

Original Research Article

Evaluation of desertification in Qazvin Plain using Sentinel 2 images and spectral indices and degree of desertification (DDI)

Mehdi Feyzolahpour^{1*}

¹Assistant Professor of Geography, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran.



10.22034/grd.2023.20385.1586

Received:

July 28, 2023

Accepted:

November 14, 2023

Keywords:

NDVI, albedo, TGSI, desertification, Qazvin Plain

Abstract

Desertification is one of the factors that seriously threatens semi-arid areas. Climate changes and human activities in recent years have intensified this phenomenon. In this research, Sentinel 2 images in 2023 have been used to evaluate desertification in Qazvin Plain. At first, TGSI, albedo, NDVI and MSAVI indices were extracted. Then, for linear regression analysis, different combinations of indices were considered and Pearson correlation relationship was established between NDVI and albedo, MSAVI and albedo, TGSI and albedo, TGSI and MSAVI indices. Then, by using the regression relationships between NDVI-albedo and MSAVI-albedo, DDI desertification degree index was estimated. Finally, the map of desertification was drawn for the entire studied area in five classes: very severe, severe, moderate, low and very low. The obtained results showed that there is a negative correlation between albedo and MSAVI and NDVI indices, and a positive correlation between this index and TGSI. MSAVI-albedo combination has the best correlation coefficients with a value of -0.417 and the lowest correlation is estimated at 0.33 between albedo and TGSI. According to the DDI index, the desertification situation in the region has been in the alarming range. In fact, based on the albedo ratio with the MSAVI index, 55.6% of the region is classified as very severe desertification. While only 1.9% was very low in the area of desertification. According to albedo-NDVI ratio, 68% of the region is in a very severe desertification state. The values obtained for the two models are very close to each other and similar estimates have been obtained in the estimation of extreme and very low values. Investigations showed that the studied area has been severely affected by desertification.

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



* **Corresponding Author:** Mehdi Feyzolahpour

Address: University of Zanjan, Zanjan, Iran

Email: feyzolahpour@znu.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Different researches provide a wide range of remote sensing-based techniques for desertification monitoring. Among them, we can mention the techniques of spectral composition analysis and spectral indices. Approaches based on different indicators are widely used to investigate land degradation. For example, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Modified Soil Vegetation Index (MSAVI) are used to monitor vegetation conditions in desertification assessment. Indices such as albedo and surface soil particle size index (TGSI) can detect the spatial heterogeneity of soil texture. In fact, many researchers around the world have successfully used these indicators to evaluate desertification. In some researches, albedo-NDVI and albedo-MSAVI models have been proposed for desertification analysis. Other researchers also used albedo-TGSI based model. However, among these indices, the albedo-NDVI index has been widely considered. This index shows a strong negative correlation and reflects the state of desertification. This research is based on TGSI, NDVI, albedo and MSAVI spectral indices. The combination of these indicators is tested through Pearson correlation. The aim of this research is to map the different classes of desertification in the Qazvin Plain in 2023 using Sentinel 2 images, to integrate the indicators obtained from remote sensing data to identify areas affected by desertification and to establish correlation between MSAVI indicators., albedo, NDVI and TGSI and create a linear regression to determine the DDI index.

2. Research Methodology

In this research, using the Sentinel 2 satellite image in 2023, the degree of desertification is evaluated. This image covers the entire region. The spatial resolution of the images provides the opportunity to observe the ground accurately. Sentinel 2's multispectral images consist of 13 spectral bands with a resolution of 10 meters (4 bands), 20 meters (6 bands) and 60 meters (3 bands). These 13 bands cover a wide range of wavelengths from 440 to 2200 nm. In this research, red, infrared, blue, green, SWIR1 and SWIR2 bands were used. The satellite image of July 11, 2023 for a day without cloud cover was used to perform the analysis. In addition, July images allow the separation of agricultural land from natural vegetation. The method adopted in this research is based on the extraction of spectral indices NDVI, TGSI, albedo and MSAVI, which provides the possibility to evaluate and monitor desertification. This research included acquiring satellite images, calculating spectral indices, analyzing the correlation between spectral indices, calculating the degree of desertification index (DDI) and regression analysis. The estimation of four indices NDVI, albedo, MSAVI and TGSI is done using Sentinel 2 image. The extraction of different degrees of desertification is based on the analysis of several combinations of spectral indices in order to select a combination that shows the best classes of desertification. To extract the degree of desertification intensity and determine the best correlation, four combinations of albedo-NDVI, albedo-TGSI, albedo-MSAVI and TGSI-MSAVI were considered. A linear regression relationship was established between these indices. To draw the intensity of desertification, regression relationships between the above indicators were used.

3. Results and discussion

In this research, desertification was analyzed by building two albedo-NDVI and albedo-MSAVI models. The results obtained from these models achieve better results than the traditional models based on vegetation. Among these two models, the albedo-MSAVI model can be the most suitable for the studied area, which is mainly composed of areas with low vegetation cover. The albedo-NDVI model obtains better results for areas with dense vegetation. However, these areas include only a small part of the studied territory. Considering the effectiveness of albedo-MSAVI and albedo-NDVI models in the study area, these models can be used as a reference for decision makers in natural resource management. This model can be used for other areas with

similar characteristics. Based on the results, special operational plans should be implemented to overcome the desertification situation and reduce land degradation. At first, TGSI, albedo, NDVI and MSAVI spectral indices were extracted. Then, for linear regression analysis, different combinations of indices were considered and Pearson correlation relationship was established between NDVI and albedo, MSAVI and albedo, TGSI and albedo, TGSI and MSAVI indices. Then, by using the regression relationships between NDVI-albedo and MSAVI-albedo, DDI desertification degree index was estimated. Finally, the map of desertification was drawn for the entire studied area in five classes: very severe, severe, moderate, low and very low.

4. Conclusion

The obtained results showed that there is a negative correlation between albedo and MSAVI and NDVI indices, and a positive correlation between this index and TGSI. MSAVI-albedo combination has the best correlation coefficients with a value of -0.417 and the lowest correlation is estimated at 0.33 between albedo and TGSI. According to the DDI index, the desertification situation in the region has been in the alarming range. In fact, according to Nest Albedo with MSAVI index, 55.6% of the region is classified as very severe desertification. While only 1.9% was very low in the area of desertification. According to albedo-NDVI ratio, 68% of the region is in a state of extreme desertification. The values obtained for the two models are very close to each other and similar estimates have been obtained in estimating extreme and very low values.

مقاله پژوهشی

ارزیابی بیابان‌زایی در محدوده دشت قزوین با استفاده از تصاویر سنتینل ۲، شاخص‌های طیفی و درجه بیابان‌زایی (DDI)

مهدی فیض اله پورا^۱

^۱ استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

doi 10.22034/grd.2023.20385.1586

چکیده

بیابان‌زایی از جمله عواملی است که نواحی نیمه‌خشک را به شدت تهدید می‌کند. تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر به شدت این پدیده را تشدید نموده است. در این تحقیق برای ارزیابی بیابان‌زایی در محدوده دشت قزوین از تصاویر سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۳ استفاده شده است. در ابتدا، شاخص‌های TGSi، albedo، NDVI و MSAVI استخراج شد. سپس برای تحلیل رگرسیون خطی، ترکیب مختلفی از شاخص‌ها در نظر گرفته شده و رابطه همبستگی پیرسون بین شاخص‌های NDVI و آلبدو، MSAVI و آلبدو، TGSi و آلبدو و TGSi و MSAVI برقرار گردید. سپس با بهره‌گیری از روابط رگرسیونی بین MSAVI-albedo و NDVI-albedo شاخص درجه بیابان‌زایی DDI برآورد گردید. در نهایت نقشه بیابان‌زایی برای کل محدوده مورد مطالعه در پنج طبقه خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی کم ترسیم شد. نتایج به دست آمده نشان داد بین آلبدو و شاخص‌های MSAVI و NDVI همبستگی منفی و بین این شاخص با TGSi همبستگی مثبت برقرار است. ترکیب MSAVI-albedo بهترین ضرایب همبستگی را با مقدار $0/417$ - دارا بوده و کمترین همبستگی نیز به میزان $0/33$ بین آلبدو و TGSi برآورد گردیده است. بر اساس شاخص DDI وضعیت بیابان‌زایی در منطقه در محدوده هشداردهنده بوده است. در واقع بر اساس نسبت آلبدو با شاخص MSAVI، $55/6$ درصد از منطقه در طبقه بیابان‌زایی خیلی شدید قرار گرفته‌اند. در حالی که تنها $1/9$ درصد در محدوده بیابان‌زایی خیلی کم بوده است. بر اساس نسبت $albedo-NDVI$ 68 درصد منطقه در وضعیت بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارد. مقادیر به دست آمده برای دو مدل بسیار نزدیک به هم بوده و در تخمین مقادیر شدید و خیلی کم به تخمین‌های مشابهی دست یافته‌اند. بررسی‌ها نشان داد که منطقه مورد مطالعه به شدت از بیابان‌زایی متأثر شده است.

