایگاه مرکز داده پایگاه زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) و تصاویر سنجنده MSI ماهواره Sentinel-2 از سایت رسمی آژانس فضایی اروپا (ESA) با حداقل میزان ابرناکی (کمتر از ۵ درصد) تهیه گردید. تصاویر انتخاب شده بیشترین تطابق زمانی را با دوره‌های نمونه‌برداری میدانی داشتند و از گذر (Path) ۱۶۴ و ردیف (Row) ۳۸ اخذ شدند (جدول‌های ۱ و ۲). همان‌طور که بیان شد، با توجه به اقلیم نیمه‌استپی و ناهمگونی پوشش گیاهی، سه پلات ۲×۲ متر برای تخمین دقیق‌تر پوشش و تولید انتخاب شد. به منظور مقایسه‌پذیری داده‌های ماهواره‌ای، تصاویر سنتینل با قدرت تفکیک ۱۰ متر به ۲۰ متر تبدیل شدند تا به مقیاس تصاویر لندست (۳۰ متر) نزدیک شوند. انتخاب اندازه ۲۰ متر به دلیل حفظ

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

دقت مکانی و جلوگیری از اختلال در انطباق پلات‌ها با داده‌های زمینی انجام شد.

جدول ۱: تاریخ تصاویر Landsat-8 مورد استفاده در مطالعه

تاریخ تصاویر		تعداد باند	باندهای مورد	معادله خط خاک
شمسی	میلادی	سنجنده	استفاده	
۱۴۰۲/۰۱/۱۶	۲۰۲۳/۰۴/۰۵	۹	۴ و ۵	NIR = -0.01756 + 0.97552RED RED = 0.022541 + 1.008238NIR (R = 0.99)
۱۴۰۲/۰۲/۲۵	۲۰۲۳/۰۵/۱۵	۹	۴ و ۵	NIR = 0.039272 + 1.048483RED RED = 0.034391 + 0.655548NIR (R = 0.82)
۱۴۰۲/۰۳/۰۲	۲۰۲۳/۰۵/۲۳	۹	۴ و ۵	NIR = 0.04413 + 1.060191RED RED = 0.030467 + 0.647077NIR (R = 0.82)
۱۴۰۲/۰۳/۱۸	۲۰۲۳/۰۶/۰۸	۹	۴ و ۵	NIR = 0.052718 + 1.036625RED RED = 0.020199 + 0.694373NIR (R = 0.84)
۱۴۰۲/۰۳/۲۶	۲۰۲۳/۰۶/۱۶	۹	۴ و ۵	NIR = 0.054107 + 1.011772RED RED = 0.009141 + 0.75276NIR (R = 0.87)
۱۴۰۲/۰۴/۰۳	۲۰۲۳/۰۶/۲۴	۹	۴ و ۵	NIR = 0.057077 + 0.983188RED RED = 0.029257 + 0.692616NIR (R = 0.83)
۱۴۰۲/۰۵/۲۸	۲۰۲۳/۰۸/۱۹	۹	۴ و ۵	NIR = -0.005395 + 1.281495 RED RED = 0.054768 + 0.583128 NIR (R = 0.86)

جدول ۲: تاریخ تصاویر Sentinel-2 مورد استفاده در مطالعه

تاریخ تصاویر		تعداد باند سنجنده	باندهای مورد استفاده	معادله خط خاک
شمسی	میلادی			
۱۴۰۲/۰۱/۱۸	۲۰۲۳/۰۴/۰۷	۱۳	۴ و ۸	NIR = -0.003399 + 0.966732RED RED = 0.005224 + 1.028382NIR (R = 0.99)
۱۴۰۲/۰۲/۲۲	۲۰۲۳/۰۵/۱۲	۱۳	۴ و ۸	NIR = 0.068532 + 0.950073RED RED = 0.022846 + 0.61824NIR (R = 0.79)
۱۴۰۲/۰۳/۰۱	۲۰۲۳/۰۵/۲۲	۱۳	۴ و ۸	NIR = 0.113125 + 0.839725RED RED = 0.005771 + 0.650396NIR (R = 0.74)
۱۴۰۲/۰۳/۲۶	۲۰۲۳/۰۶/۱۶	۱۳	۴ و ۸	NIR = 0.107942 + 0.799782RED RED = 0.022839 + 0.658721NIR (R = 0.73)
۱۴۰۲/۰۶/۱۳	۲۰۲۳/۰۹/۰۴	۱۳	۴ و ۸	NIR = 0.003929 + 0.987363RED RED = -0.002718 + 0.965821NIR (R = 0.97)

محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

پردازش تصاویر و محاسبه شاخص‌های گیاهی با استفاده از نرم‌افزارهای Terrset 2020 و ArcGIS 10.8.2 انجام گرفت. شاخص‌های گیاهی با بهره‌گیری از باندهای قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) و بر اساس روابط ریاضی مختلف محاسبه شدند. در این پژوهش مجموعه‌ای از شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفت که شامل شاخص‌های شیب‌محور مانند NDVI، RATIO، RVI، TVI، CTVI، TTVI، EVI و SAVI و شاخص‌های فاصله محور مانند PVI، PVI1، PVI2، PVI3، TSAVI1، TSAVI2، DVI، WDVI، MSAVI1، MSAVI2 و AVI بودند. این شاخص‌ها به صورت رگرسیونی بین باندهای مستقل (بسته به نوع شاخص) و باندهای وابسته (بسته به نوع شاخص) با استفاده از خط خاک که نقاط غیر پوشیده از گیاهی را نشان می‌دهد، محاسبه شدند (جدول‌های ۱ و ۲). پس از محاسبه شاخص‌های گیاهی، مقادیر عددی این شاخص‌ها برای هر تصویر ماهواره‌ای استخراج شدند.

