

Estimation of vegetation cover and aboveground biomass using satellite images in the arid rangelands of western Iran

Masoud Safari¹, Marzban Faramarzi^{2*}, Reza Omidipour³, Hassan Fathizad⁴

1-MSc in Desert Management and Control, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2*-Corresponding author, Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, Email: m.faramarzi@ilam.ac.ir

3-Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

4-PhD in Combating Desertification, Department of Management Arid and Desert Regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

Received: 01/23/2025

Revised: 02/24/2025

Accepted: 04/07/2025

Published: 05/14/2025

Abstract

Background and Objective

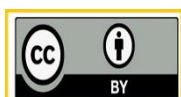
Vegetation cover and aboveground biomass are critical components of arid and semi-arid ecosystems, playing a vital role in environmental sustainability, carbon sequestration, biodiversity conservation, and providing forage for both domestic and wild herbivores. Due to their high sensitivity to environmental changes, these regions require accurate and continuous monitoring. In recent decades, the use of vegetation indices derived from remote sensing data has emerged as a promising approach for modeling vegetation cover and biomass in natural resource management. However, these indices have been less thoroughly evaluated in arid and semi-arid areas. This study aims to assess the efficiency of Landsat 8 and Sentinel-2 satellite imagery and various vegetation indices in modeling vegetation cover and aboveground biomass in the arid rangelands of western Iran, using linear regression methods.

Materials and Methods

This study was conducted in the arid rangelands of Ilam Province, western Iran. Field data were collected using a random-systematic sampling method across 50 plots (30 × 30 meters) during the peak growing season and prior to livestock grazing. In each plot, the percentage of live vegetation cover, litter, bare soil, and gravel was recorded. Aboveground biomass was measured by clipping vegetation at ground level and weighing the oven-dried samples. Satellite images from Landsat 8 and Sentinel-2, corresponding to the same period as the field sampling, were acquired. Both slope-based vegetation indices, such as NDVI and EVI, and distance-based indices, such as MSAVI and SAVI, were extracted using ENVI and ArcGIS software. Linear regression analysis was employed to model vegetation cover and aboveground biomass. The performance of the selected indices was evaluated using the coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE).

Results

The results indicated that distance-based vegetation indices, such as MSAVI, outperformed slope-based indices in modeling vegetation cover and aboveground biomass. The MSAVI index derived from Landsat imagery provided the highest accuracy, with an R^2 of 0.19 for vegetation cover and



0.21 for biomass. Linear regression modeling showed that vegetation cover in the study area ranged from 5% to 81%. Additionally, the estimated aboveground biomass ranged from 6.8 to 58.4 grams per square meter (gm^2). According to the results, when using slope-based indices such as NDVI, Sentinel-2 imagery yielded more accurate vegetation cover modeling compared to Landsat imagery. However, when distance-based indices were applied, Landsat imagery delivered significantly higher accuracy, while the accuracy of Sentinel-2 images decreased relative to their performance with slope-based indices.

Conclusion

The results of this study indicated that the accuracy of vegetation cover modeling is influenced by both the types of indices used and the spatial resolution of satellite data. For slope-based indices like the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Sentinel imagery demonstrated higher accuracy than Landsat for estimating vegetation cover. Conversely, for distance-based indices, Landsat imagery provided better accuracy, while the precision of Sentinel imagery decreased under these conditions. These findings emphasize the importance of selecting appropriate spectral indices tailored to specific regional characteristics, as this choice can significantly impact modeling accuracy. Furthermore, the results highlight that in arid regions, distance-based indices may be more effective, as they mitigate the impact of bare soil reflectance and provide more reliable information about vegetation cover. This research offers a foundation for optimizing remote sensing methodologies in future studies.

Keywords: Landsat, linear regression, modelling, Sentinel, vegetation Index.

برآورد پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مراتع خشک غرب ایران

مسعود صفری^۱، مرزبان فرامرزی^{۲*}، رضا امیدپور^۳ و حسن فتحی‌زاد^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، پست‌الکترونیک: m.faramarzi@ilam.ac.ir

۳- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱۰۷/۰۴

چکیده

سابقه و هدف

پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی از اجزای کلیدی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند و نقش مهمی در پایداری محیط، ترسیب کربن، حفظ تنوع زیستی و تأمین چراگاه برای دام‌های اهلی و وحشی دارند. این مناطق به دلیل حساسیت بالا به تغییرات محیطی، نیازمند پایش دقیق و مداوم هستند. در دهه‌های اخیر، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور برای مدل‌سازی پوشش و زیتوده گیاهی به‌عنوان روشی مؤثر در مدیریت منابع طبیعی مطرح شده است. با این حال، در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمتر به بررسی و ارزیابی دقیق این شاخص‌ها پرداخته شده است. هدف این تحقیق، ارزیابی کارایی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ و شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی در مدل‌سازی پوشش و زیتوده گیاهی مراتع خشک غرب ایران با استفاده از روش رگرسیون خطی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مراتع خشک استان ایلام انجام شد. داده‌های میدانی شامل اندازه‌گیری پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی در ۵۰ پلات ۳۰×۳۰ متری به‌صورت تصادفی سیستماتیک جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری در فصل اوج رشد گیاهان و قبل از چرای دام انجام گردید. در هر پلات، درصد پوشش گیاهی زنده، لاشبرگ، خاک لخت و سنگ‌ریزه ثبت شد و زیتوده روزمینی با قطع پوشش گیاهی از سطح خاک و توزین نمونه‌های خشک‌شده اندازه‌گیری گردید.

تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ برای دوره زمانی مشابه با نمونه‌برداری میدانی تهیه شدند. شاخص‌های پوشش گیاهی شیب‌محور مانند NDVI و EVI و شاخص‌های فاصله‌محور مانند MSAVI و SAVI با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS استخراج گردیدند. برای مدل‌سازی پوشش گیاهی و زیتوده، از روش رگرسیون خطی استفاده شد. شاخص‌های منتخب با مقایسه آماره‌های ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ارزیابی شدند.

نتایج

نتایج نشان داد که شاخص‌های فاصله‌محور مانند MSAVI نسبت به شاخص‌های شیب‌محور در مدل‌سازی پوشش و زیتوده گیاهی عملکرد بهتری داشتند. شاخص MSAVI، مستخرج از تصاویر لندست، با R^2 برابر با ۰/۱۹ برای پوشش گیاهی و ۰/۲۱ برای زیتوده، بالاترین دقت را ارائه کرد. مدل‌سازی پوشش گیاهی با روش رگرسیون خطی نشان داد که درصد پوشش گیاهی در منطقه بین ۵ تا ۸۱ درصد متغیر است. همچنین، برآورد زیتوده روزمینی در منطقه با استفاده از این روش در محدوده ۶/۸ تا ۵۸/۴ گرم در متر مربع قرار داشت. براساس نتایج، هنگام استفاده از شاخص‌های شیب‌محور مانند NDVI، دقت مدل‌سازی پوشش گیاهی با تصاویر سنتینل بیشتر از تصاویر لندست بود. اما در شرایط استفاده از شاخص‌های فاصله‌محور، تصاویر لندست دقت به‌مراتب بالاتری ارائه کردند، در حالی که دقت تصاویر سنتینل در این حالت نسبت به شاخص‌های شیب‌محور کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد مدل‌سازی پوشش گیاهی وابسته به نوع شاخص‌های مورد استفاده و تفکیک مکانی داده‌های ماهواره‌ای است. در شاخص‌های شیب‌محور مانند NDVI، تصاویر سنتینل دقت بیشتری نسبت به تصاویر لندست در برآورد پوشش گیاهی داشتند. در مقابل، در شاخص‌های فاصله‌محور، تصاویر لندست دقت بالاتری ارائه کردند، در حالی که دقت تصاویر سنتینل در این شرایط کاهش یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب مناسب شاخص‌های طیفی متناسب با شرایط منطقه‌ای می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر دقت مدل‌سازی داشته باشد. علاوه بر این، نتایج تأکید می‌کند که در مناطق خشک، شاخص‌های فاصله‌محور ممکن است عملکرد بهتری داشته باشند، زیرا اثرهای بازتاب خاک لخت را کاهش می‌دهند و اطلاعات دقیق‌تری در مورد پوشش گیاهی فراهم می‌کنند. این نتایج می‌تواند مبنایی برای بهینه‌سازی روش‌های سنجش از دور در مطالعات آینده باشد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون خطی، سنتینل، شاخص گیاهی، لندست، مدل‌سازی

مقدمه

پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی شرایط محیطی و پایش زمانی اکوسیستم‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند. این شاخص‌ها نقش اساسی در پایداری محیطی و مدیریت منابع طبیعی دارند (Pringle et al., 2012; Riquelme et al., 2024; Riquelme et al., 2022). با توجه به گستره وسیع مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران و حساسیت بالای این مناطق به تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی، پایش و مدیریت بهینه کمیت و کیفیت پوشش گیاهی و زیتوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. قابلیت سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در تلفیق داده‌های اطلاعاتی حاصل از عملیات‌های میدانی و سنجش از دور به مراتب بالاتر از روش‌های سنتی بوده و بدیهی است که نتیجه گویاتر و از دقت بالاتری برخوردار است (Avazpour et al., 2021). تنک بودن پوشش گیاهی در بیشتر مناطق خشک کشور شرایط خاصی از لحاظ نوع بازتاب امواج الکترومغناطیسی بوجود آورده است. ضعیف بودن پوشش گیاهی در چنین مناطقی باعث می‌شود که خاک زمینه اثر بازتابش گیاه را تحت تأثیر خود قرار داده و بر آن چیره شود (Huete, 2002; Huete et al., 1988). علاوه بر این، زیتوده روزمینی به‌عنوان یکی از عناصر اصلی اکوسیستم‌های خشکی، نقشی کلیدی در چرخه کربن و مطالعات مرتبط با تغییرات اقلیمی دارد. اهمیت این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک

به‌ویژه به‌دلیل کمبود منابع آب و حساسیت بالای این مناطق به تغییرات زیست‌محیطی برجسته‌تر است (Li et al., 2020). روش‌های سنتی نمونه‌برداری زمینی با وجود دقت بالا، محدودیت‌هایی مانند هزینه و زمان بالا دارند. از سوی دیگر، سنجش از دور به عنوان ابزاری مؤثر برای پایش و مدیریت منابع طبیعی مطرح شده و تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است (Jiang et al., 2006; Lu et al., 2019). به‌طور مشخص، مطالعاتی مانند Riquelme و همکاران (۲۰۰۲) نشان داده‌اند که مدل‌های توسعه‌یافته برای مدل‌سازی زیتوده در مناطق خشک می‌توانند قابلیت بالایی در تخمین دقیق این متغیرها داشته باشند. نظارت بر پوشش گیاهی و زیتوده در طول زمان و مکان، ابزاری مؤثر برای ارزیابی روند بیابان‌زایی در مقیاس جهانی و اقدامات مدیریتی در سطح محلی یا منطقه‌ای است (Helldén & Tottrup, 2008). در سال‌های اخیر، فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، همراه با شاخص‌های مختلف، به‌طور گسترده برای محاسبه زیتوده روزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از دهه ۱۹۸۰، شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI که از بازتاب باندهای قرمز و مادون قرمز بدست می‌آید، به‌طور گسترده استفاده شده و توسعه شاخص‌های جدید ادامه یافته است. این شاخص‌ها، با فراهم کردن اطلاعات در مقیاس‌های مکانی و زمانی گسترده، نظارت بر پویایی پوشش گیاهی و زیتوده را تسهیل کرده‌اند (Tian et al., 2015).

[Riquelme](#) و همکاران (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که انتخاب روش‌های مناسب برای تخمین زیتوده در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تصمیمات مدیریتی را بهبود می‌بخشد. با توجه به این موارد، در این تحقیق سعی بر آن است تا پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی مراتع با استفاده از شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی سنجش از دوری مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل مدل‌سازی و تهیه نقشه پوشش در مناطق خشک استان ایلام پردازد. در این بین کارایی روش‌های مرسوم مدل‌سازی تجربی نیز مورد مقایسه قرار خواهند گرفت. نتایج این تحقیق می‌تواند ابزارهای مؤثری برای پایش و مدیریت بهینه پوشش گیاهی و زیتوده در مناطق خشک ارائه داده و برای ارتقای پایداری محیط در این اکوسیستم‌ها کمک‌کننده باشد.

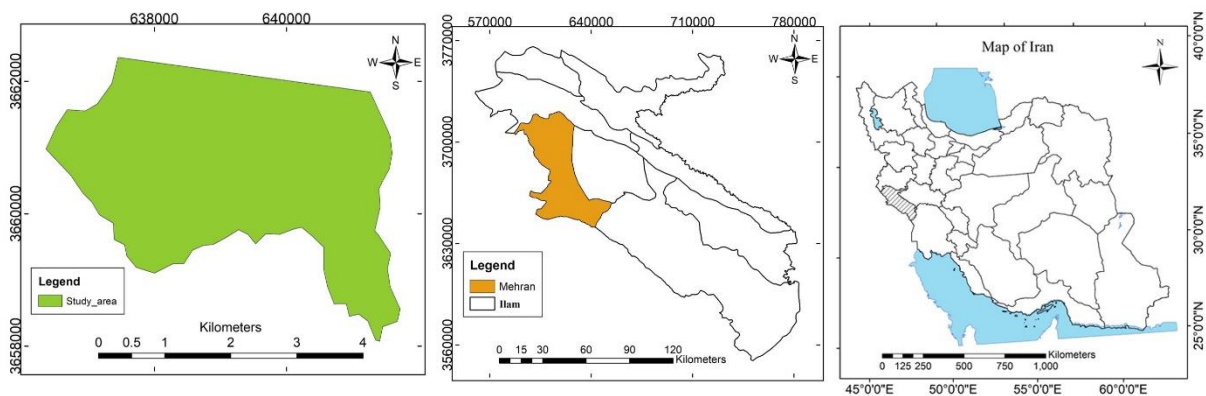
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل حوزه آبخیز پایین‌دست روستای چالاب از توابع شهرستان مهران می‌باشد (شکل ۱). این منطقه در محدوده جغرافیایی $33^{\circ} 51' 3''$ شمالی و $47^{\circ} 30' 46''$ تا $45^{\circ} 27' 46''$ شرقی قرار دارد. این منطقه دارای مساحتی در حدود ۱۲۸۰ هکتار و دامنه ارتفاعی آن بین ۳۰۷ تا ۳۸۱ متر از سطح دریا متغیر است. شیب عمومی منطقه کمتر از ۵ درصد بوده و گونه گیاهی غالب آن کنار (*Ziziphus spina-christi* (L.) Desf.) و گیاهان یکساله علفی است. همچنین نوع دام غالب در منطقه شامل بز و گوسفند می‌باشد. اقلیم منطقه براساس روش دمارتن ([De Martonne, 1926](#)) خشک می‌باشد و با توجه به اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان مهران، متوسط بارندگی سالانه آن ۲۳۶/۱ میلی‌متر است. متوسط درجه حرارت سالانه ۲۴/۷ درجه سانتیگراد می‌باشد (سالنامه آماری استان ایلام، ۱۳۹۸).

بنابراین می‌توان گفت که در برآورد زیتوده و پوشش گیاهی می‌توان از شاخص‌ها، معیارها و حتی تصاویر ماهواره‌ای متفاوتی استفاده نمود. همچنین با توجه به رابطه مستقیم بازتابش در دو باند قرمز و مادون قرمز با درصد پوشش گیاهی زنده، بیشتر مطالعات در مناطق با پوشش گیاهی متوسط تا متراکم (از قبیل جنگل‌ها) انجام شده و کمتر مطالعه‌ای به مناطق خشک و نیمه‌خشک اختصاص یافته است. زیرا وجود درصد بالایی از خاک لخت و تنک بودن پوشش گیاهی از مهمترین مشکلات استفاده از سنجش از دور در این قبیل مناطق است ([Omidipour et al., 2020](#)). به همین دلیل، بررسی کارایی تصاویر ماهواره و شاخص‌های پوشش گیاهی در مناطق خشک از اهمیت مدیریتی بالایی برخوردار است. پوشش گیاهی نه تنها بخش اصلی اکوسیستم‌های خشکی می‌باشد، بلکه نقش بسیار مهمی در تبادلات انرژی، چرخه آب و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در سطح زمین دارد ([Peng et al., 2012](#)).

با وجود تحقیقات گسترده در سطح جهانی درباره پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی، مطالعات در مناطق خشک و بیابانی همچنان محدود است. از آنجا که بخش عمده‌ای از مساحت ایران در این اقلیم قرار دارد، ارزیابی دقیق شاخص‌های پوشش گیاهی و بررسی قابلیت مدل‌های سنجش از دور در این مناطق ضرورت دارد. بنابراین بررسی و مقایسه نتایج روش‌های مختلف مدل‌سازی با استفاده از شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی می‌تواند نتایج بسیار مهم و کلیدی برای مدیران منابع طبیعی و انتخاب شیوه‌های صحیح مدیریتی فراهم نماید. همچنین مقایسه کارایی تصاویر ماهواره‌ای مختلف در مناطق مختلف نیز می‌تواند در دستیابی به نتایج بهتر بسیار مهم باشد. بعلاوه مناطق نیمه‌خشک جهان هریک دارای شرایط و خصوصیات ویژه‌ای می‌باشند. بنابراین ارزیابی‌های محلی در مناطق مختلف می‌تواند راهگشای بسیاری از امور مدیریتی در این مناطق باشد ([Zolfaghari et al., 2019](#)). همچنین، مطالعاتی مانند



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و استان ایلام

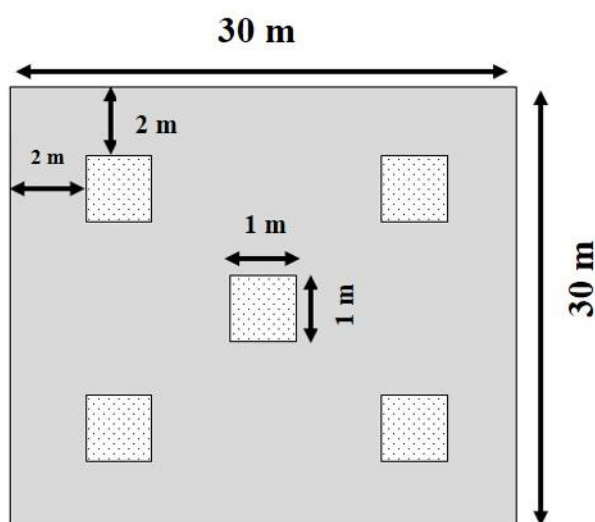
Figure 1- Location of the study area in Iran and Ilam province

درصد خاک لخت ثبت شد. همچنین برای تعیین میزان زیتوده گیاهی، تمامی پوشش گیاهی زنده درون هر میکروپلات 1×1 مترمربعی از ارتفاع یک سانتی‌متری سطح خاک قطع و پس از خشک شدن توزین گردید ([Faramarzi et al., 2010](#)). اندازه‌گیری زیتوده گیاهان بوته‌ای براساس روش شاخص بود که در آن یک شاخه از گونه مورد نظر برداشت و با مقایسه آن شاخه با گونه اصلی، مقدار زیتوده آن تخمین زده شد. در پایان هر روز از نمونه‌برداری، شاخص‌های گیاهان بوته‌ای جمع‌آوری و پس از خشک کردن توزین گردید.

استفاده از پنج پلات و میانگین‌گیری از آنها به‌عنوان یک واحد نمونه، دقت داده‌ها را افزایش داده و از خطای تکرار کاذب جلوگیری می‌کند. این رویکرد نه تنها به همگنی داده‌ها کمک می‌کند، بلکه موجب کاهش انحراف داده‌ها و افزایش دقت در مدل‌سازی می‌شود. علاوه بر این، در این مطالعه، اندازه میکروپلات‌ها (30×30 متر) با ابعاد پیکسل تصاویر لندست ۸ تطابق دارد و برای سنتینل ۲ از میانگین‌گیری چندین پیکسل مجاور برای استخراج اطلاعات پوشش گیاهی استفاده شده است. این روش امکان تحلیل بهتر و کاهش خطا در برآوردهای پوشش گیاهی را فراهم می‌کند.

