






Investigation and Monitoring and Forecasting Desertification in Wasit Province, Iraq Using Time Series Analysis (2005 to 2030)

Maryam Bayati Khatibi¹ ^a, Hala Abdulkarim² , Bakhtiar Faizi Zadeh³ 

1- (Corresponding Author) Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of planning and environmental Sciences, University of Tabriz Name, City name, Iran.

Email: m_bayati@tabrizu.ac.ir

2- Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of planning and environmental Sciences, University of Tabriz Name, City name, Iran.

Email: haleh@gmail.com

3- Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of planning and environmental Sciences, University of Tabriz Name, City name, Iran.

Email: b.feizizadeh@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article Type:

Research Article

Article History:

Received:

14 April 2025

Received in revised form:

7 June 2025

Accepted:

31 August 2025

pp. 62 -80

Keywords:

Desertification,

Dust storm ,

TGSI, ARIMAModel,

Wasit Province, Iraq

ABSTRACT

Desertified environments have become major dust generation areas today. The importance of paying attention to changes in arid environments is such that the health and survival of all living organisms depends on the results of these studies and measures aimed at the results of the studies. Because of this importance, researchers have tried to focus their research on these areas. Worldwide, some countries are experiencing severe environmental changes, and areas under desertification affect approximately 35% of the Earth's surface and 32% of the total human population. Among other countries in the Middle East, Iraq has become the most important dust-producing area due to environmental changes and desertification, and during part of the year, Iran is also affected. Given the importance of paying attention to the issue of desertification in Iraq, in the present study, with the aim of monitoring areas under desertification in Al-Wasit province, the Albedo and TGSI desertification indices extracted from MODIS sensor products for the years 1384 to 1402 (2005 to 2023) were used and trended using the ARIMA model in time series analysis for the year 1402 (2023). In the Google Earth Engine environment, the indices used for the period 1384 to 1402 (2005 to 2023) were produced by coding in computer programs. After fuzzy descaling of the indices and algebraic summation of the research indices, the desertification index (DI) was generated. For time series analysis on raster layers, libraries related to time series analysis and raster analysis were used in the R software environment. The study findings show that the extent of areas subject to desertification has changed in different years and has expanded significantly in the province under study, and given the current trend of desertification, it will continue if not managed and controlled. Important parts of the northern, northeastern and central regions of Al-Wasit province are involved in the phenomenon of desertification. The intensification of this trend will have various effects and consequences, such as dust.

Cite this article: bayatikhatibi, M. , Abdulkarim, H. and feyizadeh, B. (2025). Investigation and Monitoring dust generation ranges and forecasting desertification in Iraq's Wasit province using time series analysis (2005 to 2030). *Quantitative Geomorphological Research*, 14(2). 62-80.

Doi: [10.22034/gmpj.2025.510717.1550](https://doi.org/10.22034/gmpj.2025.510717.1550)

Extended Abstract**Introduction**

Desertification, which is the process of land destruction in dry, semi-arid and semi-humid areas, can lead to the loss of biological and economic productivity, and ultimately biodiversity and dust generation. This process affects approximately 35% of the earth's surface and 32% of the total human population(8). Desertification is caused by a combination of climate fluctuations and human activities; Climate factors: Drought and climate change intensify desertification by reducing water availability and changing precipitation patterns. Human activities: excessive cultivation, deforestation, excessive livestock grazing, inappropriate irrigation practices and unsustainable land management are among the main factors(7). Desertification is recognized as an important environmental challenge that affects ecosystem services, food security, and social well-being. This phenomenon is mainly caused by changes in land use and land cover, removal of natural plant cover. In fact, desertification is a complex phenomenon and occurs in different temporal and spatial scales, and each geographical area can have its own unique factors. There are different global experiences regarding confronting and identifying this phenomenon(4). For example, in China, extensive efforts have been made, including government policies and desertification control programs, which have led to the reversal of the expansion of desert lands(4). In Iran, despite various political measures, desertification caused by meteorological drought and excessive use of water remains a serious issue. Also, in Central Asia, the phenomenon of desertification has intensified again since the 2010s . Since dry areas are often affected by rapid soil erosion, land degradation, and desertification, continuous monitoring of land use and land cover changes is necessary, and remote sensing images are valuable resources for extraction due to

having continuous spatial information and time series.

Methodology

The main source for obtaining the indicators used in this research were the Madis measurement products in the Terra satellite , which were extracted and translated by coding in the Google Earth Engine environment for the years 2005 to 2023. They were saved in geotiff format. The characteristics of the images obtained from Sanjade Madis are as follows. In order to fuzzify, the Linear function was used in the Spatial Analysis plugin of ArcGis software. It is necessary to explain that the indices were also converted to aligned indices at the same time as de-scaling, in which the large number indicates the desirability and the small number indicates the lack of desirability, and then in the same environment, the weighted sum of the indices for each year separately in the Raster algebra operations section It was obtained according to formula (1).

$$[(DI_1)] = \text{Albedo} + \text{TGSI}$$

In this research, the Arima model, which is actually a combination of these three components and is generally defined by three parameters p, d and q, was used as follows; p: degree of autoreversion (AR), d: degree of differentiation (I), q: degree of moving average (MA). To apply the Arima model on the raster layers obtained from the algebraic sum of the research indicators (DI), the Arima library was used in the R software, and the time series analysis was done until 2030.

Results and discussion

Albedo is a key indicator in environmental and climate studies that shows the ratio of solar energy reflection from the earth's surface to the incoming energy of the sun. This index shows the amount of reflection of different surfaces, including land, water, ice

and plants, and plays an important role in determining temperature and climate changes. Albedo is expressed as a number between 0 and 1. Surfaces with an albedo close to 1 reflect more solar energy and are therefore cooler. Albedo index in Al-Wasit province of Iraq for the years 2005 to 2023. In the average obtained for this index during the studied period (fig 1,B), its lowest value is equal to 0.2 and the highest value is equal to 0.6. In order to investigate the time changes of this index, the standard deviation of the discussed index was calculated during the study period. The highest value of deviation obtained was equal to 0.19, which is located in the almost central part of Alwasit province. The combination of these two indices for the different years under study gives the desert index. In order to combine these two indicators, the spatial analysis environment in ArcGIS software was used. The areas that are seen in brown to yellow color are placed at a higher risk of desertification index according to the index. These fields are often located in the upper parts of the Tigris river. A small part is also located in the southeastern part of Al-Wasit province. The most of the standard deviation in the desertification index (DI) of the region was in the areas of the north of Wasit province, east and parts of the center of the province, all of which are located in the northern parts of the Tigris river. The lowest value of deviation obtained for DI index was equal to 0.13 and the highest value of deviation obtained was equal to 0.24. Also, the lowest average value of the index in the period from 2005 to 2030 was equal to 0.7 and the highest average value obtained for the desert index was equal to 1.4 in the study period. The analysis obtained from Arima shows the continuation of the current trend in the future as well. If the lower limit of the Arima model continues in the time series analysis, it is expected that in 2030, the range of changes in the desertification index will be equal to its low value. with 0.66 and at its maximum value equal to 1.02.