محاسبه ارتباطات تفریق تصاویر

در این مطالعه، به دلیل هم‌زمانی دوره‌های اوج رشد گیاهی و پیچیدگی در تفکیک شکل‌های رویشی، ارتباط

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

تولید شکل‌های مختلف گیاهی با تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. برای گیاهان یک‌ساله، تصاویر فروردین ماهواره‌های لندست ۸ (۲۰۲۳/۰۴/۰۵) و سنتینل-۲ (۲۰۲۳/۰۴/۰۷) مورد استفاده قرار گرفت. برای گیاهان بوته‌ای (Sh)، تصاویر مرداد لندست ۸ (۲۰۲۳/۰۸/۱۸) و شهریور سنتینل-۲ (۲۰۲۳/۰۹/۰۴) تحلیل شدند. از آنجا که در تصویر خرداد حضور هم‌زمان شکل‌های یک‌ساله و بوته‌ای با اوج رشد چندساله‌های علفی مشاهده می‌شود، جهت جداسازی سهم هر شکل رویشی، تصاویر مربوط به اوج رشد یک‌ساله‌ها (فروردین) و بوته‌ای‌ها (مرداد/ شهریور) از تصویر خرداد تفریق شدند. بدین ترتیب، طبق معادله زیر ارتباط تولید شکل‌های چندساله علفی با تصاویر لندست ۸ از طریق تفریق تصاویر فروردین و مرداد از خرداد و در سنتینل-۲ از طریق تفریق تصاویر فروردین و شهریور از خرداد بررسی شد.

$$Product\ (PF + PG) = Total\ Product - Product\ (AF + AG) - Product\ Shrub$$

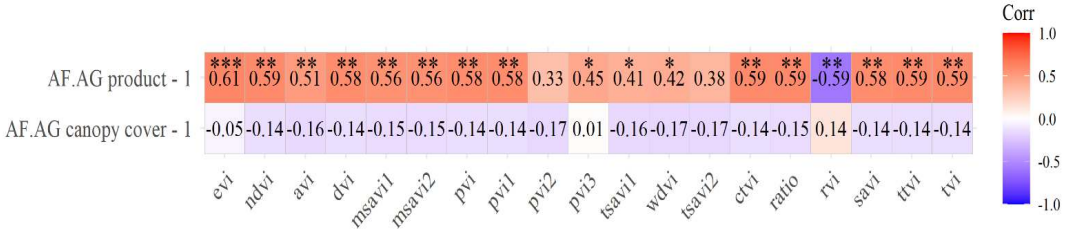
محاسبه ارتباط همبستگی تصاویر با تولید و درصد پوشش

تحلیل آماری به‌منظور بررسی میزان و سطح معنی‌داری ارتباط بین شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای با تولید و درصد پوشش هر شکل رویشی، با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام شد. برای این منظور، از کتابخانه‌های ggcorrplot، ggplot2، dplyr و reshape2 در محیط نرم‌افزار R (نسخه ۴.۴.۱) استفاده گردید.

نتایج

ارتباط شاخص‌های گیاهی Landsat-8 با شکل رویشی علفی یک‌ساله

نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و داده‌های تولید یک‌ساله‌های علفی (جمع شکل‌های رویشی پهن‌برگ یک‌ساله و گراس یک‌ساله) در تاریخ ۲۰۲۳/۰۴/۰۵، همبستگی‌های قوی و معنی‌داری را نشان داد. شاخص EVI بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را در سطح ۰/۱ درصد با تولید داشت ($P < 0.001$). علاوه بر این، شاخص‌های SAVI، RATIO، CTVI، PVI، NDVI، DVI، TVI، AVI، TTVI، PVI1 و MSAVI1,2 با تولید همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) و شاخص‌های PVI3، TSAVI1 و WDVI در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) نشان دادند. در مقابل، شاخص RVI با تولید رابطه منفی معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت ($P < 0.01$). برخلاف همبستگی‌های مشاهده‌شده با تولید گیاهی، هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های مورد مطالعه و درصد پوشش گیاهی در دوره مورد بررسی مشاهده نشد (شکل ۳).



شکل ۳: بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی علفی یک‌ساله (مجموع پهن‌برگ یک‌ساله و گراس یک‌ساله) Canopy cover 2 و Product 2 = درصد پوشش گیاهی و تولید کل در فروردین ماه

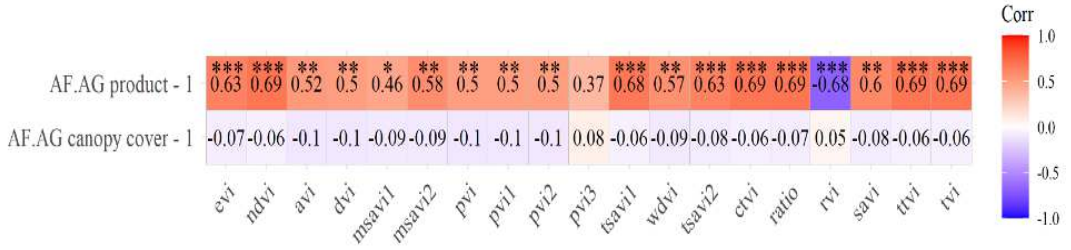
ارتباط شاخص‌های گیاهی تصاویر Sentinel-2 با شکل رویشی علفی یک‌ساله

نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و تولید گیاهی در تاریخ ۲۰۲۳/۰۴/۰۷، همبستگی‌های قوی و معنی‌داری را نشان داد. شاخص‌های TTVI، TVI، NDVI، TSAVI1,2، CTVI، RATIO و EVI همبستگی مثبت و معنی‌داری با تولید در سطح ۰/۱ درصد داشتند ($P < 0.001$). علاوه بر این، شاخص‌های SAVI، WDVI، PVI،

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

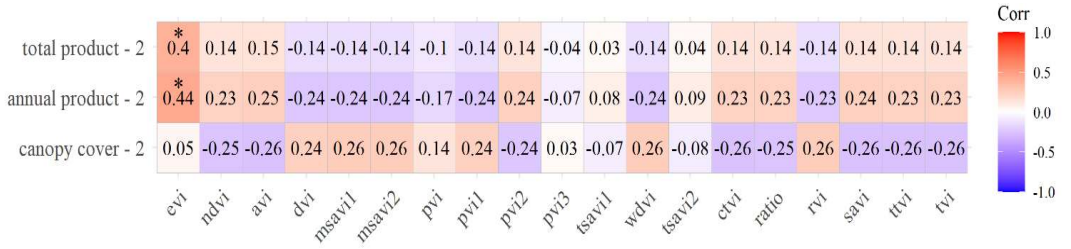
DVI، AVI، PVI1,2 و MSAVI2 در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) و شاخص MSAVI1 در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) با تولید رابطه مثبت معنی‌داری نشان دادند. در مقابل، شاخص RVI همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد داشت ($P < 0.001$). همانند نتایج حاصل از تصاویر لندست، در تحلیل تصاویر سنتینل-۲ نیز هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری بین هیچ‌یک از شاخص‌های گیاهی و درصد پوشش گیاهی مشاهده نشد (شکل ۴).



شکل ۴: ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Sentinel-2 با شکل رویشی علفی یک‌ساله (مجموع پهن‌برگ یک‌ساله و گراس یک‌ساله) Canopy cover 2 و Product 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل در فروردین ماه

ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی بوته‌ای

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ی ۲۰۲۳/۰۸/۱۸ و شکل رویشی بوته‌ای، نشان می‌دهد که شاخص EVI با تولید کل و تولید سالیانه، همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد ($P < 0.05$) (شکل ۵).



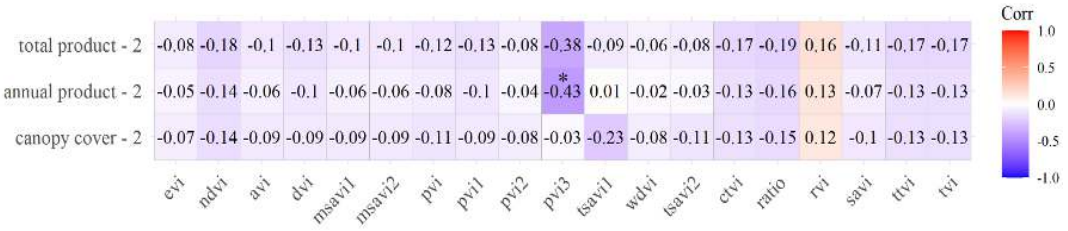
شکل ۵: بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی بوته‌ای Canopy cover 2 و Product 2 و annual product 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل و تولید سالیانه در مرداد ماه

ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Sentinel-2 با شکل رویشی بوته‌ای

نتایج تحلیل تصویر ۲۰۲۳/۰۹/۰۴ بیانگر آن بود که تنها شاخص PVI3 با تولید سالیانه شکل بوته‌ای همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد ($P < 0.05$) (شکل ۶).

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

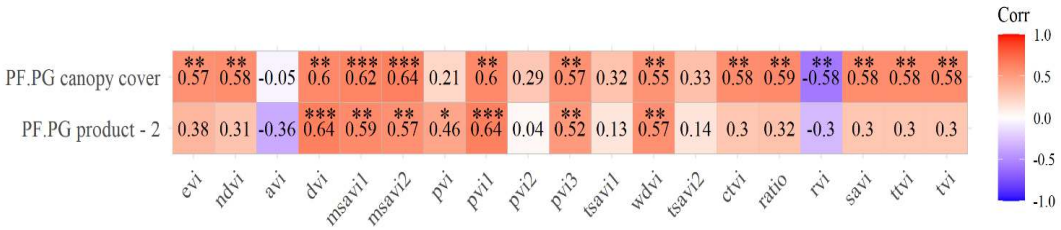


شکل ۶: بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Sentinel-2 با شکل رویشی بوته‌ای

Canopy cover 2 و Product 2 و annual product2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل و تولید سالیانه در شهریور ماه

بررسی ارتباط تفریق تصاویر Landsat-8 با چندساله‌های علفی (مجموع پهن‌برگ چندساله و گراس چندساله)

