



Evaluation of Desertification Intensity using Spectral Indices Resulting from Satellite Images the Case Study of Bandar Mahshahr County

Mohammad Abiyat¹ , Morteza Abiyat²  , Mostefa Abiyat³ 

1- Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Email: mo-abiyat@stu.scu.ac.ir

2- (Corresponding Author) Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

Email: m.abiyat@geo.ui.ac.ir

3- Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

Email: s.abiyat@geo.ui.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

2 August 2023

Received in revised form:

27 October 2023

Accepted:

29 November 2023

Available online:

24 December 2023

Keywords:

Desertification,
Spectral Indices,
Surface Albedo,
Landsat,
Bandar Mahshahr.

ABSTRACT

Desertification is one of the factors in the destruction of natural ecosystems in arid regions of the world. Knowing the areas exposed to desertification is very important to combat this phenomenon. Remote sensing is a practical tool for evaluating and monitoring land degradation and desertification. The current research aims at the desertification intensity evaluation in Bandar Mahshahr County based on the spectral indices derived from satellite images. To begin with, utilized the ENVI software to extract several indices, such as NDVI, SAVI, RVI, TGSI, and Albedo, from the satellite image captured by the Landsat 8 OLI in the region. Then, Linear regression was utilized to determine correlations of spectral indices in the region, and the desertification intensity in the region was classified. The results showed that the correlation coefficient between NDVI and Albedo indices was -0.83, between SAVI and Albedo indices was -0.78, and between RVI and Albedo indices was -0.77. The correlation coefficient between TGSI and Albedo indices was 0.86. The higher correlation between TGSI and Albedo indicates that the Albedo-TGSI model is more appropriate for evaluating the desertification intensity in the region. The desertification map of the Albedo-TGSI model showed that the areas with less desertification intensity are located mainly in the northern and eastern parts, and the areas with more desertification intensity were situated in the southern and southwestern parts of the region.

Cite this article: Abiyat, M., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2023). Evaluation of Desertification Intensity using Spectral Indices Resulting from Satellite Images the Case Study of Bandar Mahshahr County. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (4), 61-81.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.355751.1007753>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended abstract

Introduction

Many arid and semi-arid regions of the world are affected by land degradation and desertification. Climate changes, environmental hazards, and human activities cause desertification. Desertification causes a decrease in land potential due to factors such as loss of vegetation and destruction of soil resources. Controlling desertification is one of the necessities and priorities of natural resources management. Due to spatial and temporal information, remote sensing (RS) and satellite images play an essential role in evaluating and monitoring land degradation and desertification at local, regional, and global scales. Over the last few years, spectral indices have been increasingly utilized to determine land cover. These indicators are particularly beneficial in identifying areas susceptible to environmental hazards. Using spectral indices in creating desertification intensity maps can be an effective tool. By visualizing the areas susceptible to desertification, decision-makers and land managers can prioritize their efforts and resources more effectively. The detailed information provided by these intensity maps allows for targeted interventions and the implementation of appropriate land management and conservation practices to mitigate the effects of desertification. Additionally, by utilizing spectral indices to create intensity maps, stakeholders can better understand the spatial distribution and severity of desertification, leading to more informed decision-making in natural resources management. This, in turn, can facilitate the development and implementation of sustainable land use policies and programs aimed at controlling and reversing the process of desertification. Therefore, these maps serve as effective tools for reducing the impact of land degradation and implementing strategic desertification control measures. This research aims to assess and classify the severity of desertification in Bandar Mahshahr County, located in the southwest of Iran and south of Khuzestan province, by utilizing spectral indices derived from satellite images.

Materials and Methods

In this research, all the processes were

performed on the OLI sensor image of the Landsat satellite 8 of the region on June 18, 2021, in row 39 and pass 165. The dark Subtraction method was used for the atmospheric corrections of the image. Then, spectral indices of NDVI, SAVI, RVI, TGSI, and Albedo were extracted from the region's image using ENVI 5.6 software. SPSS 22 software was used for statistical analysis, and ArcGIS 10.8 software was used to prepare desertification intensity maps. After extracting the spectral indices, the correlation between them was evaluated. To investigate the relationship between the four indices NDVI, SAVI, RVI, and TGSI with the Albedo index, a linear regression model based on 40 random pixels was used. In order to obtain desertification intensity equations, the slope coefficient of the regression line between the spectral indices was calculated. The natural breaks (Jenks) method in ArcGIS software was used to classify the data value into five degrees of desertification (areas without impact, low intensity, medium intensity, high intensity, and very high intensity). The map of spectral indices was validated using the error matrix and two parameters as Overall Accuracy and Kappa Coefficient.

Results and Discussion

Numerical values for the NDVI index, -0.45 to 0.51; for the SAVI index, from -0.91 to 1.03; for the RVI index, from 0.36 to 3.14; and for the TGSI index, from -0.09 to 0.17 were obtained. An Albedo index map was created to assess the relationship between the NDVI, SAVI, RVI, and TGSI indices and the Albedo index. Based on the obtained results, the minimum and maximum values of the Albedo index were 0.127 and 0.415, respectively. The lowest values of the Albedo index were estimated in the northern and eastern regions, and the highest values were estimated in the southern and southwestern regions. The results showed that with an increase in vegetation in the region, the number of the Albedo decreases. The linear regression model results between the indices showed that the three indices, NDVI, SAVI, and RVI, have a negative correlation with the Albedo index. Thus, the Albedo index decreases as the NDVI, SAVI, and RVI indices increase. The

correlation coefficient between the two indices NDVI and Albedo is -0.83, between SAVI and Albedo, is .78, and between RVI and Albedo is -0.77. The linear regression model results between the TGSi and Albedo indices showed that these indices have a strong correlation relationship. The correlation coefficient between the TGSi and Albedo indices was 0.86. The study findings indicated that as the TGSi index increases, the Albedo also increases. Previous studies have also shown a significant relationship between desertification processes and Albedo and TGSi indices. Thus, the amount of Albedo is a function of the size of the surface soil particles, and with an increase in the size of the surface soil particles, the amount of Albedo increases. The study of desertification intensity maps in this region showed that the areas with less desertification intensity are located mainly in the northern and eastern parts, and the areas with higher desertification intensity are situated in the southern and southwestern parts of the region. For spectral index map validation, 231 pixels were selected as the ground reality of the study area. More samples were taken from the classes that had more desertified lands. Validation results of the spectral indices showed that the NDVI index had the least accuracy, and the TGSi index had the most accuracy in zoning the desertification intensity in the region.

Conclusion

This research used Landsat satellite images to extract spectral indices and prepare a desertification intensity map in Bandar Mahshahr County. The overall accuracy criteria and Kappa coefficient of the produced maps show the reliability of the desertification intensity zoning results. The TGSi index map has been the most accurate in zoning the desertification intensity in the region. The linear regression model results showed that the three spectral indices NDVI, SAVI, and RVI have a negative correlation with the Albedo index, and the TGSi index has a positive and strong correlation with the Albedo index. The strong correlation between TGSi and Albedo indices showed that the Albedo-TGSi model is suitable for evaluating the desertification intensity in the study area according to its climatic conditions. This model can be used in

regions with similar climates to determine the desertification intensity. According to the obtained maps of desertification, the southern and southwestern parts of the region have the highest intensity of desertification.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.




Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های طیفی منتج از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: شهرستان بندر ماهشهر

محمد عیبات^۱ , مرتضی عیبات^۲ , مصطفی عیبات^۳ 

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mo-abiyat@stu.scu.ac.ir
۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: m.abiyat@geo.ui.ac.ir
۳- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: s.abiyat@geo.ui.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

بیابان‌زایی از عوامل تخریب اکوسیستم‌های طبیعی در مناطق خشک جهان به شمار می‌آید. شناخت مناطق در معرض بیابان‌زایی، جهت مبارزه با این پدیده اهمیت فراوانی دارد. سنجش از دور، ابزاری مهم در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی است. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی شدت بیابان‌زایی در شهرستان بندر ماهشهر براساس شاخص‌های طیفی منتج از تصاویر ماهواره‌ای است. ابتدا شاخص‌های NDVI، SAVI، RVI، TGSi و Albedo با کمک نرم‌افزار ENVI از تصویر OLI لندست ۸ منطقه استخراج شدند. سپس، برای ارزیابی رابطه همبستگی بین شاخص‌های طیفی از رگرسیون خطی استفاده شد و شدت بیابان‌زایی در منطقه طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین دو شاخص NDVI و Albedo برابر با $0/83-$ ، بین دو شاخص SAVI و Albedo برابر با $0/78-$ و بین دو شاخص RVI و Albedo برابر با $0/77-$ بوده است. ضریب همبستگی بین دو شاخص TGSi و Albedo برابر با $0/86+$ بوده است. همبستگی بیشتر بین دو شاخص TGSi و Albedo، بیانگر مناسب‌تر بودن مدل Albedo-TGSi جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه است. نقشه بیابان‌زایی مدل Albedo-TGSi نشان داد که نواحی دارای شدت بیابان‌زایی کمتر، عمدتاً در قسمت‌های شمالی و شرقی و نواحی دارای شدت بیابان‌زایی بیشتر، عمدتاً در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه واقع شده‌اند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۱۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۹/۰۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۱۰/۰۳

واژگان کلیدی:

بیابان‌زایی،
شاخص‌های طیفی،
آلبیدیوی سطحی،
لندست،
بندر ماهشهر.

استناد: عیبات، محمد؛ عیبات، مرتضی و عیبات، مصطفی. (۱۴۰۲). ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های طیفی منتج از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: شهرستان بندر ماهشهر. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۵ (۴)، ۸۱-۶۱.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.355751.1007753>

مقدمه

ارزیابی‌های فائو نشان می‌دهد که نزدیک به بیست درصد از مناطق خشک جهان تحت تأثیر تخریب اراضی و بیابان‌زایی هستند (Kalyan et al., 2021; Salunkhe et al., 2018). بیابان‌زایی با دامنه اثرگذاری در بیش از یکصد کشور، زندگی میلیون‌ها نفر را تحت شعاع قرار داده که این در نتیجه‌ی تعامل‌های پیچیده عواملی همچون تغییرات اقلیمی، تنش‌های محیطی و فعالیت‌های انسانی است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Liang et al., 2021). بیابان‌زایی^۱ طبق تعریف به کاهش استعداد اراضی بر اثر عامل یا مجموعه‌ای از فرآیندها از قبیل فرسایش بادی، فرسایش آبی، تخریب پوشش گیاهی، تخریب منابع آب، ماندابی‌شدن، شوری، قلیایی‌شدن خاک و امثال آنها اشاره داشته که فاکتورهای محیطی یا انسانی آن را تشدید می‌کند (Izadi Akbari et al., 2021; Allahverdi, 2022). مبارزه با بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در کشورهای مختلف، از ضرورت‌ها و اولویت‌های مدیریت محیطی در سطوح مختلف فضایی به شمار می‌آید (Kong et al., 2021; Tervonen et al., 2015). بنابراین، بیابان‌زایی یک تهدید جدی اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی برای جهان امروز است و نیاز مبرمی برای ایجاد روشی معقول و تجدیدپذیر در ارزیابی و نظارت بر آن پدیده وجود دارد (Karmaoui et al., 2021; Meng et al., 2021; Chen et al., 2021).

فناوری سنجش از دور^۲ که مبتنی بر تهیه اطلاعات مکانی در فواصل مشخص زمانی توسط هواپیماها و ماهواره‌ها می‌باشد، نقش بسیار ارزنده‌ای در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی داشته است (Wang et al., Gonzalez et al., 2019; 2021). قابلیت‌های فراوانی که این تکنولوژی ایجاد کرده است، نظیر چند طیفی بودن، گستره وسیع دید، رقومی بودن، افزایش روزافزون توان تفکیک طیفی، زمینی، زمانی و رادیومتری، ارزان بودن، پوشش تکراری و تنوع طیفی، سهل‌الوصول بودن دسترسی به داده‌ها، امکان دریافت تصاویر از نقاط غیرقابل دسترس و دقت بالای آنها، سبب ایجاد رویکرد جدیدی در مطالعات مربوط به ارزیابی و پایش مخاطرات محیطی به ویژه بیابان‌زایی شده است (Feng et al., 2022; Lamqadem et al., 2018).