نمونه‌برداری از پوشش و زیتوده گیاهی

نمونه‌برداری در عرصه مطابق با زمان اوج رشد گونه‌های گیاهی در اوایل و اواسط فروردین‌ماه انجام شد. انتخاب این تاریخ به دلیل ماهیت گرمسیری منطقه و برای تهیه اطلاعات پیش از آغاز چرای دام در منطقه بود. نمونه‌برداری با استفاده از طرح تصادفی-سیستماتیک انجام شد که در آن از ماکروپلات‌های 30×30 مترمربعی برای برداشت اطلاعات پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی استفاده گردید ([Omidipour et al., 2020](#)). در این روش، ابتدا موقعیت پلات‌ها به‌صورت تصادفی در عرصه تعیین شد. سپس نمونه‌برداری با استفاده از ۵ پلات یک مترمربعی در داخل هر ماکروپلات انجام شد. این فرایند (استفاده از دو سطح نمونه‌برداری) به دلیل از بین بردن خطای تکرار کاذب در واحدهای نمونه‌برداری بود. در مجموع، نمونه‌برداری با استفاده از ۵۰ ماکروپلات 30×30 مترمربعی و ۲۵۰ میکروپلات ۱ مترمربعی انجام شد. نمایی از نحوه قرارگیری میکروپلات‌های ۱ مترمربعی در شکل ۲ نشان داده شده است. درون هر پلات درصد مؤلفه‌های پوشش شامل چهار مؤلفه ۱- درصد پوشش گیاهی زنده، ۲- درصد لاشبرگ یا پوشش گیاهی خشک، ۳- درصد سنگ و سنگریزه و ۴-



شکل ۲-نمایی از ماکروپلات و میکروپلات‌های مورد استفاده برای نمونه‌برداری پوشش و زیتوده روزمینی

Figure 2- View of the macroplots and microplots used for sampling vegetation cover and aboveground biomass.

شدند؛ پس از تهیه تصاویر مورد نیاز، برای پیش‌پردازش و پردازش‌هایی از جمله تهیه شاخص‌های مرسوم پوشش گیاهی براساس روابط آنها (جدول ۲) با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و Idrisi Terrset محاسبه و اطلاعات مربوط استخراج گردید و به صورت نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی در نرم‌افزار ArcGIS خروجی آنها تهیه شد. برای این منظور، مقدار شاخص مورد نظر را برای ۲۵۰ پلات یک در یک محاسبه و از هر ۵ پلات یک میانگین گرفته شد و ۵۰ پلات را در محیط R به ماتریس اضافه نموده و مدل سازی با استفاده از رگرسیون خطی انجام شد.

تهیه تصاویر ماهواره‌ای و استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی

در این تحقیق از تصاویر دو ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ استفاده شد (جدول ۱). این تصاویر برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر رایگان فراهم شده در پایگاه زمین‌شناسی آمریکا (USGS) برای ردیف و گذر (Row and Path) ۱۶۷-۰۳۷ در زمان متناظر با نمونه‌برداری و از میان تصاویر دارای حداقل درصد ابرناکی انتخاب و بعد دریافت شدند. تصاویر ماهواره سنتینل نیز از نرم‌افزار Google Earth Engine و به صورت کدنویسی دانلود و تهیه

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه

Table 1- Characteristics of satellite images used in this study

Satellite	Sensor	Spatial Resolution (m)	Date	Cloud Cover (%)
Landsat 8	OLI	30	2022/05/09	0.0
Sentinel 2	Sentinel-2	10 (Bands 2, 3, 4, and 8)*	2022/05/09	0.0

*: باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ به ترتیب باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد.

*Bands 2, 3, 4, and 8 correspond to the blue, green, red, and near-infrared (NIR) bands, respectively.

بالا تر (سنتینل ۲) به صورت میانگین‌گیری در محدوده پیکسل‌های معادل سنجنده با تفکیک مکانی پایین‌تر (لندست ۸) پردازش شدند. این روش امکان هماهنگ‌سازی داده‌ها را

در این مطالعه، به منظور مقایسه دو سنجنده با دقت تفکیک مکانی متفاوت، از روش نمونه‌برداری مقیاس‌پذیر استفاده شده است. به ویژه، داده‌های سنجنده با تفکیک مکانی

فراهم کرده و مقایسه شاخص‌های پوشش گیاهی را بین دو سنجنده امکان‌پذیر می‌سازد (Gao, 1996).

مدل‌سازی پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی

در این تحقیق برای مدل‌سازی پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی از مدل‌های رگرسیون خطی استفاده شد. بعلاوه، طیف گسترده‌ای از شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفتند. با این حال، نتایج نشان داد که برخی از شاخص‌ها دقت بالاتری در مدل‌سازی پوشش و زیتوده گیاهی دارند. بنابراین، تنها شاخص‌هایی که بیشترین صحت و دقت را در برآورد پوشش گیاهی نشان دادند، در این متن ارائه شده‌اند. از میان شاخص‌های شیب مبنا از Ratio, CTVI و NDVI استفاده شد. شاخص‌های شیب مبنا (Slope based vegetation index) اثر خط خاک را از بین

نمی‌برند. با توجه به اینکه افزایش درصد خاک بدون پوشش موجب افزایش بازتابش و سطح زمین می‌گردد، دریافت بازتابش مربوط به پوشش در تصاویر ماهواره‌ای دارای خطا می‌باشد. به همین دلیل گروهی از شاخص‌های پوشش گیاهی با هدف اصلاح اثرهای بازتابش خاک توسعه یافتند که به عنوان شاخص‌های فاصله محور (Distance based vegetation index) معروف هستند (Omidipour et al., 2020). شاخص‌های فاصله مبنا براساس فاصله عمودی نمونه مورد نظر از خط خاک در نمودار طیفی باند قرمز در برابر مادون قرمز که از تقابل بین بازتاب طیفی نمونه‌هایی از نقاط عاری از پوشش گیاهی حاصل می‌شود، محاسبه می‌شوند. از میان شاخص‌های فاصله‌ای در این تحقیق از SAVI و MSAVI استفاده شد.

جدول ۲- فهرست شاخص‌های پوشش گیاهی به همراه روابط آنها

Table 2- List of vegetation indices along with their equations.

Vegetation Index	Abbreviation	Group	Formula
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	Slope-Based	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
Corrected Transformed Vegetation Index	CTVI	Slope-Based	$\frac{NDVI + 0.5}{ABS(NDVI + 0.5)} \times \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$
Ratio Index	Ratio	Slope-Based	NIR/Red
Modified Soil Adjusted Vegetation Index 1	MSAVI 2	Distance-Based	$\frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2}$
Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI	Distance-Based	$\frac{NIR - Red}{(NIR + Red + L)} \times (1 + L)$

NIR: باند مادون قرمز نزدیک، Red: باند قرمز، L: فاکتور تعدیل کننده خاک (مقدار آن برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است)

NIR: Near-infrared band, Red: Red band, L: Soil adjustment factor (set to 0.5 in this study)

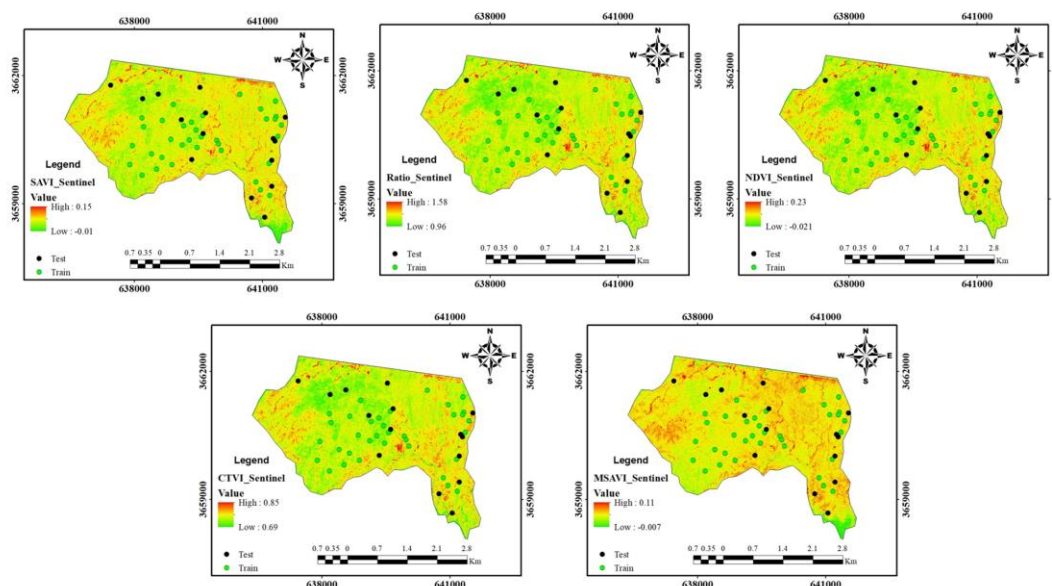
نتایج

شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره سنتینل نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس

ارزیابی دقت مدل‌ها

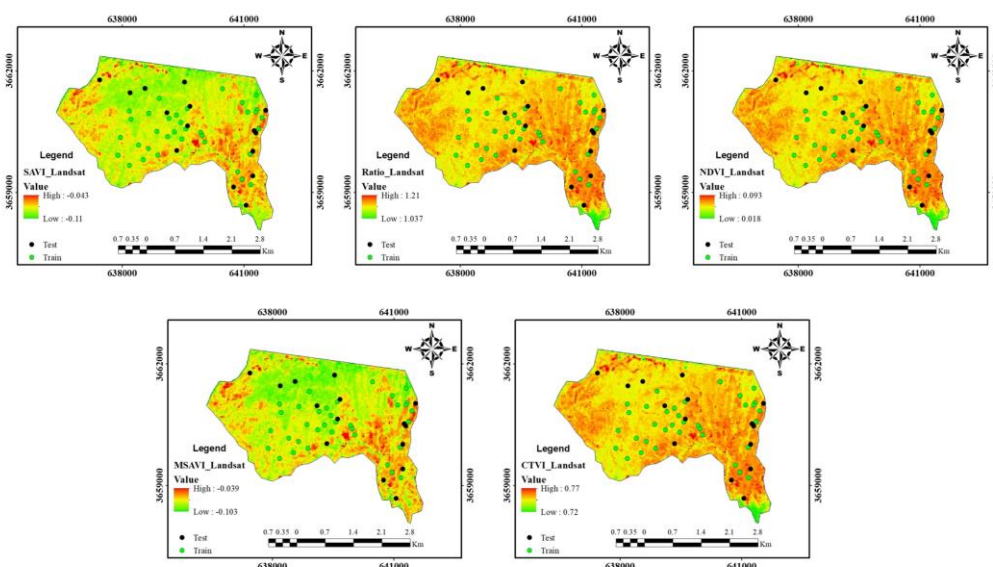
برای تعیین بهترین شاخص پوشش گیاهی (جدول ۲) به عنوان پیش‌گو پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی، از رگرسیون و آماره‌های ضریب تبیین و سطح معنی داری استفاده شد.