Conclusion

The indices obtained from the spectral information of satellite images have various advantages in the study of phenomena such as

desertification. While most of the previous researches used the NDVI index to study vegetation changes in the study of Desertification, this research, like the researches (9,10,11) used the TGSI index, which indicates the size of the soil. It is used superficially. Like other researches, the use of several important indicators in the phenomenon of desertification can identify the areas at risk of this phenomenon. Time series analysis with Arima in the R software environment can provide quick and easy monitoring of desertification phenomenon. According to the findings in the figure (13-14, 15-16), the average trend of changes in the desertification index obtained in the studied years follows a completely non-linear pattern. So that during 2005 to 2007 this trend was increasing and from 2007 to 2009 it was decreasing and then it was increasing until 2010 and then decreasing in 2011 to 2012 and then it was increasing until 2014. In general, the analysis of changes in this index shows that compared to 2005, this index has increased. The lowest value of this index is 0.72 in 2012 and the highest value is 1.44 in 2023. The intensity of desertification in the northern areas of the Tigris River and the northern and northeastern parts of this province during the studied period is high. Desertification is one of the most well-known environmental challenges in today's world. The existence of this phenomenon not only emphasizes the necessity of studying it, but also requires appropriate and available tools to monitor and control it. Various researches have dealt with the monitoring and monitoring of Desertification, in line with the previous researches, this study also aimed to provide a simple and fast tool for monitoring the Desertification in Al-Wasit province of Iraq. And by examining the background of the research, he used two indices, Albedo and TGSI. In order to monitor and predict the desertification phenomenon, Arima model was used in time series analysis. R software environment was used to implement the model. The findings of the research show that the phenomenon of desertification in the north, northeast and parts of the center of this province is considered a serious problem and this process will continue until 2030, which requires optimal planning and management. The intensification of this process can lead to various regional effects and consequences, including the formation of phenomena such as fine dust. Considering the nature of the indices used in this research, which was the annual average of the index in each year, it cannot be expected that the Arima model has sufficient accuracy for prediction and estimation

due to the non-linear nature of the index obtained in the research. Therefore, it is suggested to use non-linear models for prediction.

Acknowledgments

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

بررسی و پایش محدوده‌های زایش گردوغبار و پیش‌بینی پدیده بیابان‌زایی در استان الواسط عراق با استفاده از تحلیل سری زمانی (۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰)

مریم بیاتی خطیبی^۱، هاله عبدالکریم^۲، بختیار فیضی زاده^۳

۱- نویسنده مسئول، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، رایانامه: m_bayati@tabrizu.ac.ir
۲- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، رایانامه: haleh@gmail.com
۳- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، رایانامه: b.feizizadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۱/۲۵

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۵/۰۹

صص. ۶۲-۸۰

واژگان کلیدی:

بیابان‌زایی،
طوفان گردوغباری
مدل آریم
استان الواسط، عراق

در سه دهه اخیر، در پی تغییرات اقلیمی و دخالت‌های بی‌رویه انسان در طبیعت، بیشتر کشورها با تغییرات محیطی شدیدی، از جمله با پدیده بیابانی شدن مواجه شده‌اند، بطوری که امروزه محدوده‌های تحت بیابانی شدن، تقریباً ۳۵٪ از سطح زمین و ۳۲٪ از کل جمعیت انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بین کشورهای مختلف دنیا، بعضی از محدوده‌های جغرافیایی مانند خاورمیانه، بیش از سایر محدوده‌ها، تحت تأثیر بیابانی شدن قرار گرفته‌اند و به مکان‌های زایش گرد و غبار تبدیل شده‌اند. کشور عراق در بین سایر کشورهای خاورمیانه امروزه به لحاظ وقوع تغییرات محیطی و تجربه شدید پدیده بیابانی شدن، به عمده‌ترین محدوده زایش گردوغبار تبدیل شده است که در بخشی از سال، کشور ایران نیز از ورود این گرد و غبارها بی‌بهره نمی‌ماند. با عنایت به اهمیت توجه به موضوع پدیده بیابانی شدن در کشور عراق و پیامدهای ناشی از آن، در پژوهش حاضر با هدف پایش محدوده‌های تحت بیابان‌زایی در استان الواسط (به عنوان محدوده مهم تحت تأثیر پدیده بیابان‌زایی) از شاخص بیابان‌زایی TGSi و Albedo مستخرج از پروداکت‌های سنجنده مودیس برای سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۲ (۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳) استفاده شده و با مدل آریم در تحلیل سری زمانی برای سال ۱۴۰۲ (۲۰۲۳) روندیابی شده و در محیط گوگل ارث انجین، شاخص‌های بکارگرفته شده برای دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۲ (۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳) با کد نویسی در برنامه‌های کامپیوتری تولید شده‌اند. پس از بی‌مقیاس‌سازی فازی و با جمع جبری شاخص‌های پژوهش، شاخص بیابان‌زایی (DI) تهیه شده است. برای تحلیل سری زمانی بر روی لایه‌های رستری، از کتابخانه‌های مربوط به تحلیل سری زمانی و تحلیل رستری در محیط نرم افزاری R استفاده شد. بررسی یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در سال‌های مختلف گستره محدوده‌های تحت بیابان‌زایی تغییر یافته و در استان مورد مطالعه گسترش محدوده‌های بیابانی قابل ملاحظه بوده است. نتایج بررسی‌ها حاکی از این است که بخش‌های مهمی از مناطق شمالی، شمال شرقی و مرکزی استان الواسط درگیر پدیده بیابان‌زایی بوده و در حال تبدیل شدن به مراکز مهم انتشار ریزگردها هستند. پیش‌بینی‌ها در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن روند فعلی بیابان‌زایی، در صورت ادامه مدیریت غیراصولی و عدم کنترل بیابان‌زایی، تخریب محیط در آینده شدیدتر نیز خواهد شد.

استناد: بیاتی خطیبی، مریم، عبدالکریم، هاله و فیضی زاده، بختیار. (۱۴۰۴). بررسی و پایش محدوده‌های زایش گردوغبار و پیش‌بینی بیابان‌زایی در استان الواسط عراق با استفاده از تحلیل سری زمانی (۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. ۱۴ (۲): ۶۲-۸۰.