تاریخ دریافت:

۶ مرداد ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:

۲۳ آبان ۱۴۰۲

کلیدواژه‌ها:

،NDVI

،albedo

،TGSi

بیابان‌زایی،

دشت قزوین،

۱ مقدمه

بیابان‌زایی در سطح جهان، یکی از پیچیده‌ترین مسائل زیست‌محیطی است که بر شرایط اجتماعی و اقتصادی میلیون‌ها نفر در مناطق مختلف تأثیر می‌گذارد (کاسماس^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). بیابان‌زایی عمدتاً در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب به دلیل عوامل مختلف اقلیمی و انسانی مانند تغییر اقلیم و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی به وقوع می‌پیوندد (یو^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).

Email: feyzolahpour@znu.ac.ir

* نویسنده مسئول: مهدی فیض اله پور
آدرس: گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان

¹ Kosmas

² Yu

این پدیده می‌تواند با تغییر فرایندهای بیوژئوشیمیایی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی، منجر به تخریب شدید زمین، از دست رفتن تنوع زیستی، از بین رفتن زیستگاه‌ها، در معرض خطر انقراض قرار گرفتن گونه‌ها و از دست دادن بهره‌وری زمین شود (هو^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس گزارش کنوانسیون سازمان ملل متحد در مبارزه با بیابان‌زایی (UNCCD، ۲۰۱۵)، ۲۵ درصد از مساحت کره زمین تخریب‌شده یا مستعد تخریب است. نسبت زمین‌های تخریب یافته احتمالاً ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش یافته و می‌تواند تقریباً سه میلیارد نفر را که عمدتاً در زیر خط فقر قرار دارند متأثر سازد (هو و همکاران، ۲۰۲۰). بیابان‌زایی یک چالش عمده برای مناطق مختلف جهان به‌ویژه سواحل مدیترانه، آفریقا و چین بوده است (درگنه^۲، ۲۰۲۰). ترکیبی از فرایندهای اقلیمی و فرایندهای انسانی باعث تشدید بیابان‌زایی می‌گردد (داروچه^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). پایش الگوی مکانی و زمانی بیابان‌زایی برای محدود کردن اثرات نامطلوب این پدیده ضروری است (گانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). روش‌های مختلفی برای بررسی روند بیابان‌زایی ارائه شده است. این روش‌ها شامل استفاده از الگوریتم‌های ریاضی (افراسینی^۵ و همکاران، ۲۰۱۸) و فناوری‌های سنجش‌ازدور (ژو^۶ و همکاران، ۲۰۱۳) است. در طول سه دهه گذشته رویکرد مبتنی بر سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزار مؤثری برای پایش مکانی و زمانی الگوهای بیابان‌زایی به کار گرفته شده است (پان^۷ و لی، ۲۰۱۳). سنجش‌ازدور، در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی، یک رویکرد مقرون‌به‌صرفه است که به دلیل در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای چند زمانی با وضوح بالا، امکان ارزیابی سریع ویژگی‌های مختلف زمین در مکان و زمان را فراهم می‌کند (وانگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۲). تحقیقات مختلف، طیف وسیعی از تکنیک‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور را برای نظارت بر بیابان‌زایی ارائه می‌دهند. از آن جمله می‌توان به تکنیک‌های تحلیل ترکیب طیفی (سان^۹ و همکاران، ۲۰۱۷)، تغییر تصاویر از قبیل شاخص^{۱۰} TCT (لوئیس^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۶) و شاخص‌های طیفی (لامچین^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۶) اشاره کرد. رویکردهای مبتنی بر شاخص‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای برای بررسی تخریب زمین استفاده می‌شوند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۳). به‌عنوان مثال شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی^{۱۳} (NDVI) و شاخص گیاهی اصلاح‌شده خاک^{۱۴} (MSAVI) برای پایش بر شرایط پوشش گیاهی در ارزیابی بیابان‌زایی بکار گرفته می‌شود (وو^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۹). شاخص‌هایی مانند آلبدو و شاخص اندازه ذرات خاک سطحی^{۱۶} (TGSI) می‌توانند ناهمگونی مکانی بافت خاک را تشخیص دهند (لیو^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۸). درواقع بسیاری از محققان در سراسر

1 Hu

2 Dregne

3 Darouiche

4 Guang

5 Afrasinei

6 Zhao

7 Pan

8 Wang

9 Sun

10 Tasselled cap transform

11 Louis

12 Lamchin

13 Normalized difference vegetation index

14 Modified soil adjusted vegetation index

15 Wu

16 Topsoil grain size index

17 Liu

جهان با موفقیت از این شاخص‌ها برای ارزیابی بیابان‌زایی استفاده کرده‌اند (جیانگ^۱ و لی، ۲۰۱۸. ویی^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).

در حال حاضر استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور چند طیفی و پایش اطلاعات محیطی، روشی پیشرفته در نظارت بر محیط‌زیست به شمار می‌آیند (دینگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). انتخاب پارامترهای مناسب با افزایش دقت نظارتی سنجش‌ازدور، روشی نوآورانه در تحقیقات مرتبط با بیابان‌زایی است (دینگ و همکاران، ۲۰۱۳). به‌عنوان مثال زینگ^۴ و همکاران (۲۰۰۶) مدل شاخص تفاوت پایش بیابان‌زایی DDI را بر اساس روابط رگرسیونی albedo-NDVI ارائه کردند. با این حال به دلیل پوشش گیاهی کم در مناطق نیمه‌خشک و تأکید مدل‌های فوق بر شاخص NDVI، این مدل‌ها در مناطق مرتعی نیمه‌خشک قابل اجرا نیستند (روبرت^۵ و همکاران، ۱۹۹۳). با این وجود شاخص MSAVI (شاخص گیاهی اصلاح‌شده خاک) می‌تواند دامنه دینامیکی سیگنال‌های پوشش گیاهی را افزایش داده و تأثیر پس‌زمینه خاک را کاهش دهد؛ بنابراین می‌تواند به‌طور مؤثری در تشخیص پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک استفاده شود (گی^۶ و همکاران، ۱۹۹۴).

بررسی‌های مرتبط با بیابان‌زایی نشان می‌دهد که با تشدید بیابان‌زایی، پوشش گیاهی آسیب‌دیده و در نتیجه، اثرگذاری شاخص‌های پوشش گیاهی در تصاویر سنجش‌ازدور کاهش می‌یابد (ویلیام^۷ و همکاران، ۱۹۹۰، بسریل پینا^۸ و همکاران، ۲۰۱۶). در برخی از تحقیقات برای تحلیل بیابان‌زایی، مدل albedo-NDVI و albedo-MSAVI پیشنهاد شده است (زانگ^۹ و همکاران، ۲۰۰۶، فنگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۸). محققان دیگری نیز از مدل مبتنی بر albedo-TGSI استفاده کردند (گائو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال از بین این شاخص‌ها، شاخص albedo-NDVI به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. این شاخص، همبستگی قوی منفی را نشان داده و وضعیت بیابان‌زایی را منعکس می‌کند.