ماهواره لندست ۸، تصاویر پوشش اراضی در معرض بلایای محیطی که تحت تأثیر ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی بوده است را دریافت می‌کند و نیز مبنای استفاده در قالب تکنیک‌های سنجش از دور برای ارزیابی پوشش زمین و مخاطرات محیطی می‌باشد (Hartomo et al., 2022). در چند سال اخیر، تحلیل شاخص‌های گیاهی^۳ در ارزیابی پوشش اراضی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از زمینه‌های کاربردی آنها، تحلیل مناطق در معرض مخاطرات محیطی به عنوان انواع روش‌های تحلیل مکانی و زمانی است (Hou et al., 2023; Wang et al., 2022). پردازش و تحلیل تصویر دیجیتال از داده‌های ماهواره‌ای، به وسیله الگوریتم‌های مختلف و شاخص‌های ریاضی انجام می‌گیرد. در همین حال، تحلیل ویژگی بر پایه ویژگی‌های بازتاب بوده و شاخص برای تشخیص ویژگی‌های برجسته در ناحیه‌های تصویر طراحی می‌شود (Barone et al., Karunaratne et al., 2020; 2022).

با کمک تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان از شاخص‌های مهمی جهت تعیین مناطق دارای پوشش گیاهی استفاده به عمل آورد، مانند شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک (SAVI)، شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده (RVI) و شاخص اندازه ذرات سطح خاک (TGSI) (Chu et al., 2019). با کمک این تصاویر و شاخص‌ها می‌توان نسبت به پایش تغییرات اقلیمی و مخاطرات محیطی اقدام نمود (Torres et al., 2023). پوشش گیاهی بر محیط و تعادل آب و هوایی اثر می‌گذارد (Zhang et al., 2022; Chu et al., 2019). مضاف بر این، مانع و عاملی بازدارنده در برابر بلایای محیطی است (Rey et al., 2019). همچنین، آلبیدو نقش مؤثری در تعادل انرژی سطح دارد. در طول تکامل بیابان‌زایی، پوشش گیاهی، آلبیدوی سطحی همگی تحت تأثیر بیابان‌زایی قرار می‌گیرند و لذا با در نظر گرفتن شاخص‌های پوشش گیاهی و آلبیدو می‌توان

1. Desertification
2. Remote Sensing
3. Vegetation indices

سطح بیابان‌زایی را منعکس نمود (Zongfan et al., 2022).

در ادامه، به چند مورد از مطالعات پایش بیابان‌زایی که با کمک تکنیک‌ها و داده‌های سنجش از دور انجام شده، خواهیم پرداخت. Han و همکاران (۲۰۱۵)، ارزیابی بیابان‌زایی با استفاده از تصاویر لندست و سامانه اطلاعات جغرافیایی، شاخص‌های خشکی دمای گیاه، شاخص پوشش گیاهی سبز کسری و شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده با خاک و نیز درجه حرارت سطح زمین و آلبیدوی سطح را محاسبه نموده و برای تجزیه و تحلیل الگوی مکانی و زمانی بیابان‌زایی در دوره‌های مختلف زمانی از این شاخص‌ها استفاده کردند. Piña و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۷ و نیز شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال- شده، شاخص خاک‌های لخت (BSI) و آلبیدو و نیز روش تجزیه و تحلیل برداری به بررسی روند بیابان‌زایی در بازه زمانی ۱۹۹۳-۲۰۱۱ در بخش مرکزی فلات مکزیک پرداخته و اقدام به تهیه نقشه درجه بیابان‌زایی در بخش مرکزی فلات مکزیک نموده‌اند. بر طبق نتایج، کمتر از یک سوم منطقه در کلاس با شدت زیاد بیابان‌زایی قرار دارند. Lamchin و همکاران (۲۰۱۷)، با توسعه مدلی کمی در مقیاس محلی براساس داده‌های دورسنجی به ارزیابی تغییرات پوشش زمین و بیابان‌زایی پرداختند. آنها از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، شاخص اندازه ذرات سطح خاک و آلبیدو وضعیت سطح زمین برای بررسی زیست توده گیاهی، الگوی چشم‌انداز و اقلیمی در مقیاس کوچک استفاده کردند.

Fathizad و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی به ارزیابی بیابان‌زایی با کمک سنجش از دور و الگوریتم طبقه‌بندی شی‌گرا^۲ در کویر مرکزی ایران پرداختند و از تصاویر ماهواره‌ای لندست (MSS) برای سال ۱۹۸۶، لندست (TM) برای سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۰ و لندست ۸ (OLI) برای سال ۲۰۱۶ استفاده کردند. همچنین، برای نشان دادن نتایج طبقه‌بندی، از شاخص‌های تحلیل مولفه‌های اصلی^۳، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص پایش تغییرات (Crosstab) استفاده شد. نتایج نشان داد که در طول دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۶، مساحت اراضی کشاورزی و مرتع فقیر به میزان ۱/۱۸ درصد و ۱۲/۰۱ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که تپه‌های بابر، مسکونی و تپه‌های ماسه‌ای به ترتیب در معرض روند افزایشی ۵/۱۶، ۷/۳۴ و ۰/۰۹ قرار گرفته‌اند. در طی مدت سی ساله، بیش‌ترین تغییرات مربوط به اراضی فقیر مرتعی و مسکونی بوده است.

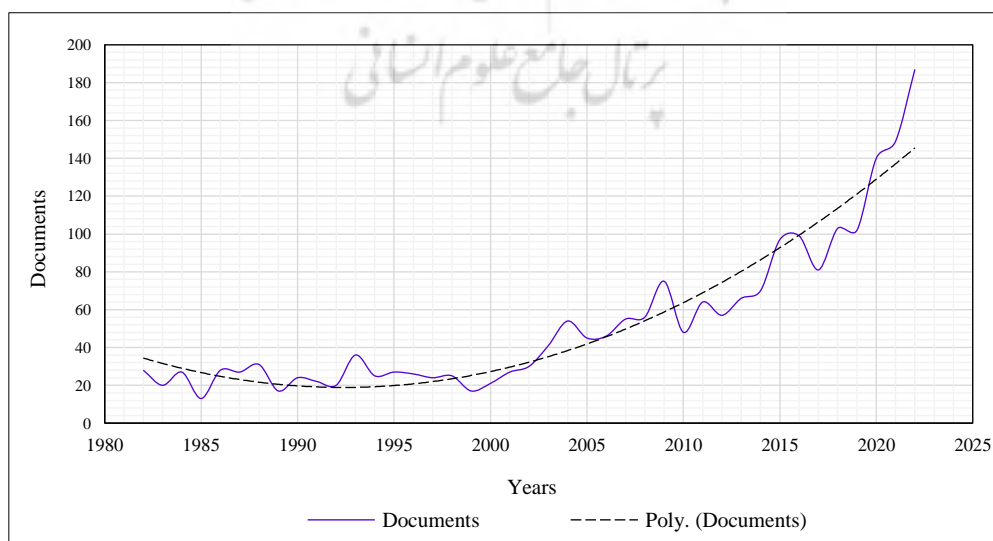
Duanyang و همکاران (۲۰۱۹)، با کمک اصول شناسایی مناطق حساس محیطی و شرایط طبیعی بیابان‌زایی، شاخص حساسیت به بیابان‌زایی را از سال‌های ۱۹۸۱-۲۰۱۰ میلادی برای شناسایی الگوی مناطق حساس به بیابان‌زایی و همچنین آشکارسازی تحول و توسعه آنها تحت سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی از سال ۲۰۱۱-۲۰۳۰ محاسبه نموده‌اند. آنها از یک مجموعه پایگاه داده شش متغیره شامل متغیر اقلیمی (بارندگی و دما)، خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی، آمارهای اجتماعی و اقتصادی، برای مدل‌سازی روند آتی بیابان‌زایی در محدوده مورد مطالعه خود استفاده کرده‌اند. بر طبق نتایج حاصل، مناطق با شدت متوسط و پایین به خطر بیابان‌زایی (۶۱/۹۳ درصد از کل مساحت) در نواحی شمال چین قرار دارند. Lamamri و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی به ارزیابی بیابان‌زایی در حوضه شمال شرقی مراکش با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ و شاخص‌های طیفی پرداختند. نتایج نشان داد که ترکیب هر یک از تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی - آلبیدو و شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک - آلبیدو، بهترین همبستگی را با ضرایب همبستگی ۰/۷۳- و ۰/۷۶- دارند. در نتیجه، از آنها برای تعیین درجه بیابان‌زایی استفاده شد. براساس نتایج، وضعیت بیابان‌زایی در این حوضه، هشداردهنده تشخیص داده شد. در واقع، نزدیک به ۸۷ درصد از منطقه در کلاس بیابان‌زایی متوسط تا شدید قرار داشته‌اند. تنها ۱۲/۲ درصد و ۰/۸۹ درصد، به ترتیب در رده‌های کم و بدون بیابان‌زایی قرار می‌گیرند. لذا، مدل پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک - آلبیدو، دقت کلی ۹۴ درصد را ارائه داد و برای تحلیل کمی و پایش بیابان‌زایی در سطح حوضه کاملاً مؤثر بوده است.

1. Thematic Mapper
2. Object-Oriented
3. Principal Component Analysis

روستایی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بررسی خطر بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های طیفی در محدوده پیرامونی دریاچه ارومیه پرداختند. در این مطالعه، از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و شاخص‌های طیفی مبین بیابان‌زایی نظیر شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی، آلبیدو، میزان نمناکی، ضریب روشنایی، میزان سبزیگی استفاده شد. پس از استخراج شاخص‌های طیفی مذکور و در جهت شناسایی مناسب‌ترین زوج شاخص‌های طیفی، میزان همبستگی و رابطه رگرسیونی موجود بین شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از تحلیل‌های آماری بررسی شدند. بر طبق نتایج حاصل، میزان همبستگی برای زوج شاخص میزان سبزیگی- ضریب روشنایی برابر با $-۴/۹$ و برای زوج شاخص میزان نمناکی- ضریب روشنایی برابر با $۰/۳۳$ است. در مرحله بعد، نقشه خطر بیابان‌زایی براساس دو زوج شاخص مذکور تهیه و در پنج کلاس خطر شدید، نسبتاً شدید، متوسط، ضعیف و بدون خطر بیابان‌زایی، طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که $۹/۸۹$ درصد از منطقه در رده خطر شدید، $۳۰/۶۰$ درصد در طبقه خطر نسبتاً شدید، $۳۷/۴۸$ درصد در رده خطر متوسط، $۱۲/۴۲$ درصد در رده طبقه ضعیف و $۹/۶۱$ درصد در رده خطر بدون بیابان‌زایی قرار دارد.

ذوالفقاری و عبدالهی (۱۴۰۱)، در پژوهشی به تعیین شدت بیابان‌زایی براساس شاخص‌های طیفی نظیر آلبیدو، شاخص اندازه دانه خاک سطحی و شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ در استان سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج مدل رگرسیون خطی، بین دو شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و آلبیدو نشان داد که این دو شاخص با یکدیگر دارای همبستگی منفی هستند و به ترتیب میزان ضریب همبستگی در مناطق سوران و زابل برابر با $۰/۷۶$ و $۰/۶۳$ بود. نتایج نشان داد، با افزایش میزان شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی از میزان شاخص آلبیدو کاسته می‌شود. نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص اندازه ذرات سطح خاک و آلبیدو نشان داد که این دو شاخص با یکدیگر رابطه قوی و مثبتی داشته و میزان ضریب همبستگی برای دو منطقه سوران و زابل برابر با $۰/۷۸$ و $۰/۸۱$ بود. نتایج نشان داد که با افزایش میزان شاخص اندازه ذرات سطح خاک بر میزان شاخص آلبیدو افزوده می‌شود.

جستجوهای صورت گرفته در پایگاه‌های اطلاعات علمی نظیر وب‌آوساینس و اسکوپوس نشان می‌دهد، تعداد مطالعات مرتبط با بیابان‌زایی، فزاینده بوده است. با بررسی پژوهش‌های مربوط به چهل سال اخیر خواهیم دریافت که سال ۲۰۲۲ ، با بیش‌ترین فراوانی تعداد مقاله علمی (۱۸۷ مورد) پیش‌تاز بوده است. این روند تا کنون روبه رشد بوده، به طوری که تنها در ابتدای سال ۲۰۲۳ ، هفده مقاله در مجلات بین‌المللی انتشار یافتند که این حاکی از اهمیت ویژه موضوع بیابان‌زایی در سطح جهان است (Web of Science, 2022).