نتایج، کمترین مقدار شاخص‌ها در مناطق مرکزی بوده و حاشیه‌های مرز منطقه مورد مطالعه دارای درصد پوشش گیاهی بالاتری هستند (شکل ۳)



شکل ۳- نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲

Figure 3- Map of vegetation indices derived from Sentinel 2 satellite imagery.



شکل ۴- نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای لندست

Figure 4- Map of vegetation indices derived from Landsat satellite imagery.

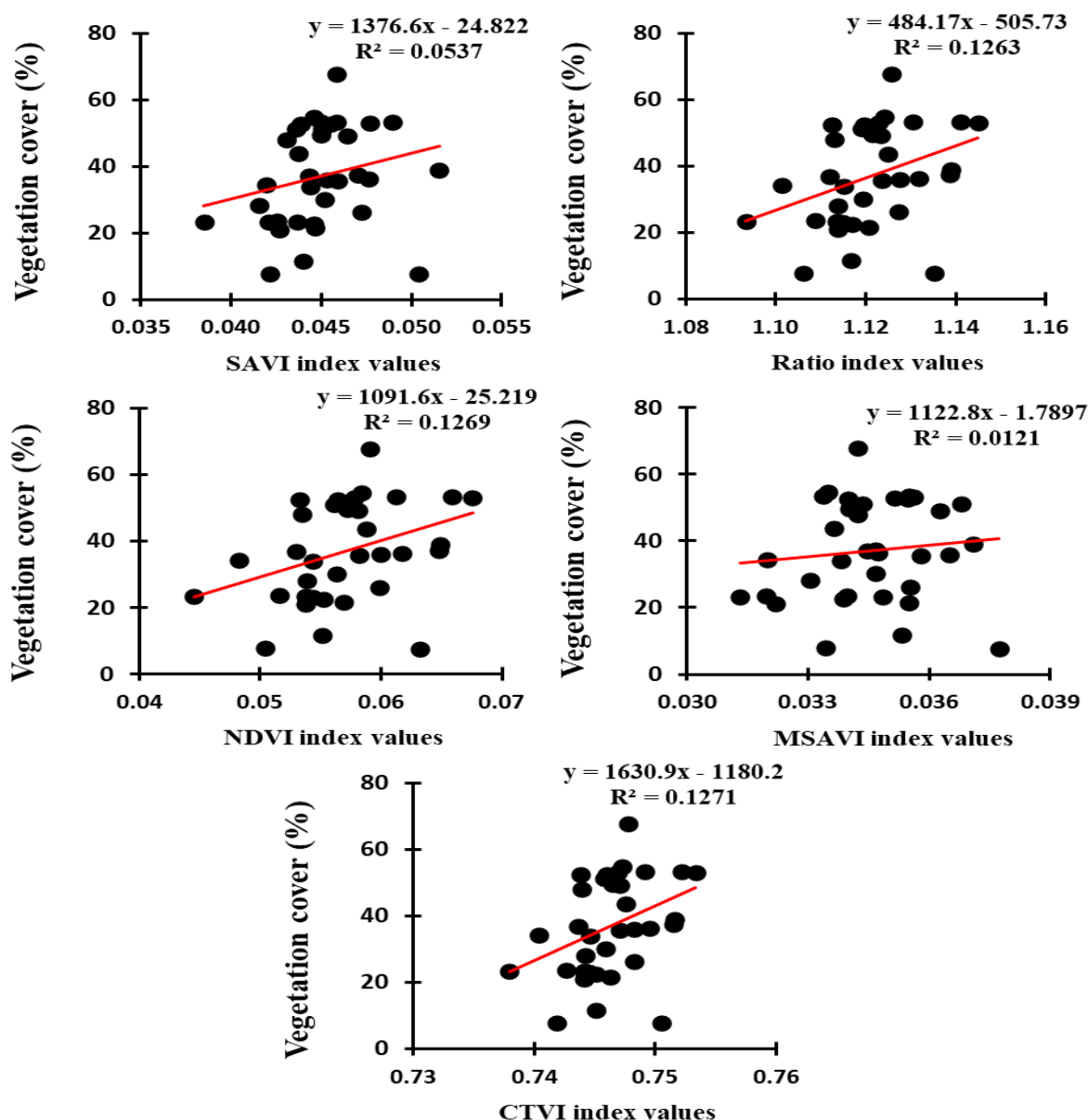
ماهواره‌ای لندست در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج، مشابه با تصاویر ماهواره‌ای سنتینل، کمترین مقدار

شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره لندست نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی بدست آمده از تصاویر

شیب-مبنا (Slope-Based) دارای ارتباط بهتری با پوشش گیاهی بودند (شکل ۵). براساس نتایج، شاخص‌های CTVI ($R^2 = 0.1271$)، NDVI ($R^2 = 0.1269$) و Ratio ($R^2 = 0.1263$) دارای بهترین ارتباط با پوشش گیاهی برداشتی از سطح منطقه بودند.

شاخص‌ها در مناطق مرکزی و بیشترین مقدار آن در سایر مناطق مشاهده شد (شکل ۴).

مدل‌سازی پوشش گیاهی ماهواره سنتینل
مدل‌سازی پوشش گیاهی با استفاده از رگرسیون خطی
و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل نشان داد که شاخص‌های

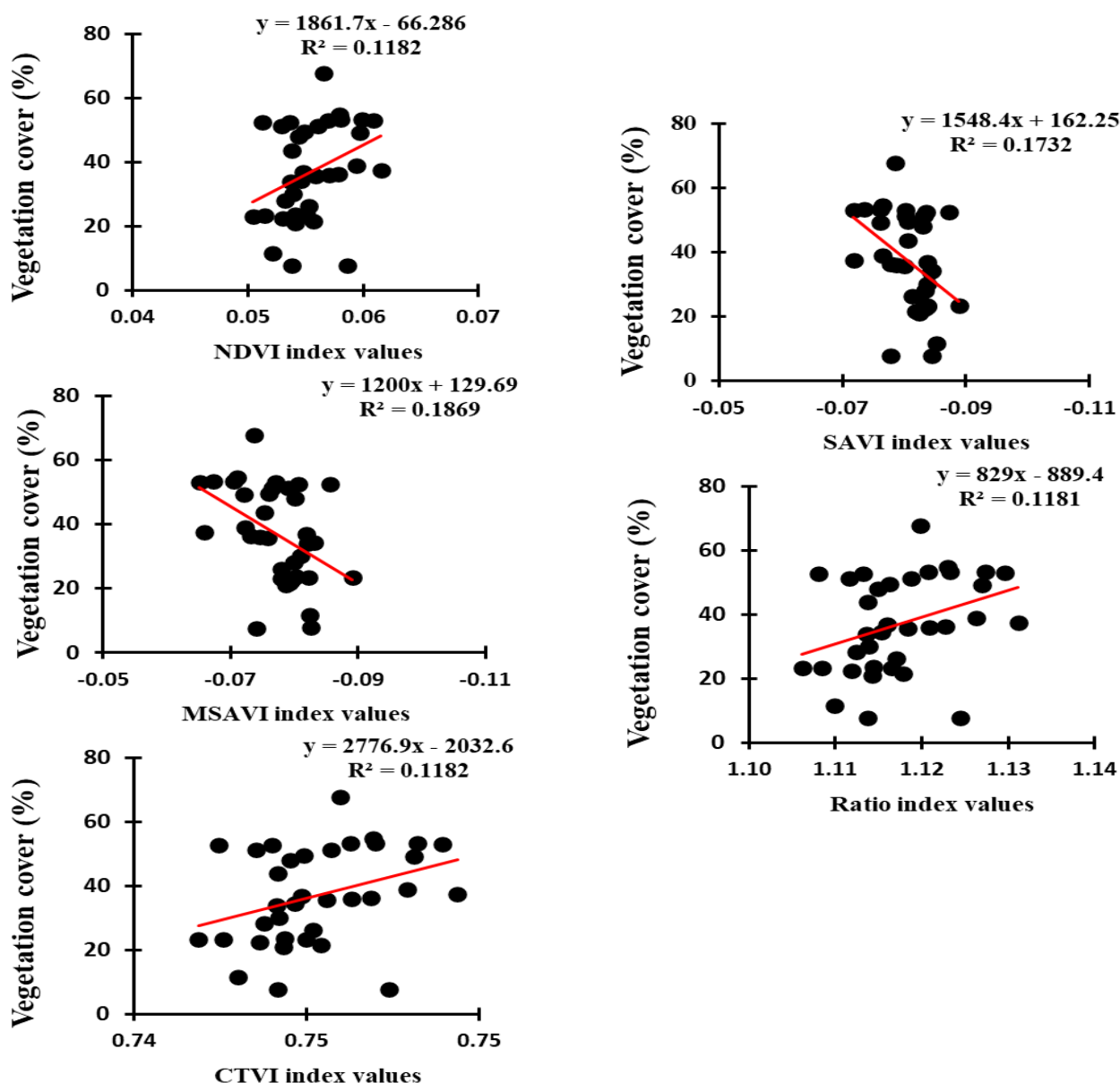


شکل ۵- ارتباط بین درصد پوشش با شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر سنتینل ۲

Figure 5- Relationship between vegetation cover percentage and vegetation indices derived from Sentinel 2 imagery.