مقدمه

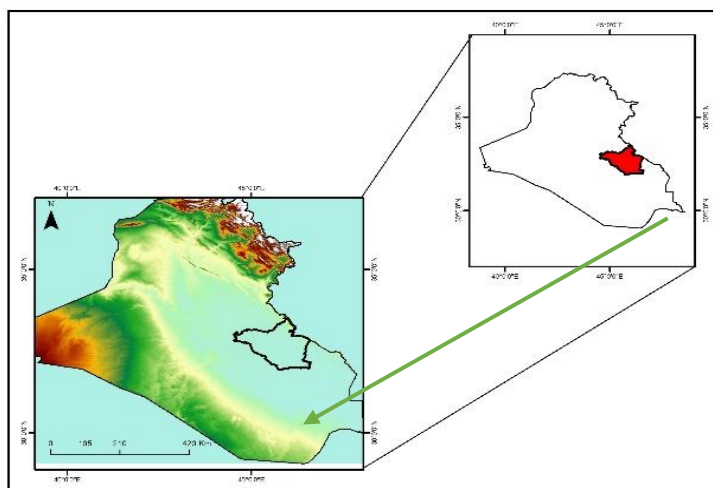
پدیده بیابان‌زایی از فرآیندهای مهم تخریب زمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب محسوب می‌شود که در صورت عدم توجه و پیش‌گیری به موقع، می‌تواند منجر به از دست رفتن بهره‌وری زیستی، اقتصادی و نهایتاً تنوع زیستی و زایش گرد و غبار شود. فرآیند بیابانی شدن که همراه با تغییرات عمده محیطی است، تقریباً ۳۵٪ از سطح زمین و ۳۲٪ درصد از کل جمعیت انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (گو و همکاران، ۲۰۲۲). فرایند بیابان‌زایی، پیامد تاثیر عوامل زیادی، مانند نوسانات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی در محدوده‌های خاص جغرافیایی است. در دهه‌های اخیر، تشدید در خشکسالی و به دنبال آن، کاهش دسترسی به آب و همچنین تغییر در الگوهای بارش، موجب تسریع در فرایند بیابان‌زایی شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاثیر فعالیت‌های انسانی در تشدید فرایند بیابان‌زایی، به مراتب بیشتر از تاثیر عوامل آب و هوایی بوده است. کشت بیش از حد، جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد دام، شیوه‌های نامناسب آبیاری و مدیریت ناپایدار زمین از جمله عوامل تشدید کننده بیابان‌زایی، تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی محسوب می‌شوند (گو و همکاران، ۲۰۲۲). بیابان‌زایی به عنوان یک چالش زیست‌محیطی مهم شناخته می‌شود که بر خدمات اکوسیستم، امنیت غذایی و رفاه اجتماعی تأثیر می‌گذارد. این پدیده عمدتاً توسط تغییرات کاربری اراضی و حذف پوشش گیاهان طبیعی، آغاز می‌شود (سیدرپولیس و همکاران، ۲۰۲۱). در واقع بیابان‌زایی پدیده پیچیده‌ای است که در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف رخ می‌دهد و در محدوده‌های خاص جغرافیایی می‌تواند عوامل زایش منحصر بفرد خودش را داشته باشد (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). در خصوص مقابله با بیابان‌زایی و شناسایی این پدیده تجربیات مختلف جهانی وجود دارد. برای مثال در چین، تلاش‌های گسترده‌ای از جمله اعمال سیاست‌های دولتی و اجرای برنامه‌های کنترل بیابان‌زایی انجام شده که منجر به معکوس شدن روند گسترش زمین‌های بیابانی شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). اما در چند کشور واقع در خاورمیانه، علی‌رغم بحرانی بودن وضعیت، هنوز این مساله جدی گرفته نشده و در اثر اعمال اقدامات غیراصولی و همچنین تشدید خشکسالی، فرایند بیابانی‌زایی تشدید شده است (الیچ و همکاران، ۲۰۰۷). در دهه‌های اخیر در بسیاری از عوامل در بیشتر محدوده‌های جغرافیایی پدیده بیابان‌زایی شدت بیشتری گرفته است. به عنوان نمونه، در آسیای مرکزی، پدیده بیابان‌زایی از دهه ۲۰۱۰ شدت بیشتری گرفته است (الیچ و همکاران، ۲۰۰۷). کاهش رطوبت خاک یکی از عوامل مهم در زایش پدیده بیابان‌زایی است. در مناطق خشک، اغلب زمین بدون رطوبت، تحت تاثیر فرسایش سریع خاک قرار گرفته و در طی زمان، تخریب خاک و بیابان‌زایی شدت می‌گیرد. به دلیل عملکرد سریع عوامل فرسایش، نظارت مداوم بر کاربری زمین و تغییرات پوشش زمین در محدوده‌های خشک ضروری بوده و تصاویر سنجنده‌های مختلف، بدلیل دارا بودن اطلاعات مکانی پیوسته، پوشش مناسب و سری‌های زمانی، از منابع ارزشمند جهت استخراج الگوهای زمانی، روند تغییرات و پایش این پدیده محسوب می‌شوند. تا کنون از داده‌های سنجنده‌های مختلفی برای پایش بیابان‌ها استفاده شده و از شاخص‌های سنجش از دور متنوعی جهت بررسی و ارزیابی روند بیابان‌زایی و تخریب زمین به کار گرفته شده است (فائو، ۲۰۰۸). سنجش از دور به عنوان ابزاری حیاتی برای نظارت بر بیابان‌زایی شناخته شده و داده‌های ارزشمندی در مورد توزیع مکانی و زمانی و عوامل تاثیرگذار بر تغییرات در بیابان‌زایی فراهم نموده (وو و همکاران، ۲۰۱۹) و به شناسایی عوامل هواشناسی و انسانی بر بیابان‌زایی کمک می‌کند (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۲۵). مطالعات متعددی به مقوله ارزیابی و پایش بیابان‌زایی با شاخص‌های بدست آمده از تصاویر مختلف سنجش از دوری پرداخته‌اند. برای مثال؛ بعضی از محققین در کشور عراق، برای پایش گسترش پدیده بیابان‌زایی در شهر نجف، از شاخص‌های نرمال شده آب، شاخص خاک بایر، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده محدوده‌های مسکونی، استفاده کرده‌اند (زائو و همکاران، ۲۰۱۸). کارهای تقریباً مشابهی نیز توسط محققین دیگر برای شهر نجف با شاخص تاسل کاپ انجام گرفته است (یوسف و الخانی و همکاران، ۲۰۲۱). محققین دیگری بودند که ترجیح داده‌اند از شاخص‌هایی مانند شاخص خشکی پالمردر پلتفرم گوگل ارث اینجین برای ارزیابی تغییرات

