

Assessment of Desertification Trends in Kerman Province Using Remote Sensing

S. Barkhori^{1*}, M. Dolatkordestani¹, K. Javaheri²

1. Associate Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2. MSc. Student of Desert Management and Control, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

* Corresponding Author: Barkhori.s@ujiroft.ac.ir

Received date: 27/04/2024

Accepted date: 09/07/2024

 [10.22034/JDMAL.2024.2027464.1461](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2027464.1461)

Extended Abstract

Introduction

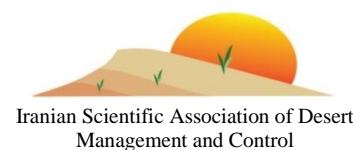
Desertification is land degradation that occurs in arid, semi-arid, and dry sub-humid areas, where water is the most important limiting factor for land use in the ecosystem (19). Desertification (31) is a term used to describe the decrease in biological productivity in ecosystems of arid, semi-arid, and dry sub-humid regions caused by climate change and human activities. To provide management solutions and prevent desertification spread globally, it is necessary to evaluate the phenomenon and its changes over time. At the global level, numerous studies have been conducted to evaluate and monitor desertification using various methods and evaluate its changes over time. In recent years, there has been a lot of attention given to remote sensing in this regard. Lamchin et al. (2016) examined land cover changes and desertification in Mongolia using remote sensing indices such as NDVI, albedo, and TGSI. It was discovered that the study area has experienced an increase in desertification each year (16). Ontel et al. (2023) investigated the trend of land degradation and desertification in Romania using remote sensing indices. The research findings revealed that 60% of the limited study area (22) had been improved and restored. In Iran, the majority of the land is located in arid, semi-arid, and hyper-arid climates (4), and the duration of the warm season is increasing in 80 percent of the regions (10). These conditions will lead to the continued growth and expansion of desertification in Iran. Therefore, finding methods to assess this phenomenon, its causes, and predict its trends will become increasingly important. The management of vegetation cover and natural resources requires an assessment of the desertification process due to the semi-arid and desert climate of Kerman province. This study aims to examine the trend of desertification over time using remote sensing due to the issue's importance and the climatic conditions of Kerman province.

Material and Methods

Kerman province, with an area of 183,000 square kilometers, accounts for approximately 11% of the total area of the country. Satellite images were used to calculate the intensity of desertification to achieve the set objectives. To calculate the intensity of desertification, the DDI index introduced by Pan and Li (2013) was utilized in this study. To evaluate desertification in Kerman province, the first step was to establish the target months by utilizing the monthly NDVI average.

Desert Management

www.isadmc.ir

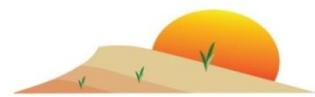


Estimates of NDVI were made on the Google Earth Engine platform from 2001 to 2022 using the MOD09A1 product layers of the MODIS sensor, and the monthly average for the study period was then determined. An average Albedo coefficient map was calculated for the period 2001 to 2022 after determining the target months and obtaining the average NDVI map from 2001 to 2022 in these months. The intensity of desertification for the target months was calculated by performing a linear regression between NDVI and Albedo coefficient in the next step. The highest intensity of desertification for every target month was determined by determining the year with the lowest DDI value at pixel level. After calculating the DDI index for the 22-year study period, to examine the trend of desertification changes, the trend of DDI index changes for the target months was calculated from 2001 to 2022 using the non-parametric Kendall test in the TerrSet software. The slope of changes in the DDI index for the target months in time units was calculated using TerrSet software for 22 years. To simulate the trend of changes, linear regression analysis can be utilized.

Discussion and Conclusion

The highest NDVI values over the 22 years are in March, April, May, and June, which indicate the highest growth and greenness of vegetation during these months, as per the results obtained. The four months with the highest NDVI values were chosen to investigate the trend of desertification changes based on the results of this section. The most severe desertification in March was 23.93% in 2012, while the lowest was 23.0% in 2016. The highest and lowest severity of desertification in April were 22.23% and 35.0% in 2012 and 2006, respectively. The most severe desertification was recorded at 20.14% and 22.42% during May and June in 2001, while the least was 32.0% and 11.0% in 2017, respectively. The results indicate that the trendless class has allotted the largest area throughout the 22-year period, with values of 82.45%, 59.83%, 49.96%, and 51.79% in March, April, May, and June, respectively. The results indicate that desertification changes with high and very high intensity mostly occur in the southwest, south, and southeast regions of Kerman province. The northwest and northeast regions of the province are also a part of this class. The vegetation cover values in March, April, May, and June were the highest in the year, as shown by the average monthly NDVI results. Behrangmanesh et al. (2019) and Alamdarloo et al. (2018) reported that the vegetation cover in most regions of Iran is at its peak during these months. The results indicated that the intensity of desertification is increasing considerably in Kerman province in all four selected months, particularly in the southern regions. The assessment of desertification changes showed that the southern regions of Kerman province are classified as high and very high in all four selected months. The effectiveness of the desertification intensity assessment method proposed by Pan and Li (2013) can be demonstrated by analyzing the results of this study in Kerman province and comparing it to previous research in this area.

Keywords: Albedo; Desertification; Linear Regression; NDVI



ارزیابی تغییرات شاخص شدت بیابان‌زایی در استان کرمان با استفاده از سنجش‌ازدور

سعید برخوردار^{۱*}، مجتبی دولت‌کردستانی^۱، کیمیا جواهری^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول: Barkhori.s@ujiroft.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

doi [10.22034/JDMAL.2024.2027464.1461](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2027464.1461)

چکیده

با توجه به اهمیت پدیده بیابان‌زایی و گسترش آن در سطح جهان، در پژوهش حاضر با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور به ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی استان کرمان پرداخته شد. بدین منظور ابتدا بر اساس میانگین بلندمدت NDVI ماه‌های مارس (اسفند-فروردین)، آوریل (فروردین-اردیبهشت)، می (اردیبهشت-خرداد) و ژوئن (خرداد-تیر) انتخاب شدند. با بهره‌گیری از داده‌های سنجنده مودیس، تصاویر NDVI و سپیدایی در طول سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۲ (۱۳۸۰-۱۴۰۱) تهیه و شاخص شدت بیابان‌زایی (DDI) برای ۲۲ سال محاسبه شد. سپس با آزمون من‌کندل، روند تغییرات شاخص مذکور بررسی شد. همچنین با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی، شدت تغییرات بیابان‌زایی در قالب ماه‌های زمانی موردنظر در طول ۲۲ سال با استفاده از شاخص DDI برآورد شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که طبقه بدون روند تغییرات در تمام ماه‌های موردبررسی بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است که برای ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن به ترتیب ۸۲/۴۵، ۵۹/۸۳، ۴۹/۹۶ و ۵۱/۷۹٪ می‌شود. بیشترین درصد مساحت شدت بیابان‌زایی ماه مارس با مقدار ۲۳/۹۳٪ به سال ۲۰۱۲ اختصاص داشت. همچنین بیشترین شدت بیابان‌زایی ماه آوریل، می و ژوئن به ترتیب با مقدار ۲۲/۲۳، ۲۰/۱۴ و ۲۲/۴۲٪ به سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۱ مربوط بود. نتایج شدت تغییرات بیابان‌زایی در واحد زمان نیز نشان داد که طبقه زیاد شدت تغییرات بیابان‌زایی در ماه مارس ۱۴/۸۱٪، در ماه آوریل ۱۷/۸۳٪، در ماه می ۱۷/۴۸٪ و در ماه ژوئن ۱۷/۷۵٪ مساحت استان را شامل می‌شود.