در تحلیل تفریق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸، ارتباط شاخص‌های گیاهی با مجموع تولید و پوشش گیاهی چندساله‌های علفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج همبستگی که با استفاده از تفریق تصاویر مربوط به ماه خرداد (۲۰۲۳/۰۶/۰۸) به دست آمد، نشان‌دهنده روابط معنی‌داری بود. نتایج نشان داد که شاخص‌های PVI1 و DVI با مجموع تولید فرم رویشی چندساله‌های علفی رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد ($P < 0.001$) دارند (شکل‌های ۷، ۸ و ۹). همچنین شاخص‌های WDVI، PVI3 و MSAVI1,2 در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) و شاخص PVI در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) با تولید رابطه مثبت معنی‌داری داشتند. علاوه بر این، شاخص MSAVI1,2 با درصد پوشش گیاهی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد نشان داد. سایر شاخص‌ها از جمله RATIO، WDVI، PVI1، TVI، SAVI، TTVI، CTVI، DVI، PVI3، NDVI و EVI نیز با پوشش گیاهی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشتند. تنها شاخص RVI رابطه منفی معنی‌داری با پوشش گیاهی نشان داد ($P < 0.01$) (شکل ۷).

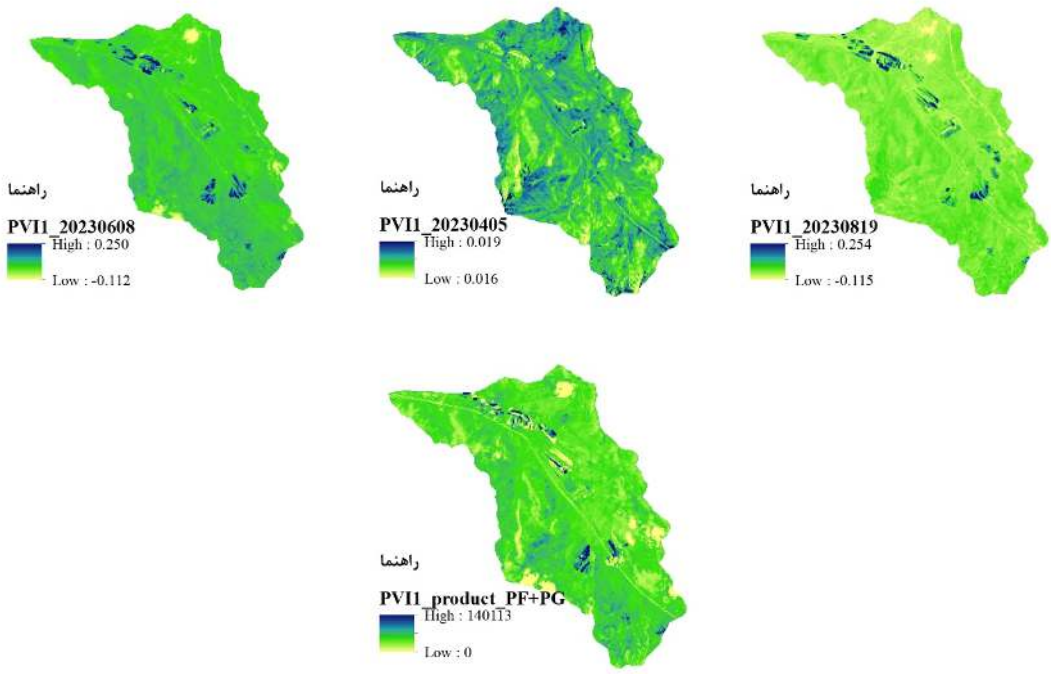


شکل ۷: ارتباط تفریق تصاویر شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8

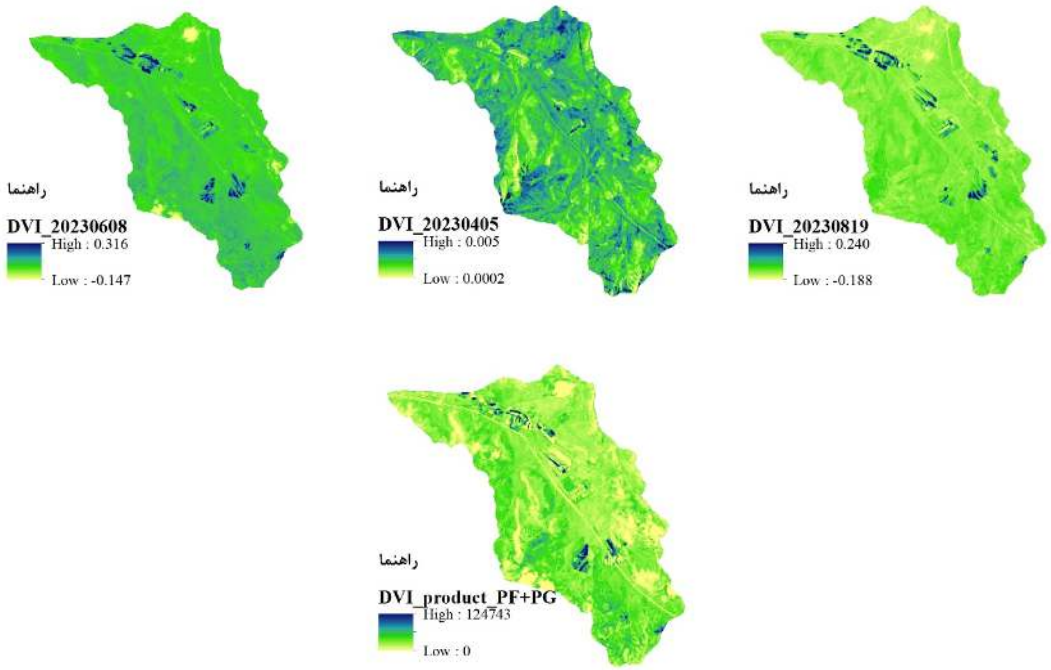
Canopy cover 2 و Product 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل در خرداد ماه