بیابان‌زایی در دیوار سبز الجزایر استفاده کنندو نشان دهند که ترکیب سنجش از دور با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای نظارت مکانی و زمانی موثر است (می و همکاران، ۲۰۲۴). توجه به ویژگی‌های خاک و تاکید به تغییرات آن در بازه‌های زمانی مختلف از جمله موارد قابل توجه در تحقیقات در رابطه با بیابان‌زایی بوده است. محققینی بوده‌اند که به ویژگی‌ها خاک توجه ویژه‌ای داشته‌اند و از شاخص‌های مرتبط برای ارزیابی تخریب خاک در بیابان‌زایی کابروبو استفاده کرده‌اند و بر تأثیر وقایع آب و هوایی بر شاخص‌های پوشش گیاهی تاکید نموده‌اند (می و همکاران، ۲۰۲۴ و ین و همکاران، ۲۰۲۴). شاخص جدیدی نیز توسط محققین برای تعیین درجه بیابان‌زایی با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و تاسل کاپ گرینس توسعه داده شده که به دسته‌بندی شدت بیابان‌زایی در استان جازان، عربستان سعودی کمک نموده است (هاشم گلوگردی و همکاران، ۲۰۲۲). مضاف بر این، از تکنیک‌های مدل‌سازی نوآورانه برای پیش‌بینی سناریوهای آینده بیابان‌زایی بکار گرفته شده است. از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی، از جمله جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبانی، همراه با مدل ترکیبی برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات آب و هوایی و بیابان‌زایی در شمال شرق ایران نیز استفاده شده که نتایج ارزنده‌ای را به همراه داشته است (یوسف و همکاران، ۲۰۲۳). این مطالعات اهمیت حیاتی ترکیب شاخص‌های سنجش از دور و تکنیک‌های محاسباتی پیشرفته را برای بهبود نظارت و مدیریت بیابان‌زایی، که برای پایداری مناطق آسیب‌پذیر در سراسر جهان ضروری است، برجسته می‌کنند (هاشم گلوگردی و همکاران، ۲۰۲۲، می و همکاران، ۲۰۲۴؛ یوسف و جابر، ۲۰۲۳؛ یوسف و همکاران، ۲۰۲۱). در یک دهه اخیر، از روش‌های مختلفی برای مطالعه بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور استفاده می‌شود. یک روش رایج شامل استفاده از اطلاعات طیفی از تصاویر ماهواره‌ای برای ایجاد شاخص‌های کمی، مانند شاخص نرمال تفاوت پوشش گیاهی، آلبدو و ترکیب‌های خاصی از باندها که محتوای آب خاک و پوشش گیاهی را منعکس می‌کنند، است. این شاخص‌ها برای ایجاد توابع تشخیص برای ارزیابی درجه بیابان‌زایی استفاده می‌شوند (ویرا و همکاران، ۲۰۲۰). در همین راستا، از پژوهش‌هایی که صرفاً برای کشور ایران کار شده‌اند می‌توان به پژوهش‌هایی که اساس آنها بکارگیری شاخص‌های آلبدو و تاسل کاپ برای مطالعه روند بیابان‌زایی در بخش مرکزی استان خوزستان و یا شاخص‌های ترکیبی؛ شامل شاخص‌های نرمال شده تفاوت‌های پوشش گیاهی و دمای سطحی و شاخص شوری خاک برای مطالعه بیابان‌زایی در شهرستان تربت حیدریه (دستورانی و جعفری، ۲۰۲۲) و یا شاخص‌های نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و آلبدو برای مطالعه بیابان‌زایی در دشت مرادآباد سراوان (یوسف و الخاکانی، ۲۰۲۲، دستورانی و جعفری، ۲۰۲۲) اشاره کرد. با بررسی پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان گفت که گفت که محققین بر اثربخشی شاخص‌های سنجش از دور در ارزیابی و نظارت بر بیابان‌زایی تاکید داشته‌اند و آنرا به عنوان ابزارهای ارزشمندی برای مدیریت محیط زیست و سیاست‌گذاری تلقی نموده‌اند. هم راستا با پژوهش‌های قبلی، هدف پژوهش حاضر نیز مطالعه و پایش بیابان‌زایی در استان الواسط کشور عراق برای دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳ با استفاده از شاخص‌های آلبدو و تاسل کاپ می‌باشد. با توجه به اینکه عراق و بخصوص استان واسط عراق در دو دهه اخیر در معرض تغییرات شدید محیطی و در شدیدترین حالت ممکن در معرض پدیده بیابان‌زایی قرار گرفته و به محدوده‌های جغرافیایی زایش گردوغبارها تبدیل گردیده، در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و شاخص‌های مرتبط، محدوده‌های در معرض بیابان‌زایی و تغییر در گستره محدوده‌ها را بررسی نموده و با استفاده از نقشه‌ها نمایش دهد. بررسی میزان گستره محدوده‌های در معرض بیابان‌زایی از دیدگاه گسترش محدوده‌های زایش گردوغبارها که در طی سال‌های اخیر ایران را درگیر خود کرده، از اهداف دیگر این مطالعه بوده است. با توجه به این که هر تغییری که در این محدوده‌ها صورت می‌گیرد، کشورهای همجوار بخصوص ایران را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، از این دیدگاه، بررسی این محدوده جغرافیایی از اهمیت زیادی برخوردار است. در واقع هر گسترش در محدوده‌های تحت بیابان‌زایی، به معنی افزایش محدوده‌های زایش گردوغبار و آلودگی بیشتر هوا در محدوده‌های جنوب غربی کشور ایران نیز هست.

روش تحقیق

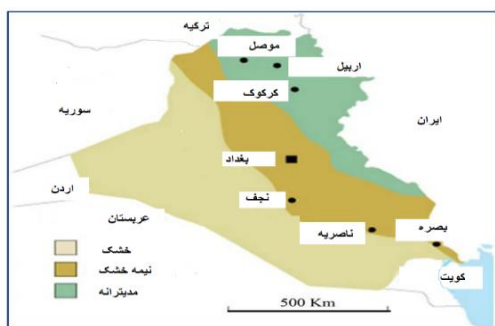
محدوده مورد مطالعه

استان الواسط یکی از استان‌های مهم کشور عراق است که در همسایگی ایران و در جنوب شرقی عراق واقع شده که مرکز آن شهر الکوت می باشد. شکل (۱) موقعیت این استان را در محدوده کشور عراق نشان می‌دهد. این محدوده از ارتفاع بسیار پایینی، یعنی m ۲۵۰ برخوردار است و در اثر تغییرات اقلیمی و دستکاری‌های انسانی، خاک رطوبت خود را از دست داده و در طی زمان در حال تبدیل شدن به یک بیابان واقعی است .