واژگان کلیدی: آزمون من‌کندل؛ سپیدایی؛ روند؛ رگرسیون خطی؛ شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی



■ مقدمه

تخریب سرزمین، به‌عنوان یک معضل محیط‌زیستی مهم، نیازمند ارزیابی مکانی وضعیت آن در مناطق مختلف است (۲). به‌طور کلی بیابان‌زایی دارای تعاریف متعددی می‌باشد. برای نمونه بیابان‌زایی عبارت است کاهش توان زیستی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب در نتیجه فعالیت‌های انسانی که اغلب به دلیل تغییرات اقلیمی شدت می‌گیرد (۳۲). بیابان‌زایی و فرایند تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب که آب مهم‌ترین عامل محدوده‌کننده عملکرد کاربری اراضی در بوم‌سازگان است، رخ می‌دهد (۲۲ و ۲۹)؛ اما وحدت نظر بر سر تعریف مشخص و مورد توافق همگان از بیابان‌زایی، تعریف موجود در معاهده‌نامه بین دولت‌ها به‌منظور مبارزه با بیابان‌زایی یا ICCD^۱ در سال ۱۹۹۴ می‌باشد که در آن بیابان‌زایی شامل تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب خشک تحت اثر عوامل مختلفی شامل فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی مثل تغییرات اقلیمی است (۳۱). بیابان‌زایی به‌طور پیوسته و متمادی خود را به‌عنوان یکی از بحرانی‌ترین مسائل محیط‌زیستی که جامعه با آن مواجه است، نشان می‌دهد (۱۵). سامانه‌های محیط‌زیستی اغلب در حالت تعادل پویا قرار دارند و کوچک‌ترین تغییر در اقلیم یا کاربری اراضی می‌تواند منجر به ریسک بیابان‌زایی و افزایش شدت این پدیده در یک منطقه گردد (۱۷). بیابان‌زایی تهدید جدی بوم‌شناختی، محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی در سطح جهان است که نیاز به توسعه روش‌های منطقی و قابل تکرار برای ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف می‌باشد (۱۸). بیابان‌زایی اغلب با تغییراتی همراه است که ممکن است همیشگی و غیرقابل بازگشت باشند (۵). این پدیده در نتیجه تغییر ترکیبی از عوامل طی زمان و مکان رخ می‌دهد که شامل تخریب سرزمین، تغییر در رژیم بارندگی، تغییر و یا کاهش ترکیب پوشش گیاهی و تنوع زیستی می‌باشد. دیگر عواملی که بر بیابان‌زایی اثرگذار هستند شامل فرسایش بادی و آبی، افزایش سیلاب و رواناب، شوری خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش آب سطحی و زیرزمینی و غیره

می‌باشد (۷). با توجه به گسترش پدیده بیابان‌زایی در سطح جهان، ارزیابی این پدیده و روند تغییرات آن در طول زمان، جهت ارائه راهکارهای مدیریتی و جلوگیری از گسترش آن لازم و ضروری است. در واقع شیوه‌های اجرایی کنترل بیابان‌زایی باید مبتنی بر شناخت وضعیت فعلی بیابان‌زایی و شدت آن باشد (۲۸). به‌طور کلی شناخت فرآیندهای بیابان‌زایی و عوامل به وجود آورنده آن، آگاهی از شدت و ضعف این فرآیندها و عوامل و نیز ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی در طول زمان، به‌منظور هشدار اولیه بیابان‌زایی و کاهش ریسک آن و همچنین جلوگیری از پیشروی آن امری مهم و ضروری است (۳۴). تاکنون بررسی‌های گوناگونی در سطح جهان انجام شده است که با بهره‌گیری از روش‌های مختلف به ارزیابی و پایش پدیده بیابان‌زایی و بررسی تغییرات آن در طول زمان پرداخته است. در این راستا سنجش‌ازدور ابزاری است که به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اینکه داده‌های ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف و باندهای طیفی مختلف موجود هستند، می‌توانند ابزاری مناسب در بررسی زمانی بیابان‌زایی بر اساس معیارهای مختلف این پدیده باشند. در واقع سنجش‌ازدور یکی از مهم‌ترین فناوری‌های مبتنی بر مطالعات مکانی و خصوصیات طیفی پدیده‌ها است که می‌تواند نقش مهمی در مطالعات پدیده‌های زمینی ایفا کند (۲۷). نتایج بررسی شاخص‌های سنجش‌ازدور از جمله^۲ NDVI، سبیدایی (آلبدو) و^۳ TGSi تغییرات پوشش زمین و بیابان‌زایی در مغولستان نشان داد که بیابان‌زایی منطقه مورد بررسی هر ساله روندی افزایشی داشته است (۱۸). در پژوهشی دیگر، روند تغییرات تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در رومانی با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش گویای بهبود و احیای ۶۰/۸٪ وسعت محدود مطالعاتی بود (۲۵). در پژوهشی دیگری با استفاده از داده‌های سری زمانی سنجش‌ازدور به بررسی روند بیابان‌زایی در مرکز استان خوزستان پرداخته شد و نتیجه گرفته شد که طبقه شدید و زیاد بیابان‌زایی به ترتیب با مقدار p-value برابر با ۰/۹ و ۰/۵ در سطح ۱۰٪ روند معنی‌داری از خود نشان دادند

³ Topsoil Grain Size Index¹ International Convention to Combat Desertification² Normalized difference vegetation index

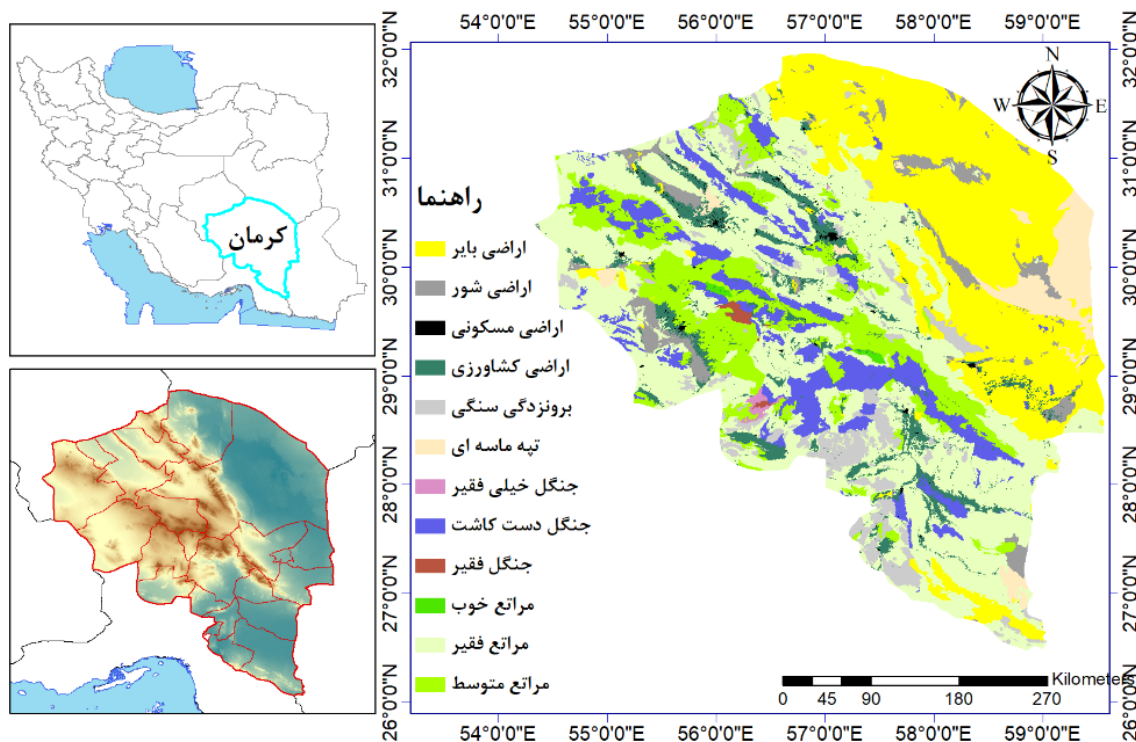
آن از اهمیت روزافزونی برخوردار خواهد بود. با توجه به اینکه استان کرمان دارای اقلیم نیمه‌خشک بیابانی و گرم می‌باشد، مدیریت پوشش گیاهی و منابع طبیعی مستلزم ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی است. با توجه به اهمیت موضوع و شرایط اقلیمی استان کرمان، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی در طول زمان با استفاده از سنجش‌ازدور می‌باشد.

■ مواد و روش

محدوده موردبررسی

استان کرمان با وسعت 183000 Km^2 ، حدود ۱۱٪ مساحت کشور را شامل می‌شود (شکل ۱). این استان که در جنوب شرقی فلات مرکزی کشور واقع شده است. مجاورت ایران با منطقه نزول پرفشارهای جنب مداری باعث شده که نوار بیابانی نیم‌کره شمالی از قلب این کشور عبور کند و شرایط نامساعد طبیعی را بر وسعت زیادی از ایران از جمله استان کرمان حکم‌فرما سازد (۲۴).