براساس نتایج، دو شاخص MSAVI ($R^2 = 0.1869$) و SAVI ($R^2 = 0.1732$) دارای بهترین ارتباط با پوشش گیاهی برداشتی از سطح منطقه بودند.

مدل‌سازی پوشش گیاهی ماهواره لندست
مدل‌سازی پوشش گیاهی با تصاویر ماهواره‌ای لندست
نشان داد که شاخص‌های اصلاح‌کننده اثر خاک (فاصله-
مبنا) ارتباط بهتری با پوشش گیاهی دارند (شکل ۶).



شکل ۶-ارتباط بین درصد پوشش با شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر لندست

Figure 6- Relationship between vegetation cover percentage and vegetation indices derived from Landsat imagery.

بررسی آماری ارتباط بین پوشش گیاهی و شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از دو ماهواره لندست و سنتینل نشان داد که همه شاخص‌های مورد بررسی مستخرج از تصاویر ماهواره لندست دارای ارتباط معنی‌داری ($P\text{-value} < 0.05$) با پوشش گیاهی هستند اما در تصاویر ماهواره سنتینل تنها شاخص‌های شیب مینا (Ratio, NDVI, CTVI) دارای ارتباط معنی‌داری با پوشش بودند و شاخص‌های فاصله مینا (MSAVI, SAVI) ارتباط معنی‌داری با پوشش گیاهی نداشتند.

براساس نتایج، در میان شاخص‌های مستخرج از تصاویر ماهواره لندست، شاخص‌های MSAVI ($r = 0.432$, $R^2 = 0.187$, $P\text{-value} = 0.009$) و SAVI ($r = 0.416$, $R^2 = 0.173$, $P\text{-value} = 0.013$) دارای بالاترین ضریب همبستگی

و ضریب تبیین در ارتباط با تغییرات پوشش گیاهی بودند. همچنین در تصاویر ماهواره سنتینل، بالاترین ضریب همبستگی و ضریب تبیین مربوط به شاخص‌های CTVI ($r = 0.357$, $R^2 = 0.127$, $P\text{-value} = 0.035$) و Ratio ($r = 0.356$, $R^2 = 0.127$, $P\text{-value} = 0.036$) بود (جدول ۳). براساس نتایج، در زمان استفاده از شاخص‌های شیب مینا از قبیل NDVI، دقت مدلسازی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنتینل بیش از دقت تصاویر لندست بود. اما در حالت استفاده از شاخص‌های فاصله مینا، تصاویر ماهواره لندست دقت بالاتری ارائه کردند اما تصاویر سنتینل دقت کمتری نسبت به حالت قبل داشتند.

جدول ۳- ارتباط بین پوشش گیاهی با شاخص‌های پوشش گیاهی با استفاده از رگرسیون خطی (r و R^2 به ترتیب ضریب همبستگی و

ضریب تبیین هستند)

Table 3- Relationship between vegetation cover and vegetation indices using linear regression. r and R^2 represent the correlation coefficient and coefficient of determination, respectively.

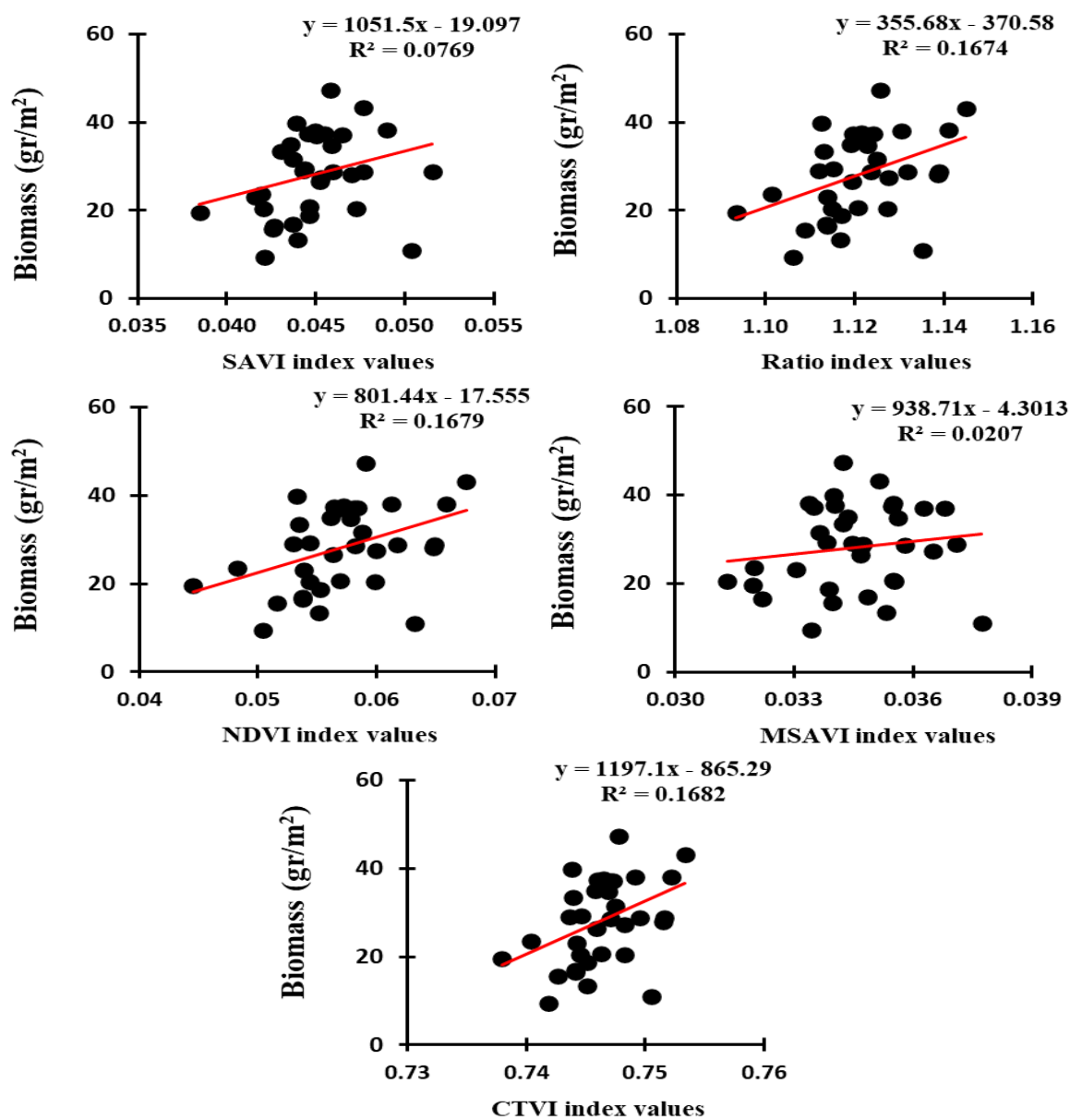
Index	Sentinel			Landsat		
	r	R^2	P-value	r	R^2	P-value
SAVI	0.232	0.053	0.18	0.416	0.173	0.013
Ratio	0.355	0.126	0.036	0.344	0.118	0.043
NDVI	0.356	0.127	0.036	0.344	0.118	0.043
CTVI	0.357	0.127	0.035	0.344	0.118	0.043
MSAVI	0.110	0.012	0.529	0.432	0.187	0.009

مدلسازی زیتوده گیاهی ماهواره سنتینل

مدلسازی زیتوده گیاهی با استفاده از رگرسیون خطی و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل نشان داد که شاخص‌های شیب-مینا دارای ارتباط بهتری با پوشش گیاهی بودند (شکل ۷). براساس نتایج، شاخص‌های CTVI ($R^2 = 0.1682$)، NDVI ($R^2 = 0.1679$) و Ratio ($R^2 = 0.1674$) دارای بهترین ارتباط با پوشش گیاهی برداشتی از سطح منطقه بودند.