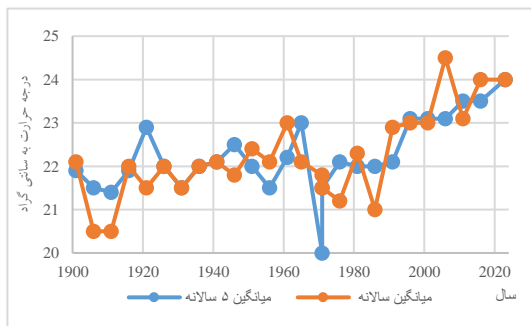


شکل ۱. موقعیت استان واسط در کشور عراق و محدوده مورد مطالعه

آب و هوای این محدوده از عراق، عمدتاً آب و هوای بیابانی گرم با آب و هوای نیمه خشک گرم است که میانگین دماهای بالا در ماه‌های تابستان در مناطقی پست معمولاً بالای $40^{\circ}C$ بوده (شکل ۲ الف) و بیشتر بارش‌ها از دسامبر تا آوریل رخ می‌دهد و به طور متوسط بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ mm در سال است. غرب و جنوب عراق بیابان‌های وسیعی دارد که حدود $168,000 \text{ km}^2$ یعنی تقریباً دو پنجم از کل مساحت کشور را در برمی‌گیرد و استان الواسط عراق نیز در این محدوده خشک و نیمه بیابانی واقع شده است .



(ب)



(الف)

شکل ۲. الف) تغییرات دما و ویژگیهای اقلیمی عراق و استان مورد مطالعه

بیابان غربی که ادامه‌ی صحرای سوریه است، به ارتفاعاتی بیش از ۴۹۰ m می‌رسد و اقلیم آن نیمه خشک است (شکل ۲، ب). بیابان جنوبی به نام الحجاز در بخش غربی و الدبده در شرق شناخته می‌شود. هر دو بیابان بخشی از صحرای عربستان هستند. الحجاز دارای توپوگرافی پیچیده‌ای از بیابان سنگی، وادی‌ها، ریدج‌ها و فرورفتگی‌ها است. الدبده منطقه‌ای ماسه‌ای تر با پوشش گیاهی استپ‌زار است. ارتفاع در بیابان جنوبی به‌طور متوسط بین ۳۰۰ m و ۸۲۰ m می‌رسد (عماددین و همکاران^۱، ۲۰۱۹). بخشی از محدوده مورد مطالعه دارای اقلیم مدیترانه‌ای و بخش دیگر که در محدوده نیمه خشک‌تر بوده، در سال‌های اخیر در معرض بیابان‌زایی قرار گرفته است (شکل ۲، ب). در سال‌های اخیر در محدوده مورد مطالعه به لحاظ کاهش نخلستان‌ها و تغییرات محیطی قابل ملاحظه، دما به مقدار قابل محسوسی افزایش یافته است این افزایش از سال ۲۰۰۰ به بعد قابل ملاحظه است (شکل ۲، الف). خاک‌های این محدوده که اکنون بی‌حفاظ شده‌اند، در معرض جولان وزش بادهایی قرار گرفته‌اند که هیچ مانعی در مقابل کاهش سرعت آنها وجود ندارد. در این مطالعه برای ارزیابی و سنجش شدت فرایند بیابان‌زایی از شاخص‌های آلبدو و دانه‌بندی خاک به شرح زیر استفاده شده است (لولی و هادمیتیس^۲، ۲۰۱۸، وزائو و همکاران^۳، ۲۰۱۸).

- شاخص آلبدو^۴، که معرف بازتابش نور خورشید از سطح زمین است به صورت رابطه زیر قابل طرح است :

$$Albedo = \frac{R_{up}}{R_{down}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

- شاخص دانه بندی خاک^۵، که معرف اندازه دانه بندی خاک سطحی است به صورت رابطه زیر قابل طرح است:

$$TGS I = \frac{Red_Blue}{Red+Blue+Green} \quad \text{رابطه (۲)}$$

لازم به ذکر است که برای بررسی دانه‌بندی خاک از داده‌های باند مادون قرمز کوتاه و همچنین داده‌های زمینی استفاده شده است. منبع اصلی برای بدست آوردن شاخص‌های مورد استفاده در این مقاله، پروداکت‌های سنجده مادیس در ماهواره تراس^۶ بودند (کاتور^۷، ۲۰۲۳؛ لیو و همکاران^۸، ۲۰۰۵ و لیو و همکاران، ۲۰۱۸) که با روش کد نویسی در محیط گوگل ارث انجین برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳ استخراج و به فرمت ژئوتیف^۹ ذخیره شدند. ویژگی‌های تصاویر بدست آمده از سنجده مادیس می‌باشند که برای تصحیح آنها نیز از روش FLAASH استفاده شده است. به منظور فازی سازی از تابع خطی^{۱۰} در افزونه تحلیل فضایی نرم افزار آرک جی ای اس^{۱۱} استفاده شد. لازم به توضیح است که شاخص‌های مورد استفاده همزمان با بی‌مقیاس سازی، به شاخص‌های همسو نیز تبدیل شدند که در آن، عدد بزرگ نشان دهنده مطلوبیت و عدد کوچک نشان دهنده عدم مطلوبیت باشد و سپس در همان محیط جمع موزون شاخص‌ها برای هر سال جداگانه در بخش عملیات جبری رستری بشرح رابطه (۱) بدست آمد.

$$DI_t = Albedo + TGS I \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن DI شاخص بیابان زائی در زمان مشخص می باشد.