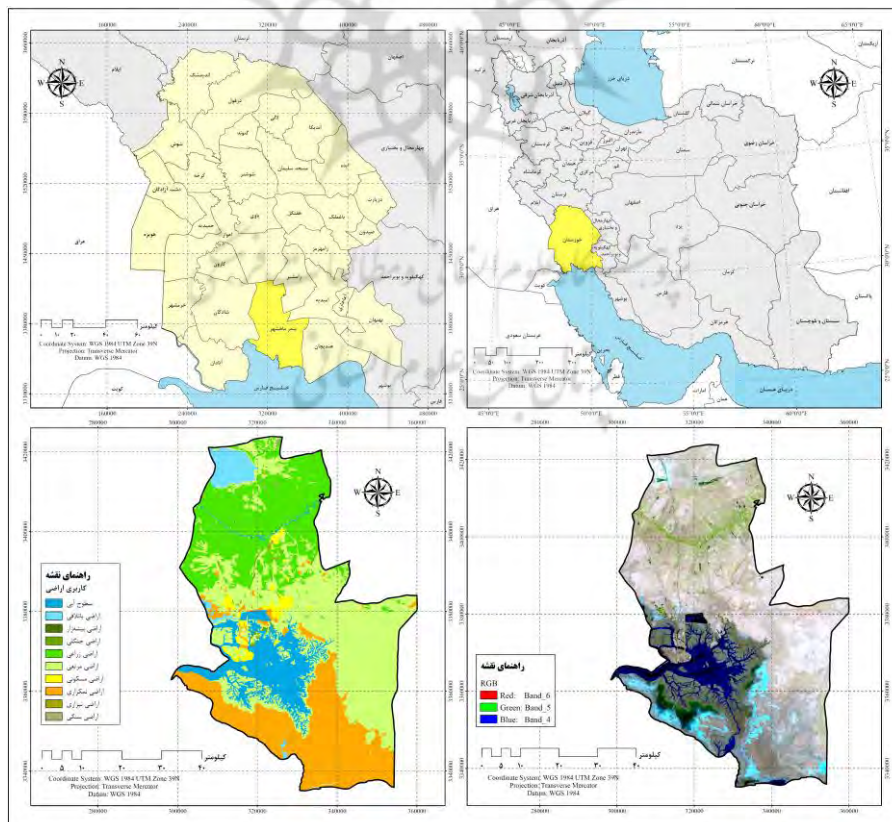


شکل ۱. روند تعداد پژوهش‌های مرتبط با موضوع از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۲

هدف مطالعه حاضر، ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های طیفی منتج از تصاویر ماهواره لندست ۸ در شهرستان بندر ماهشهر می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از ترکیب اطلاعات حاصل از شاخص‌های پوشش گیاهی، خاک و آلودگی سطحی، مناطق تحت تأثیر بیابان‌زایی تعیین می‌گردند. بکارگیری این شاخص‌ها به طور همزمان و ارزیابی ارتباط بین زوج شاخص‌ها جهت تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی، می‌تواند ابزاری مناسب در جهت کاهش اثرات تخریب اراضی و اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های کنترل و مهار مخاطره بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه باشد.

محدوده مورد مطالعه

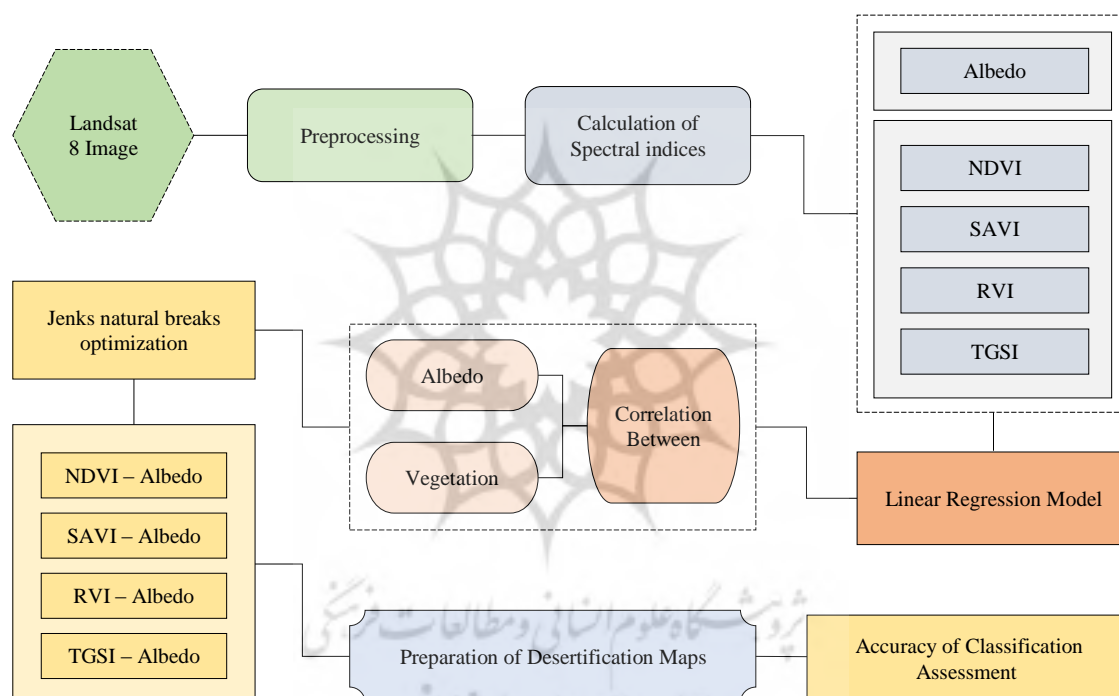
شهرستان بندر ماهشهر در جنوب غربی ایران و جنوب استان خوزستان واقع گردیده و مساحت این شهرستان به میزان ۱۹۲۲ کیلومتر مربع می‌باشد. این شهرستان دارای ۸۳ کیلومتر مرز آبی با خلیج فارس می‌باشد. بندر ماهشهر به لحاظ اقلیمی در منطقه خشک و فرا خشک واقع شده و در حوزه وسیع و مسطح به مساحت ۵۹۱ هزار هکتار در ناحیه جلگه‌ای قرار دارد. افزایش سریع درجه حرارت در فصل بهار چهره طبیعت منطقه را خشک و خشن و ارزش مراتع را شدیداً کاهش می‌دهد. این شهرستان، از آب و هوای گرم و مرطوب برخوردار بوده و دمای ۵۰ درجه در تابستان و صفر درجه در زمستان را تجربه می‌کند. شرحی‌های شدید در فصل تابستان، از ویژگی‌های منحصر به فرد این شهرستان نسبت به سایر مناطق استان به شمار می‌آید، به طوری که رطوبت نسبی آن در این فصل از سال تا ۱۰۰ درصد می‌رسد. میزان بارندگی به طور میانگین در این منطقه، ۱۹۵ میلی‌متر می‌باشد. بندر ماهشهر به سبب داشتن خاک شور و قلیایی، پوشش گیاهی آن ضعیف است و به شکل پراکنده، درختان کُناَر و گَر در آنجا دیده می‌شود. این شهرستان در بخش جلگه‌ای دشت خوزستان قرار گرفته و ناهمواری و پستی و بلندی زیادی نداشته و بیشتر اراضی آن به صورت مسطح امتداد یافته است (نظارات، ۱۳۹۳).



شکل ۲. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

در این پژوهش، کلیه پردازش‌های لازم بر روی تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ منطقه مربوط به تاریخ ۱۸ ژوئن ۲۰۲۱ در ردیف ۳۹ و گذر ۱۶۵ انجام شد. این تصویر از وبسایت USGS تهیه گردید. برای تصحیحات اتمسفری تصویر، از روش تفریق پیکسل تاریک (Dark Subtraction) استفاده شد. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی مانند آب یافت که مقادیر بازتابندگی آنها صفر یا نزدیک به صفر باشد (Bagan & Yamagata, 2012). جذب انرژی در طول موج مادون قرمز نزدیک، مهمترین ویژگی آب است. در حقیقت، بخش کمی از انرژی رسیده به سطح آب، بازتابیده می‌شود و یا از آن عبور می‌کند (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۹). به این ترتیب، اثر پخش جوی به صورت مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌گردد (Bagan & Yamagata, 2012). برای دستیابی به اهداف پژوهش پس از تصحیحات اولیه تصویر جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی، شاخص‌های طیفی به عنوان شاخص‌های معرف بیابان‌زایی با کمک نرم‌افزار ENVI 5.6 از تصویر لندست ۸ استخراج گردید. برای تحلیل‌های آماری و رگرسیون از نرم‌افزار SPSS 22 و برای تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استفاده شد.



شکل ۳. مدل مفهومی پژوهش

محاسبه شاخص‌های طیفی

بیابان‌زایی در درجه اول از نظر اثرات آن بر پوشش گیاهی و خاک توصیف شده است (Havstad et al., 2000; Zuo et al., 2009). بنابراین در این پژوهش، ابتدا چهار شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک (SAVI)، پوشش گیاهی استاندارد شده (RVI) و اندازه ذرات سطح خاک (TGSI) محاسبه شده و سپس رابطه آن‌ها با شاخص آلبیدوی سطحی (Surface Albedo) مورد ارزیابی قرار گرفت.

شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده^۱ (NDVI)

شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، از روش‌های معمول در استخراج پوشش گیاهی به صورت نسبت بین انعکاس

1. Normalized Difference Vegetation Index

اندازه‌گیری شده در باند قرمز مرئی و مادون قرمز نزدیک تعریف می‌شود (Xiao et al., 2023; Huang et al., 2020)، و به دلیل اینکه بیش‌تر تحت تأثیر جذب کلروفیل در پوشش‌های سبز برگ‌دار و تراکم پوشش گیاهی بوده و در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، تناقض پوشش گیاهی و خاک در بیش‌ترین سطح خود است، انتخاب شد (Wang et al., 2022; Sirera et al., 2021). مقادیر این شاخص بین ۱- که بیان‌کننده سطوح پوشیده از آب و برف و ۱+ که نشان‌دهنده مناطق پوشش گیاهی قرار دارند (Gillespie et al., 2018). شاخص نامبرده براساس رابطه (۱) محاسبه گردید (Sebbah et al., Correia et al., 2019, 2021);

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک^۱ (SAVI)

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنک بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود که اثرات بازتاب خاک زمینه اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد و بر آن چیره شود. بنابراین، در این مناطق از شاخص‌هایی استفاده می‌شود که اثرات خاک را به حداقل برساند. شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده با خاک، شاخص تصحیح شده شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده می‌باشد. این شاخص اثرات خاک زمینه و رطوبت خاک را در شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده کاهش می‌دهد (Wang et al., 2018). این شاخص از رابطه (۲) محاسبه گردید (Somvanshi & Kumari, 2020).

$$SAVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED+L)} (1+L) \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقدار فاکتور تصحیح روشنایی خاک (L) از ۰ برای منطقه با پوشش گیاهی بالا تا ۱ برای منطقه فاقد پوشش گیاهی سبز تغییر می‌کند (خنیفر و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۰۶). در این پژوهش، فاکتور تنظیم کننده خاک برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شد که در اکثر مطالعات، این مقدار به عنوان پیش فرض در نظر گرفته می‌شود (نوروزی و نوروزی، ۱۴۰۲: ۱۲۱).

شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده^۲ (RVI)

شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده از شاخص‌های مبتنی بر نسبت است که اولین بار در سال ۱۹۶۹ توسط Jordan به منظور کاهش اثرات آلبیدو تهیه شد. دامنه تغییرات آن از صفر تا بی‌نهایت و شیب خط برابر یک است و به ندرت برای تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی از آن استفاده می‌شود. این شاخص اگرچه کمتر به عنوان شاخص پوشش گیاهی مطرح است، اما کاربرد ویژه در از بین بردن اثرات متفاوت روشنایی و توپوگرافی دارد و نتیجه تقسیم انعکاس باند مادون قرمز بر قرمز است. شاخص RVI در این پژوهش از رابطه (۳) محاسبه گردید (Newcomer et al., 2011).