در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه شاخص DDI^{۱۲} انجام شده است. روند بیابان‌زایی در محدوده پیرامونی دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روند افزایشی درصد مساحت کلاس‌های خطر شدید و نسبتاً شدید نشان‌دهنده روند صعودی وقوع بیابان‌زایی در محدوده مطالعه شده است (خدایی و همکاران، ۱۳۹۹). با استفاده از داده‌های سری‌های زمانی سنجش‌ازدور روند بیابان‌زایی در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از سری‌ها به‌غیر از سری زمانی بیابان‌زایی زیاد در سطح ۵ درصد روند معناداری از خود نشان ندادند (گلوگردی و همکاران، ۱۴۰۰). در تحقیقی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست اقدام به مدل‌سازی شدت بیابان‌زایی در منطقه یزدان‌آباد زرد شده است. نتایج این تحقیق

1 Jiang

2 Wei

3 Ding

4 Zeng

5 Robert

6 Qi

7 William

8 Becerril-Piña

9 Zeng

10 Feng

11 Guo

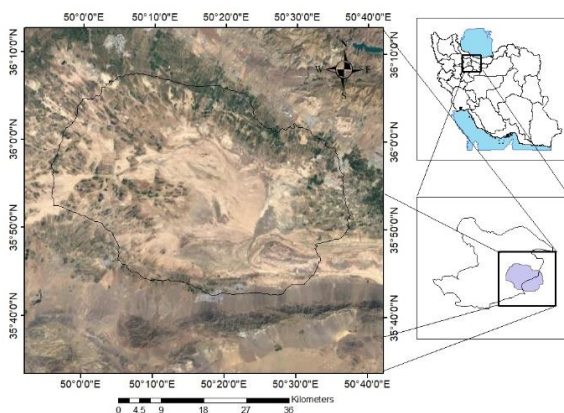
12 Desertification degree index

نشان داد که این منطقه با توجه به شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی شکننده، به شدت به تغییرات و تخریب اراضی حساس است (میجانی و همکاران، ۱۴۰۱).

این تحقیق مبتنی بر شاخص‌های طیفی TGSi، NDVI، albedo و MSAVI است. ترکیب این شاخص‌ها از طریق همبستگی پیرسون مورد آزمایش قرار می‌گیرند. هدف این تحقیق تهیه نقشه طبقات مختلف بیابان‌زایی در دشت قزوین در سال ۲۰۲۳ با استفاده از تصاویر سنتینل ۲، یکپارچه‌سازی شاخص‌های به دست آمده از داده‌های سنجنش‌ازدور برای شناسایی مناطق تحت تأثیر بیابان و ایجاد همبستگی بین شاخص‌های MSAVI، albedo، NDVI و TGSi و ایجاد رگرسیون خطی برای تعیین شاخص DDI است. دشت قزوین از مناطقی است که در سال‌های اخیر به شدت در معرض پدیده بیابان‌زایی قرار گرفته است. لذا انجام این نوع تحقیقات می‌تواند در کنترل این پدیده مؤثر باشد. دشت قزوین به علت قرارگیری در ایران مرکزی از شرایط نیمه خشکی برخوردار بوده و تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی منابع آبی را دستخوش تغییر قرار داده است. فعالیت‌های زراعی در پیرامون این دشت باعث استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی شده و سطح این منابع به شدت کاهش یافته است. این فرایند باعث تشدید بیابان‌زایی شده و این امر کانون‌های جدیدی برای طوفان‌های گردوغبار ایجاد کرده است (زندی فر و همکاران، ۱۳۹۹). توسعه فرایند بیابان‌زایی در استان قزوین به شدت در حال افزایش بوده و این امر باعث شده که روند این پدیده از جنبه‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گیرد. تخریب پوشش گیاهی در این منطقه باعث تشدید فرسایش خاک و بیابان‌زایی شده است (رشوند و همکاران، ۱۳۹۲). محمودی و قاسمی (۱۳۹۹) به بررسی پتانسیل شاخص‌های رطوبت خاک در پایش بیابان‌زایی دشت قزوین پرداختند. به این منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ پرداخته شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر تغییرات منفی و تخریب میزان قابل توجهی از پوشش گیاهی و خاک مرطوب و رشد مناطق بیابانی طی این سال‌ها در دشت قزوین است. بهمن‌آبادی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های تک منبعی و دو منبعی به برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که اخص تعدیل شده پوشش گیاهی و فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک از اهمیت ویژه‌ای در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت قزوین برخوردار است. تمامی موارد فوق نشان می‌دهد که بیابان‌زایی در دشت قزوین از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و این امر نشان‌دهنده حساسیت موضوع است.

۲ منطقه مورد مطالعه

دشت قزوین در بخش جنوبی شهر قزوین و در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۲ تا ۳۶ و ۸ درجه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۸ درجه طول شرقی واقع شده است. از نظر اقلیمی منطقه جزو اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و بارندگی سالانه کمتر از ۳۸۰ میلی‌متر در سال است. کاربری اصلی این منطقه، کشاورزی است. در فصل بهار و پاییز این منطقه متأثر از سیکلون‌های مدیترانه بوده و در فصل تابستان از انتی سیکلون‌های پرفشار جنب حاره تأثیر می‌پذیرد. از نظر زمین‌شناسی بخش جنوبی رشته‌کوه البرز نیز از فازهای کوهزایی لارامید تا فاز کوهزایی پاسادین متأثر شده است. این منطقه به شدت از روند بیابان‌زایی متأثر شده است (رشوند و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در دشت قزوین

۳ مواد و روش‌ها

در این تحقیق با بهره‌گیری از تصویر ماهواره سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۳، اقدام به ارزیابی درجات بیابان‌زایی شد. این تصویر تمامی منطقه را پوشش می‌دهند. قدرت تفکیک مکانی تصاویر امکان مشاهده دقیق زمین را فراهم می‌کند. تصاویر چند طیفی سنتینل ۲ از ۱۳ باند طیفی در قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر (۴ باند)، ۲۰ متر (۶ باند) و ۶۰ متر (۳ باند) تشکیل شده است. این ۱۳ باند طیف گسترده‌ای از طول‌موج‌ها از ۴۴۰ تا ۲۲۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهند. در این تحقیق از باندهای قرمز، مادون قرمز، آبی، سبز، SWIR1 و SWIR2 استفاده شد. تصویر ماهواره‌ای ۱۱ جولای سال ۲۰۲۳ برای یک روز فاقد پوشش ابری به منظور اجرای تحلیل‌ها به کار گرفته شد. به این منظور از تصاویری استفاده شد که میزان پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد بوده است. علاوه بر این، تصاویر جولای امکان جداسازی زمین‌های کشاورزی را از پوشش گیاهی طبیعی فراهم می‌کند. علت این امر در این است که محصولات قبل از این ماه برداشت می‌شوند. این تصاویر از سایت <http://schiub.copernicus.eu> دانلود شده‌اند. جدول ۱ ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ را ارائه می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات باندهای ماهواره سنتینل ۲

شماره باند	عنوان	تفکیک مکانی	طول موج میکرومتر
۱	ذرات غبار	۰/۴۳۳ - ۰/۴۵۳	۶۰
۲	آبی	۰/۴۵۳ - ۰/۵۲۳	۱۰
۳	سبز	۰/۵۴۳ - ۰/۵۷۸	۱۰
۴	قرمز	۰/۶۵۰ - ۰/۶۸۰	۱۰
۵	مادون قرمز نزدیک	۰/۶۹۸ - ۰/۷۱۳	۲۰
۶	مادون قرمز نزدیک	۰/۷۳۳ - ۰/۷۴۸	۲۰
۷	مادون قرمز نزدیک	۰/۷۷۳ - ۰/۷۹۳	۲۰
۸	مادون قرمز نزدیک	۰/۷۸۵ - ۰/۹	۱۰
۸a	مادون قرمز نزدیک	۰/۸۵۵ - ۰/۸۷۵	۲۰
۹	بخار آب	۰/۹۳۵ - ۰/۹۵۵	۶۰
۱۰	ابر سیروس	۱/۳۶۵ - ۱/۳۸۵	۶۰
۱۱	مادون قرمز موج کوتاه ۱	۱/۵۶۵ - ۱/۶۵۵	۲۰
۱۲	مادون قرمز موج کوتاه ۲	۲/۱۰۰ - ۲/۲۸۰	۲۰

روش اتخاذشده در این تحقیق مبتنی بر استخراج شاخص‌های طیفی NDVI، TGSi، albedo و MSAVI بوده که امکان ارزیابی و پایش بیابان‌زایی را فراهم می‌کند. این تحقیق مشتمل بر دستیابی به تصاویر ماهواره‌ای، محاسبه شاخص‌های طیفی، تجزیه و تحلیل همبستگی بین شاخص‌های طیفی، محاسبه درجه شاخص بیابان‌زایی (DDI) و تحلیل رگرسیونی بوده است (لام امری و همکاران، ۲۰۲۳).