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]



شکل ۸: ارتباط بین تفریق شاخص گیاهی PVI1 و مجموع تولید فرم رویشی چندساله‌های علفی بر اساس تصاویر Landsat-8



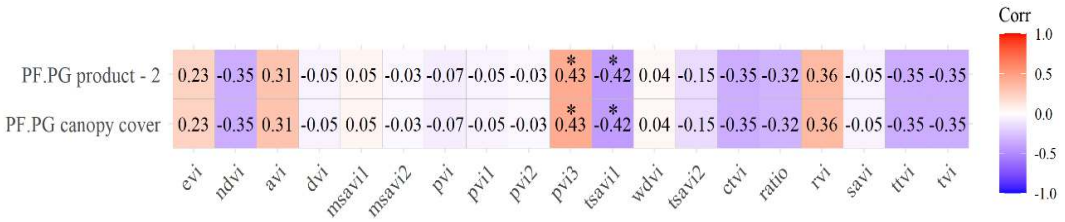
شکل ۹: ارتباط بین تفریق شاخص گیاهی DVI و مجموع تولید فرم رویشی چندساله‌های علفی بر اساس تصاویر Landsat-8

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

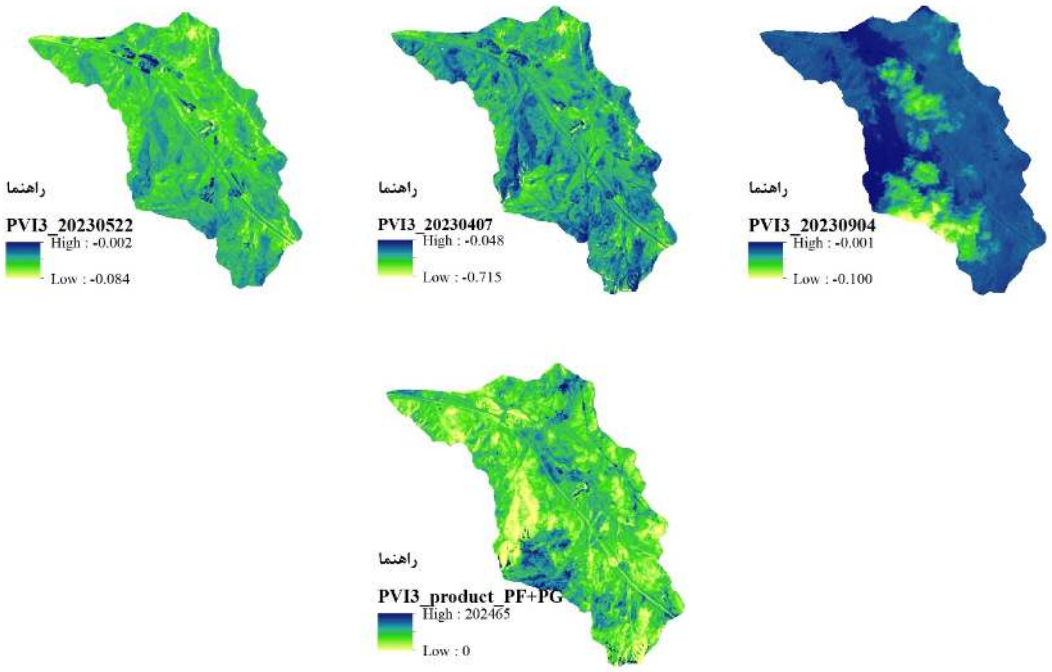
[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

ارتباط تفریق تصاویر Sentinel-2 با چندساله‌های علفی (مجموع پهن‌برگ چندساله و گراس چندساله)

در تحلیل تفریق تصاویر ماهواره‌ای سنتینل -۲، ارتباط شاخص‌های گیاهی با مجموع تولید و پوشش گیاهی چندساله‌های علفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج همبستگی حاصل از تفریق تصاویر سنتینل ماه خرداد (۲۰۲۳/۰۵/۲۲) نشان داد که شاخص PVI3 با مجموع تولید شکل رویشی چندساله علفی و پوشش گیاهی آن‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد ($P < 0.05$). در مقابل، شاخص TSAVI1 با تولید و پوشش گیاهی رابطه منفی معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد ($P < 0.05$) (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).