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad \text{رابطه (۳)}$$

شاخص اندازه دانه سطحی خاک^۳ (TGSI)

مطالعه Xiao و همکاران (۲۰۰۶)، یک شاخص جدید برای تشخیص ترکیب اندازه دانه سطحی خاک از طریق اندازه‌گیری‌های بازتاب طیفی خاک در محل و آنالیز فیزیکی خاک در آزمایشگاه پیشنهاد کرد (Xiao et al., 2006) که رابطه مثبتی با ذرات ریز محتوای ماسه خاک سطحی دارد (ذوالفقاری و عبدالهی، ۱۴۰۱). هر ماسه اصلی از ماسه درشت (اندازه بین ۲ میلی متر تا ۰/۶ میلی متر)، ماسه متوسط (اندازه بین ۰/۶ میلی متر تا ۰/۲ میلی متر) و ماسه ریز (۰/۲ میلی متر تا ۰/۰۶ میلی متر) تشکیل شده

1. Soil Adjusted Vegetation Index
2. Ratio Vegetation Index
3. Topsoil Grain Size Index

است (Othman et al., 2022). در مناطق که محتوای زیاد ماسه ریز در اندازه ذرات خاک سطحی وجود داشته باشد مقادیر بالای این شاخص قابل مشاهده خواهد بود. این مقادیر در مناطقی که ذرات ریز ماسه در خاک سطحی وجود دارد یا نسبت کمی از ذرات سیلت و رس وجود دارد، دیده می‌شود (ذوالفقاری و عبدلهی، ۱۴۰۱). این شاخص از رابطه (۴) محاسبه گردید (Wei et al., 2020).

$$TGSi = \frac{(RED-BLUE)}{(RED+BLUE+GREEN)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

آلبدوی سطحی (سپیدایی)

مطالعات بسیاری از پژوهشگران نشان داده است که سپیدایی (آلبدو) می‌تواند به عنوان شاخص فیزیکی مهم برای نشان دادن بیابان‌زایی باشد (Liang, 2001). آلبدو به صورت نسبت انرژی الکترومغناطیس انعکاس یافته از سطح خاک و گیاه بر انرژی فرودی بر آن سطح تعریف می‌شود (Allen et al., 2002). با توجه به این که این شاخص با ذرات سطحی خاک رابطه مستقیم دارد و هرچه اندازه ذرات خاک سطحی بزرگتر باشند، میزان آلبدو و در نتیجه بیابان‌زایی بیشتر است (Wei et al., 2018; Wei et al., 2020). مقدار این شاخص با استفاده از باندهای مربوطه و براساس رابطه (۵) محاسبه شد (هاشم‌گلوگردی و همکاران، ۱۴۰۰).

$$\text{Albedo} = 0.356\text{BLUE} + 0.13\text{RED} + 0.373\text{NIR} + 0.085\text{SWIR1} + 0.072\text{SWIR2} - 0.0018 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه، BLUE و RED به ترتیب باندهای آبی و قرمز طیف مرئی و SWIR باندهای مادون قرمز با طول موج کوتاه می‌باشند (Wei et al., 2018).

محاسبه شدت بیابان‌زایی

برای بررسی ارتباط بین چهار شاخص NDVI، SAVI، RVI و TGSi با آلبدوی سطحی (Albedo) از مدل رگرسیون خطی براساس ۴۰ پیکسل تصادفی استفاده شد. برای دستیابی به رابطه شدت بیابان‌زایی، ضریب شیب خط حاصل از رگرسیون بین شاخص‌های طیفی محاسبه شد (رابطه ۶).

$$I = a \times \text{Index} - \text{Albedo} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه، I شدت بیابان‌زایی، a مقدار ضریب حاصل از رگرسیون بین شاخص سپیدایی و شاخص پوشش گیاهی مربوطه که از تقسیم یک بر مقدار ضریب شاخص پوشش گیاهی به دست می‌آید و Index نیز شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی می‌باشند (ذوالفقاری و عبدلهی، ۱۴۰۱). از روش شکست‌های طبیعی در نرم‌افزار ArcGIS، برای طبقه‌بندی ارزش داده‌ها به پنج درجه بیابان‌زایی (مناطق بدون تأثیر، شدت کم، شدت متوسط، شدت زیاد، و شدت خیلی زیاد) استفاده شد. محققان با موفقیت از این مدل برای طبقه‌بندی پدیده‌های طبیعی استفاده کردند (Piña et al., 2016; Han et al., 2015).

صحت نقشه بیابان‌زایی

برای ارزیابی دقت نقشه شاخص‌ها، از دو پارامتر صحت کلی (Overall Accuracy) و ضریب کاپا (Kappa Coefficient) استفاده شد. صحت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه (۷) محاسبه گردید.

$$\sum P_{ij} \text{ OA} = 1/N \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه، OA دقت کلی؛ N تعداد پیکسل‌های آزمایشی و $\sum P_{ij}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد (سارلی، ۱۳۹۸). دامنه ضریب کاپا بین ۰ و ۱ بوده که عدد یک بیانگر توافق صد در صد طبقه‌بندی با واقعیت زمینی است (عبیات و

همکاران، ۱۴۰۱). شاخص کاپا از رابطه (۸) محاسبه گردید.

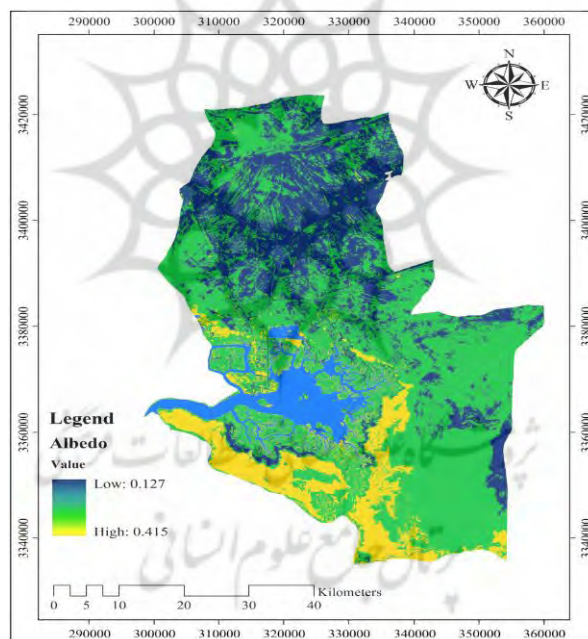
$$\text{رابطه (۸)} \quad Kappa = [(P_0 - P_c) / (1 - P_c)] \times 100$$

در این رابطه، P_0 درستی مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۲).

یافته‌ها

تهیه نقشه شاخص‌های طیفی

در این پژوهش، ابتدا مقادیر عددی برای شاخص‌های طیفی محاسبه شد که برای NDVI، ۰/۴۵- تا ۰/۵۱، شاخص SAVI، ۰/۹۱- تا ۱/۰۳، شاخص RVI، ۰/۳۶ تا ۳/۱۴ و شاخص TGSi، ۰/۰۹- تا ۰/۱۷ به دست آمد. در ادامه، برای بررسی ارتباط هر یک از شاخص‌های NDVI، SAVI، RVI و TGSi با آلبیدوی سطحی، نقشه شاخص آلبیدو (Albedo) برای منطقه تهیه شد (شکل ۲). این پارامتر دارای تغییرات مکانی و فصلی است که وابستگی زیادی با تغییرات درخشندگی خورشیدی، رشد گیاهان و فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، شهرسازی، تغییر کاربری اراضی و غیره دارد (درخشی و همکاران، ۱۳۹۹). براساس نتایج، مقادیر کمینه و بیشینه شاخص Albedo به ترتیب برابر ۰/۱۲۷ و ۰/۴۱۵ بوده است. کمترین مقادیر شاخص Albedo در مناطق شمالی و شرقی و بیشترین مقادیر در جنوب و جنوب غرب منطقه برآورد شد که بیانگر این موضوع است که هرچه پوشش گیاهی در منطقه بیشتر باشد، از آلبیدو کاسته خواهد شد (ادب و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۴. نقشه شاخص آلبیدوی سطحی برای منطقه مورد مطالعه

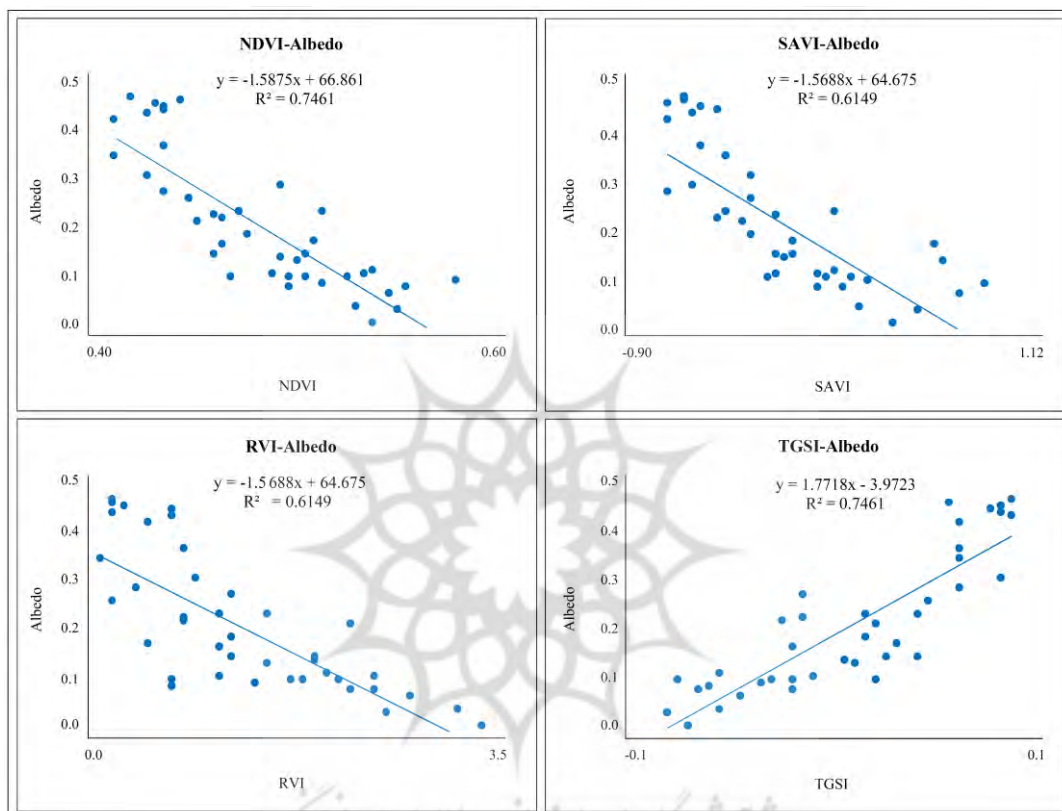
رابطه همبستگی بین شاخص‌های طیفی

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین سه شاخص NDVI، SAVI، RVI و شاخص آلبیدوی سطحی برای منطقه نشان داد که این سه شاخص مذکور با Albedo دارای رابطه همبستگی منفی می‌باشند؛ به طوری که با افزایش مقادیر شاخص‌های NDVI، SAVI و RVI، از مقدار شاخص Albedo کاسته می‌شود. ضریب همبستگی بین دو شاخص NDVI و Albedo برابر با ۰/۸۳-، بین دو شاخص SAVI و Albedo برابر با ۰/۷۸- و بین دو شاخص RVI و Albedo برابر با ۰/۷۷- بوده است (جدول ۱). نتایج مدل رگرسیون خطی بین شاخص TGSi و آلبیدوی سطحی برای منطقه نشان داد که شاخص TGSi با

Albedo دارای رابطه همبستگی مثبت و قوی می‌باشد (شکل ۵). میزان ضریب همبستگی بین دو شاخص TGSI و Albedo در این پژوهش برابر با ۰/۸۶ بوده است. کمترین همبستگی بین دو شاخص RVI و آلبیدو برابر با ۰/۷۷ بوده است.