با هدف بررسی و پایش روند بیابان‌زائی در محدوده مورد مطالعه، ابتدا دو شاخص با روش فازی بی‌مقیاس شدند. عدد فازی مثلثی یکی از انواع اعداد فازی است که با سه عدد حقیقی به صورت $F=(l,m,u)$ نمایش داده می‌شود. این نوع از اعداد فازی به علت

¹ Emadodin et al., 2019

² Lulli and Hadjmitisis

³ Zhao et al.,

⁴ Albedo

⁵ TGS I

⁶ Terra

⁷ Kaur

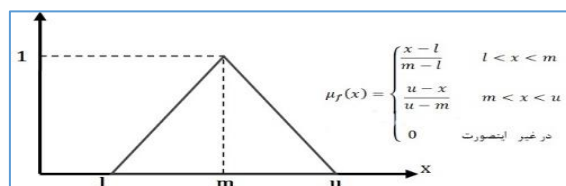
⁸ Liu et al.,

⁹ GEOTIF

¹⁰ Linear

¹¹ ArcGis

کارایی محاسباتی بسیار بالایی که دارند بسیار مرسوم هستند. علاوه محاسبات با این نوع از اعداد بسیار ساده و قابل فهم است. عدد فازی مثلثی $F=(l,m,u)$ در فضای هندسی به صورت شکل ۳ نمایش داده می‌شود. با توجه به تابع عضویت اعداد مثلثی مشخص است اگر x بین l و m باشد آنگاه هر چه بزرگتر باشد درجه عضویت آن نیز بزرگتر خواهد شد تا جاییکه برای $x=m$ درجه عضویت برابر یک می‌شود. اگر x بین m و u باشد هرچه بزرگتر باشد، درجه عضویت کوچکتر خواهد شد و در $x=u$ درجه عضویت صفر خواهد شد (دستورانی و جعفری، ۲۰۲۲).



شکل ۳. روش فازی سازی مثلثاتی (۵)

به منظور تحلیل سری زمانی از مدل آریمای استفاده شده که به معنای میانگین متحرک یکپارچه خودبازگشتی است. این روش آماری که برای تحلیل سری‌های زمانی و پیش‌بینی استفاده شده است، دارای سه جز اصلی می‌باشد (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۲۵).

۲- مدل خود بازگشتی^۱

مدل خود بازگشتی به این معنا است که مقدار سری زمانی در لحظه کنونی به مقادیر گذشته خود وابسته است.

- درجه خود بازگشتی با پارامتر ρ تعیین شده است که نشان دهنده تعداد گام‌های گذشته است که بر مقدار فعلی تاثیر می‌گذارد.
- شکل کلی مدل $AR(\rho)$ به صورت رابطه (۴) می‌باشد

$$Y_t = c + \sum_{i=1}^{\rho} \phi_i Y_{t-i} + \epsilon_t \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن ϕ_i ضریب خود بازگشتی و ϵ_t نویز تصادفی و c ثابت مدل و ρ مرتبه است.

۲- مدل تفاضل گیری^۲

- به این معنی است که سری زمانی با یک یا چند مرتبه تفاضل گیری تبدیل به یک سری زمانی ایستا می‌شود (حسین علی و همکاران، ۲۰۲۳).
- درجه تفاضل گیری با پارامتر d تعیین شده است که نشان دهنده تعداد مرتبه‌های تفاضل گیری است.
- مدل میانگین متحرک^۳
- مدل میانگین متحرک به این معناست که مقدار سری زمانی در لحظه کنونی به خطاهای گذشته وابسته است.
- درجه میانگین متحرک با پارامتر q تعیین شده است که نشان دهنده تعداد گام‌های خطای گذشته است که بر مقدار فعلی تاثیر می‌گذارد.
- این مدل به شکل رابطه (۵) می‌باشد (پیرا و همکاران، ۲۰۲۴).

¹ ARIMA

² Autoregressive_AR

³ Integrated-I

⁴ Moving Average-MA

⁵ Pereire et al.,

$$Y_t = c + \epsilon_t + \sum_{i=1}^{\rho} \theta_i \epsilon_{t-i} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن θ_i ضرایب میانگین متحرک و ϵ_t نویز تصادفی و c ثابت مدل و ρ مرتبه است مدل آریما (p,d,q)

در این پژوهش مدل آریما که در واقع ترکیبی از این سه جزء است و به صورت کلی با سه پارامتر p, d و q تعریف می‌شود، بشرح زیر استفاده شد؛ معادله کلی مدل آریما به شکل رابطه (۶) می‌باشد (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۲۵):

$$Y_t = c + \sum_{i=1}^{\rho} \phi_i Y_{t-i} + \epsilon_t + \sum_{i=1}^{\rho} \theta_i \epsilon_{t-i} \quad \text{رابطه (۶)}$$

• ρ : درجه خودبازگشتی (AR): درجه تفاضل گیری (I), q : درجه میانگین متحرک (MA) و θ_i ضرایب میانگین متحرک و ϵ_t نویز تصادفی و c ثابت مدل و ρ مرتبه و ϕ_i ضریب خود بازگشتی است.

برای اعمال مدل آریما بر روی لایه های رستری بدست آمده از جمع جبری شاخص‌های پژوهش (DI) از کتابخانه آریما در نرم افزار R استفاده شدو تحلیل سری زمانی تا سال ۲۰۳۰ صورت گرفت. تخمین پارامترهای مدل در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱. تخمین پارامترهای مدل

VARI	ARI	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACFT
۵۶۸۹۹	۰٫۴۸۱۷	-۱۷٫۵۶۷۵	۳۳۱٫۸۱۴۹	۱۸۵٫۰۷۴	-۲٫۳۱۱۷	۱۰٫۴۳۴۴	۰٫۷۹۹۶	۰٫۰۰۳۳