شکل ۱۰: ارتباط تفریق تصاویر شاخص‌های گیاهی تصویر Sentinel-2
Canopy cover 2 و Product 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل در خردادماه



شکل ۱۱: ارتباط بین تفریق شاخص گیاهی PVI3 و مجموع تولید فرم رویشی چندساله‌های علفی بر اساس تصاویر Sentinel-2

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

بحث و نتیجه‌گیری

سنجش از دور به‌عنوان فناوری کارآمد در مدیریت منابع طبیعی، امکان پایش گستره‌های وسیع مرتعی را با دقت زمانی و مکانی مناسب فراهم می‌کند (۱). یافته‌های این پژوهش نشان داد که شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج‌شده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ توانایی مناسبی در بازتاب تغییرات تولید گیاهی در شکل‌های رویشی مختلف مراتع نیمه‌استپی تنگ صیاد دارند و می‌توانند در بسیاری از موقعیت‌ها جایگزینی مقرون‌به‌صرفه برای روش‌های میدانی سنتی باشند؛ نتیجه‌ای که با گزارش‌های پیشین درباره کارایی داده‌های سنجش از دور در برآورد زیست‌توده همسو است (۱۵، ۱۶ و ۲۱). مبنای این کار، تفاوت رفتار طیفی پدیده‌های سطح زمین در طول زمان است؛ گیاهان بنا بر ساختار، رنگدانه‌ها و وضعیت فیزیولوژیک خود، الگوهای بازتابی متمایزی در باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک نشان می‌دهند. ازاین‌رو، انتخاب شاخص‌های گیاهی مناسب باید متکی بر هدف پژوهش، ویژگی‌های طیفی منطقه، شرایط پس‌زمینه خاک و حسگر مورد استفاده باشد (۷ و ۳۴).

در این پژوهش، روش تفریق تصاویر با هدف برجسته‌سازی تغییرات بین تصاویر هم‌منظر در دوره‌های زمانی مختلف به کار رفت. این رویکرد با حذف مؤلفه‌های نسبتاً ثابت در صحنه، امکان آشکارسازی دقیق‌تر نواحی دستخوش تغییر را فراهم می‌کند؛ موضوعی که در مطالعات پیشین نیز مورد تأیید قرار گرفته است (۲۴ و ۳۷).

نتایج این پژوهش نشان داد که در میان شاخص‌های مورد ارزیابی، شاخص EVI بالاترین همبستگی را با تولید گیاهان یک‌ساله علفی در فروردین ماه دارد. برتری این شاخص را می‌توان به ویژگی ساختاری این شاخص نسبت داد؛ زیرا EVI در مقایسه با شاخص‌های مشابه، نسبت به تغییرات روشنایی پس‌زمینه، اشباع باند قرمز و اثرات اتمسفری حساسیت کمتری دارد و به‌ویژه در پوشش‌های کم تراکم یا نامنظم که از خصوصیات بارز یک‌ساله‌های علفی در مناطق نیمه‌خشک است، عملکرد بهتری ارائه می‌کند. مطالعات متعدد نیز کارایی بالای EVI را در تخمین زیست‌توده در نواحی کم پوشش یا تحت تنش خشکی تأیید کرده‌اند (۱۹). علاوه بر این، الگوی سبزینگی سریع گیاهان یک‌ساله و نوسانات شدید زیست‌توده در بازه‌های کوتاه‌مدت، سبب می‌شود شاخصی مانند EVI که به تغییرات طیفی کوچک و تدریجی حساسیت بیشتری دارد، توان تشخیص بالاتری نسبت به شاخص‌های سنتی مانند NDVI داشته باشد. بنابراین، به‌کارگیری EVI برای پایش پویایی تولید گیاهان یک‌ساله علفی در مناطق نیمه‌استپی، از پشتوانه‌ی علمی و تجربی قابل‌اعتمادی برخوردار است.

در مورد گیاهان چندساله علفی، شاخص‌های PVI1 و DVI در خرداد ماه بهترین عملکرد را نشان دادند و بیشترین همبستگی را با مقادیر تولید اندازه‌گیری شده در عرصه داشتند. گیاهان چندساله علفی در دوره اوج رشد، معمولاً از تراکم و ارتفاع بیشتری نسبت به یک‌ساله‌ها برخوردارند و از همین رو پاسخ طیفی آن‌ها در باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک (NIR) واضح‌تر و رفتار آن خطی‌تر است. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که شاخص‌هایی مانند DVI و PVI در پوشش‌های نسبتاً یکنواخت و با زیست‌توده متوسط تا زیاد، ارتباط قوی‌تری با زیست‌توده واقعی دارند (۳۰ و ۳۶). شاخص DVI اگرچه شاخصی ساده است، اما به‌خوبی از کنتراست بازتابی باندهای قرمز و NIR برای آشکارسازی حضور و تراکم پوشش بهره می‌گیرد و در شرایطی که میزان تغییرات تولید ملموس است، حساسیت بالایی از خود نشان می‌دهد (۲۲).

برای فرم رویشی بوته‌ای، نتایج نشان داد که تنها شاخص EVI توانست همبستگی معناداری با تولید سالیانه و تولید کل بوته‌ها ایجاد کند. دلیل این موضوع را باید در ساختار پیچیده‌تر و چندطبقه‌ای تاج بوته‌ها، سایه‌اندازی درون‌تاجی و ناهمگنی شدید پس‌زمینه خاک جست‌وجو کرد؛ عواملی که بیشتر شاخص‌های ساده قادر به اصلاح آن‌ها نیستند. شاخص EVI با وارد کردن ضرایب اصلاحی برای اثرات خاک، روشنایی و پراکندگی اتمسفری، پاسخ پایدارتری در پوشش‌های پیچیده و ناهمگن ارائه می‌دهد (۱۹ و ۴۱).