جدول ۱. شاخص‌های آماری روابط شاخص‌های طیفی با آلبیدوی سطحی

شاخص‌ها	معادله	R2	r	RMSE	P
Albedo-NDVI	$y = -1.5875NDVI + 66.861$	0.7011	-0.83	3.34	≤ 0.05
Albedo-SAVI	$y = -1.5688SAVI + 64.675$	0.6149	-0.78	5.61	≤ 0.05
Albedo-RVI	$y = -1.8544RVI + 58.675$	0.5943	-0.77	5.83	≤ 0.05
Albedo-TGSI	$y = 1.7718TGSI - 3.9723$	0.7461	0.86	4.25	≤ 0.05

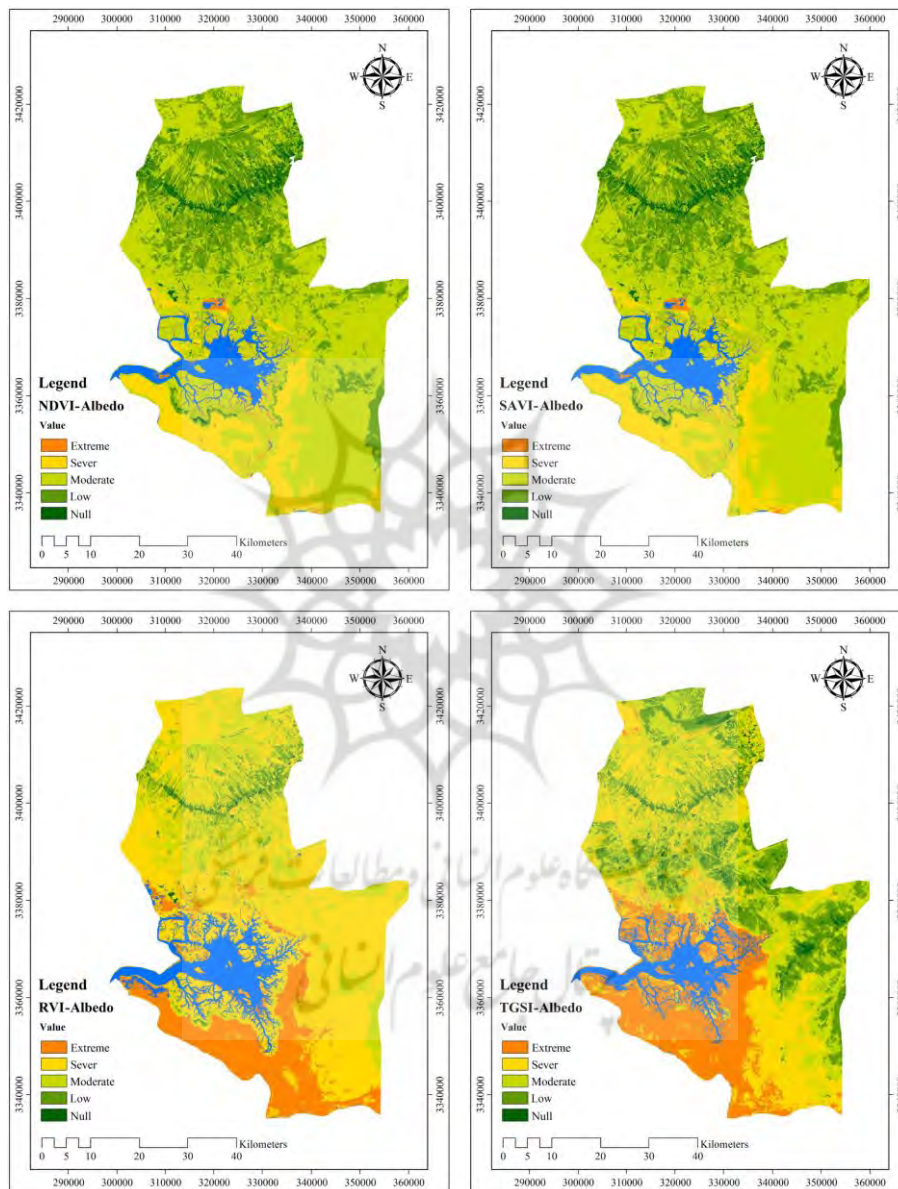


شکل ۵. نمودار رگرسیون خطی بین شاخص‌های طیفی

بر مبنای نتایج به دست آمده، با افزایش شاخص TGSI میزان آلبیدوی سطحی افزایش پیدا می‌کند. این شاخص مرتبط با خصوصیات خاک سطحی و براساس میانگین یا قطر مؤثر ذرات خاک بوده و میزان درشتی ذرات خاک سطحی را نشان می‌دهد که رابطه مستقیم با محتوای ذرات ریز خاک دارد. از سوی دیگر پژوهش‌های پیشین نشان داده است که ارتباط معناداری بین فرآیندهای بیابان‌زایی و شاخص‌های Albedo و TGSI وجود دارد. به این صورت که میزان آلبیدو تابعی از مقدار اندازه ذرات سطحی خاک است و با افزایش اندازه ذرات سطحی میزان آلبیدو افزایش می‌یابد. بنابراین ترکیب اطلاعات حاصل از این دو شاخص می‌تواند برای تشخیص مناطق تحت تأثیر بیابان‌زایی و نیز پایش فرآیند بیابان‌زایی به کار رود (هاشم‌گلوگردی و همکاران، ۱۴۰۰: ۵۱). براساس ضریب رگرسیون خطی بین شاخص‌های طیفی که در جدول ۲ ارائه شده است، معادله شدت بیابان‌زایی استخراج گردید. نتایج حاصل از نقشه شدت بیابان‌زایی بر مبنای طبقه‌بندی شکست طبیعی جنکس، در پنج طبقه طبق رابطه میان شاخص‌های طیفی برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شد.

جدول ۲. معادلات شدت بیابان‌زایی براساس شاخص‌های طیفی

شاخص‌ها	معادله
Albedo-NDVI	$y = 0.6299 \times \text{NDVI} - \text{Albedo}$
Albedo-SAVI	$y = 0.6374 \times \text{SAVI} - \text{Albedo}$
Albedo-RVI	$y = 0.5392 \times \text{RVI} - \text{Albedo}$
Albedo-TGSI	$y = 0.5643 \times \text{TGSI} - \text{Albedo}$



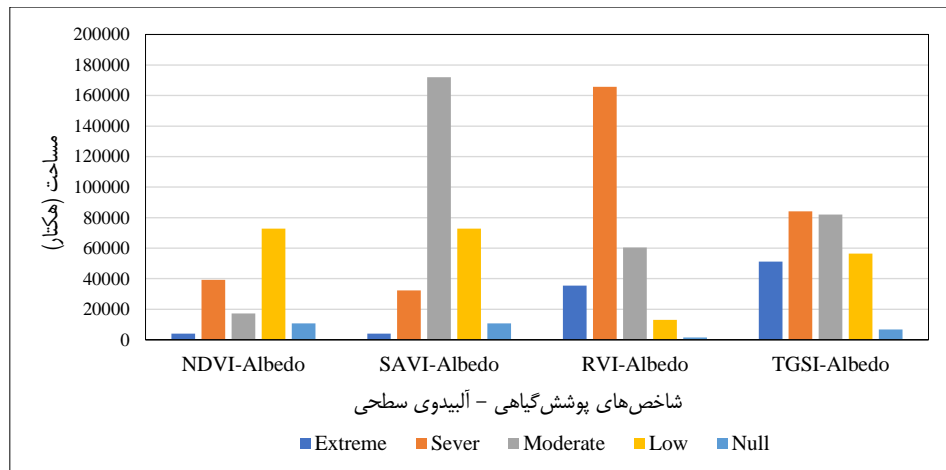
شکل ۶. نقشه شدت بیابان‌زایی براساس شاخص‌های طیفی

نقشه‌های شدت بیابان‌زایی براساس رابطه چهار شاخص NDVI، SAVI، RVI و TGSI با شاخص آلبیدوی سطحی در منطقه نشان داد که نواحی دارای شدت بیابان‌زایی کمتر عمدتاً در قسمت‌های شمالی و شرقی و نواحی دارای شدت بیابان‌زایی بیشتر عمدتاً در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه واقع شده‌اند. دو شاخص NDVI و SAVI از لحاظ طبقه‌بندی بیابان‌زایی وضعیتی تقریباً مشابه داشته‌اند. براساس نتایج این دو شاخص، اراضی دارای شدت متوسط بیابان‌زایی بیش‌ترین وسعت و

اراضی دارای شدت خیلی زیاد بیابان‌زایی کم‌ترین وسعت را داشته‌اند. روستایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز با بررسی نقشه خطر بیابان‌زایی براساس دو زوج شاخص میزان سبزی‌نگی - ضریب روشنایی و زوج شاخص میزان نمایی - ضریب روشنایی به این نتیجه رسیدند که ۳۷/۴۸ درصد از منطقه در رده خطر متوسط بیابان‌زایی قرار دارد. از نتایج تحقیقات محققان قبل می‌توان دریافت که چنانچه درصد پوشش گیاهی در منطقه زیاد باشد، شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی و چنانچه منطقه خالی از پوشش باشد، شاخص‌های مرتبط با سطح خاک، قابلیت بالاتری در ارزیابی وضعیت تخریب و بیابان‌زایی سطح زمین دارند (Wei et al., 2018; Wei et al., 2020). در دو شاخص RVI و TGVI، اراضی دارای شدت زیاد بیابان‌زایی بیش‌ترین وسعت و اراضی بدون بیابان‌زایی کم‌ترین وسعت را داشته‌اند. مساحت مناطق با شدت زیاد و خیلی‌زیاد بیابان‌زایی در دو شاخص RVI و TGVI نسبت به شاخص‌های NDVI و SAVI بیش‌تر بوده و این اراضی بیش‌تر در نواحی جنوبی و جنوب غربی منطقه و عمدتاً در مجاورت خور موسی واقع شده‌اند. بیش‌ترین مقادیر سه شاخص NDVI، SAVI و RVI، در طبقات شدت متوسط و کم بیابان‌زایی تعیین شد که نشان‌دهنده مرطوب‌تر بودن این مناطق است. در حالی که بیش‌ترین مقادیر TGSI-Albedo، در طبقه شدت زیاد بیابان‌زایی واقع شده است و نشان‌دهنده خشکی شدید این مناطق بوده است. طبقه شدت زیاد بیابان‌زایی، منطبق با مناطقی است که پوشش غالب آن‌ها اراضی بایر و شور همراه با پوشش گیاهی ضعیف است. اندازه آلبیدو به طبیعت سطوح نیز بستگی دارد (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۶). پوسته نمک روی سطح، باعث افزایش چشمگیر آلبیدو می‌شود. به همین دلیل است که نقشه‌برداری از مناطق متأثر از نمک با تصاویر سنجنش از دور، ابزار قدرتمندی برای نقشه‌برداری از خاک است (Lal, 2006). افزایش آلبیدو منجر به از دست دادن خالص تشعشع می‌شود و در نتیجه باعث کاهش دمای خاک می‌شود. با این حال، این تأثیر با عمق خاک کاهش می‌یابد (Li and Shi, 2021). آلبیدوی پوسته نمکی در سراسر طیف زیاد است (Cams et al., 2016). آلبیدوی تقریبی برای پوشش نمک خشک ۰/۵ و برای خاک ماسه‌ای خشک بین ۰/۴۵-۰/۲۵ می‌باشد (Lal, 2006). همچنین، مقدار آلبیدوی ماسه بیابانی ۰/۴ (Syahindra et al., 2021) است. نتایج حاصل از مساحت شدت بیابان‌زایی براساس مدل آلبیدوی سطحی و هر یک از شاخص‌های NDVI، SAVI، RVI و TGSI برای منطقه در جدول ۳ و شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۳. مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی (هکتار)

مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی				مفهوم نماد	نماد شدت
TGSI-Albedo	RVI-Albedo	SAVI-Albedo	NDVI-Albedo		
۵۱۱۲۳/۰۶	۳۵۵۳۴/۸۸	۴۰۰۰/۰۶	۳۹۹۹/۸۷	شدت خیلی‌زیاد بیابان‌زایی	Extreme
۸۴۰۷۵/۷۵	۱۶۵۶۵۶/۹۰	۳۲۲۲۹/۳۹	۳۹۲۲۸/۰۳	شدت زیاد بیابان‌زایی	Sever
۸۲۱۲۸/۴۲	۶۰۵۱۰/۹۶	۱۷۱۹۲۱/۷۰	۱۷۱۹۲۰/۸۰	شدت متوسط بیابان‌زایی	Moderate
۵۶۴۶۴/۲۹	۱۲۹۹۱/۵۹	۷۲۷۴۵/۸۳	۷۲۷۴۷/۸۱	شدت کم بیابان‌زایی	Low
۶۷۰۵/۱۸	۱۵۷۲/۲۱	۱۰۷۲۰/۱۷	۱۰۷۳۰/۲۶	بدون بیابان‌زایی یا تأثیر	Null



شکل ۷. نمودار مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی (هکتار)

جهت ارزیابی دقت نقشه شاخص‌های طبقه‌بندی شده، ۳۳۱ پیکسل به عنوان واقعیت زمینی از منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. انتخاب نقاط براساس نسبت درصد پوشش طبقات انجام شد. بدین صورت که از طبقاتی که مساحت اراضی در معرض بیابان‌زایی بیش‌تری داشتند، نمونه‌های بیش‌تری برداشت شد. با استفاده از ماتریس خطا، صحت طبقه‌بندی شاخص‌ها با معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا تعیین شد (جدول ۴). با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص NDVI کم‌ترین دقت و شاخص TGSI بیشترین دقت را در طبقه‌بندی نقشه شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه داشته است.