بحث و یافته‌ها

زایش گردو غبار

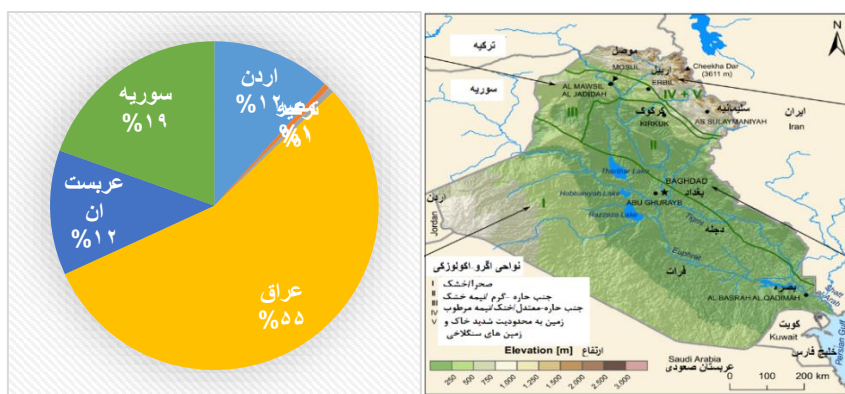
محدوده‌های کم‌ارتفاع عراق، که استان مورد مطالعه نیز در چنین محدوده‌ای قرار دارد، در سه دهه گذشته به لحاظ تغییرات محیطی و انسانی، به محدوده‌های زایش گردوغبار تبدیل شده‌اند. معمولاً مکان‌های اصلی زایش گرد و غبارها، محدوده‌های کم ارتفاع، خشک و عاری از پوشش گیاهی و با مقدار بارش کمتر از ۲۰۰ mm در سال است. چنین مکان‌هایی می‌توانند سالانه ۲۰۰ mton تا ۵۰۰۰ گردوغبار تولید کنند. گردوغبارها برخواسته از چنین مکان‌هایی، مسیرهای طولانی (چندین کیلومتری) را طی می‌کنند و با خود انواع آلودگی‌ها، فلزات سنگین و باکتری‌ها را حمل می‌کنند (آتیه و جونز^۱، ۲۰۲۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر در کشورهایی مانند عراق و همچنین در کشورهای واقع در شمال آفریقا، با افزایش در دما بین ۱/۴ تا ۵/۸ °C و کاهش در بارش در حدود ۱۰ تا ۲۵٪، به کاهش در رواناب‌ها از ۱۰ تا ۴۰٪ و کاهش در رطوبت خاک منجر شده است که این امر به تشدید بیابان‌زایی کمک نموده است. در سه دهه گذشته روند خشکی روبه افزایش بوده تا جاییکه در عراق خشک‌ترین شرایط در سال ۲۰۲۱ به ثبت رسیده است. کاهش بارش، افزایش دما و کاهش در رواناب‌ها، شرایط را برای کاهش رطوبت خاک و بی‌دفاع شدن زمین در مقابل خیزش گردوغبارها موجب شده است (سیدروپولوس و همکاران^۲، ۲۰۲۱). دجله و فرات دو رودخانه بزرگ عراق هستند که ۷۱٪ آب آنها از ترکیه، ۶/۹٪ از ایران و ۴٪ از سوریه و باقی آن از عراق تامین می‌شود. در دهه ۱۹۷۰، ترکیه و سوریه، با انجام پروژه‌های عظیم سدسازی بر شاخ‌های این دو رودخانه، باعث کاهش شدید آب این دو رودخانه شده‌اند. جریان این دو رودخانه اصلی که ۹۸٪ آب در عراق از آن تامین می‌شد، در اثر این سدسازی‌ها در دهه ۱۹۸۰ به ۳۰٪ رسیده است (هاشمی و همکاران، ۲۰۲۴) که خود این امر به علت اصلی خشک شدن بخش‌هایی از عراق تبدیل شده و به تشدید خیزش گردو غبار منجر شده است. گردوغبارهایی که تهدید کننده کیفیت منابع آبی، خاکی و سلامت انسانی و دامی در عراق و کشورهای همسایه هستند، اغلب منشأ بیابانی دارند (موردنجد و همکاران^۳، ۲۰۱۵). در محدوده‌های کم‌ارتفاع با خاک‌های منفصل و برهنه (شکل ۴، الف) که استان مورد مطالعه نیز در آن قرار دارد، به

¹ Attiya and Jones

² Sidiropoulos et al.,

³ Mordnejad et al.,

عمده‌ترین محدوده تحت فرسایش باد تبدیل شده و خیزش گردوغبار از چنین محدوده‌هایی به عنوان عامل اصلی تهدیدکننده ساکنین بخش‌های جنوب شرقی عراق بروز کرده است. البته شروع اولیه پدیده بیابان‌زایی در کشور عراق صرفاً علت طبیعی ندارد و بخشی از آن به مسایل سیاسی و نظامی مربوط می‌گردد که سال‌ها این کشور درگیر آن بوده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که به علل وقوع جنگ‌های متعدد و برهنه شدن زمین، کشورهای سوریه و عراق به دو محدوده عمده در زایش طوفان‌های گرد و خاک تبدیل شده‌اند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که وقوع جنگ ایران و عراق در بین سال‌های (۱۹۸۰-۱۹۸۸) و جنگ خلیج فارس (۱۹۹۰-۱۹۹۱) به افزایش در وسعت بیابانی عراق، تا حد ۲۰٪ منجر شده است (شکل ۵). یعنی سطح محدوده‌های بیابانی از ۱,۷۲ mha به ۲,۰۴ mha رسیده است (ماردینجاد و همکاران، ۲۰۱۵). به همین دلیل، می‌توان گفت که در سال‌های اخیر در بین کشورهای خاورمیانه، سهم عراق در تولید طوفان‌های گردوغبار (با سهم ۵۵٪) از دیگر کشورها به مراتب زیادتر بوده است (شکل ۶، ب). خاک‌های این محدوده جغرافیایی با توجه به تغییر در ویژگی‌ها و بدون حفاظ ماندن، در بهترین شرایط برای جولان و فعالیت باد و زایش گردوغبار قرار گرفته‌اند. خاک‌های این محدوده ریز دانه و منفصل بوده (شکل ۵)، بنابراین به راحتی توسط باد می‌توانند از زمین بلند شوند. خاک‌های منفصل و جولان باد در زمین‌های بی‌حفاظ، باعث شکل‌گیری طوفان‌های گردوغباری در این محدوده‌ها می‌گردد. زمانی که این طوفان‌ها شکل می‌گیرند، گردوغبارها در جهت باد مسیر ایران را در پیش می‌گیرند (شکل ۶). مطالعات نشان می‌دهد که محدوده‌های جنوب شرقی عراق، بیشترین سهم را در تشکیل طوفان‌های گردوغباری دارند (شکل ۷ الف) و هر سال این محدوده‌ها گردوغبار بیشتری را تحویل باد داده‌اند تا آنها را جابجا کنند (شکل ۷). بررسی‌ها همچنین حاکی از این است که در اواخر خرداد و اوایل تابستان که خاک در خشک‌ترین شرایط خود قرار دارد تعداد طوفان‌های گردوغبار به مراتب بیشتر از سایر ماه‌های سال است (شکل ۷ ب).



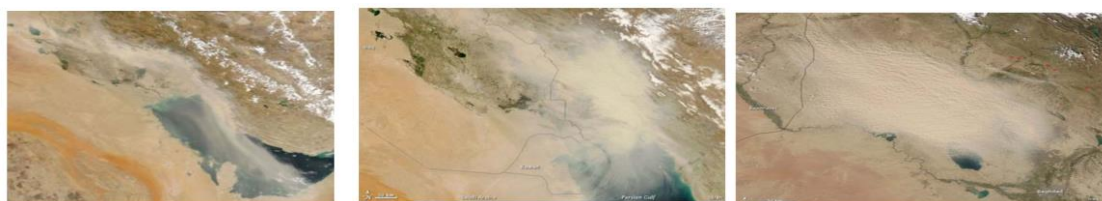
ب

الف

شکل ۴. درصد وقوع طوفان‌های گردوغبار با منشأ کشورهای مختلف برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان)



شکل ۵. بیابان در جنوب شرقی عراق که سرمنشأ زایش طوفان‌های گردوغبار (منبع: نگارندگان)