از سوی دیگر، عملکرد نسبی بهتر لندست ۸ در برخی تحلیل‌ها ممکن است با یکنواختی نسبی پوشش گیاهی در برخی سایت‌ها مرتبط باشد؛ در حالی که رزولوشن بالاتر سنتینل ۲ در مناطق با ناهمگنی شدید می‌تواند مزیت بیشتری ایجاد کند. با این حال، بهره‌گیری تلفیقی داده‌های

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

لندست، سنتینل و سامانه رادار روزنه مصنوعی (SAR) می‌تواند بر محدودیت‌هایی مانند اثرات ابرناکی، اشباع شاخص‌ها در پوشش‌های متراکم و حساسیت به روشنایی خاک غلبه کرده و دقت پایش را در آینده افزایش دهد (۸). به‌ویژه در مراتع نیمه‌خشک و ناهمگن، ترکیب داده‌های اپتیکی-راداری اطلاعات مکملی درباره ساختار پوشش فراهم می‌کند که نقش مهمی در برآورد دقیق‌تر زیست‌توده دارد.

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که هر چند شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی بسته به نوع شکل رویشی و مرحله فنولوژیک عملکرد متفاوتی دارند، اما شاخص EVI در مجموع سازگاری بیشتری با سه شکل رویشی مورد بررسی (یک‌ساله‌های علفی، چندساله‌های علفی و بوته‌ای‌ها) نشان داده است. حساسیت هم‌زمان این شاخص به تغییرات سبزینگی، کاهش تأثیر پس‌زمینه خاک و توانایی آن در رفع اشباع باند قرمز سبب شده است که در طیفی گسترده از تراکم‌های پوشش، از نواحی کم پوشش تا مناطق با تاج‌های متراکم‌تر، عملکردی پایدار و قابل‌اعتماد ارائه دهد (۱۹ و ۴۱). از این رو، در شرایطی که امکان محاسبه مجموعه‌ای کامل از شاخص‌ها یا اجرای پردازش‌های پیچیده وجود نداشته باشد، می‌توان EVI را به‌عنوان شاخص پایه برای پایش دوره‌ای تولید مرتع پیشنهاد داد.

با وجود کارایی مناسب شاخص‌ها (به‌ویژه شاخص EVI) در این مطالعه، باید به محدودیت‌های مرتبط با مقیاس مکانی پیکسل، ناهمگنی پوشش، عدم هم‌زمانی داده‌های زمینی و ماهواره‌ای و خطاهای ناشی از تغییرات رطوبت خاک و شرایط اتمسفری توجه داشت. چنین عواملی می‌توانند دقت برآورد تولید را در برخی پیکسل‌ها کاهش داده و میزان عدم قطعیت را افزایش دهند (۲۸).

در مجموع، استفاده از روش‌هایی مانند تفریق تصاویر و انتخاب هدفمند شاخص‌های گیاهی می‌تواند برای شناسایی نواحی با روندهای مثبت یا منفی تولید، ارزیابی اثرات عوامل مدیریتی و محیطی بر تولید مرتع و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های مرتعی بسیار مؤثر باشد. ترکیب داده‌های چند سنجنده و توجه هم‌زمان به چرخه‌های فنولوژیک گیاهان، نیز می‌تواند گام مهمی در جهت ارتقای دقت و پایداری برآوردهای تولید گیاهی باشد.

References

1. Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A.A. Naghipour, E. Asadi & J. Verrelst, 2021. Vegetation types mapping using multi-temporal Landsat images in the Google Earth Engine platform. Remote Sensing, 13(22): 4683.
2. Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A.A. Naghipour & E. Asadi, 2022. Development of a Google Earth Image's visual interpretation protocol to determine plant ecological units of the semi-steppe regions. Journal of Rangeland, 16(2): 359-378. (In Persian)
3. Aghababaei, M., A. Ebrahimi, A.A. Naghipour & E. Asadi, 2025. Mapping the plant ecological units to quantify ecosystem services (carbon sequestration) in the semi-steppe rangelands of Chaharmahal va Bakhtiari province. Journal of Rangeland, 18(3): 431-445. (In Persian)
4. Andrew, M.H., I.R. Noble, & R.T. Lange. 1979. A non-destructive method for estimating the weight of forage on shrubs. The Rangeland Journal, 1: 225.
5. Briske, D.D., S.D. Fuhlendorf & F.E. Smeins, 2008. State and transition models, thresholds, and rangeland health: a synthesis of ecological concepts and perspectives. Rangeland Ecology & Management, 61(1): 1-15.
6. Briske, D.D., S. Vetter, C. Coetsee & M.D. Turner, 2024. Rangeland afforestation is not a natural climate solution. Frontiers in Ecology and the Environment, 22(5): e2727.
7. Campbell, J.B. & R.H. Wynne, 2011. Introduction to remote sensing. 5th ed. Guilford Press, 720 p.
8. Cilia, C., C. Panigada, M. Rossini, M. Meroni, L. Busetto, S. Amaducci, M. Boschetti, V. Picchi, & R. Colombo, 2014. Nitrogen status assessment for variable rate fertilization in maize through hyperspectral imagery. Remote Sensing, 6: 6549-6565.
9. Cook, C.W. & J. Stubbendieck, 1986. Range management. Prentice Hall, 300 p.