تخمین چهار شاخص NDVI، albedo، MSAVI و TGSi با بهره‌گیری از تصویر سنتینل ۲ انجام می‌پذیرد. شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) یک شاخص اندازه‌گیری رادیومتری بی بعد است. شاخص NDVI به دلیل حساسیت زیاد به حضور، تراکم و وضعیت سلامت پوشش گیاهی به‌طور گسترده برای بررسی بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده شده است (لامچین و همکاران، ۲۰۱۶). این شاخص باندهای مادون قرمز و قرمز تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ را با استفاده از معادله زیر ترکیب می‌کند.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

در این معادله Red و NIR اشاره به باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک دارد.

آلبدوی سطح زمین تعادل انرژی تابشی روی زمین را تعیین کرده و میزان انرژی جذب‌شده توسط سطوح زیرین را نشان می‌دهد. همچنین این شاخص میزان تابش خورشیدی منعکس‌شده توسط سطح در محدوده طیفی موج کوتاه را نمایش می‌دهد. مقادیر آلبدو می‌تواند تحت تأثیر رطوبت خاک، پوشش گیاهی، پوشش برف و سایر شرایط سطح خاک قرار گیرد. افزایش میزان آلبدوی سطحی می‌تواند شواهد بیابان‌زایی را نشان دهد. آلبدو با شاخص NDVI رابطه عکس داشته و با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌گردد (لیانگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۳).

$$albedo = \frac{[(0.05 * BLUE) + (0.13 * RED) + (0.373 * NIR) + (0.085 * SWIR1) + (0.072 * SWIR2) - 0.018]}{1.016} \quad (2)$$

اگرچه شاخص NDVI به‌طور مؤثری شرایط پوشش گیاهی را ارزیابی می‌کند اما این شاخص دارای محدودیت‌هایی در تشخیص مناطق با پوشش گیاهی کم بوده و از پس‌زمینه خاک تأثیر می‌پذیرد. به این منظور برای به حداقل رساندن اثرات خارجی از شاخص MSAVI استفاده شد. این شاخص معمولاً در مناطقی استفاده می‌شود که شاخص NDVI به دلیل کمبود کلروفیل یا پوشش گیاهی ضعیف وضعیت واقعی پوشش گیاهی را منعکس نمی‌کند. همچنین این شاخص اطلاعاتی را در مورد وضعیت پوشش گیاهی در این مناطق ارائه کرده و اثرات سایر عوامل را از آن جدا می‌کند. تحقیقات نشان داده که مقادیر کمتر MSAVI اشاره به پوشش گیاهی کم و بیابان‌زایی داشته است (لی و همکاران، ۲۰۱۳). مقادیر MSAVI با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌گردد (گای^۲ و همکاران، ۱۹۹۴).

$$MSAVI = \frac{2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2} \quad (3)$$

برای شناسایی مناطق با پوشش گیاهی کم و زمین‌های بایر، شاخص مرتبط با بافت خاک (TGSi) ارائه گردید (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲). اندازه درشت‌تر ذرات نشان‌دهنده احتمال بیشتر بیابان‌زایی است. شاخص TGSi مبتنی بر اندازه‌گیری بازتاب طیفی و تحلیل آزمایشگاهی ترکیب ذرات در لایه سطحی خاک است. مقادیر مثبت نشانه ذرات درشت خاک بوده و مقادیر منفی نشان‌دهنده پوشش گیاهی یا آب است. هر چه میزان TGSi بالاتر باشد، سطح زمین ناهموارتر است. مقادیر TGSi با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود:

¹ Liang

² Qi

$$TGSI = \frac{RED - BLUE}{RED + BLUE + GREEN} \quad (4)$$

برای حذف تفاوت‌های ابعادی بین شاخص‌های مختلف، مقادیر شاخص‌های طیفی نرمالیزه شدند. فرایند نرمالیزه کردن در معادلات زیر بیان گردیده است.

$$albedo = \frac{albedo - albedo_{min}}{albedo_{max} - albedo_{min}} \times 100 \quad (5)$$

$$MSAVI = \frac{MSAVI - MSAVI_{min}}{MSAVI_{max} - MSAVI_{min}} \times 100 \quad (6)$$

$$TGSI = \frac{TGSI - TGSI_{min}}{TGSI_{max} - TGSI_{min}} \times 100 \quad (7)$$

$$NDVI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100 \quad (8)$$

استخراج درجات مختلف بیابان‌زایی مبتنی بر تحلیل چند زوج ترکیبی از شاخص‌های طیفی است تا ترکیبی انتخاب گردد که بهترین طبقات بیابان‌زایی را نمایان سازد. بدین منظور برای نقاط مربوط به هر شاخص، پیکسل‌هایی انتخاب گردید. برای استخراج درجات شدت بیابان‌زایی و تعیین بهترین میزان همبستگی، چهار ترکیب $albedo-MSAVI$ ، $albedo-TGSI$ ، $albedo-NDVI$ و $TGSI-MSAVI$ در نظر گرفته شدند. بین این شاخص‌ها رابطه رگرسیونی خطی برقرار گردید. برای ترسیم شدت بیابان‌زایی از روابط رگرسیونی بین شاخص‌های فوق استفاده گردید.

شاخص شدت بیابان‌زایی (DDI) مدلی است که توسط محققان برای ترسیم حساسیت به بیابان‌زایی در نواحی خشک و نیمه‌خشک استفاده می‌شود (بکریل^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). شاخص DDI بر اساس طبقه‌بندی فضای ویژگی ساخته شده است. با توجه به تحقیقات مختلف، مناطق مختلف بیابان‌زایی را می‌توان به‌طور مؤثر با تقسیم فضای ویژگی $albedo-NDVI$ در جهت عمودی که نشان‌دهنده روند بیابان‌زایی است، به دست آورد (بکریل و همکاران، ۲۰۱۶، ورستریت^۲ و پینتی، ۱۹۹۶). شاخص شدت بیابان‌زایی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$DDI = K \times NDVI - albedo \quad (9)$$

در این رابطه، DDI شاخص شدت بیابان‌زایی برای دو مدل فضای ویژگی بوده و K شیب خط است. سپس مقادیر محاسبه‌شده شدت بیابان‌زایی به پنج دسته تقسیم می‌شود. این پنج طبقه نشان‌دهنده بیابان‌زایی خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی کم است. طبقه‌بندی فوق بر اساس روش پیشنهادشده توسط لام امری^۳ و همکاران (۲۰۲۳) انجام شد.

براساس روابط خطی، ناحیه عمود بر روابط $albedo-MSAVI$ و $albedo-NDVI$ را می‌توان با یک چندجمله‌ای خطی ساده برآورد نمود؛ بنابراین مقادیر DDI را می‌توان از معادلات زیر به دست آورد:

$$DDI = K \times NDVI - albedo \quad (10)$$

$$DDI = K \times MSAVI - albedo \quad (11)$$

در معادلات DDI شاخص درجه بیابان‌زایی مدل‌ها بوده و k با شیب خط مستقیم تعیین می‌شود. مقادیر k برای $albedo-NDVI$ معادل ۱/۵۱ و برای $albedo-MSAVI$ معادل ۱/۰۵ به دست آمد. برای ارزیابی رابطه بین شاخص‌ها

¹ Becerril

² Verstraete

³ Lamaamri et al

مدل رگرسیونی خطی و ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. برای این منظور از نرم‌افزار Origin ۸ استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون برای هر یک از شاخص‌ها محاسبه گردید.

$$Pr = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

در آخرین مرحله از تحقیق برای اطمینان از نقشه‌های تولیدشده توسط هر شاخص و میزان اشتباه، دقت آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انتخاب پیکسل‌های نسبتاً یکدست در بین طبقات از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده می‌شود. تعداد پیکسل‌ها می‌تواند هزاران عدد باشد. از معادله ۱۳ برای تعیین درصد پیکسل‌هایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند استفاده شد.

$$UA = \frac{\text{number of correctly classified pixels}}{\text{total number of classified pixels}} \quad (13)$$

ضریب صحت کاربر (UA) از تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند به مجموع تعداد پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به دست می‌آید. ضریب کاپا به عنوان یک شاخص آماری، پیکسل‌های طبقه‌بندی شده را با پیکسل‌های تصادفی مقایسه می‌کند. مقدار K بین -۱ تا +۱ متغیر است. در نتیجه، دقت طبقه‌بندی با افزایش مقدار کاپا افزایش می‌یابد.