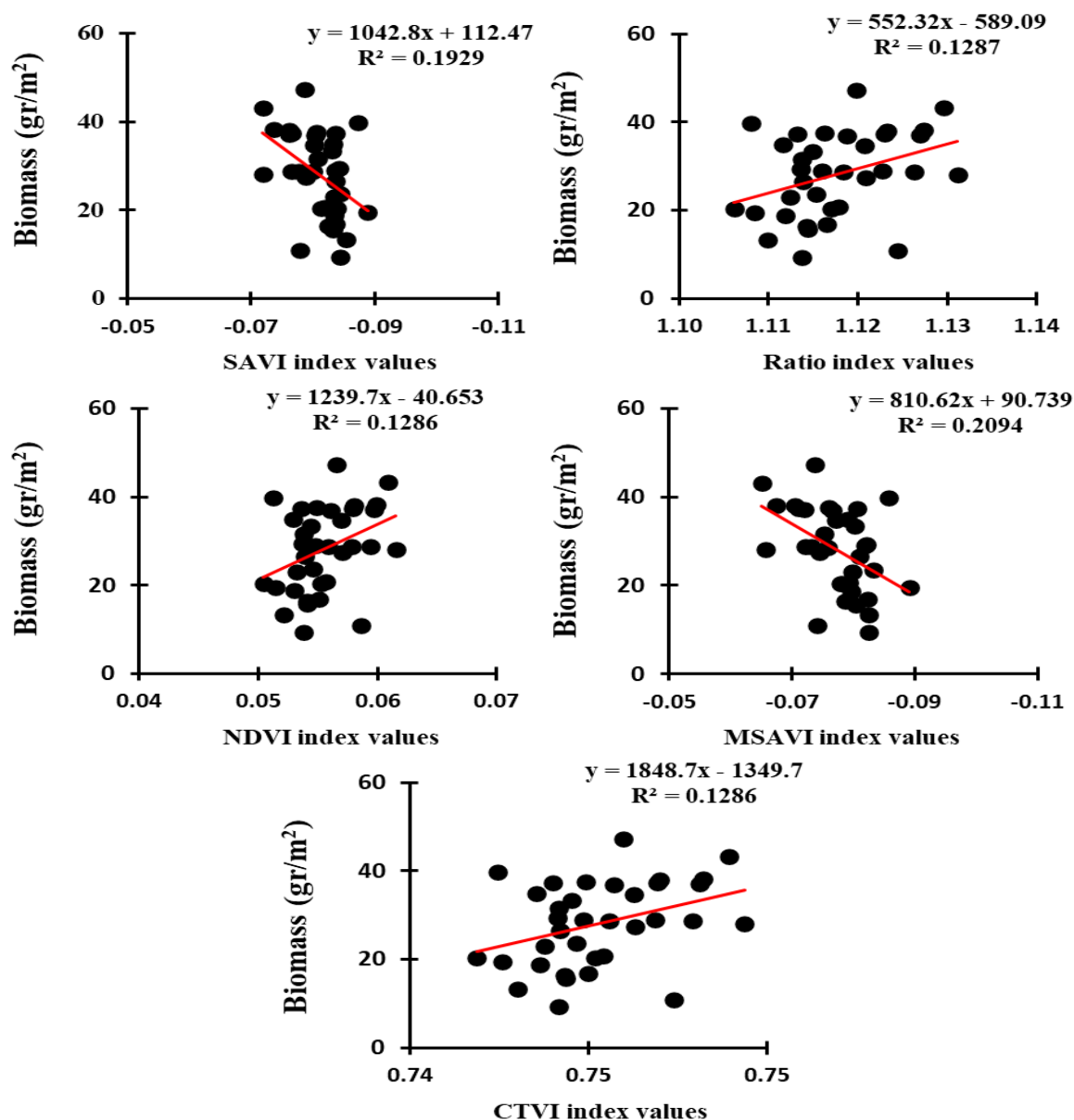
مدلسازی زیتوده گیاهی ماهواره لندست

مدلسازی زیتوده گیاهی با تصاویر ماهواره‌ای لندست نشان داد که شاخص‌های اصلاح‌کننده اثر خاک (فاصله-مینا) ارتباط بهتری با پوشش گیاهی دارند. براساس نتایج، دو شاخص MSAVI ($R^2 = 0.2094$) و SAVI ($R^2 = 0.1929$) دارای بهترین ارتباط با پوشش گیاهی برداشتی از سطح منطقه بودند (شکل ۸).



شکل ۷- ارتباط زیتوده روزمینی با شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر سنتینل ۲

Figure 7- Relationship between aboveground biomass and vegetation indices derived from Sentinel 2 imagery



شکل ۸- ارتباط بین زیتوده روزمینی با شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر لندست

Figure 8- Relationship between aboveground biomass and vegetation indices derived from Landsat imagery.

ارتباط معنی‌داری با پوشش بودند و شاخص‌های فاصله مبنا (MSAVI, SAVI) ارتباط معنی‌داری با پوشش گیاهی نداشتند. براساس نتایج، در میان شاخص‌های مستخرج از تصاویر ماهواره لندست، شاخص‌های MSAVI ($r = 0.458$, $R^2 = 209$, $P\text{-value} = 0.006$) و SAVI ($r = 0.439$, $R^2 = 193$, $P\text{-value} = 0.008$) دارای بالاترین ضریب همبستگی و ضریب تبیین در ارتباط با تغییرات

بررسی آماری ارتباط بین زیتوده گیاهی و شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از دو ماهواره لندست و سنتینل مشابه با نتایج بدست آمده برای پوشش گیاهی بود. براساس نتایج، همه شاخص‌های مورد بررسی مستخرج از تصاویر ماهواره لندست دارای ارتباط معنی‌داری ($P\text{-value} < 0.05$) با پوشش گیاهی هستند اما در تصاویر ماهواره سنتینل تنها شاخص‌های شیب مبنا (Ratio, NDVI, CTVI) دارای

پوشش گیاهی بودند. همچنین در تصاویر ماهواره سنتینل،
 بالاترین ضریب همبستگی و ضریب تبیین مربوط به
 شاخص‌های CTVI ($r = 0.410$, $R^2 = 168$, $P\text{-value} = 0.014$)
 و Ratio ($r = 0.409$, $R^2 = 167$, $P\text{-value} = 0.014$)
 بود (جدول ۴).

جدول ۴- ارتباط بین زیتوده روزمینی با شاخص‌های پوشش گیاهی با استفاده از رگرسیون خطی

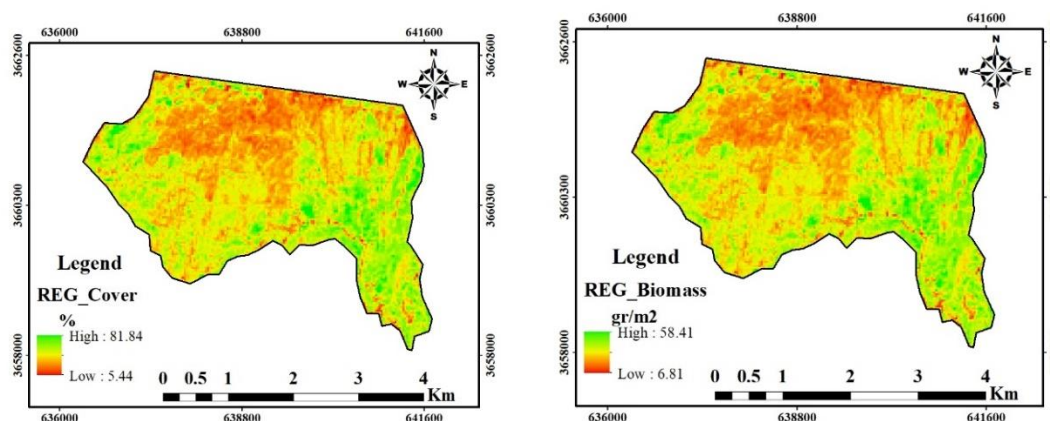
(r و R^2 به ترتیب ضریب همبستگی و ضریب تبیین هستند)

Table 4- Relationship between aboveground biomass and vegetation indices using linear regression. r and R^2 represent the correlation coefficient and coefficient of determination, respectively.

Index	Sentinel			Landsat		
	r	R^2	P-value	r	R^2	P-value
SAVI	0.277	0.077	0.107	0.439	0.193	0.008
Ratio	0.409	0.167	0.015	0.359	0.129	0.034
NDVI	0.410	0.168	0.014	0.359	0.129	0.034
CTVI	0.410	0.168	0.014	0.359	0.129	0.034
MSAVI	0.144	0.021	0.409	0.458	0.209	0.006

بدست آمد (شکل ۹). براساس نتایج مدل‌سازی رگرسیونی،
 پوشش گیاهی دارای تغییراتی بین ۵ تا ۸۱ درصد بود.
 همچنین در روش رگرسیونی خطی، مقدار زیتوده گیاهی در
 منطقه بین ۶/۸ تا ۵۸/۴ گرم در مترمربع بوده است.

نقشه پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی منطقه مورد مطالعه
 در نهایت، براساس شاخص پوشش گیاهی MSAVI
 بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های پوشش
 گیاهی و زیتوده روزمینی براساس روش رگرسیون خطی



شکل ۹-مدل‌سازی پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی با استفاده از مدل رگرسیون خطی

Figure 9-Modeling of vegetation cover and aboveground biomass using the linear regression model.

بحث

(Kigel et al., 2021). پایش تغییرات زمانی و مکانی این دو
 خصوصیت نقش کلیدی در مدیریت پایدار منابع طبیعی دارد.
 با توجه به گستره وسیع مراتع در ایران و در دنیا، داده‌برداری
 زمینی، با وجود دقت بالا، به دلیل هزینه‌بر بودن و نیاز به
 زمان طولانی، محدودیت‌های عملیاتی دارد. بنابراین،

پوشش و زیتوده روزمینی گیاهی از اجزای مهم
 اکوسیستم‌های طبیعی از قبیل مراتع محسوب شده و شاخصی
 برای ارزیابی وضعیت کارکردهای مختلف و پایداری محیطی
 اکوسیستم می‌باشند (Liu et al., 2015; Lu et al., 2019).

پوشش گیاهی بیش از مقدار واقعی نشان داده خواهد شد. به همین دلیل برای اصلاح این خطا، گروهی از شاخص‌های پوشش گیاهی با قابلیت اصلاح اثرهای خاک لخت ابداع و توسعه یافتند. این شاخص‌ها به دلیل استفاده از ضرایب خط رگرسیونی خاک (رگرسیون بین دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک در مناطق بدون پوشش)، تعدیلی در محاسبات پوشش گیاهی داشته و نتایج به مراتب واقعی‌تری فراهم می‌کنند. در این تحقیق نیز برتری این شاخص‌های مربوط، به همین دلیل می‌باشد. یادآوری می‌شود که ضریب تبیین (R^2) به عنوان شاخصی برای ارزیابی کیفیت مدل‌های پیش‌بینی، در مناطق خشک و بیابانی اغلب مقادیر پایینی را نشان می‌دهد. این مسئله ناشی از پیچیدگی بالای روابط بین پوشش گیاهی و متغیرهای محیطی در این اقلیم‌هاست ([Xie et al., 2009](#); [Schucknecht et al., 2017](#); [Rapiya et al., 2023](#)). با این حال، در تفسیر روابط آماری، نخستین معیار اهمیت‌سنجی یک مدل، وجود ارتباط معنادار است و نه لزوماً شدت همبستگی بین آنها ([Grace & Bollen, 2005](#)). بنابراین، حتی در مواردی که مقدار R^2 پایین باشد، اگر ارتباط معناداری میان متغیرها برقرار باشد، مدل همچنان می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای تحلیل الگوهای پوشش گیاهی و زیتوده ارائه دهد. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که در مناطق خشک، پراکندگی ناهمگن پوشش گیاهی و تأثیرپذیری آن از عوامل متعددی مانند شرایط خاک و توپوگرافی، موجب کاهش میزان تبیین‌پذیری مدل‌های رگرسیونی می‌شود، اما این موضوع از اعتبار مدل‌های ارائه‌شده نمی‌کاهد، بلکه بر لزوم بهره‌گیری از مدل‌های پیشرفته‌تر و داده‌های چندمنبعی تأکید دارد.