(۱۰). نتایج پژوهشی باهدف ارزیابی بیابان‌زایی منطقه سیستان نشان داد که از بین شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI^1 ، RVI^2 ، DVI^3 ، PVI^4 ، SAVI^5 و TSAVI^5 ، شاخص NDVI بیشترین همبستگی را با مقادیر آلبدو داشته و بهترین شاخص برای ارزیابی بیابان‌زایی می‌باشد (۳۶). در مطالعه‌ی دیگر به‌منظور ارزیابی تغییرات شدت بیابان‌زایی در محدوده تالاب هامون، شدت بیابان‌زایی با استفاده از رابطه آلبدو و شاخص NDVI در چهار دوره، آگوست سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ محاسبه شد و نتایج نشان داد که در محدوده مورد مطالعه از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۰ میانگین نرخ بیابان‌زایی ۱۳/۱۱٪ است (۳۷). در کشور ایران حدود ۸۵٪ اراضی در اقلیم فراهشک، خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب قرار دارد (۴، ۳۱) و در ۸۰٪ نواحی ایران مدت‌زمان فصل گرم در حال افزایش است (۱۱). با توجه به این شرایط، ایران دارای قابلیت بالقوه بیابان‌زایی زیادی است؛ بنابراین یافتن روش‌های ارزیابی این پدیده، علل ایجاد آن و همچنین پیش‌بینی روند



شکل ۱. موقعیت محدوده موردبررسی

⁴ Soil Adjusted Vegetation Index

⁵ Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index

¹ Ratio Vegetation Index

² Difference Vegetation Index

³ Perpendicular Vegetation Index

سنجنده مودیس مطابق رابطه ۱ از ابتدای ۲۰۰۱ (۱۳۸۰) تا انتهای ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) در فضای ابری Google Earth Engine برآورد شد و سپس میانگین ماهانه دوره مورد بررسی محاسبه شد.

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

در این رابطه NIR و RED مربوط به بازتاب طیفی در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز موجود در محصول MOD09A1 است. مقادیر شاخص NDVI بین ۱- که بیانگر سطوح پوشیده از آب و برف و ۱+ که نشان‌دهنده مناطق دارای پوشش گیاهی هست متفاوت می‌باشد (۹). محصول MOD09A1 سنجنده مودیس با قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰m در دسترس کاربران می‌باشد. این محصول که شامل ۱۳ لایه از جمله انعکاس باندهای یک تا هفت روز تصویربرداری هر پیکسل و داده‌های قابلیت اطمینان پیکسل^۲ است، حاصل پردازش تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra می‌باشد (۳۳). بعد از تعیین ماه‌های هدف، در این ماه‌ها علاوه بر استخراج نقشه میانگین NDVI از ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲، نقشه میانگین ضریب سپیدایی نیز از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ محاسبه شد. Albedo یا همان ضریب بازتاب، میزان بازتاب نور از سطح یک شیء است که به‌طور عمومی بین صفر و یک (یا درصدی از صفر تا ۱۰۰) نسبت داده می‌شود. صفر نشان‌دهنده عدم بازتاب و یک نشان‌دهنده بازتاب کامل می‌باشد. برای محاسبه ضریب سپیدایی از رابطه ۲ استفاده شد (۱۹).

$$Albedo = 0.16 \times b_1 + 0.291 \times b_2 + 0.243 \times b_3 + 0.116 \times b_4 + 0.112 \times b_5 + 0.081 \times b_6 - 0.0015 \quad (2)$$

در این رابطه b₁, b₂, b₃, b₄, b₅, b₆ به ترتیب انعکاس سطحی باندهای اول، دوم، سوم، چهارم، پنجم و هفتم سنجنده MODIS می‌باشد. در مرحله بعد به‌منظور محاسبه شدت بیابان‌زایی ماه‌های هدف، رگرسیون خطی بین شاخص NDVI به‌عنوان متغیر مستقل و ضریب

میانگین بارندگی سالانه در استان کرمان حدود ۱۴۰mm است که ۵۸٪ متوسط بارش سالانه کشور و ۱۹٪ میانگین بارش کره زمین را شامل می‌شود. استان کرمان از شمال به استان‌های خراسان جنوبی و یزد، از شرق به سیستان و بلوچستان، از جنوب به استان هرمزگان و از غرب به استان فارس محدود شده است. اقلیم استان از نظر تقسیم‌بندی‌های اقلیمی جزء اقلیم نیمه‌خشک بیابانی و گرم محسوب می‌شود (۲۴). استان کرمان از لحاظ ژئومورفولوژی به علت واقع شدن در محل تلاقی رشته‌کوه‌های زاگرس و ایران مرکزی و مناطق پست بیابانی به طول تقریباً ۱۶۰ کیلومتر، از تنوع پیکرشناسی زیادی برخوردار است. این تلاقی استثنائی بین بلندی و پستی، ناحیه کوهستانی و کویری، گرما و سرما، ویژگی‌های محیطی کم‌نظیر و اوضاع طبیعی خاصی را به وجود آورده است که در کمتر منطقه‌ای از فلات ایران زمین می‌توان مشاهده کرد. امتداد سلسله جبال زاگرس و کوه‌های مرکزی، استان پهناور کرمان را به دو بخش متمایز خشک بیابانی و معتدل کوهپایه‌ای تفکیک نموده است. به همین علت کرمان از معدود مناطقی است که دارای چهره‌های گوناگون محیطی و طبیعی می‌باشد و به علت وسعت منطقه و وجود پستی‌وبلندی‌ها و شرایط خاص اقلیمی آب‌وهوای آن در نواحی مختلف متفاوت است. در دید کلی مهم‌ترین چشم‌انداز طبیعی استان کرمان بیش از ۵۰٪ کوهستانی است (۱۶).

روش پژوهش

محاسبه شدت بیابان‌زایی

در اولین گام از این پژوهش، شدت بیابان‌زایی به کمک تصاویر ماهواره‌ای محاسبه گردید. در پژوهش حاضر برای برآورد شدت بیابان‌زایی از شاخص شدت بیابان‌زایی (DDI^۱) استفاده شد (۲۶). اساس این شاخص بر پایه رابطه بین شاخص NDVI یا شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی و ضریب سپیدایی می‌باشد. نخستین گام در راه ارزیابی بیابان‌زایی استان کرمان، تعیین ماه‌های هدف با استفاده از میانگین ماهانه NDVI بود. در این پژوهش NDVI از لایه‌های موجود در محصول MOD09A1

² Quality reliability of VI pixel

¹ Desertification Difference Index

شاخص DDI از ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ برای ماه‌های هدف بر اساس روابط ۶ تا ۱۰ محاسبه شد (۲۰).

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad (۶)$$

در این رابطه، S آماره من‌کندال، n طول سری زمانی یا تعداد داده‌های مشاهداتی و مقادیر i و j مرتبه مشاهدات هستند. همچنین $\text{sign}(x_i - x_j)$ تابع علامت است که بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد.

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (۷)$$

بر اساس این آزمون در صورتی که مقدار S که اختلاف معنی‌داری با صفر نداشته باشد روند وجود ندارد و در غیر این صورت، روند صعودی یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی‌دار بودن روند و محاسبه احتمال آن، از متغیر Z نرمال استاندارد طبق رابطه ۸ استفاده شد.

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (۸)$$

در این رابطه $\text{Var}(S)$ واریانس پارامتر S که از رابطه ۹ محاسبه شد.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5)] \quad (۹)$$

در این رابطه، tp تعداد دنباله‌ها برای p امین مقدار که ارزش مشابه دارند و q تعداد دنباله‌ها است. مقدار مثبت Z روند افزایش و مقدار منفی Z روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی احتمال روند تغییرات با توجه به مقادیر Z_M در جدول ۱ نشان داده شده است.

سپیدایی به‌عنوان متغیر وابسته محاسبه شد. فرمول کلی بین این دو شاخص در رابطه ۳ نشان داده شده است.

$$\text{Albedo} = \alpha \times \text{NDVI} + \beta \quad (۳)$$

در این رابطه α شیب تغییرات ضریب سپیدایی بر حسب تغییرات شاخص NDVI و β عرض از مبدأ این رابطه می‌باشد. در مرحله بعد با استفاده از رابطه ۴ شاخص DDI محاسبه شد (۲۶).

$$\text{DDI}_i = \varphi \times \text{NDVI}_i - \text{Albedo}_i \quad (۴)$$

در این رابطه DDI_i شدت بیابان‌زایی ماه iام، NDVI میانگین شاخص NDVI ماه iام و Albedo میانگین ضریب سپیدایی ماه iام است. φ شیب رابطه DDI است که بر مبنای α رابطه ۳ محاسبه شد. نحوه محاسبه φ در رابطه ۵ نشان داده شده است.

$$\varphi = -\frac{1}{\alpha} \quad (۵)$$

در این رابطه φ شیب رابطه DDI و α شیب تغییرات ضریب سپیدایی بر حسب تغییرات شاخص NDVI است. لازم به ذکر است شاخص DDI رابطه عکس با شدت بیابان‌زایی دارد.