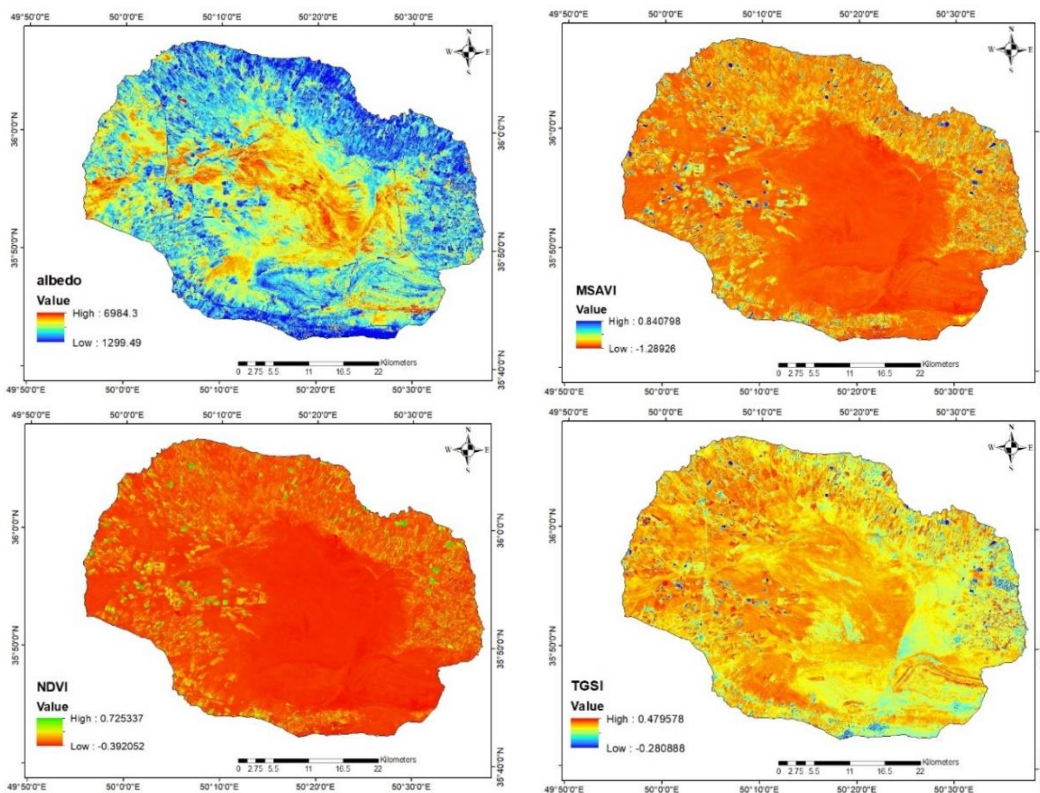
$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n (x_{i+} + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (14)$$

در اینجا n تعداد ردیف در ماتریس پراکنده، x_{ii} مجموع تعداد کل پیکسل‌ها در ردیف i و ستون i، x_{i+} تعداد کل پیکسل‌ها در ردیف i، x_{+i} تعداد کل پیکسل‌ها در ستون i و N تعداد پیکسل‌ها در ماتریس پراکنده است. بر اساس تولید پیکسل‌های مرجع و پیکسل‌های طبقه‌بندی شده برای هر دوره زمانی، ماتریس پراکنده تولید شد. ضریب کاپا برای اطمینان از سطح مطلوب دقت طبقه‌بندی حائز اهمیت است. این مقادیر دقت میزان تطابق بین پیکسل‌های طبقه‌بندی شده و مرجع را نسبت به آستانه قابل قبول ۸۵ درصد نشان می‌دهند (اندرسون^۱، ۱۹۷۶).

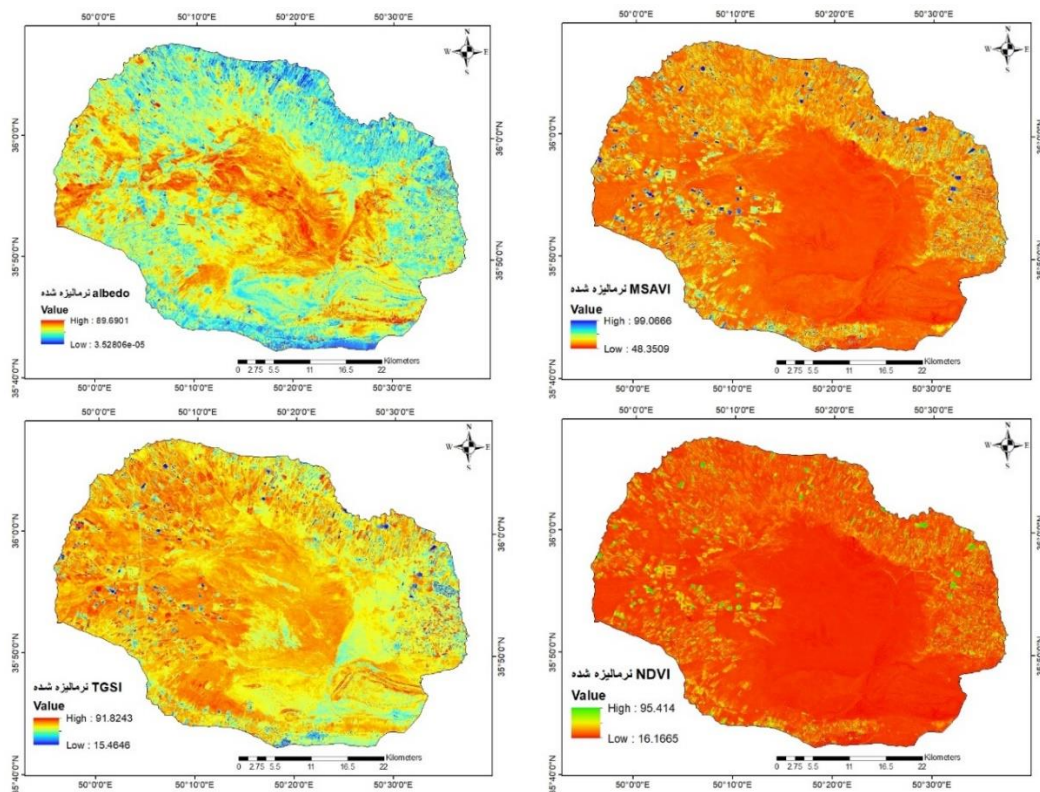
۴ بحث و نتایج

نتایج محاسباتی چهار شاخص طیفی NDVI، albedo، MSAVI و TGSi در شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر NDVI بین ۰/۷۲ تا ۰/۳۹- متغیر است. مقادیر پایین NDVI مربوط به نواحی بایر بیابانی است. در مقابل، مقادیر بالا منعکس‌کننده خاک‌هایی با پوشش گیاهی قابل توجه است. مقادیر آلبدوی سطحی با نتایج به دست آمده توسط شاخص NDVI مطابقت دارد. مقادیر کم آلبدو نمایشگر پوشش گیاهی متراکم است. مقادیر بالای آلبدو، مناطقی با پوشش گیاهی کم مانند مناطق استپی را منعکس می‌کند. شاخص TGSi اطلاعاتی را در مورد اندازه ذرات سطحی خاک ارائه می‌دهد. مقادیر این شاخص بین ۰/۲۸- تا ۰/۴۷ در نوسان است. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده ذرات درشت در خاک سطحی بوده و مناطق تخریب‌شده را نمایان می‌سازد. مقادیر شاخص MSAVI نیز بین -۱ تا ۰/۸۴ قرار داشته و مقادیر کم نشان‌دهنده خاک بایر بوده و مقادیر بالا، پوشش گیاهی متراکم را نشان می‌دهد. در واقع MSAVI در مناطقی که پوشش گیاهی ضعیف باشد به نتایج بهتری دست می‌یابد. شاخص آلبدو نواحی خاک بایر را برجسته می‌کند در حالی که شاخص TGSi بر مناطق برخورد از ذرات درشت خاک متمرکز است. این نواحی مناطق بیابان‌زایی را نشان می‌دهد.