جدول ۴. اعتبارسنجی نتایج طبقه‌بندی شاخص‌های طیفی

شاخص	ضریب کاپا	صحت کلی (%)
NDVI	۰/۷۱	۷۵
SAVI	۰/۸۵	۸۸
RVI	۰/۸۲	۸۶
TGSI	۰/۹۱	۹۷

در مناطق خشک، به علت تأثیر مضاعف بازتاب خاک زمینه، شاخص NDVI نمی‌تواند به خوبی بیانگر خصوصیات پوشش گیاهی باشد، بنابراین در این مناطق، دقت برآورد پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (درویش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). در حالی که شاخص SAVI اثر خاک زمینه را کاهش داده و بازتاب گیاهان با درصد پوشش کمتر را بیشتر نشان می‌دهد. دلیل چنین حالتی به فرمول SAVI مربوط است و طبق فرمول این شاخص، پوشش کمتر ضریب بالاتری نسبت به پوشش زیاد می‌گیرد (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۷). خصوصیات طیفی گیاهان در طول موج‌های مختلف تحت تأثیر ساختار درون و برون سلولی برگ، همچنین وجود غلظت و ترکیب مواد بیوشیمیایی از جمله کلروفیل، نیتروژن و میزان آب موجود در گیاه و عوامل مورفولوژیک می‌باشد. وضعیت بسیاری از این عوامل نیز به مراحل مختلف در طول دوره رویش برگ بستگی دارد (Demarez et al., 1999; Clark et al., 2005). شاخص TGSI نمایه‌ای است که برای تشخیص بافت لایه خاک سطحی یا اندازه دانه استفاده می‌شود. مقادیر منفی یا مقادیر نزدیک به صفر نشان دهنده مناطقی با پوشش گیاهی یا آب و مقادیر نزدیک به ۰/۲ نشان دهنده محتوای زیاد شن ریز است (Xiao et al., 2006).

بحث

این پژوهش به بررسی ارتباط میان شاخص‌های طیفی NDVI، SAVI، RVI، TGSI و Albedo در منطقه مورد مطالعه پرداخته است. ابتدا، مقادیر عددی برای هر یک از شاخص‌ها محاسبه شد. سپس، ارتباط این شاخص‌ها با آلبیدوی سطحی مورد

بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که مقادیر شاخص‌های NDVI، SAVI و RVI با آلبیدوی سطحی دارای رابطه همبستگی منفی هستند. به عبارت دیگر، با افزایش این شاخص‌ها، میزان آلبیدو کاهش می‌یابد. این نتایج، همسویی با یافته‌های مطالعات پیشین را نشان می‌دهند و اهمیت پوشش گیاهی در کاهش آلبیدو و در نتیجه حفظ حرارت در سطح زمین را تأیید می‌کنند (Wei et al., 2020; Wei et al., 2018; Xiao et al., 2006). همچنین، شاخص TGSi با آلبیدو دارای رابطه همبستگی مثبت و قوی است. این نتیجه با یافته مطالعه ذوالفقاری و عبدالمی (۱۴۰۱) همراستا است که در آن افزایش شاخص TGSi منجر به افزایش میزان آلبیدوی سطحی شده است. این شاخص به عنوان یک نمایه برای تشخیص بافت لایه خاک سطحی و محتوای زیاد شن ریز به کار می‌رود. این تحلیل بیان‌کننده اهمیت شاخص‌های طیفی در تعیین وضعیت بیابان‌زایی منطقه است. همچنین در نقشه‌برداری شاخص‌ها مشخص گردید که شاخص TGSi دقت بیشتری در طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی نسبت به NDVI دارد. این نتایج می‌تواند به دلیل اثر کم‌تر شاخص TGSi بر خاک زمینه و توانایی بالاتر آن در تشخیص بافت لایه خاک سطحی باشد. براساس پژوهش Lamchin و همکاران (۲۰۱۷) شاخص TGSi منعکس‌کننده ذرات درشت دانه در خاک سطحی است که رابطه مثبتی با محتوای ذرات ماسه ریز در خاک سطحی دارد و هرچه اندازه ذرات سطحی خاک درشت‌تر باشد، شدت بیابان‌زایی بیش‌تر خواهد بود.

با بررسی شدت بیابان‌زایی در شهرستان بندرماهشهر، می‌توان اقدامات عملی متعددی را برای مقابله مؤثر با این چالش زیست محیطی پیشنهاد داد. نخست آن که ترویج و اجرای طرح‌های احیای پوشش گیاهی نظیر جنگل کاری و اجرای شیوه‌های کشاورزی پایدار و به عبارتی با تقویت وضعیت رویش گیاهی سالم‌تر، این ابتکارات به کاهش آلبیدوی سطحی کمک می‌کنند و با کاهش آلبیدوی سطحی، تشعشع خالص افزایش یافته و در نتیجه دمای خاک افزایش می‌یابد. این ممکن است، منجر به کاهش شدت بیابان‌زایی گردد، چرا که افزایش دمای خاک می‌تواند سبب رشد گیاهان و بازیابی پوشش گیاهی در منطقه شود. از این لحاظ، کاهش آلبیدوی سطحی می‌تواند به کاهش شدت بیابان‌زایی و بهبود وضعیت منطقه کمک کند، مشخصاً اگر این کاهش آلبیدو، بهبودی در شرایط محیطی و پوشش گیاهی منطقه ایجاد کند. برای رویکرد دوم، از آنجا که شاخص TGSi همبستگی مثبتی با آلبیدو داشته و مقادیر بالای آن بر افزایش آلبیدو مؤثر است، اقدامات برای مدیریت و کنترل ترکیب خاک ضروری است. اجرای شیوه‌های حفاظت از خاک، مانند کنترل یا جلوگیری از فرسایش خاک، اتخاذ شیوه‌های آگروفارستری و ترویج مدیریت پایدار زمین، می‌تواند به حفظ شرایط بهینه و سلامت خاک کمک کند. پرداختن به عواملی که به افزایش مقدار TGSi منجر می‌شوند، مانند مدیریت لایه‌های سطحی خاک و به حداقل رساندن محتوای سیلت، در این رویکرد امری اساسی است. در رویکرد سوم، برنامه‌ریزان با تکیه بر شاخص‌های طیفی و دقت TGSi در طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی، می‌توانند نسبت به تعیین مناطق در معرض خطر بیابان‌زایی و اجرای مداخلات هدفمند راهنمایی گیرند. ادغام این پیش‌ها در برنامه‌های توسعه منطقه‌ای می‌تواند تاب‌آوری منطقه در برابر بیابان‌زایی را افزایش دهد. برای رویکرد چهارم، افزایش آگاهی و مشارکت جامعه محلی نسبت به شیوه‌های استفاده پایدار از زمین در قالب برنامه‌های مشارکتی می‌تواند ساکنان را در مورد اهمیت تقویت احساس مالکیت و مسئولیت در قبال زمین، حفظ پوشش گیاهی و سلامت خاک، اتخاذ روش‌های کشاورزی مناسب و مشارکت در اقدامات مربوط به احیای جنگل‌ها آموزش دهد. در واقع، جوامع محلی می‌توانند نقشی محوری در موفقیت بلندمدت اقدامات کاهش بیابان‌زایی داشته باشند. برای رویکرد پنجم، مقامات دولتی و محلی می‌توانند سیاست‌ها و مقرراتی را تدوین و اجرا کنند که شیوه‌های مدیریت پایدار زمین را تشویق کند. عرضه مشوق‌های مالی به کشاورزان و زمین‌دارانی که شیوه‌های پایدار را اتخاذ می‌کنند، می‌تواند پیروی گسترده از استراتژی‌های کاهش بیابان‌زایی را تقویت کند. در رویکرد ششم، با توجه به اهمیت شاخص‌های طیفی در سنجش بیابان‌زایی، ابتکارات تحقیقاتی موجود و نیز استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و هوش مصنوعی می‌تواند بینش‌ها، ابزارها و داده‌های ارزشمندی را برای تصمیم‌گیری آگاهانه فراهم کنند. این رویکرد علمی می‌تواند اثربخشی اقدامات بیابان‌زدایی را با استفاده از

راهبردهای سازگاری با شرایط محیطی در حال تغییر افزایش دهد.

جهت‌گیری‌های مطالعاتی آینده در زمینه کاربرد شاخص‌های طیفی و آلبیدو در تحقیقات بیابان‌زایی می‌تواند شامل پایش بیابان‌زایی و شدت تخریب زمین در سطح جهانی، ارزیابی خطرات فرسایش در مناطق بیابانی و ارزیابی میزان پوشش گیاهی و پوشش سنگ بستر در معرض بیابان‌زایی باشد. همچنین، از آنها می‌توان به منظور پیش‌بینی تغییرپذیری فضایی ویژگی‌های ساختاری و عملکردی اکوسیستم‌های خشک و ارزیابی آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر بیابان‌زایی استفاده کرد. با این حال، شاخص‌های طیفی تحت تأثیر تغییرات رطوبت خاک و شرایط آب‌وهوایی قرار می‌گیرند که می‌تواند پایداری و دقت آنها را در طول زمان تحت تأثیر قرار دهد. همچنین، ممکن است در مناطق خاص یا انواع پوشش گیاهی عملکرد خوبی داشته باشند، اما اثربخشی آنها می‌تواند در مناطق مختلف و انواع پوشش زمین متفاوت باشد. مضاف بر این، شاخص‌های طیفی استاندارد شده برای پایش بیابان‌زایی وجود ندارد و بسیاری از شاخص‌ها برای اهداف یا مناطق خاصی توسعه یافته‌اند. با توجه به توسعه شاخص‌های طیفی در مناطق مختلف و انواع پوشش گیاهی، انجام مقایسه‌های جامع میان این شاخص‌ها چالش‌برانگیز خواهد بود. برای ارزیابی دقت و قابلیت اطمینان شاخص‌های طیفی در سنجش و پایش شدت بیابان‌زایی، نیاز به روش‌های اعتبارسنجی قوی و قابل مقایسه وجود دارد. به علاوه، شاخص‌های طیفی ممکن است رفتار وابسته به مقیاس از خود نشان دهند، به این معنی که عملکرد آنها بسته به مقیاس فضایی که در آن اعمال می‌شوند، می‌تواند متفاوت باشد. از دیگر محدودیت‌ها، تفاوت در ویژگی‌های طیفی سنجنده‌ها است که می‌تواند منجر به تغییرات در مقادیر شاخص‌های طیفی گردد و مقایسه شاخص‌های مشتق شده از سنجنده‌های مختلف را با مشکل روبرو سازد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از تصاویر ماهواره لندست به منظور محاسبه شاخص‌های طیفی و تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در شهرستان بندر ماهشهر استفاده شد. صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌های تولید شده بیش از ۷۰ درصد بوده که نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن نتایج طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی است. در این پژوهش نقشه حاصل از شاخص TGSi بیش‌ترین دقت را در طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه داشته است. نتایج روش رگرسیون خطی بین شاخص‌های NDVI، SAVI، RVI و TGSi و شاخص آلبیدوی سطحی برای منطقه مورد مطالعه نشان داد که سه شاخص طیفی NDVI، SAVI و RVI با Albedo دارای رابطه همبستگی منفی و شاخص TGSi دارای رابطه همبستگی مثبت و قوی می‌باشند. همبستگی قوی متغیرهای TGSi و Albedo نشان داد که مدل Albedo-TGSi شاخصی مناسب برای ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه با توجه به اقلیم خشک و پوشش گیاهی ضعیف آن است. این مدل می‌تواند در مناطق مشابه برای تعیین شدت بیابان‌زایی استفاده شود. براساس دو مدل NDVI-Albedo و SAVI-Albedo بیشتر مساحت منطقه در کلاس شدت متوسط بیابان‌زایی قرار دارد. براساس مدل‌های مبتنی بر شاخص‌های طیفی در این پژوهش، قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه دارای بیشترین شدت بیابان‌زایی هستند که در صورت استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب و احیاء و توسعه پوشش گیاهی، می‌توان از بیابان‌زایی در این مناطق جلوگیری نمود.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- احمدی، حمزه؛ اسماعیل پور، یحیی؛ مرادی، عباس و غلامی، حمید (۱۳۹۸). ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم در حوضه آبخیز جازموریان. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۶(۲)، ۲۲۱-۲۲۴. doi:10.22069/jwsc.2019.15565.3076
- ادب، حامد؛ امیراحمدی، ابولقاسم و عبتاتی، آزاده. (۱۳۹۳). ارتباط پوشش گیاهی با دما و آلودگی سطحی در دوره گرم سال با استفاده از داده‌های مودیس در شمال ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۶(۴)، ۴۱۹-۴۳۴. doi: 10.22059/jphgr.2014.52994
- اصغری، صیاد؛ جلیلیان، روح‌اله؛ پیروزی‌نژاد، نوشین؛ مددی، عقیل و یادگاری، میلاد. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست؛ مطالعه موردی: رودخانه گاماسیاب کرمانشاه. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰(۵۸)، ۵۳-۷۰. doi: 10.29252/jgs.20.58.53
- ایمانی، جمال؛ ابراهیمی، عطاءالله؛ قلی‌نژاد، بهرام و طهماسبی، پژمان. (۱۳۹۷). مقایسه دو شاخص SAVI و NDVI در سه جامعه گیاهی مختلف با شدت نمونه‌برداری متفاوت؛ مطالعه موردی: مراتع اطراف تالاب چغاخور چهارمحال و بختیاری. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱(۱)، ۱۵۲-۱۶۹. doi: 10.22092/ijdr.2018.116233
- حجازی‌زاده، زهرا؛ طولابی‌نژاد، میثم؛ رحیمی، علیرضا؛ بزمی، نسرین و بساک، عاطفه. (۱۳۹۶). مدلسازی فضایی- زمانی آلودگی در گستره‌ی ایران زمین. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۷(۴۷)، ۱-۱۷. doi: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.6.8
- خنیفر، جواد؛ خادم‌الرسول، عطاله و عامری‌خواه، هادی. (۱۳۹۹). مدل‌سازی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی در کاربری‌های مرتع و جنگل. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۷(۶)، ۲۰۱-۲۱۴. doi: 10.22069/jwsc.2021.18202.3383
- درخش، جعفر؛ سبحانی، بهروز و اصغری، صیاد. (۱۳۹۹). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر آلودگی سطحی و دمای سطح زمین در حوضه آبخیز اهرچای. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۱۰(۳۷)، ۱۲۳-۱۴۲. doi: 10.22111/gaij.2020.5951
- درویش‌زاده، روشنگر؛ متکان، علی اکبر؛ حسینی‌اصل، امین و ابراهیمی‌خوسفی، محسن. (۱۳۹۱). تخمین درصد پوشش گیاهی منطقه خشک ایران مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای؛ مطالعه موردی: حوزه شیپور، بافق. *خشک‌بوم*، ۲(۱)، ۲۵-۳۸. doi: 20.1001.1.2008790.1391.2.1.3.8
- ذوالفقاری، فرهاد و عبداللهی، وحیده. (۱۴۰۱). تعیین مناسب‌ترین شاخص پوشش گیاهی برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک به کمک تصاویر ماهواره سنتینل-مدیریت بیابان، ۱۰(۱)، ۱-۱۴. doi: 10.22034/jdmal.2022.548652.1375
- روستایی، شهرام؛ مختاری، داود و خدائی‌قشلاق، فاطمه (۱۳۹۹). بررسی خطر وقوع بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های طیفی در محدوده‌ی پیرامونی دریاچه‌ی ارومیه. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۹(۳)، ۱-۱۷. doi: 10.22034/gmpj.2020.122206
- سارلی، رضا؛ روشن، غلامرضا و گرب، استقان. (۱۳۹۸). سنجش و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی حوزه استان مازندران طی بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۰۵ با استفاده از زنجیره مارکوف و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۸(۱۱۱)، ۱۴۹-۱۶۲. doi: 10.22131/sepehr.2019.37514
- عبیات، محمد؛ عبیات، مرتضی و عبیات، مصطفی. (۱۴۰۱). بررسی کارایی روش‌های طبقه‌بندی و شاخص‌های طیفی در برآورد سطح زیرکشت محصولات زراعی شهرستان شوش. *آب و خاک*، ۳۶(۴)، ۴۹۳-۵۰۹. doi: 10.22067/jsw.2022.76746.1167
- محمدی، پروا؛ ابراهیمی، کیومرث و بذرافشان، جواد. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز گرگانرود با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۷(۶۰)، ۱۱-۱۹. doi: 20.1001.1.20089554.1402.17.60.1.3