از سوی دیگر، برتری شاخص‌های اصلاح‌کننده اثر خاک می‌تواند ناشی از دو دلیل (۱) ساختار پوشش گیاهی منطقه، (۲) تأثیر مثبت استفاده از متغیرهای خط خاک بر اصلاح اثرهای وجود گراس‌های خشک و مسن باشد ([Purevdorj & Tateishi, 1998](#)). به عبارت دیگر، در مناطق دارای پوشش گیاهی با غالبیت گندمیان، این گیاهان در زمان خشک شدن دارای بازتابی مشابه با خاک بدون پوشش

استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور که اطلاعات گسترده‌تری در بعد زمان و مکان ارائه می‌دهند، می‌تواند ابزار ارزشمندی برای تصمیم‌گیری مدیریتی و بهبود پایداری محیط باشد. هرچند به دلیل تنوع زیاد شاخص‌های پوشش گیاهی و انواع سنجنده‌های ماهواره‌ای مختلف، انتخاب بهترین شاخص و بهترین نوع تصاویر ماهواره‌ای نیازمند بررسی است ([Xue & Su, 2017](#); [Gao et al., 2020](#)). به همین دلیل در این تحقیق، قابلیت شاخص‌های مختلف مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای براساس اطلاعات بدست آمده از دو ماهواره لندست و سنتیل مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه کارایی شاخص‌های پوشش گیاهی در مدل‌سازی پوشش و زیتوده گیاهی

بررسی قابلیت مدل‌سازی پوشش و زیتوده گیاهی نشان داد که شاخص‌های پوشش گیاهی دارای قابلیت بالایی در مدل‌سازی پوشش و زیتوده روزمینی گیاهی هستند. این نتیجه، همراستا با نتایج سایر تحقیقات است. برای نمونه، تحقیقات زیادی تأکید کرده‌اند که ابزارهای سنجش از دور و شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی دارای قابلیت بالایی برای مدل‌سازی پوشش گیاهی ([Mu et al., 2018](#); [Du et al., 2023](#)) و زیتوده روزمینی ([Luz et al., 2021](#)) هستند. براساس نتایج بدست آمده، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، شاخص‌های فاصله-مبنا (اصلاح‌کننده اثر خاک) نتایج بهتری ارائه می‌کنند، در حالی که با استفاده از تصاویر سنتیل، شاخص‌های فاصله‌ای نتایج بهتری ارائه کردند. به عبارتی، براساس نتایج بدست آمده، دو شاخص $MSAVI$ ($R^2 = 0.1869$) و $SAVI$ ($R^2 = 0.1732$) دارای بهترین ارتباط با پوشش گیاهی برداشتی از سطح منطقه بودند. نتایج تحقیقات مشابه نیز نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌های مبتنی بر خط خاک، به دلیل اصلاح انعکاس خاک لخت نتایج بهتری ارائه می‌دهند (برای نمونه، [Jiang et al., 2007](#)). در این قبیل مناطق بازتابش خاک بدون پوشش شباهت طیفی زیادی به پوشش گیاهی خشک داشته و به همین دلیل در بسیاری از شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی پوشش گیاهی، به صورت کاذب (غیر واقعی)

می‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در مناطق خشک و بیابانی که عمده سطح زمین را خاک بدون پوشش تشکیل می‌دهد، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی فاصله محور (اصلاح‌کننده اثر خاک) نتایج بهتری ارائه می‌دهد. از سویی، در مناطقی که پوشش گیاهی غالب از گیاهان خانواده گندمیان تشکیل شده باشد، به دلیل تشابه طیفی بازتاب پوشش گندمیان و خاک لخت، استفاده از شاخص‌های اصلاح‌کننده اثر خاک نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری فراهم می‌کند. وجود این عامل (خشک بودن منطقه و غالب بودن گندمیان)، شاخص‌های فاصله محور در این تحقیق نتایج مناسب‌تری نسبت به شاخص‌های شیب-محور ایجاد کرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در این قبیل مناطق از شاخص‌های SAVI و MSAVI استفاده شود.

مقایسه کارایی تصاویر ماهواره‌ای در مدل‌سازی پوشش و زیتوده گیاهی

نتایج این مطالعه نشان داد که دقت مدل‌سازی پوشش گیاهی و زیتوده روزمینی تحت تأثیر نوع شاخص‌های مورد استفاده و تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای قرار دارد. اول، هنگام استفاده از شاخص‌های شیب‌محور مانند NDVI، تصاویر سنتینل دقت بیشتری نسبت به تصاویر لندست در مدل‌سازی پوشش و زیتوده نشان دادند. دوم، در شاخص‌های فاصله‌محور، تصاویر لندست عملکرد بهتری داشتند و دقت مدل‌سازی بالاتری ارائه کردند. سوم، به‌طورکلی، شاخص‌های فاصله‌محور دقت بیشتری نسبت به شاخص‌های شیب‌محور داشتند که این موضوع به ماهیت خشک منطقه و تأثیر بالای خاک لخت در بازتاب‌های طیفی بازمی‌گردد (Huete, 1988). این نتایج با مطالعات قبلی که نشان داده‌اند شاخص‌های فاصله‌محور در مناطق خشک دقت بالاتری در تخمین پوشش گیاهی دارند، همسو است (Mashala et al., 2023). عامل دیگر در تفاوت کارایی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به خصوصیات خود تصاویر است. برای نمونه، اختلاف طول موج‌های دو ماهواره ممکن است باعث شود تطابق آنها با

هستند (Omidipour et al., 2020). از مهمترین گیاهان منطقه مورد مطالعه می‌توان به دو گونه *Stipa capensis* و *Stipagrostis plumosa* اشاره کرد. از سویی، وجود درصد بالایی از گونه‌های یکساله از قبیل *Taeniatherum Boissiera squarrosa*, *crinitum* (Schreb.) Nevski و *Bromus danthoniae* Trin. (Sol.) Nevski و *tectorum* L. نیز موجب تشدید این فرایند شده و به همین دلیل شاخص‌ها (SAVI و MSAVI) نتایج بهتری نسبت به شاخص‌های فاصله‌محور ارائه کردند. بررسی ارتباط زیتوده با شاخص‌های پوشش گیاهی نیز مشابه با نتایج بدست آمده از بخش پوشش گیاهی بود که با در نظر گرفتن ارتباط مستقیم پوشش و زیتوده روزمینی، این نتیجه دور از انتظار نبود. به‌طورکلی، استفاده از این گروه شاخص‌ها نتایج بهتری در این قبیل مناطق تولید می‌کند، اما تخمین پارامترهای خاک (از قبیل شیب خط و عرض از مبدأ خط خاک) و انتخاب صحیح پیکسل‌های خاک، از مهمترین چالش‌های استفاده از این گروه از شاخص‌های پوشش گیاهیست (Xue and Su, 2017). به عبارت دیگر، تجربه کاربر در انتخاب صحیح این مناطق تأثیر بسزایی در کارایی این شاخص‌ها داشته و صحت نتایج آنها را با چالش جدی مواجه خواهد کرد (Ali et al., 2019). وجود کارایی متفاوت شاخص‌های مختلف در مناطق مورد بررسی، تأکیدی بر وجود گوناگونی شرایط محیطی است و نیاز به توسعه روابط کلی و قابل استفاده را در همه مناطق برجسته‌تر از قبل می‌نماید. از سویی، برخی تحقیقات بیان کرده‌اند که پهن‌برگان معمولاً ارتباط بهتری با شاخص‌های شیب‌محور از قبیل NDVI دارند، در حالی که گندمان ارتباط بهتری با شاخص‌های فاصله-محور از قبیل SAVI دارند (Imani et al., 2018). این گفته همراستا با نتایج این تحقیق می‌باشد. دلیل این حالت، به فرمول شاخص SAVI مربوط می‌باشد که براساس آن، شاخص SAVI برای پوشش‌های کمتر ضرایب بالاتری ایجاد می‌کند، در حالی که برای پوشش‌های زیاد، ضرایب ایجاد شده کمتر خواهد بود (Imani et al., 2018). به همین دلیل این شاخص به‌طور مؤثری اثر بازتابش خاک را کاهش

تقویت‌کننده برای ماهواره لندست در نظر گرفته شده است و بسیاری از تجربیات بدست آمده از پردازش داده‌های ماهواره لندست به سنتینل ۲ نیز منتقل شده است.

نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد مدل‌سازی پوشش گیاهی وابسته به نوع شاخص‌های مورد استفاده و تفکیک مکانی داده‌های ماهواره‌ای است. در شاخص‌های شیب‌محور مانند NDVI، تصاویر سنتینل دقت بیشتری نسبت به تصاویر لندست در برآورد پوشش گیاهی داشتند. در مقابل، در شاخص‌های فاصله‌محور (SAVI و MSAVI)، تصاویر لندست دقت بالاتری ارائه کردند، در حالی که دقت تصاویر سنتینل در این شرایط کاهش یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب مناسب شاخص‌های طیفی متناسب با شرایط منطقه‌ای می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر دقت مدل‌سازی داشته باشد. علاوه بر این، نتایج تأکید می‌کند که در مناطق خشک، شاخص‌های فاصله‌محور ممکن است عملکرد بهتری داشته باشند، زیرا اثرهای بازتاب خاک لخت را کاهش می‌دهند و اطلاعات دقیق‌تری در مورد پوشش گیاهی فراهم می‌کنند. این نتایج می‌تواند مبنایی برای بهینه‌سازی روش‌های سنجش از دور در مطالعات آینده باشد.