¹ Anderson



شکل ۲. نقشه شاخص‌های NDVI، MSAVI، TGSi و albedo در دشت قزوین.



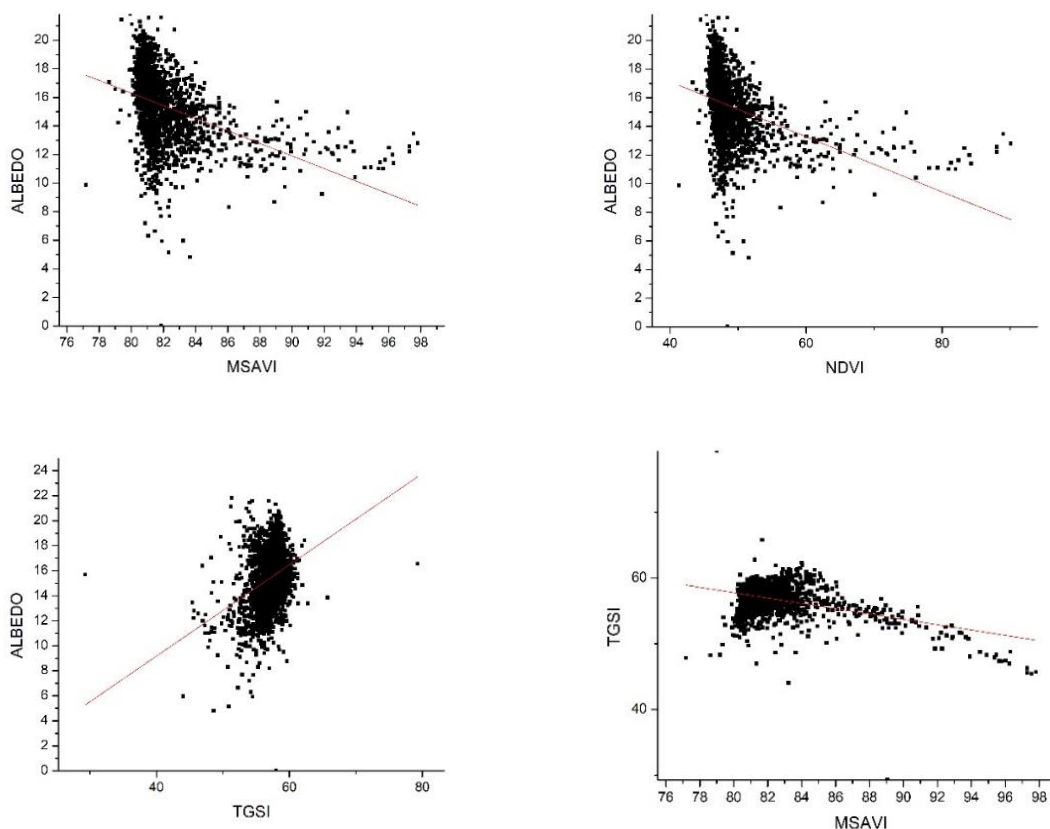
شکل ۳. نقشه‌های نرمال شده شاخص‌های NDVI، MSAVI، TGSi و albedo

برای محاسبه رگرسیون خطی، چهار ترکیب از شاخص‌های بیابان‌زایی مورد آزمون قرار گرفتند. در سه مورد از این ترکیب‌ها، آلبدو به‌عنوان متغیر وابسته و TGSi، NDVI و MSAVI به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده در ترکیب چهارم، شاخص TGSi به‌عنوان متغیر وابسته و شاخص MSAVI به‌عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار گرفتند. همبستگی منفی قابل‌توجهی بین آلبدو و MSAVI (-۰/۴۱۷) و آلبدو و NDVI (-۰/۳۷) مشاهده شد. این امر نشان می‌دهد که وقتی NDVI و MSAVI افزایش یابد آلبدو کاهش یافته و شدت بیابان‌زایی کم است. بین شاخص‌های آلبدو-TGSi و TGSi-MSAVI همبستگی ضعیفی به میزان ۰/۳۳ و -۰/۴۱۲ برقرار است. ضریب تعیین بین albedo-NDVI و albedo-MSAVI نیز به ترتیب معادل ۰/۱۴ و ۰/۱۶۵ بوده است. مقادیر حاصله این امکان را فراهم می‌سازد که بتوان شدت بیابان‌زایی را استخراج کرد.

جدول ۲. مقادیر همبستگی و رگرسیون خطی بین شاخص‌ها

شاخص‌ها	ضریب همبستگی	R ^۲	شیب خط	معادله رگرسیونی
albedo-MSAVI	-۰/۴۱۷	۰/۱۶۵	-۰/۴۴	$y = -۰.۴۴x + ۵۱.۵۷$
albedo-NDVI	-۰/۳۷	۰/۱۴	-۰/۱۹	$y = -۰.۱۹x + ۲۴.۸$
albedo-TGSi	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۳۶	$y = ۰.۳۶x + ۵.۴۲$
MSAVI- TGSi	-۰/۴۱۲	۰/۱۶۱	-۰/۴۲	$y = -۰.۴۲x + ۹۰.۲$

چندین تحقیق اثربخشی استفاده از رابطه albedo-NDVI را برای تمایز بین طبقات مختلف بیابان‌زایی نشان داده‌اند. در حقیقت مناطقی با آلبدوی بالا و مقادیر کم NDVI نشانه پوشش گیاهی ضعیف و بیابان‌زایی بالا است. نمودار پراکنندگی albedo-NDVI این شاخص‌ها بر اساس داده‌های شاخص‌های NDVI و albedo ترسیم شد.



شکل ۴. نمودار پراکنش بین شاخص‌ها برای ایجاد رابطه رگرسیون خطی.

شاخص شدت بیابان‌زایی مدلی است که توسط محققان مختلف برای ترسیم دقیق حساسیت بیابان‌زایی در مناطق خشک تا نیمه‌خشک استفاده می‌شود (پان و لی، ۲۰۱۳). در این تحقیق، ایجاد مدل‌های albedo-NDVI و albedo-MSAVI این امکان را فراهم می‌سازد که درجات مختلف بیابان‌زایی استخراج شود. مناطق مختلف بیابان‌زایی را می‌توان با تقسیم دو ترکیب albedo-NDVI و albedo-MSAVI در جهت عمودی که نشان‌دهنده روند بیابان‌زایی است، متمایز ساخت. مقادیر محاسبه‌شده درجه بیابان‌زایی به پنج دسته خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شد. مقادیر DDI در جدول ۳ نشان داده شده است.