تعیین زمان بیشترین شدت بیابان‌زایی

به‌منظور تعیین زمان بیشترین شدت بیابان‌زایی برای هر یک از ماه‌های هدف، پیکسل به پیکسل سالی که شدیدترین شدت بیابان‌زایی (کم‌ترین مقدار شاخص DDI) را داشت، تعیین شد.

روند تغییرات بیابان‌زایی

پس از محاسبه شاخص DDI برای ۲۲ سال مطالعاتی، جهت بررسی روند تغییرات بیابان‌زایی، با استفاده از آزمون ناپارامتریک من‌کندال در نرم‌افزار TerrSet، روند تغییرات

شدت تغییرات بیابان‌زایی در واحد زمان

شیب تغییرات شاخص DDI در ماه‌های هدف در واحد زمان توسط نرم‌افزار TerrSet، برای ۲۲ سال محاسبه شد. بدین منظور تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی برای شبیه‌سازی روند تغییرات استفاده شد (۸، ۳۰). این روش مشخص کرد که چه رابطه خطی بین تمام داده‌های یک متغیر وابسته با داده‌های متناظر شاخص مستقل وجود دارد. جهت برآورد شیب تغییرات متغیر وابسته بر اثر تغییرات متغیر مستقل بر مبنای روابط رگرسیون خطی از رابطه ۱۰ استفاده شد.

$$Slope = \frac{n \sum_{i=1}^{i=n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{i=n} x_i \sum_{i=1}^{i=n} y_i}{n \sum_{i=1}^{i=n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{i=n} x_i)^2} \quad (10)$$

در این رابطه X_i و Y_i به ترتیب مقادیر متغیر مستقل یعنی زمان و متغیر وابسته یعنی DDI ماه هدف در سال n ام است و n تعداد سال‌ها در طول دوره مطالعه است. به‌طور کلی، اگر شیب بزرگ‌تر از صفر باشد، متغیر وابسته هم‌جهت با متغیر مستقل تغییر می‌کند. در حالی که اگر شیب کوچک‌تر از صفر باشد، متغیر وابسته در خلاف جهت متغیر مستقل تغییر می‌کند. هرچه اندازه شیب تغییرات بیشتر باشد شدت تغییرات DDI در واحد زمان یعنی سال، بیشتر است. در این پژوهش به منظور طبقه‌بندی شدت تغییرات بیابان‌زایی در واحد زمان از روش شکست طبیعی^۱ در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد.

■ نتایج

تعیین ماه‌های هدف

میانگین بلندمدت ماهانه شاخص NDVI در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ (۱۳۸۰-۱۴۰۱) در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، ماه‌های مارس (اسفند-فروردین)، آوریل (فروردین-اردیبهشت)، می (اردیبهشت-خرداد) و ژوئن (خرداد-تیر) بیشترین مقدار NDVI را در طول ۲۲ سال دارند که نشان‌دهنده بیشترین رشد و شادابی پوشش گیاهی در این ماه‌ها است. با توجه به نتایج این بخش، چهار ماه مذکور که دارای بیشترین مقدار شاخص NDVI بودند، برای بررسی روند تغییرات بیابان‌زایی در نظر گرفته شد.

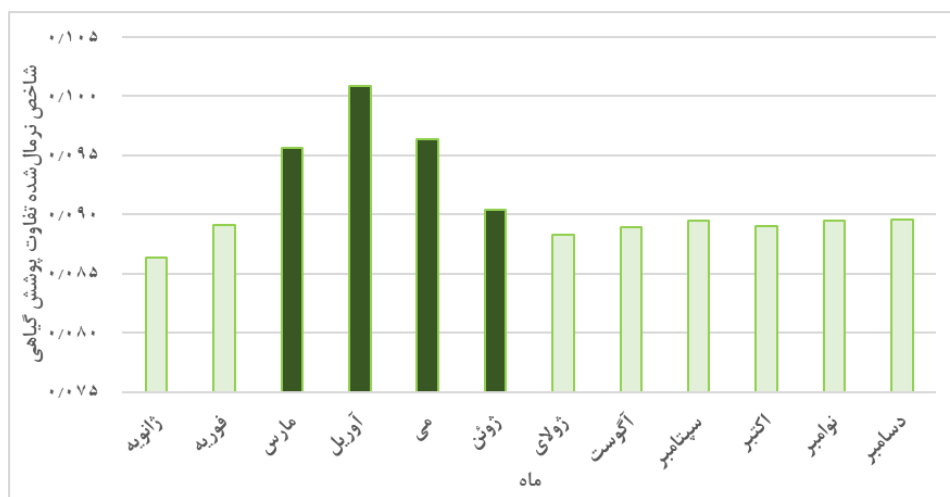
تعیین زمان بیشترین شدت بیابان‌زایی

نتایج شدت بیابان‌زایی ماه‌های مطالعاتی در طول ۲۲ سال در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. جدول ۲ نیز درصد مساحت شدت بیابان‌زایی چهار ماه مارس، آوریل، می و ژوئن در سال‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل شده، بیشترین درصد مساحت شدت بیابان‌زایی ماه مارس با مقدار ۲۳/۹۳٪ به سال ۲۰۱۲ اختصاص داشته و کم‌ترین آن با مقدار ۰/۲۳٪ در سال ۲۰۱۶ بوده است. بیشترین و کم‌ترین شدت بیابان‌زایی ماه آوریل به ترتیب با مقدار ۲۲/۲۳ و ۰/۳۵٪ به سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۰۶ اختصاص دارد. در ماه می و ژوئن به ترتیب بیشترین درصد مساحت شدت بیابان‌زایی با مقدار ۲۰/۱۴٪ و ۲۲/۴۲٪ مربوط به سال ۲۰۰۱ بود و کم‌ترین آن به ترتیب با مقدار ۰/۳۲ و ۰/۱۱٪ به سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ مربوط بوده است.

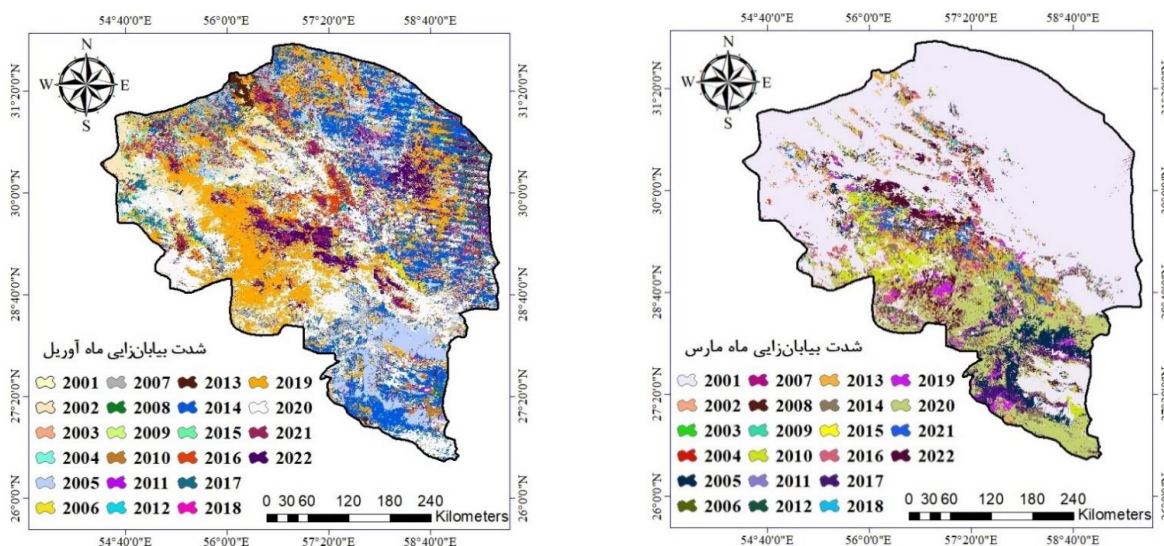
جدول ۱. طبقه‌بندی احتمال روند تغییرات بر مبنای Z_M (۲۰)