- نظارات، ناصر. (۱۳۹۳). *اصطلاحات، لغات و ضرب‌المثل‌های گویش مردم ماهشهر، هندیجان و روستاهای حومه*. چاپ اول، اشراق کویر: یزد.
- نوروزی، آذین و نوروزی، الدوز. (۱۴۰۲). کاربرد الگوریتم پنجره مجزا در شناسایی جزایر حرارتی شهرستان یزد. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۳(۱)، ۱۱۵-۱۳۹. doi: 10.22098/mmws.2022.11148.1103
- هاشم‌گلوگردی، ساره؛ ولی، عباسعلی و شریفی، محمدرضا. (۱۴۰۰). کاربرد مدل فضای ویژگی TGSi - Albedo در بررسی وضعیت بیابانی شدن مرکز استان خوزستان. *مدیریت بیابان*، ۹(۳)، ۴۹-۶۶. doi: 10.22034/jdmal.2021.534364.1341

References

- Abiyat, M., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2022). Evaluation of Efficiency between Classification Methods and Spectral Indices in Cropped Area Estimation of Shush County. *Water and Soil*, 36(4), 493-509. doi: 10.22067/jsw.2022.76746.1167 [In Parsian]
- Adab, H., Amir-Ahmadi, A., & Atabati, A. (2014). Relating vegetation cover with land surface temperature and surface Albedo in warm period of year using MODIS imagery in North of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(4), 419-434. doi: 10.22059/jphgr.2014.52994 [In Parsian]
- Ahmadi, H., Esmaeilpour, Y., Moradi, A., & Gholami, H. (2019). Assessment of land sensitivity to desertification hazard using system dynamics approach in the Jazmurian Watershed. *Water and Soil Conservation*, 26(2), 221-224. doi:10.22069/jwsc.2019.15565.3076 [In Parsian]
- Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh-Noughani, M., & Zakeri, D. (2021). Prioritizing policies and strategies for desertification risk management using MCDM-DPSIR approach in northeastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 2503-2523. doi:10.1016/j.sciaf.2019.e00146
- Allen, R., Tasumi, M., & Trezza, R. (2002). *Surface energy balance algorithms for land*. Advanced Training and User's Manual Idaho Implementation: Washington DC.
- Asghari, S., Jalilyan, R. A., Pirozineghad, N., Madadi, A., & Yadeghari, M. (2020). Evaluation of water extraction indices using landsat satellite images: Case study of Gamasiab River in Kermanshah. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 20(58), 53-70. doi: 10.29252/jgs.20.58.53 [In Parsian]
- Bagan, H., & Yamagata, Y. (2012). Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years. *Remote sensing of Environment*, 127, 210-222. doi:10.1016/j.rse.2012.09.011
- Barone, P. M., Matsentidi, D., Mollard, A., Kulengowska, N., & Mistry, M. (2022). Mapping decomposition: A preliminary study of non-destructive detection of simulated body Fluids in the Shallow Subsurface. *Forensic Sciences*, 2(4), 620-634. doi: 10.3390/forensicsci2040046
- Carns, R. C., Light, B., & Warren, S. G. (2016). The spectral albedo of sea ice and salt crusts on the tropical ocean of Snowball Earth: II. Optical modeling. *Geophysical Research: Oceans*, 121, 5217-5230. doi: 10.1002/2016JC011804
- Chen, A., Yang, X., Guo, J., Xing, X., Yang, D., & Xu, B. (2021). Synthesized remote sensing-based desertification index reveals ecological restoration and its driving forces in the northern sand-prevention belt of China. *Ecological Indicators*, 131, 108230. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108230
- Chen, B., Yang, Y., Xu, D., & Huang, E. (2019). A dual band algorithm for shallow water depth retrieval from high spatial resolution imagery with no ground truth. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 151, 1-13. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2019.02.012
- Chu, H., Venevsky, S., Wu, C., & Wang, M. (2019). NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang river basin from 1982 to 2015. *Total Environment*, 650, 2051-2062. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.115
- Clark, M. L., Roberts, D. A., & Clark, D. B. (2005). Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales. *Remote Sensing of Environment*, 96, 375-398. doi: 10.1016/j.rse.2005.03.009
- Correia, W. L. F., De Barros Santiago, D., De Oliveira-Júnior, J. F., & Da Silva Junior, C. A. (2019). Impact of urban decadal advance on land use and land cover and surface temperature in

- the city of Maceió, Brazil. *Land use policy*, 87, 104026. doi: 10.3390/su14116935
- Darvishzadeh, R., Matkan, A. A., Hosseiniasl, A. H., & Ebrahimi-Khusefi, M. (2012). Estimation of vegetation fraction in the Central arid region of Iran using satellite images: Case study of Sheitoor basin, Bafgh. *Arid Biome*, 2(1), 25-38. doi: 20.1001.1.2008790.1391.2.1.3.8 [In Parsian]
- Demarez, V., Gastellu-Etchegorry, J. P., Mougin, E., Marty, G., Proisy, C., Dufrêne, E., & Dantec, V. L. (1999). Seasonal variation of leaf chlorophyll content of a temperate forest. Inversion of the PROSPECT model. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 879-894. doi: 10.1080/014311699212975
- Derakhshi, J., Sobhani, B., & Asghari, S. (2020). Evaluation of land use change trend and its impact on surface Albedo and land surface temperature in Aharchai watershed. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 10(37), 123-142. doi: 10.22111/gaij.2020.5951
- Duanyang, X., Xiaogang, Y., Chunlin, X. (2019). Assessing the spatial-temporal pattern and evolution of areas sensitive to land desertification in North China, *Ecological Indicators*, 97, 150-158. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.10.005
- Fathizad, H., Ardakani, M. A. H., Mehrjardi, R. T., & Sodaieezadeh, H. (2018). Evaluating desertification using remote sensing technique and object-oriented classification algorithm in the Iranian central desert. *African Earth Sciences*, 145, 115-130. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2018.04.012
- Feng, K., Wang, T., Liu, S., Kang, W., Chen, X., Guo, Z., & Zhi, Y. (2022). Monitoring desertification using machine-learning techniques with multiple indicators derived from MODIS images in Mu Us Sandy Land, China. *Remote Sensing*, 14(11), 2663. doi: 10.3390/rs14112663
- Gillespie, T. W., Ostermann-Kelm, S., Dong, C., Willis, K. S., Okin, G. S., & Mac-Donald, G. M. (2018). Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485-494. doi:10.1016/j.ecolind.2018.01.031
- Gonzalez, M., Zvoleff, A., Noon, M., Liniger, H., Fleiner, R., Harari, N., & Garcia, C. (2019). Synergizing global tools to monitor progress towards land degradation neutrality: Trends, earth and the world overview of conservation approaches and technologies sustainable land management database. *Environmental Science & Policy*, 93, 34-42. doi: 10.1016/j.envsci.2018.12.019
- Gutman, G., Skakun, S., & Gitelson, A. (2021). Revisiting the use of red and near-infrared reflectances in vegetation studies and numerical climate models. *Science of Remote Sensing*, 4, 100025. doi: 10.1016/j.srs.2021.100025
- Han, L., Zhang, Z., Zhang, Q., & Wan, X. (2015). Desertification assessments in the Hexi corridor of northern China's Gansu Province by remote sensing. *Natural Hazards*, 75(3), 2715-2731. doi: 10.1007/s11069-014-1457-0
- Hartomo, K. D., Nataliani, Y., & Hasibuan, Z. A. (2022). Vegetation indices' spatial prediction based novel algorithm for determining tsunami risk areas and risk values. *PeerJ Computer Science*, 8, 935. doi: 10.7717/peerj-cs.935
- Hashem-Geloojerdi, S., Vali, A., & Sharifi, M. R. (2021). Application of TGSI - Albedo feature space model in assessing of desertification status in the center of Khuzestan province. *Desert Management*, 9(3), 49-66. doi: 10.22034/jdmal.2021.534364.1341 [In Parsian]
- Hejazizadeh, Z., Toulabi-Nejad, M., Rahimi, A., Bazmi, N., & Bosak, A. (2017). Modeling of spatio-temporal of albedo over Iran. *Applied researches in Geographical Sciences*, 17(47), 1-17. doi: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.6.8 [In Parsian]
- Hou, J., Gao, Y., Fan, T., Wang, P., Wang, Y., Wang, J., & Lu, W. (2023). Tsunami risk change analysis for qidong County of China based on land use classification. *Marine Science and Engineering*, 11(2), 379. doi: 10.3390/jmse11020379
- Houssa, R., Pion, J.C., & Yésou, H. (1996). Effects of granulometric and mineralogical composition on spectral reflectance of soils in a Sahelian Area. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 51, 284-298. doi: 10.1016/S0924-2716(96)00023-8
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2020). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Forestry Research*, 32(1), 1-6. doi: 10.1007/s11676-020-01155-1
- Imani, J., Ebrahimi, A., Gholonejad, B., & Tahmasebi, P. (2018). Comparison of NDVI and SAVI