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

10. Coppin, P., I. Jonckheere, K. Nackaerts, B. Muys & E. Lambin, 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. International Journal of Remote Sensing, 25(9): 1565-1596.
11. Dwivedi, T., K. Sreenivas & K.V. Ramana, 2004. Comparison of classifiers of remote sensing data for land use/land-cover mapping. Current Science, 86: 328-335.
12. Ebrahimi, A.B., M. Bossuyt & M. Hoffmann, 2008. Effects of species aggregation, habitat and season on the accuracy of double-sampling to measure herbage mass in a lowland grassland ecosystem. Grass and Forage Science, 63: 79-85.
13. Farzadmehr, J., H. Arzani, A.A. Darvishsefat & M. Jafari, 2004. Investigation in estimating vegetation cover and phytomass production using enhanced Landsat data in a semi-arid region. Iranian Journal of Natural Resources, 57(1): 339-351. (In Persian)
14. Fenetahun, Y., Y. Yuan, X. Xu & Y. Wang, 2022. Borana rangeland of southern Ethiopia: estimating biomass production and carrying capacity using field and remote sensing data. Rangeland Ecology & Management, 44: 598-606.
15. Foody, G.M., D.S. Boyd & M.E.J. Cutler, 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. Remote Sensing of Environment, 85: 463-474.
16. Foody, G.M. & A. Mathur, 2006. A relative evaluation of multi-class image classification by support vector machines, artificial neural networks and decision trees. Remote Sensing of Environment, 100(4): 485-495.
17. Heidari Ghahfarrokhi, Z., P. Tahmasebi & A.A. Naghipour, 2023. Relationship between plant diversity and functional diversity indices with landscape function analysis (LFA) functionalities. Journal of Rangeland, 18(1): 132-151. (In Persian)
18. Holechek, J.L., R.D. Pieper & C.H. Herbel, 2011. Range management: principles and practices. Pearson, 448 p.
19. Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao & L.G. Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83(1-2): 195-213.
20. Kennedy, R.E., Z. Yang & W.B. Cohen, 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr—temporal segmentation algorithms. Remote Sensing of Environment, 114(12): 2897-2910.
21. Kumar, L., P. Sinha, S. Taylor & A.F. Alqurashi, 2015. Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. Journal of Applied Remote Sensing, 9: 097696.
22. Lillesand, T., R.W. Kiefer & J. Chipman, 2015. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, 768 p.
23. Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio & E. Moran, 2004. Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 25(12): 2365-2401.
24. O'Byrne, M., B. Ghosh, F. Schoefs & V. Pakrashi, 2019. Image-based damage assessment for underwater inspections. Butterworth-Heinemann, 230 p.
25. Omidipoor, R. & P. Tahmasebi, 2017. Evaluating species abundance distribution based on niche apportionment models in different bioclimatic regions. Journal of Rangeland, 10(4): 483-495. (In Persian)
26. Pettorelli, N., J.O. Vik, A. Mysterud, J.M. Gaillard, C.J. Tucker & N.C. Stenseth, 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. Trends in Ecology & Evolution, 20(9): 503-510.
27. Qi, J., A. Chehbouni, A.R. Huete, Y.H. Kerr & S. Sorooshian, 1996. A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI). Remote Sensing of Environment, 48(2): 119-126.
28. Reeves, M., R. Washington-Allen, J. Angerer, E.R. Hunt, W. Kulawardhana, L. Kumar, T. Loboda, T. Loveland, G. Metternicht, R.D. Ramsey & J.V. Hall, 2024. A global view of remote sensing of rangelands: evolution, applications, future pathways. In Remote Sensing Handbook, Volume III (pp. 361-418). CRC Press.
29. Retallack, A., S. Rifai, G. Finlayson, B. Ostendorf & M. Lewis, 2024. Remote sensing for rangeland conservation monitoring: impacts of livestock removal after 15 years. Journal of Applied Ecology, 61(9): 2111-2122.

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]

30. Richardson, A.J. & C.L. Wiegand, 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12): 1541-1552.
31. Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10(6): 989-1006.
32. Soltani, S., L. Yaghmaei, M. Khodagholi & R. Saboohi, 2011. Bioclimatic classification of Chahar-Mahal & Bakhtiari province using multivariate statistical methods. Journal of Water and Soil Science (JWSS)–Isfahan University of Technology, 14(54): 53-68. (In Persian)
33. Tahmasebi, P., A. Ebrahimi & N. Yarali, 2012. The most appropriate quadrate size and shape for determining some characteristics of a semi-steppic rangeland. Journal of Range and Watershed Management, 65(2): 203-216. (In Persian)
34. Theau, J., T.T. Sankey & K.T. Weber, 2010. Multisensor analyses of vegetation indices in a semiarid environment. GIScience and Remote Sensing, 47(2): 260-275.
35. Thenkabail, P.S., J.G. Lyon & A. Huete, 2004. Advances in hyperspectral remote sensing of vegetation. Remote Sensing of Environment, 91(1): 3-15.
36. Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2): 127-150.
37. Umbaugh, S.E., 2017. Digital image processing and analysis. CRC Press, 897 p.
38. Wang, F., 2002. A knowledge-based vision system for detecting land changes at urban fringes. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 31(1): 136-145.
39. Wong, W.Y., J.G. Cawson, T.J. Duff, P.N. Lane & G.J. Sheridan, 2025. Understanding drivers and dynamics of potential heat release in wet sclerophyll forests. Fire Ecology, 21(1): 51.
40. Zhang, S. & L. Xu, 2008. Comparative study of three methods of remote sensing image change detection. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37: 1595-1598.
41. Zhou, Y., L. Zhang, J. Xiao, S. Chen, T. Kato & G. Zhou, 2014. A comparison of satellite-derived vegetation indices for approximating gross primary productivity of grasslands. Rangeland Ecology & Management, 67(1): 9-18.

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

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.1.4.4]