طبقه	طبقه سطح اطمینان	مقادیر Z_M
۱	کاهشی با احتمال بیش از ۹۹٪	$-2/57 >$
۲	کاهشی با احتمال بین ۹۵٪ تا ۹۹٪	$-1/96$ تا $-2/57$
۳	کاهشی با احتمال بین ۹۰٪ تا ۹۵٪	$-1/64$ تا $-1/96$
۴	بدون روند	$-1/64$ تا $+1/64$
۵	افزایشی با احتمال بین ۹۰٪ تا ۹۵٪	$-1/64$ تا $+1/96$
۶	افزایشی با احتمال بین ۹۵٪ تا ۹۹٪	$+1/96$ تا $+2/57$
۷	افزایشی با احتمال بیش از ۹۹٪	$+2/57 <$

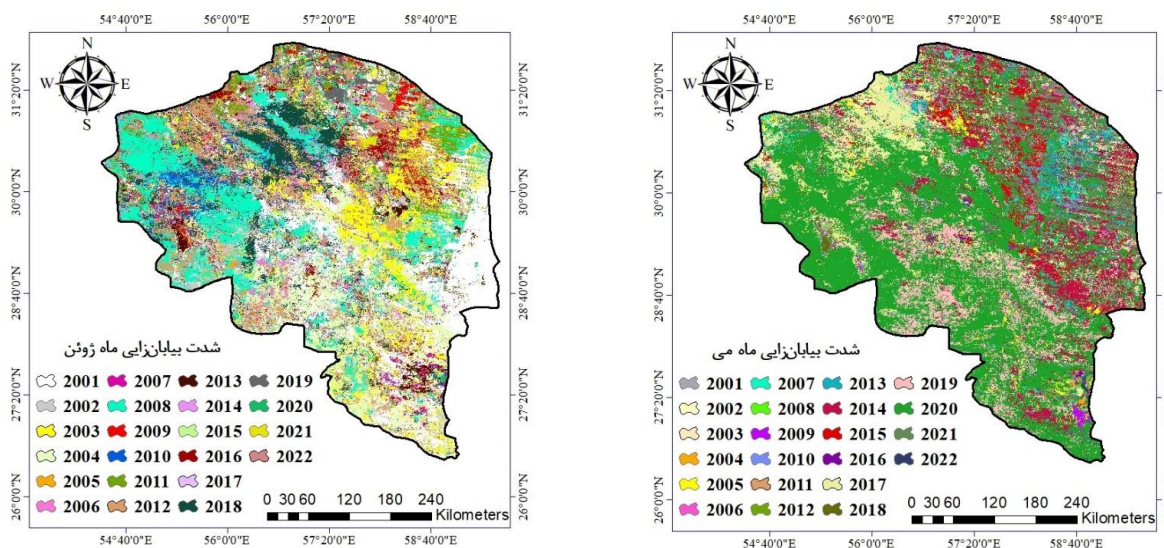
¹ Natural Breaks



شکل ۲. میانگین بلندمدت ماهانه شاخص NDVI در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲



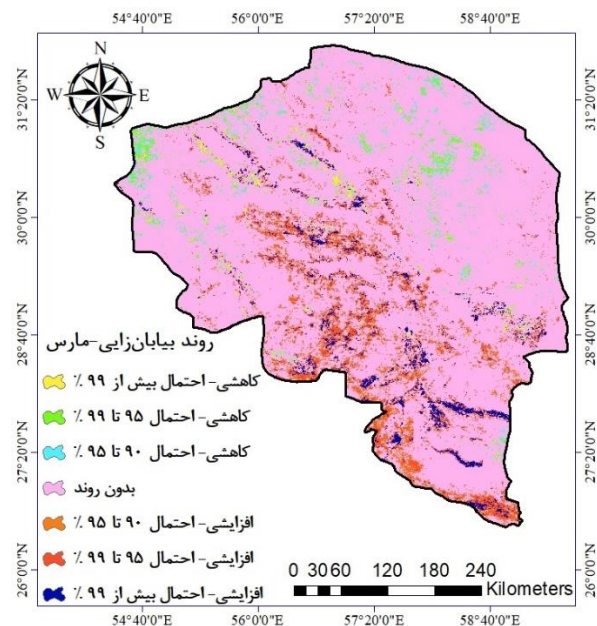
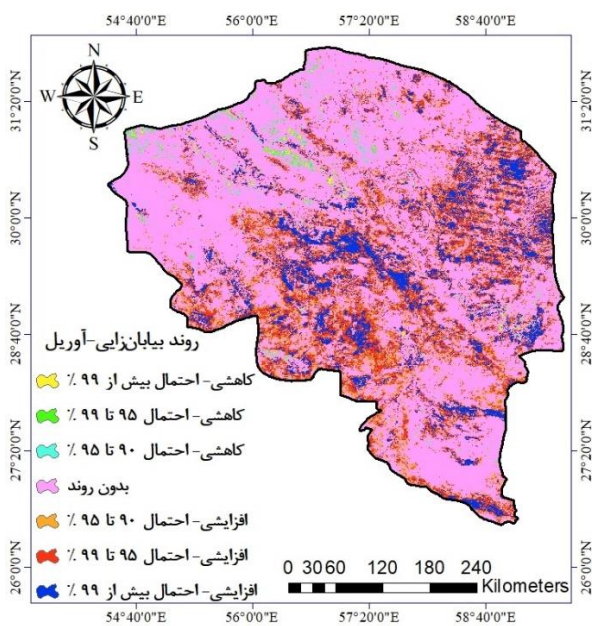
شکل ۳. نقشه سال وقوع شدیدترین بیابان‌زایی ماه‌های مارس و آوریل



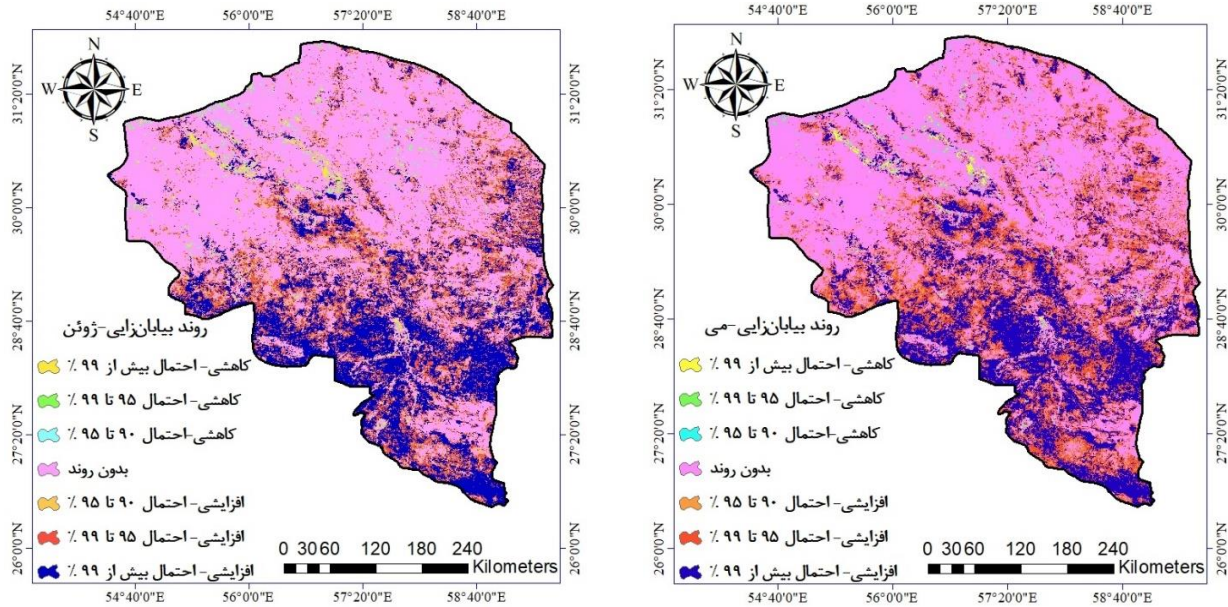
شکل ۴. نقشه سال وقوع شدیدترین بیابان‌زایی ماه‌های می و ژوئن