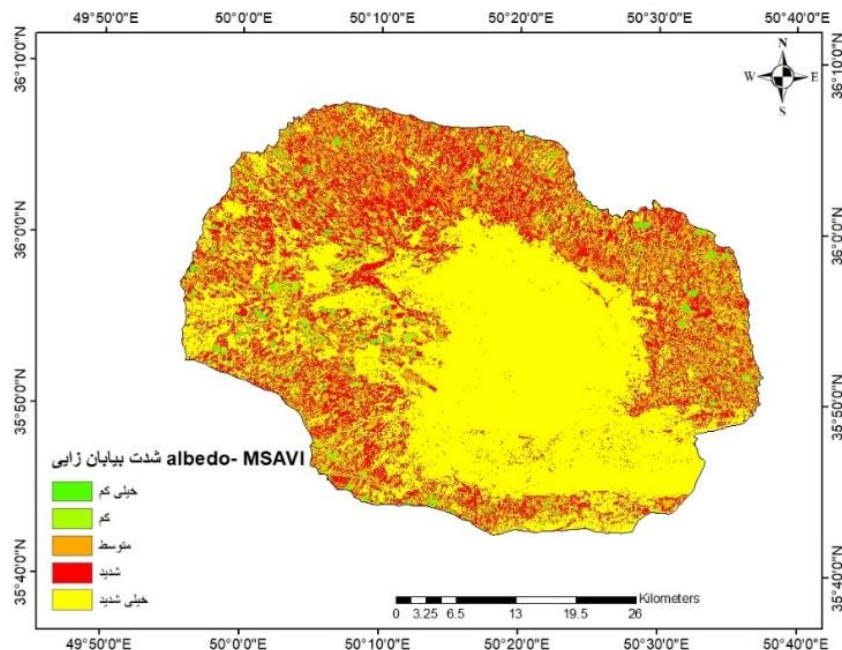
جدول ۳. خلاصه‌ای از طبقه‌بندی بیابان‌زایی بر اساس شاخص DDI

شاخص DDI در albedo-NDVI	شاخص DDI در albedo-MSAVI	شدت بیابان‌زایی
۳۲/۸ - ۲۳/۳۹	۳۱/۸ - ۱۶/۴۳	خیلی شدید
۲۳/۳۹ - ۲۲/۲۴	۱۶/۴۳ - ۱۵/۷	شدید
۲۲/۲۴ - ۲۰/۰۲	۱۵/۷ - ۱۴/۴۲	متوسط
۲۰/۰۲ - ۱۶/۲	۱۴/۴۲ - ۱۲/۰۴	کم
<۱۶/۲	<۱۲/۰۴	خیلی کم

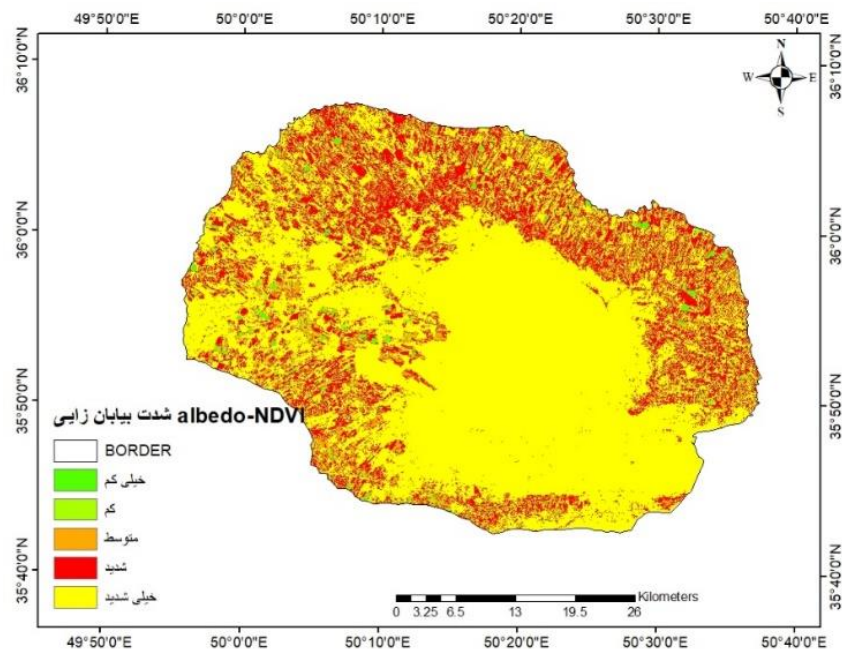
پس از استخراج درجه بیابان‌زایی با استفاده از شاخص DDI، نقشه DDI بر اساس دو مدل albedo-NDVI و albedo-MSAVI ترسیم شد. نتایج محاسباتی هر دو مدل در جدول ۴ نشان داده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل albedo-NDVI، ۶/۷ درصد منطقه بیابان‌زایی متوسط، ۲۱/۶ درصد بیابان‌زایی شدید و ۶۸ درصد بیابان‌زایی خیلی شدید را تجربه کرده است. مناطق متأثر از بیابان‌زایی کم و بیابان‌زایی خیلی کم به ترتیب ۲/۳ و ۱/۲ درصد از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شده‌اند. این مقادیر برای مدل albedo-MSAVI و برای طبقات خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب معادل ۵۵/۶، ۲۵/۳، ۱۲/۸، ۴/۲ و ۱/۹ به دست آمد. در برآورد شدت بیابان‌زایی، دو مدل به نتایج مشابهی دست یافتند.

جدول ۴. مساحت حاصل از شاخص درجه بیابان‌زایی DDI بر اساس دو مدل albedo-MSAVI و albedo-NDVI

albedo-NDVI		albedo-MSAVI		شدت بیابان‌زایی
درصد	مساحت کیلومترمربع	درصد	مساحت کیلومترمربع	
۶۸/۱	۱۴۱۸/۷	۵۵/۶	۱۱۶۰/۴	خیلی شدید
۲۱/۶	۴۵۰/۲	۲۵/۳	۵۲۸/۲	شدید
۶/۷	۱۴۱/۱	۱۲/۸	۲۶۷/۵	متوسط
۲/۳	۴۹/۷	۴/۲	۸۸/۶	کم
۱/۲	۲۴/۹	۱/۹	۳۹/۸	خیلی کم



شکل ۵. نقشه درجه بیان‌زایی DDI بر اساس رابطه رگرسیونی albedo-MSAVI



شکل ۶. نقشه درجه بیان‌زایی DDI بر اساس رابطه رگرسیونی albedo-NDVI

در آخرین بخش از تحقیق اقدام به ارزیابی درجه صحت نقشه‌های تولیدشده برای شاخص‌های albedo، MSAVI، TGSi، و DDI (albedo-MSAVI) و DDI (albedo-NDVI) از ضریب صحت کاربر (UA) و ضریب کاپا استفاده شد. برای برآورد مقادیر کاپا و ضریب صحت کاربر از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده و مقادیر حاصله پس از تولید فایل KML برآورد گردیده مقادیر زیر برای هر یک از شاخص‌ها برآورد گردید. لازم به ذکر است که نقشه پایه برای برآورد مربوط به سال ۲۰۲۳ بوده است.

جدول ۵. مقادیر صحت سنجی ضریب صحت کاربر و ضریب کاپا برای هر یک از شاخص‌ها

شاخص	ضریب صحت کاربر (UA)	ضریب کاپا
albedo	۰/۷۳	۰/۷۶
MSAVI	۰/۸۲	۰/۸۵
TGSI	۰/۷۱	۰/۷۴
DDI (albedo-NDVI)	۰/۸۴	۰/۸۷
DDI (albedo-MSAVI)	۰/۸۹	۰/۹۲

مقادیر فوق به نسبت مقادیر پیکسل‌ها در نقشه‌های ترسیم‌شده به وضعیت مشاهداتی در سال ۲۰۲۳ به دست می‌آید. مقادیر حاصله نشان می‌دهد که شاخص‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و به برآوردهای قابل قبولی دست یافته‌اند.