طیف پوشش گیاهی متفاوت گردد. عامل دوم می‌تواند ناشی از زمان برداشت تصاویر ماهواره‌ای باشد. به‌طور معمول تصاویر ماهواره در ساعت ۱۰ و سنتینل در ساعت ۱۱ برداشت می‌شود. اما با بررسی دقیق زمان برداشت تصاویر لندست از استان ایلام مشخص گردید این تصاویر معمولاً در ساعت ۷ صبح برداشت می‌شود. با در نظر گرفتن تأثیر منفی دما بر کیفیت تصاویر ماهواره، برداشت تصاویر در ساعات اولیه روز نتایج بهتر و خطای کمتری نیز در پی خواهد داشت که می‌تواند عامل مهمی در اختلاف به وجود آمده باشد. به همین دلیل، در بسیاری از تحقیقات محققان پیشنهاد استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل را به عنوان مکمل داده‌های لندست داده‌اند (Kabolizadeh et al., 2018). این ترکیب باعث خواهد شد تا هم قدرت تفکیک زمانی (۵ تا ۸ روز) تصاویر کاهش چشمگیری داشته باشد و هم قدرت تفکیک مکان تصاویر (از ۶۰ و ۳۰ متر به ۱۰ متر) افزایش یابد. در همین راستا، محققان و متخصصان طراح ماهواره‌های مجموعه لندست، امروزه به این نتیجه رسیده‌اند که ماهواره سنتینل ۲ می‌تواند به عنوان یک مکمل کاربردی برای داده‌های ماهواره‌های مجموعه لندست، به‌ویژه لندست ۸ استفاده شود. به عبارتی، ماهواره سنتینل ۲ به عنوان یک

References

- Ali, A., Martelli, R., Lupia, F. and Barbanti, L., 2019. Assessing multiple years' spatial variability of crop yields using satellite vegetation indices. *Remote Sensing*, 11(20): 2384. DOI: 10.3390/rs11202384
- Anderson, D. and Burnham, K., 2004. Model selection and multi-model inference (2nd ed.). Springer-Verlag. DOI: 10.1007/b97636
- Avazpour, N., Faramarzi, M., Omidipour, R. and Mehdizadeh, H., 2021. Monitoring the drought effects on vegetation changes using satellite imagery (Case Study: Ilam Catchment). *Geography and Environmental Sustainability*, 11(4): 125-143. (In Persian). DOI: 10.22126/ges.2022.7130.2472
- De Martonne, E., 1926. L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 3(9): 3-5. DOI: 10.3406/bagf.1926.6322
- Du, M., Li, M., Noguchi, N., Ji, J. and Ye, M., 2023. Retrieval of fractional vegetation cover from remote sensing image of unmanned aerial vehicle based on mixed pixel decomposition method. *Drones*, 7(1): 43. DOI: 10.3390/drones7010043
- Faramarzi, M., Kesting, S., Isselstein, J. and Wrage, N., 2010. Rangeland condition in relation to environmental variables, grazing intensity and livestock owners' perceptions in semi-arid rangeland in western Iran. *The Rangeland Journal*, 32(4): 367-377. DOI: 10.1071/RJ09022
- Gao, L., Wang, X., Johnson, B. A., Tian, Q., Wang, Y., Verrelst, J. and Gu, X., 2020. Remote sensing algorithms for estimation of fractional vegetation cover using pure vegetation index values: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159: 364-377. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.11.018
- Grace, J.B. and Bollen, K.A., 2005. Interpreting the results from multiple regression and structural equation models. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 86(4): 283-295. DOI: 10.1890/0012-9623(2005)86[283:ITRFMR]2.0.CO;2
- Helldén, U. and Tottrup, C., 2008. Regional

- desertification: A global synthesis. *Global and Planetary Change*, 64(3-4): 169-176. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2008.10.006
- Huete, A. R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295-309. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X
 - Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X. and Ferreira, L. G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 195-213. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00096-2
 - Imani, J., Ebrahimi, A., Gholonejad, B. and Tahmasebi, P., 2018. Comparison of NDVI and SAVI in three plant communities with different sampling intensity (Case Study: Choghakhour Lake Rangelands in Charmahal & Bakhtiari). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(1): 152-169. DOI: 10.22092/ijrdr.2018.116233
 - Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G. and Zhang, X., 2006. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 101(3): 366-378. DOI: 10.1016/j.rse.2006.01.003
 - Kabolizadeh, M., Rangzan, K. and Mohammadi, SH., 2018. Application of fusion in satellite images the Landsat-8 and Sentinel-2 in environmental monitoring. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(3(32)): 53-71. (In Persian). SID. <https://sid.ir/paper/189501/en>
 - Kigel, J., Konsens, I., Segev, U. and Sternberg, M., 2021. Temporal stability of biomass in annual plant communities is driven by species diversity and asynchrony, but not dominance. *Journal of Vegetation Science*, 32(2): 13012. DOI: 10.1111/jvs.13012
 - Li, Y., Li, M., Li, C. and Liu, Z., 2020. Forest aboveground biomass estimation using Landsat 8 and Sentinel-1A data with machine learning algorithms. *Scientific Reports*, 10(1): 9952. DOI: 10.1038/s41598-020-67024-3
 - Liu, B., Zhao, W., Liu, Z., Yang, Y., Luo, W., Zhou, H. and Zhang, Y., 2015. Changes in species diversity, aboveground biomass, and vegetation cover along an afforestation successional gradient in a semiarid desert steppe of China. *Ecological Engineering*, 81: 301-311. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.014
 - Lu, Q., Zhao, D., Wu, S., Dai, E. and Gao, J., 2019. Using the NDVI to analyze trends and stability of grassland vegetation cover in Inner Mongolia. *Theoretical and Applied Climatology*, 135: 1629-1640. DOI: 10.1007/s00704-018-2614-2
 - Luz, L. R., Giongo, V., Santos, A. M. D., Lopes, R. J. D. C. and Júnior, C. D. L., 2021. Biomass and vegetation index by remote sensing in different caatinga forest areas. *Ciência Rural*, 52: e20201104. DOI: 10.1590/0103-8478cr20201104
 - Mashala, M. J., Dube, T., Mudereri, B. T., Ayisi, K. K. and Ramudzuli, M. R., 2023. A systematic review on advancements in remote sensing for assessing and monitoring land use and land cover changes impacts on surface water resources in semi-arid tropical environments. *Remote Sensing*, 15(16): 3926. DOI: 10.3390/rs15163926
 - Mu, X., Song, W., Gao, Z., McVicar, T. R., Donohue, R. J. and Yan, G., 2018. Fractional vegetation cover estimation by using multi-angle vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 216: 44-56. DOI: 10.1016/J.RSE.2018.06.022
 - Omidipour, R., Ebrahimi, A., Tahmasebi, P. and Faramarzi, M., 2020. Grazing effects on the relationship between vegetation canopy cover and above-ground phytomass with vegetation indices in Sabzekouh region, Chaharmahal va Bakhtiari. *Journal of Range and Watershed Managment*, 73(1): 33-47. DOI: 10.22059/jrwm.2020.272219.1336
 - Omidipour, R., Tahmasebi, P., Faizabadi, M. F., Faramarzi, M. and Ebrahimi, A. (2021). Does β diversity predict ecosystem productivity better than species diversity? *Ecological Indicators*, 122: 107212. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107212
 - Peng, J., Liu, Z., Liu, Y., Wu, J. and Han, Y., 2012. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent. *Ecological Indicators*, 14(1): 28-39. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.08.011
 - Pringle, M. J., Denham, R. J. and Devadas, R., 2012. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19: 276-285. DOI: 10.1016/j.jag.2012.05.015
 - Purevdorj, T. and Tateishi, R., 1998. Vegetation cover estimate of arid and semi-arid regions by NOAA AVHRR data. *Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, 37(1): 18-28. DOI: 10.4287/jsprs.37.18
 - Rapiya, M., Ramoelo, A. and Truter, W., 2023. Seasonal evaluation and mapping of aboveground biomass in natural rangelands using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12): 1544. DOI: 10.1007/s10661-023-12133-5
 - Riquelme, L., Duncan, D. H., Rumpff, L. and Vesk, P. A., 2022. Using remote sensing to estimate understorey biomass in semi-arid woodlands of South-Eastern Australia. *Remote Sensing*, 14(10):

2358. DOI: 10.3390/rs14102358
- Riquelme, L., Rumpff, L., Duncan, D. H. and Vesk, P. A., 2024. Comparing grass biomass estimation methods for management decisions in a semi-arid landscape. *Applied Vegetation Science*, 27(3): e12792. DOI: 10.1111/avsc.12792
 - Schucknecht, A., Meroni, M., Kayitakire, F. and Boureima, A., 2017. Phenology-based biomass estimation to support rangeland management in semi-arid environments. *Remote Sensing*, 9(5): 463. DOI: 10.3390/rs9050463
 - Tian, F., Fensholt, R., Verbesselt, J., Grogan, K., Horion, S. and Wang, Y., 2015. Evaluating temporal consistency of long-term global NDVI datasets for trend analysis. *Remote Sensing of Environment*, 163: 326-340. DOI: 10.1016/j.rse.2015.03.031
 - Xie, Y., Sha, Z., Yu, M., Bai, Y. and Zhang, L., 2009. A comparison of two models with Landsat data for estimating above ground grassland biomass in Inner Mongolia, China. *Ecological Modelling*, 220(15): 1810-1818. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2009.04.025
 - Xue, J. and Su, B., 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017(1): 1353691. DOI: 10.1155/2017/1353691
 - Zolfaghari, F., Azarnivand, H., Khosravi, H., Zehtabian, G. and Khalighi Sigaroodi, S., 2019. The Effect of Vegetation Cover on Microclimate in Dry land Ecosystem (Case Study: Sistan Plain). *Journal of Range and Watershed Managment*, 71(4): 901-914. doi: 10.22059/jrwm.2018.234109.1130