جدول ۲. درصد مساحت شدت بیابان‌زایی ماه‌های مطالعاتی در طول ۲۲ سال

سال	ماه			
	ژوئن	می	آوریل	مارس
۲۰۰۱	۲۲/۴۲	۲۰/۱۴	۹/۶۲	۰/۲۵
۲۰۰۲	۲/۲۱	۴/۰۸	۳/۰۷	۴/۸۷
۲۰۰۳	۳/۶۸	۱۰	۴/۶۷	۶/۰۵
۲۰۰۴	۱۷/۲۶	۸/۵۳	۱۲/۵	۵/۲۴
۲۰۰۵	۰/۹۴	۰/۷	۲/۱۱	۱/۶۷
۲۰۰۶	۰/۸۷	۲/۵۵	۰/۳۵	۰/۸۳
۲۰۰۷	۰/۴۶	۱/۷۱	۱	۱/۳۵
۲۰۰۸	۱۶/۰۴	۱۵/۶۱	۹/۰۴	۱۲/۷۷
۲۰۰۹	۳/۳۴	۲/۰۸	۱۱/۴۶	۱۶/۴۷
۲۰۱۰	۱/۶۹	۲/۲۶	۳/۱۷	۴/۱۵
۲۰۱۱	۳/۰۱	۱/۴	۱/۰۷	۱/۱۲
۲۰۱۲	۱۱/۶۵	۷/۱۶	۲۲/۲۳	۲۹/۹۳
۲۰۱۳	۱/۰۲	۱/۳۷	۰/۶۲	۰/۹۳
۲۰۱۴	۰/۱۱	۱/۱۳	۰/۶۵	۰/۹۴
۲۰۱۵	۰/۴۷	۰/۵۶	۱/۴۱	۱/۰۷
۲۰۱۶	۳/۰۴	۲/۵	۰/۹۶	۰/۲۳
۲۰۱۷	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۶۱	۱/۶۴
۲۰۱۸	۴/۶۹	۷/۶۹	۸/۶۷	۲/۸۹
۲۰۱۹	۱/۱	۱/۲۳	۱/۷۲	۳/۱۲
۲۰۲۰	۰/۶۹	۰/۳۵	۱/۲۳	۰/۸۲
۲۰۲۱	۱/۶۴	۱/۶۲	۰/۹۳	۱/۶۸
۲۰۲۲	۳/۲۸	۴/۳۲	۲/۹۱	۲/۴۴



شکل ۵. روند تغییرات بیابان‌زایی ماه‌های مارس و آوریل



شکل ۶. روند تغییرات بیابان‌زایی ماه‌های می و ژوئن

جدول ۳. درصد مساحت طبقه‌های روند تغییرات بیابان‌زایی ماه‌های مطالعاتی در طول زمان

طبقه	ماه	مارس	آوریل	می	ژوئن
کاهشی با احتمال بیش از ۹۹٪	۰/۸۲	۰/۳۹	۰/۶۲	۰/۸۹	
کاهشی با احتمال بین ۹۵٪ تا ۹۹٪	۱/۹۳	۰/۷	۰/۴۴	۰/۷۲	
کاهشی با احتمال بین ۹۰٪ تا ۹۵٪	۱/۹۳	۰/۶۱	۰/۳۵	۰/۵۴	
بدون روند	۸۲/۴۵	۵۹/۸۳	۴۹/۹۶	۵۱/۷۹	
افزایشی با احتمال بین ۹۰٪ تا ۹۵٪	۴/۸۲	۱۰/۳۵	۸/۸۲	۷/۷	
افزایشی با احتمال بین ۹۵٪ تا ۹۹٪	۵/۵۲	۱۷/۴۴	۱۸/۷۱	۱۶/۶۵	
افزایشی با احتمال بیش از ۹۹٪	۲/۵۴	۱۰/۶۹	۲۱/۰۹	۲۱/۷۱	

روند تغییرات بیابان‌زایی

روند تغییرات بیابان‌زایی در ماه‌های مطالعاتی در طول ۲۲ سال در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. جدول (۳) نیز درصد مساحت طبقه‌های مختلف روند تغییرات بیابان‌زایی را برای هرماه نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده طبقه بدون روند در تمام ماه‌های مطالعاتی بیشترین مساحت را در طول ۲۲ سال به خود اختصاص داده است که برای ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن به‌ترتیب مقادیرهای ۸۲/۴۵، ۵۹/۸۳، ۴۹/۹۶ و ۵۱/۷۹٪ را شامل می‌شود. در ماه مارس و آوریل طبقه روند افزایشی بیابان‌زایی با احتمال ۹۵ تا ۹۹٪ پس از طبقه بدون روند، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده و در ماه‌های می و ژوئن طبقه روند افزایشی بیابان‌زایی با احتمال بیش از ۹۹٪ به‌ترتیب با مقادیرهای ۲/۵۴ و ۱۰/۶۹٪ و ۲۱/۰۹ و ۲۱/۷۱٪ بیشترین مساحت را پس از طبقه بدون

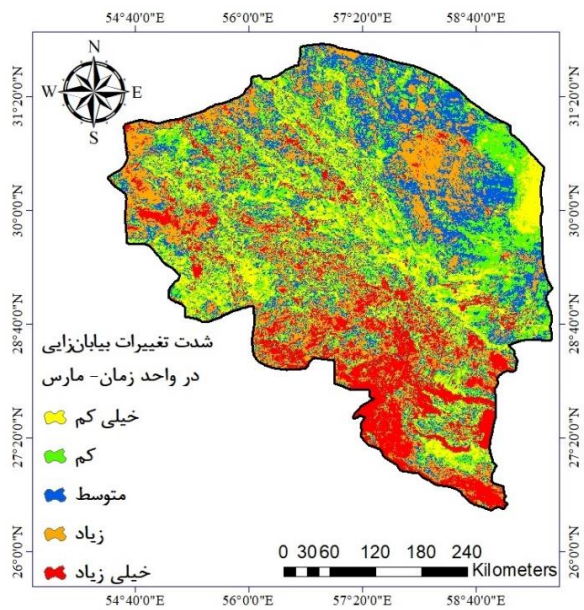
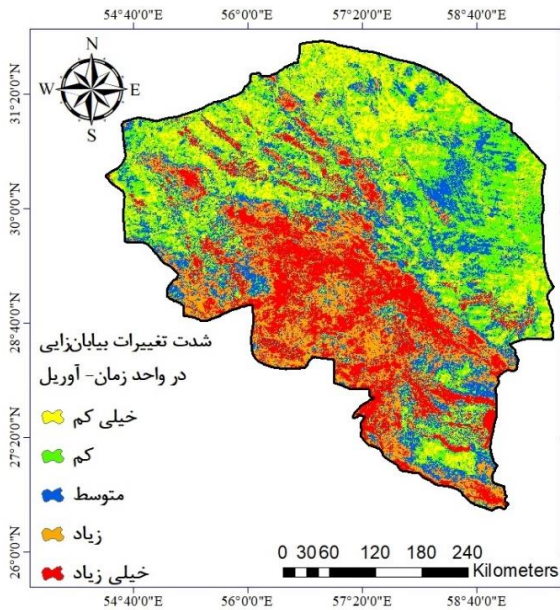
روند شامل می‌شود. عمدتاً روند افزایشی تغییرات بیابان‌زایی به قسمت‌های مرکزی، جنوب تا جنوب غرب، جنوب شرق و شرق استان کرمان اختصاص دارد.