- in three plant communities with different sampling intensity: Case study of Choghakhour Lake Rangelands in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Range and Desert Research*, 25(1), 152-169. doi: 10.22092/ijdr.2018.116233 [In Parsian]
- Izadi, R., & Allahverdi, A. (2022). An overview of methods and materials for sandy soil stabilization: emerging advances and current applications. *Ecopersia*, 10(4), 333-347. doi: 20.1001.1.23222700.2022.10.4.7.6
- Kalyan, S., Sharma, D., & Sharma, A. (2021). Spatio-temporal variation in desert vulnerability using desertification index over the Banas River Basin in Rajasthan, India. *Geosciences*, 14: 1-13. doi: 10.1007/s12517-020-06417-0
- Karmaoui, A., El Jaafari, S., Chaachouay, H., & Hajji, L. (2021). The socio-ecological system of the Pre-Sahara zone of Morocco: A conceptual framework to analyse the impact of drought and desertification. *GeoJournal*, 87, 4961-4974. doi:10.1007/s10708-021-10546-8
- Karunaratne, S., Thomson, A., Morse-McNabb, E., Wijesingha, J., Stayches, D., Copland, A., & Jacobs, J. (2020). The fusion of spectral and structural datasets derived from an airborne multispectral sensor for estimation of pasture dry matter yield at paddock scale with time. *Remote Sensing*, 12(12), 2017. doi: 10.3390/rs12122017
- Khanifar, J., Khademalrasoul, A., & Amerikhah, H. (2021). Modeling mean weight-diameter of aggregates based on vegetation indices in rangeland and forest land uses. *Water and Soil Conservation*, 27(6), 201-214. doi:10.22069/jwsc.2021.18202.3383 [In Parsian]
- Kong, Z. H., Stringer, L., Paavola, J., & Lu, Q. (2021). Situating China in the global effort to combat desertification. *Land*, 10(7), 702. doi: 10.3390/land10070702
- Lal, R. (2006). *Encyclopedia of soil science*, Second Edition, Marcel Dekker: New York. doi: 10.1017/S0014479703341523
- Lamamri, M., Lghabi, N., Ghazi, A., El Harchaoui, N., Adnan, M. S. G., & Shakiul Islam, M. (2022). Evaluation of desertification in the Middle Moulouya Basin (North-East Morocco) using sentinel-2 images and spectral index techniques. *Earth Systems and Environment*, September 19, 1-20. doi: 10.1007/s41748-022-00327-9
- Lamchin, M., Lee, W. K., Jeon, S. W., Lee, J. Y., Song, C., Piao, D., Lim, C. H., Khaulenbek, A. & Navaandorj, I. (2017). Correlation between desertification and environmental variables using remote sensing techniques in Hogno Khaan, Mongolia. *Sustainability*, 9(4), 581. doi:10.3390/su9040581
- Lamqadem, A. A., Saber, H., & Pradhan, B. (2018). Quantitative assessment of desertification in an arid oasis using remote sensing data and spectral index techniques. *Remote Sensing*, 10(12), 1862. doi: 10.3390/rs10121862
- Li, X., & Shi, F. (2021). Effects of evolving salt precipitation on the evaporation and temperature of sandy soil with a fixed groundwater table. *Vadose Zone Journal*, 20(3), 1-12. doi: 10.1002/vzj2.20122
- Liang, S. (2001). Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 76 (2): 213-238. doi: 10.1016/S0034-4257(00)00205-4
- Liang, X., Li, P., Wang, J., Shun Chan, F. K., Togtokh, C., Ochir, A., & Davaasuren, D. (2021). Research progress of desertification and its prevention in mongolia. *Sustainability*, 13(12), 6861. doi:10.3390/su13126861
- Meng, X., Gao, X., Li, S., Li, S., & Lei, J. (2021). Monitoring desertification in Mongolia based on Landsat images and Google Earth Engine from 1990 to 2020. *Ecological Indicators*, 129: 107908. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107908
- Mohammadi, P., Ebrahimi, K., & Bazrafshan, J. (2023). Investigation of land use changes in Gorganrood catchment using Google Earth Engine platform. *Watershed Management Science and Engineering*, 17(60), 11-19. doi: 20.1001.1.20089554.1402.17.60.1.3 [In Parsian]
- Newcomer, M., Chen Hsu, W., Justice, E., Guild, L., Rogoff, D. & Skiles, J. (2011). Prototype Application of NASA Missions to Identify Patterns of Wetland Vegetation Development within the South San Francisco Bay Salt Ponds. *ASPRS 2011 Annual Conference*, Milwaukee: Wisconsin.
- Nezarat, N. (2013). *Idioms, words and proverbs of the people dialect of Mahshahr and Handijan and the villages in the suburbs*. First Edition, Ishraq Kavir: Yazd. [In Parsian]

- Norouzi, A., & Norouzi, U. (2023). Application of split-window algorithm to study urban heat island in Yazd county. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1), 115-129. doi: 10.22098/mmws.2022.11148.1103 [In Parsian]
- Othman, B. A., Marto, A., Uzuoka, R., Ueda, K., & Mohd Satar, M. H. (2022). Liquefaction resistance of Sand-Kaolin mixtures: Effect of sand sizes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 1103, Natural Disaster Seminar 2019, Kuala Lumpur: Malaysia.
- Piña, R., Díaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C. A., & González-Sosa, E. (2016). Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. *Human and Ecological Risk Assessment*, 22(6), 1323-1340. doi: 10.1080/10807039.2016.1169914
- Qi, G., Song, J., Li, Q., Bai, H., Sun, H., Zhang, S., & Cheng, D. (2022). Response of vegetation to multi-timescales drought in the qinling mountains of China. *Ecological Indicators*, 135, 108539. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.108539
- Rey, F., Bifulco, C., Bischetti, G. B., Bourrier, F., De Cesare, G., Florineth, F., Graf, F., Marden, M., Mickovski, S.B., Phillips, C., Peklo, K., Poesen, J., Polster, D., Preti, F., Rauch, H.P., Raymond, P., Sangalli, P., Tardio, G., & Stokes, A. (2019). Soil and water bioengineering: Practice and research needs for reconciling natural hazard control and ecological restoration. *Total Environment*, 648, 1210-1218. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.217
- Rostaei, S., Mokhtari, D., & Khodaei-Gheshlagh, F. (1401). Evaluating the risk of desertification using the spectral indices in the surrounding area of Lake Urmia. *Quantitative Geomorphological Research*, 9(3), 1-17. doi: 10.22034/gmpj.2020.122206 [In Parsian]
- Salunkhe, S. S., Bera, A. K., Rao, S. S., Venkataraman, V. R., Raj, U., & Murthy, Y. K. (2018). Evaluation of indicators for desertification risk assessment in part of Thar Desert Region of Rajasthan using geospatial techniques. *Earth System Science*, 127, 1-24. doi: 10.1007/s12040-018-1016-2
- Sarli, R., Roshan, G., & Grab, S. (2019). Evaluation and prediction of vegetation changes of Mazandaran, Iran from 2005 to 2017 using Markov chain method and geographical information systems (GIS). *Geographical Data (Sepehr)*, 28(111), 149-162. doi: 10.22131/sepehr.2019.37514 [In Parsian]
- Sebbah, B., Alaoui, O. Y., Wahbi, M., Maâtouk, M., & Achhab, N. B. (2021). QGIS-Landsat Indices plugin (Q-LIP): Tool for environmental indices computing using landsat data. *Environmental Modelling & Software*, 137, 104972. doi: 10.1016/j.envsoft.2021.104972
- Sirera, À. P., Antichi, D., Warren Raffa, D., & Rallo, G. (2021). Application of remote sensing techniques to discriminate the effect of different soil management treatments over rainfed vineyards in Chianti Terroir. *Remote Sensing*, 13(4), 716. doi: 10.3390/rs13040716
- Somvanshi, S. S., & Kumari, M. (2020). Comparative analysis of different vegetation indices with respect to atmospheric particulate pollution using sentinel data. *Applied Computing and Geosciences*, 7, 100032. doi: 10.1016/j.acags.2020.100032
- Syahindra, K. D., Ma'arif, S., Widayat, A. A., Fauzi, A. F., & Setiawan, E. A. (2021). Solar PV system performance ratio evaluation for electric vehicles charging stations in transit oriented development (TOD) areas. *E3S Web of Conferences*, 231, 02002. doi: 10.1051/e3sconf/202123102002
- Tervonen, T., Sepehr, A., & Kadziński, M. (2015). A multi-criteria inference approach for anti-desertification management. *Journal of Environmental Management*, 162, 9-19. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.07.006
- Torres, L. K., Martínez, D. W., & Saba, M. (2023). The widespread use of remote sensing in asbestos, vegetation, oil and gas and geology applications. *Atmosphere*, 14(1), 172. doi: 10.3390/atmos14010172
- Uzuner, Ç., & Dengiz, O. (2020). Desertification risk assessment in Turkey based on environmentally sensitive areas. *Ecological Indicators*, 114, 106295. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106295
- Wang, G., Liu, S., Liu, T., Fu, Z., Yu, J., & Xue, B. (2018). Modelling above-ground biomass based on vegetation indexes: a modified approach for biomass estimation in semi-arid grasslands. *Remote Sensing*, 40(10), 3835-3854. doi: 10.1080/01431161.2018.1553319
- Wang, J., Han, P., Zhang, Y., Li, J., Xu, L., Shen, X., Yang, Z., Xu, S., Li, G., & Chen, F. (2022). Analysis on ecological status and spatial-temporal variation of Tamarix chinensis forest based

- on spectral characteristics and remote sensing vegetation indices. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(25), 37315-37326. doi: 10.1007/s11356-022-18678-1
- Wang, J., Liu, D., Ma, J., Cheng, Y., & Wang, L. (2021). Development of a large-scale remote sensing ecological index in arid areas and its application in the Aral Sea Basin. *Arid Land*, 13, 40-55. doi: 10.1007/s40333-021-0052-y
- Wang, L. C., Hoang, D. V., & Liou, Y. A. (2022). Quantifying the impacts of the 2020 flood on Crop production and food security in the middle reaches of the Yangtze river, China. *Remote Sensing*, 14(13), 3140. doi: 10.3390/rs14133140
- Wang, M., He, G., Zhang, Z., Wang, G., Wang, Z., Yin, R., Cui, S., Wu, Z. & Cao, X. (2019). A radiance-based split-window algorithm for land surface temperature retrieval: Theory and application to MODIS data. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 76, 204-217. doi: 10.1016/j.jag.2018.11.015
- Wei, H., Wang, J., & Han, B. (2020). Desertification information extraction along the China–Mongolia railway supported by multisource feature space and geographical zoning modeling. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 392-402. doi:10.1109/jstars.2019.2962830
- Wei, H., Wang, J., Cheng, K., Li, G., Ochir, A., Davaasuren, D., & Chonokhuu, S. (2018). Desertification information extraction based on feature space combinations on the Mongolian plateau. *Remote Sensing*, 10(10), 1614. doi: 10.3390/rs10101614
- Xiao, F., Liu, Q., Li, S., Qin, Y., Huang, D., Wang, Y., & Wang, L. (2023). A Study of the Method for Retrieving the Vegetation Index from FY-3D MERSI-II Data. *Remote Sensing*, 15(2), 491. doi: 10.3390/rs15020491
- Xiao, J., Shen, Y., Tateishi, R., Bayaer, W. (2006). Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *Remote Sensing*, 27(12), 2411–2422. doi:10.1080/01431160600554363
- Yang, C., Wu, G., Ding, K., Shi, T., Li, Q., & Wang, J. (2017). Improving land use/land cover classification by integrating pixel unmixing and decision tree methods. *Remote Sensing*, 9(12), 1222. doi: 10.3390/rs9121222
- Zhang, T., Xu, X., Jiang, H., Qiao, S., Guan, M., Huang, Y., & Gong, R. (2022). Widespread decline in winds promoted the growth of vegetation. *The Total Environment*, 825, 153682. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153682
- Zolfaghari, F., & Abdollahi, V. (1401). Determining the desertification intensity based on spectral indices using Sentinel-2 images: Case study of Sistan and Baluchestan province. *RS and GIS for Natural Resources*, 13(1), 108-126. Doi: 10.22034/jdmal.2022.548652.1375 [In Persian]
- Zongfan, B., Ling, H., Xuhai, J., Ming, L., Liangzhi, L., Huiqun, L., & Jiixin, L. (2022). Spatiotemporal evolution of desertification based on integrated remote sensing indices in Duolun County, Inner Mongolia. *Ecological Informatics*, 70, 101750. doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101750
- Zuo, X., Zhao, H., Zhao, X., Guo, Y., Yun, J., Wang, Sh., & Miyasaka, T. (2009). Vegetation pattern variation, soil degradation and their relationship along a grassland desertification gradient in Horqin sandy land, Northern China. *Environmental Geology*, 58, 1227–1237. doi: 10.1007/s00254-008-1617-1