۵ نتیجه‌گیری

در این تحقیق با ساخت دو مدل albedo-MSAVI و albedo-NDVI به تحلیل بیابان‌زایی پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده از این مدل‌ها نسبت به مدل‌های سنتی مبتنی بر پوشش گیاهی به نتایج بهتری دست می‌یابد. از بین این دو مدل، مدل albedo-MSAVI می‌تواند برای منطقه مورد مطالعه که عمدتاً از مناطقی با پوشش گیاهی کم تشکیل شده مناسب‌ترین باشد. مدل albedo-NDVI برای مناطقی با پوشش گیاهی متراکم نتایج بهتری را به دست می‌آورد. با این حال این مناطق تنها بخش کوچکی از قلمرو مورد مطالعه را شامل می‌شود. در این تحقیق مقادیر NDVI بین ۰/۷۲ تا ۰/۳۹- متغیر بوده و مقادیر آلبدوی سطحی با نتایج شاخص NDVI مطابقت دارد. مقادیر کم آلبدو پوشش گیاهی متراکم را نشان می‌دهد. شاخص TGSI در بین ۰/۲۸- تا ۰/۴۷ در نوسان بوده و مقادیر بالا میزان تخریب را نشان می‌دهد. در شاخص MSAVI مقادیر پایین، خاک بایر را نمایش می‌دهند. این شاخص در مناطقی که پوشش گیاهی ضعیف باشد به نتایج بهتری دست می‌یابد. شاخص‌های فوق مناطق بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. بین شاخص albedo و MSAVI و NDVI رابطه منفی برقرار بوده و بین این شاخص با شاخص TGSI همبستگی مثبت برقرار است. بررسی‌ها نشان داد که بین شاخص albedo و NDVI کمترین همبستگی به میزان ۰/۳۷- برقرار بوده و بیشترین همبستگی به میزان ۰/۳۳ بین albedo و TGSI برقرار است. در نهایت بررسی‌ها نشان داد که بر اساس شاخص DDI و رابطه رگرسیونی albedo-MSAVI، ۵۵/۶ درصد منطقه مورد مطالعه در معرض بیابان‌زایی شدید قرار دارد که مساحتی در حدود ۱۱۶۰/۴ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد. بر اساس رابطه رگرسیونی albedo-NDVI، ۶۸/۱ درصد یا ۱۴۱۸/۷ کیلومترمربع از منطقه در معرض بیابان‌زایی قرار دارد. با توجه به اثربخشی مدل albedo-NDVI و albedo-MSAVI در منطقه مورد مطالعه، این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان مرجعی برای تصمیم‌گیرندگان در امر مدیریت منابع طبیعی به کار گرفته شود. این مدل می‌تواند برای مناطق دیگری با مشخصات مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Afrasinei GM, Melis MT, Arras C et al (2018) Spatiotemporal and spectral analysis of sand encroachment dynamics in southern Tunisia. *European Journal Remote Sensing* 51:352-374
- Anderson, J.R (1976) Report- USGS Numbered Series-964. In: A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. US Government Printing Office 24: 127- 296.

- Bahman Abadi B, Kaviani A, Daneshkar P, Nazari R (2018) Estimation of Actual evapotranspiration using satellite imageries and single source and two source surface energy balance Algorithms in Qazvin Plain, Journal of water research in Agriculture, 32: 227-246.
- Becerril-Piña R, Díaz-Delgado C, Mastachi-Loza CA, González-Sosa E (2016) Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. Hum Ecol Risk Assess an Int J 22:1323-1340
- Collado AD, Chuvieco E, Camarasa A (2002) Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the croprangeland boundary of Argentina. J Arid Environ 52:121-133
- Darouiche FZ, Assaoud S, Ouarhache D (2015) La dynamique de la désertification dans le Nord-Est du Maroc au cours des deux dernières décennies: Etat des lieux et précision des zones d'intérêt. Mots du Com d'organisation, p 228
- Ding J, Juan QU, Yongmeng S et al (2013) The retrieval model of soil salinization information in arid region based on MSAVI-WI feature space: a case study of the delta oasis in Weigan-Kuqa watershed. Geogr Res 32(2):223-232
- Ding J, Yuan Y, Fei W (2014) Detecting soil salinization in arid regions using spectral feature space derived from remote sensing data. Acta Ecol Sin 34(16):4620-4631
- Dregne HE (2002) Land degradation in the drylands. Arid L Res Manag 16:99-132
- Feng J, Ding JL, Wei WY (2018) A Study of soil salinization in Weigan and Kuqa rivers oasis based on Albedo-MSAVI feature space. China Rural Water Hydropower 2:147-152
- Geloogardi, S., Vali, A., Sharifi, M., (2021). Investigation of Desertification Trend in the Center of Khuzestan province Using Remote Sensing Time Series Data, Iranian Journal of Soil and water research, 52(11), 2843- 2857, [In Persian].
- Guang Y, Dong C, Xinlin H et al (2017) Land use change characteristics affected by water saving practices in Manas River Basin, China using Landsat satellite images. International Journal Agriculture Biology Engineer 10:123- 33
- Guo B, Zang W, Han B et al (2020) Dynamic monitoring of desertification in Naiman Banner based on feature space models with typical surface parameters derived from LANDSAT images. L Degradation Development 31(12):1573-1592
- Hu Y, Han Y, Zhang Y (2020) Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. Journal Arid Environment 180:104203
- Jiang M, Lin Y (2018) Desertification in the south Junggar Basin, 2000-2009: Part I. Spatial analysis and indicator retrieval. Advance Sp Resource 62:1-15
- Khodaei Geshlag, F., roostaei, S., mokhtari, D., (2020). Monitoring the Desertification Trend in the Areas Surrounding Lake Urmia (2000-2018), Geography and Environmental planning, 31(3), 21-40, [In Persian].

- Kosmas C, Kairis O, Karavitis C et al (2014) Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: methodological approach. *Environ Manage* 54:951-970
- Lamaamri M, Lghabi N, Ghazi A, El Harchaoui N (2023) Evaluation of Desertification in the Middle Moulouya Basin (North- East Morocco) using Sentinel-2 image and spectral index. *Earth systems and environment* 7: 473-492
- Lamchin M, Lee J-Y, Lee W-K et al (2016) Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advance Sp Resource* 57:64-77
- Liang S, Shuey CJ, Russ AL et al (2003) Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II Validation. *Remote Sens Environ* 84:25-41
- Liu Q, Zhao Y, Zhang X et al (2018b) Spatiotemporal patterns of desertification dynamics and desertification effects on ecosystem Services in the Mu Us Desert in China. *Sustainability* 10:589
- Louis J, Debaecker V, Pflug B, et al (2016) Sentinel-2 Sen2Cor: L2A processor for users. In: *Proceedings Living Planet Symposium 2016*. Spacebooks Online, pp 1-8
- Mijani, K., Mahdavi, R., Gholami, H., rezaei, M. (2022). Monitoring and Modeling of Desertification Intensity Using Landsat Satellite Images (Case Study of Yazdanabad-Zarand watershed). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(2), 446- 462, [In Persian].
- Pan J, Li T (2013) Extracting desertification from Landsat TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo-Vegetation feature space. *Nat Hazards* 68:915-927
- Qi J, Chehbouni A, Huete AR et al (1994) A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sens Environ* 48:119-126
- Rashvand S, Mosafae J, Darvish M, Rafee emam A (2013). Investigation on potential of desertification in terms of decay of vegetation case study: Rude Shoor, Qazvin, *Iranian Journal of Range and Desert research*, 20(1): 38- 49
- Robert KG, Running SW (1993) Community type differentiation using NOAA/AVHRR data within a sagebrush-steppe ecosystem. *Remote Sens Environ* 46(3):311-318
- Sun G, Chen X, Ren J et al (2017) Stratified spectral mixture analysis of medium resolution imagery for impervious surface mapping. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 60:38-48
- Tabib Mahmoudi F, Ghasemi N (2020) Investigating the potential of soil moisture indices for desertification monitoring, *Journal of Natural Environment*, 73: 529- 542.
- UNCCD UNC to CD (2015) *Climate change and land degradation: Bridging Knowledge and Stakeholders*
- Verstraete MM, Pinty B (1996) Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 34:1254-1265

- Wang T, Yan CZ, Song X, Xie JL (2012) Monitoring recent trends in the area of aeolian desertified land using Landsat images in China's Xinjiang region. *ISPRS J Photogramm Remote Sensing* 68:184-190
- Wei H, Wang J, Cheng K et al (2018) Desertification information extraction based on feature space combinations on the Mongolian plateau. *Remote Sensing* 10:1614
- William H, Schlesinger JF, Reynolds GL et al (1990) Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247(4946):1043-1048
- Wu Z, Lei S, Bian Z et al (2019) Study of the desertification index based on the albedo-MSAVI feature space for semi-arid steppe region. *Environment Earth Science* 78:232
- Yu P, Han D, Liu S et al (2018) Soil quality assessment under different land uses in an alpine grassland. *CATENA* 171:280-287
- Zandifar S, Ebrahimikhusfi Z, khosroshahi M, Naeimi M. (2020) Analysis of the Effect of Climatic Parameters and Meteorological Droughts on the Variation of Internal Dust Events (A Case Study: Qazvin City). *Journal of water and soil science* 24 (3) :239-256
- Zhao H, Liu R, Zhou R et al (2013) Properties and mechanisms of change of soil macro-fauna communities in the desertification process of Horqin sandy grassland. *Acta Prataculturae Sin* 22:70
- Zeng Y, Feng Z, Xiang N (2006) Albedo-NDVI space and remote sensing synthesis index models for desertification monitoring. *Sci Geogr Sin* 26:75