شدت تغییرات بیابان‌زایی در واحد زمان

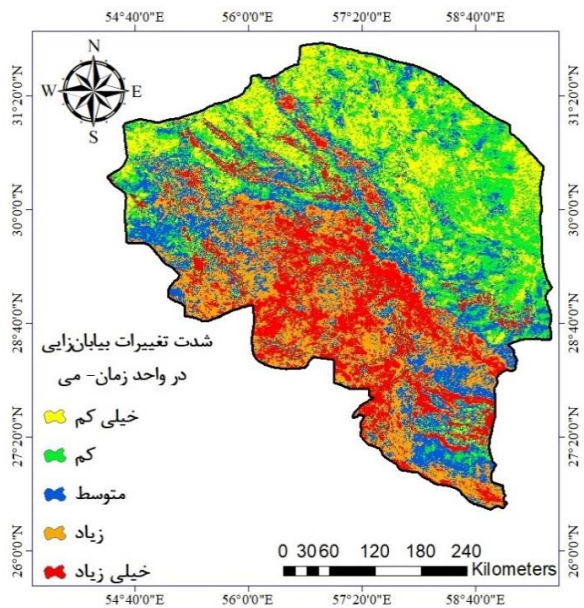
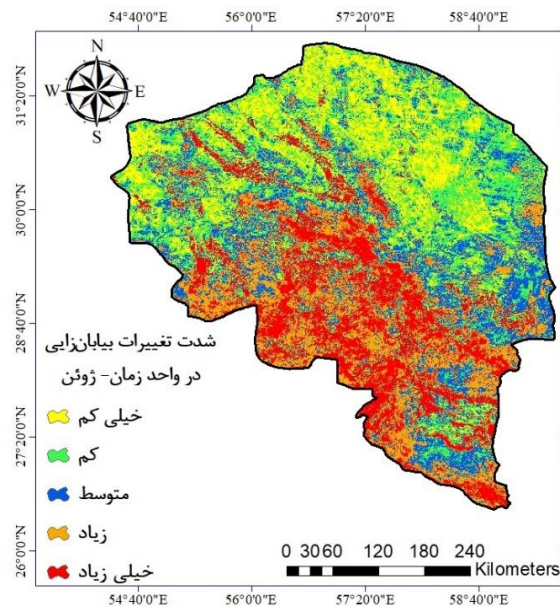
شدت تغییرات بیابان‌زایی در واحد زمان در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. همچنین درصد مساحت طبقه‌های مختلف شدت تغییرات بیابان‌زایی در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده طبقه شدت زیاد و خیلی زیاد تغییرات بیابان‌زایی عمدتاً به نواحی جنوب غرب، جنوب تا جنوب شرق استان کرمان اختصاص دارد. همچنین قسمت‌هایی از شمال غرب و شمال شرق استان نیز در این طبقه قرار دارد. بیشترین درصد مساحت شدت تغییرات بیابان‌زایی در ماه‌های مارس، آوریل، می و

آوریل ۱۷/۸۳٪، در ماه می ۱۷/۴۸٪ و در ماه ژوئن ۱۷/۷۵٪ مساحت استان را شامل می‌شود.

ژوئن به ترتیب با مقدار ۲۳/۴۶، ۲۶/۱، ۲۳/۱۵ و ۲۲/۳۸٪ به طبقه‌های زیاد، کم، کم و کم اختصاص دارد. طبقه زیاد شدت تغییرات بیابان‌زایی در ماه مارس ۱۴/۸۱٪، در ماه



شکل ۷. شدت تغییرات بیابان‌زایی ماه‌های مارس و آوریل



شکل ۸. شدت تغییرات بیابان‌زایی ماه‌های می و ژوئن

جدول ۴. درصد مساحت طبقه‌های مختلف شدت تغییرات بیابان‌زایی در واحد زمان

طبقه	ماه	مارس	آوریل	می	ژوئن
خیلی کم		۱۶/۵۸	۱۸/۴۹	۱۸/۸۴	۱۹/۰۳
کم		۲۱/۸۸	۲۶/۱	۲۳/۱۵	۲۲/۳۸
متوسط		۲۳/۲۷	۲۰/۱۲	۲۱/۱۶	۲۰/۶۶
زیاد		۲۳/۴۶	۱۷/۴۵	۱۹/۳۷	۲۰/۱۹
خیلی زیاد		۱۴/۸۱	۱۷/۸۳	۱۷/۴۸	۱۷/۷۵

■ بحث و نتیجه‌گیری

تخریب اراضی و بیابان‌زایی یک تهدید بزرگ برای امنیت غذایی، پایداری معیشت، خدمات بوم‌سازگان و حفاظت از تنوع زیستی است (۱)؛ بنابراین در پژوهش حاضر به ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی در استان کرمان با استفاده از سنجش‌ازدور پرداخته شد. به این منظور با بهره‌گیری از شاخص DDI، شدت بیابان‌زایی استان کرمان محاسبه شد (۲۶). شاخص DDI بر اساس دو شاخص NDVI و سپیدایی محاسبه می‌شود. ترکیب این دو مورد در شاخص DDI باعث می‌شود که ویژگی این شاخص بر پایه تبادله تابش سطحی باشد (۲۶). لازم به ذکر است که سپیدایی علاوه بر پوشش گیاهی تحت تأثیر رطوبت خاک نیز می‌باشد (۲۶، ۳۵). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داد که دو جزء شاخص NDVI و سپیدایی یکی از بهترین ترکیب‌ها در ارزیابی بیابان‌زایی می‌باشد (۳۷). با توجه به نتایج میانگین ماهانه NDVI، ماه‌های مارس (اسفند-فروردین)، آوریل (فروردین-اردیبهشت)، می (اردیبهشت-خرداد) و ژوئن (خرداد-تیر) بیشترین مقدار پوشش گیاهی در سال را داشته‌اند. پژوهش‌های دیگری نیز بیان داشتند که پوشش گیاهی در این ماه‌ها برای اکثر نواحی ایران در اوج شادابی خود قرار دارد (۳، ۶). ارزیابی زمان وقوع بیشترین شدت بیابان‌زایی در ماه‌های انتخابی نشان می‌دهد که در هرماه در سال‌های مختلف شدیدترین بیابان‌زایی رخ می‌دهد که دلیل این امر شرایط اقلیمی متفاوت در هر سال می‌باشد. در پژوهش دیگری با عنوان پایش فرآیند بیابان‌زایی بلندمدت و ارزیابی نقش‌های نسبی محرک‌های آن در آسیای مرکزی این نتیجه به دست آمد که عوامل کاهش بارندگی و افزایش دما محرک‌های اصلی بیابان‌زایی به‌ویژه برای مراتع و نواحی با پوشش گیاهی کم هستند (۱۳). همچنین نتایج نشان داد که شدت بیابان‌زایی به‌طور قابل توجهی در هر چهار ماه انتخابی در استان کرمان

در حال افزایش است. این افزایش در نواحی جنوبی کرمان بیش‌تر در حال رخ دادن می‌باشد. ارزیابی شدت تغییرات بیابان‌زایی نیز نشان داد نواحی جنوبی استان کرمان در هر چهار ماه انتخابی در طبقه زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرند. پژوهشگران با مطالعه شدت بیابان‌زایی در نواحی مختلف استان کرمان بیان داشتند که شرایط بیابان‌زایی در این استان در حال وخیم‌تر شدن است (۱۴، ۲۱). ارزیابی نتایج این تحقیق در استان کرمان و مقایسه آن با تحقیقات صورت گرفته در این محدوده نشان از کارایی روش ارزیابی شدت بیابان‌زایی ارائه شده می‌باشد (۲۶). از محاسن این روش امکان ایجاد سری زمانی و پایش تغییرات شدت بیابان‌زایی در فواصل زمانی سالانه و ماهانه فراهم می‌نماید؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود کارایی این روش در دیگر نواحی مورد ارزیابی قرار گیرد تا به توان دیدگاه مناسبی از توانایی این روش به دست آورد. بر اساس نتایج این پژوهش استان کرمان به‌ویژه نواحی جنوبی آن به‌شدت درگیر بیابان‌زایی است و شدت این پدیده در این نواحی در حال افزایش است. لازم به ذکر است که نواحی جنوبی استان کرمان بخش‌های دشتی و نواحی شمالی، بخش‌های کوهستانی را شامل می‌شوند. در بخش‌های دشتی به علت اقلیم شکننده‌تر و شرایط حادث‌تر بیشتر درگیر بیابان‌زایی هستند. سایر تحقیقات بیان داشتند که فعالیت‌های کشاورزی و در کنار آن تغییر کاربری اراضی بیشترین تأثیر روند بیابان‌زایی در این ناحیه داشته‌اند که می‌توان با مدیریت و نظارت فعالیت‌های کشاورزی و تغییر کاربری اراضی به کنترل این پدیده در این استان کمک کند (۲۳).

■ سپاسگزاری

پژوهش حاضر با همکاری دانشگاه جیرفت انجام شد، بدینوسیله نویسندگان مقاله از این دانشگاه برای حمایت‌های لازم تقدیر و تشکر می‌نمایند.

■ References

1. AbdelRahman, M. A. (2023). An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using GIS and remote sensing applications. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 34(3), 767-808. DOI: 10.1007/s12210-023-01155-3

2. Abolhasani, A., Khosravi, H., Zehtabian, G., Rahmati, O., Heydari Alamdarloo, E., & D'Odorico, P., (2024). Contribution of predictive factors of land degradation occurrence applying maximum entropy model. *Arid Land Research and Management*, 38(3), 1-19. DOI:10.1080/15324982.2023.2298996.
3. Alamdarloo, E. H., Manesh, M. B., & Khosravi, H. (2018). Probability assessment of vegetation vulnerability to drought based on remote sensing data. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-11. DOI: 10.1007/s10661-018-7089-1
4. Bagheri, S., Zahtabian, G., Khosravi, H., & Heydari Alamdarloo, I. (2022). Investigating the trend of desertification changes in different land uses of Gavkhoni Basin using change vector analysis method. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(33), 39-52. DOI: 10.22052/deej.2021.10.33.31 [In Persian]
5. Bazgeer, S., Fakhravar, H., Darban Astane, A. R., & Shamsipour, A. A. (2019). Assessing direction of desertification changes in an Arid Region (a case study: Semnan County, Iran). *Desert*, 24(2), 217-227. DOI: 10.22059/jdesert.2019.76362
6. Behrang Manesh, M., Khosravi, H., Heydari Alamdarloo, E., Saadi Alekasir, M., Gholami, A., & Singh, V. P. (2019). Linkage of agricultural drought with meteorological drought in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1025-1033. DOI: 10.1007/s00704-019-02878-w
7. D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., & Runyan, C. W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in water resources*, 51, 326-344. DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.01.013
8. Darvand, S., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., & Khosravi, H. (2021). Prediction of the change trend of temperature and rainfall in the future period and its impact on desertification. *Water and soil management and modelling*, 1(1), 53-66. DOI: 10.22098/mmws.2021.1181
9. Gillespie, T. W., Ostermann-Kelm, S., Dong, C., Willis, K. S., Okin, G. S., & MacDonald, 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
10. Hashem Geloogardi, S., Vali, A., & Sharifi, M. R. (2022). 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. DOI: 10.22059/ijswr.2021.331741.669092 [In Persian]
11. Heydari Alamdarloo, E., Moradi, E., Abdolshahnejad, M., Fatahi, Y., Khosravi, H., & da Silva, A. M. (2021). Analyzing WSTP trend: a new method for global warming assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15. DOI: 10.1007/s10661-021-09600-2
12. Hu, Y., Han, Y., & Zhang, Y. (2020). Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. *Journal of Arid Environments*, 180, 104203. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104203
13. Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Kurban, A., Guo, H., Zheng, G., & De Maeyer, P. (2019). Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia. *Ecological Indicators*, 104, 195-208. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.04.067
14. Kamali, E., Kamali, M A., & Khanamani, A. (2021). Investigation and preparation of desertification map based on Iranian Model Of Desertification Potential (IMDPA) with an emphasis on two criteria of soil and vegetation (Case study: Faryab-Kerman Province). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(12): 163-178. DOI: 10.22034/jest.2021.30618.3917 [In Persian]
15. Karavitis, C. A., Tsesmelis, D. E., Oikonomou, P. D., Kairis, O., Kosmas, C., Fassouli, V., Ritsema, C., Hessel, R., Jetten, V., Moustakas, N., & Quaranta, G. (2020). A desertification risk assessment decision support tool (DRAST). *Catena*, 187, 104413. DOI: 10.1016/j.catena.2019.104413

16. Kerman Management and Planning Organization. (2016). Studies of the second phase of Land use planning in Kerman province and revision of the first phase. *The first chapter: analysis of the state of the province*. 43 pages
17. Kourgialas, N. N. (2021). A critical review of water resources in Greece: The key role of agricultural adaptation to climate-water effects. *Science of The Total Environment*, 775, 145857. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145857
18. Lamchin, M., Lee, J. Y., Lee, W. K., Lee, E. J., Kim, M., Lim, C. H., Choi, H. A., & Kim, S. R. (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *advances in space Research*, 57(1), 64-77. DOI: 10.1016/j.asr.2015.10.006
19. 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
20. Martin, A., Wang, Y., Li, J., & Mends, G. (2018). Technical risk factors of international construction. *The Journal of Engineering*, 2018(3), 138-146. DOI: 10.1049/joe.2016.0389
21. 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). *Irrigation and Water Engineering*, 13(2), 446-462. DOI: 10.22125/iwe.2022.162688 [In Persian]
22. Morianou, G., Kourgialas, N. N., Pisinaras, V., Psarras, G., & Arambatzis, G. (2021). Assessing desertification sensitivity map under climate change and agricultural practices scenarios: the island of Crete case study. *Water Supply*, 21(6), 2916-2934. DOI: 10.2166/ws.2021.132
23. Narmashiri, F., Ghorbani, M., Zehtabian, G., Azarnivand, H., Alambeigi, A., & Scholz, R. W. (2022). Evaluation and analysis of desertification change using change vector analysis method (Region of study: Ghalehgang County). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(1), 53-65. DOI: 10.22092/ijrdr.2022.126004 [In Persian]
24. Nasabpour, S., Khosravi, H., & Heydari Alamdarloo, E. (2017). National assessment of climate resources for tourism seasonality in Iran using the tourism climate index. *Desert*, 22(2), 175-186.
25. Ontel, I., Cheval, S., Irimescu, A., Boldeanu, G., Amihaesei, V.A., Mihailescu, D., Nertan, A., Angearu, C.V., Craciunescu, V. (2023). Assessing the recent trends of land degradation and desertification in Romania using remote sensing indicators. *Remote Sensing*, 15(19), 4842. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15194842>.
26. Pan, J., & Li, T. (2013). Extracting desertification from Landsat TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo-Vegetation feature space. *Natural hazards*, 68, 915-927. DOI: 10.1007/s11069-013-0665-3
27. Rayegani, B., Arzani, H., Heydari Alamdarloo, E., & Moghadami, M M. (2019). Application of remote sensing to assess climate change effects on plant productivity and phenology (Case study area: Tehran Province). *Journal of Rangeland*, 13(3) :450-460. DOI: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4 [In Persian]
28. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., Abolhasani, A., Ghodsi, M., & Mosavi, A. (2021). Fuzzy logic model to assess desertification intensity based on vulnerability indices. *Acta Polytechnica Hungarica* 18(3):2021-2028. DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.1
29. Savari, M., Damaneh, H. E., & Damaneh, H. E. (2024). Managing the effects of drought through the use of risk reduction strategy in the agricultural sector of Iran. *Climate Risk Management*, 100619. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100619>

30. Tang, Z., Ma, J., Peng, H., Wang, S., & Wei, J. (2017). Spatiotemporal changes of vegetation and their responses to temperature and precipitation in upper Shiyang river basin. *Advances in Space Research*, 60(5), 969-979. DOI: 10.1016/j.asr.2017.05.033
31. Tavousi, T., KajeHamiri Khaledi, C., & Salari Fanoudi, M. M. R. (2021). Review of Iran's climatic zoning based on some climate variables. *Desert Management*, 8(16), 17-36. doi: 10.22034/jdmal.2021.243138
32. UNCCD. (1994). United Nations Convention to Combat Desertification, elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa (UN Doc. A/AC). 241/27, 33 ILM 1328.
33. Vermote, E. F., Roger, J. C., & Ray, J. P. (2015). MODIS surface reflectance user's guide (MOD 09). MODIS land surface reflectance science computing facility. 35p.
34. Yaghobi, S., Faramarzi, M., & Karimi, H. (2021). Assessment the desertification trend using the imdpa model with emphasis on three criteria climate, water and geomorphology and geology (case study: Dehloran plain in Ilam province). *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(2) :1-12. DOI: 20.1001.1.27174425.1399.1.2.2.3 [In Persian]
35. Zeng, Y., Feng, Z., & Xiang, N. (2006). Albedo-NDVI space and remote sensing synthesis index models for desertification monitoring. *Scientia Geographica Sinica*, 26(1), 75. DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2006.01.75
36. Zolfaghari, F., & Abdollahi, V. (2022). Determining the most suitable vegetation index for mapping of desertification intensity in arid lands of Sistan using sentinel images. *Desert Management*, 10(1), 1-14. DOI: 10.22034/jdmal.2022.548652.1375
37. Zolfaghari, F., Azarnivand, H., Khosravi, H., Zehtabian, G., & Sigaroudi, S. K. (2022). Monitoring the severity of degradation and desertification by remote sensing (case study: Hamoun International Wetland). *Frontiers in Environmental Science*, 10, 902687. DOI: 10.3389/fenvs.2022.902687