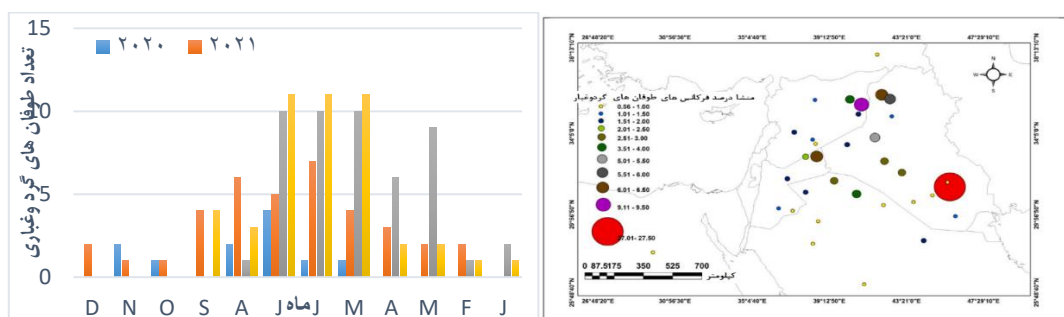


پ

ب

الف

شکل ۶. تصویر ماهواره‌ای طوفان‌های گردوغبار که از مرزهای عراق منشأ می‌گیرد (تصویر سنجنده مودیس برای ۳ مارس ۲۰۱۱ و اگوست ۲۰۰۵)



ب

الف

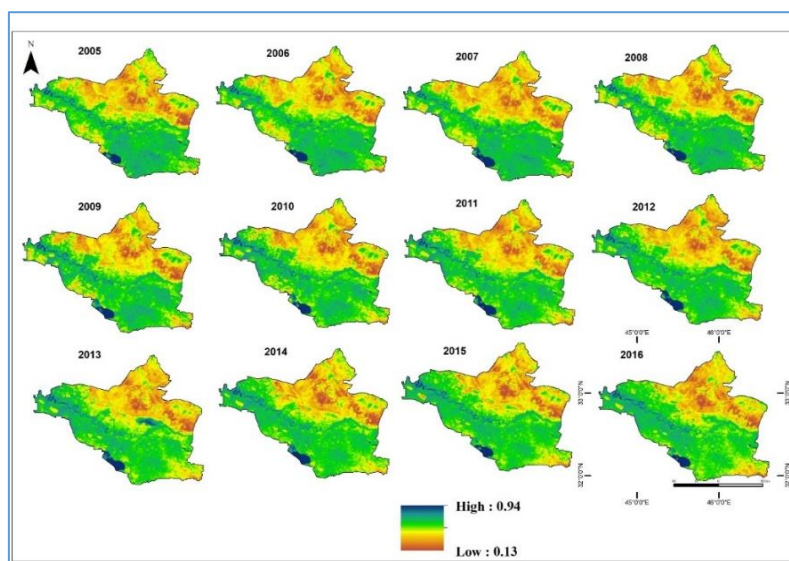
شکل ۷. الف) درصد وقوع طوفان‌های گرد و غباری و وقوع ماهانه طوفان‌های گردوغبار در عراق در طول سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان)

تغییرات شاخص آلبدو

آلبدو^۱ یک شاخص کلیدی در مطالعات محیطی و اقلیمی است که نسبت بازتاب انرژی خورشیدی از سطح زمین به انرژی ورودی خورشید را نشان می‌دهد. این شاخص میزان بازتابش سطوح مختلف، از جمله زمین، آب، یخ و گیاهان را نمایش می‌دهد و نقش مهمی در تعیین دما و تغییرات آب و هوایی دارد. آلبدو به صورت عددی بین صفر و ۱ بیان می‌شود. سطوحی که آلبدوی نزدیک به ۱ دارند، بیشتر انرژی خورشیدی را بازتاب می‌کنند و به همین دلیل خنک‌تر هستند. برای مثال، یخ و برف با آلبدوی حدود ۰/۸ تا ۰/۹ انرژی زیادی را بازتاب می‌کنند، که به حفظ دمای پایین مناطق قطبی کمک می‌کند. در مقابل، سطوحی که آلبدوی نزدیک به صفر دارند، بیشتر انرژی را جذب می‌کنند و به همین دلیل گرم‌تر هستند. تغییرات در آلبدو می‌تواند تأثیرات بزرگی بر دمای جهانی داشته باشد. به خصوص در بیابان‌زایی، تغییرات آلبدو نقش حیاتی ایفا می‌کنند. مناطق بیابانی که دارای آلبدوی پایین‌تری هستند، بیشتر انرژی خورشیدی را جذب کرده و منجر به گرم شدن سطح زمین می‌شوند. این افزایش دما می‌تواند باعث تبخیر بیشتر رطوبت سطحی و کاهش پوشش گیاهی شود، که این خود عامل تقویت بیابان‌زایی است (و و همکاران^۲، ۲۰۱۹). شکل ۸، تغییرات شاخص آلبدو را در استان الواسط عراق و برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد.

¹ Albedo

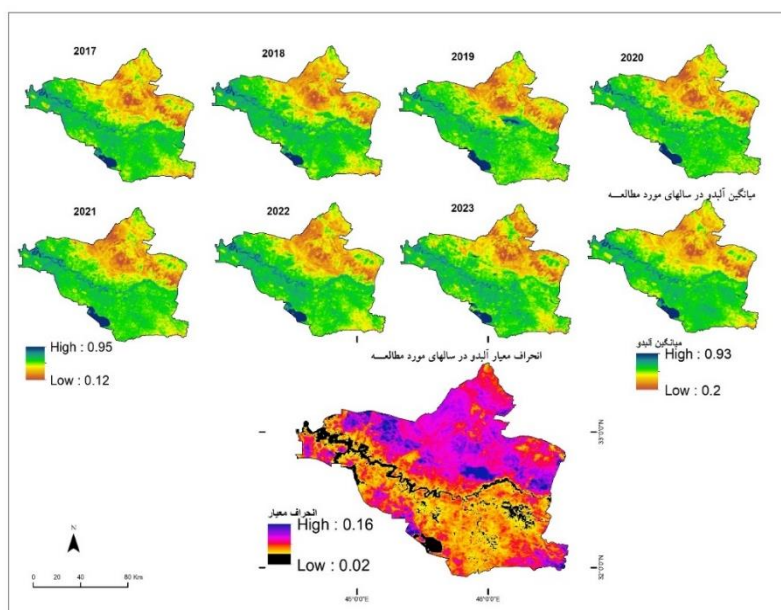
² Wu et al.,



شکل ۸. شاخص آلودگی (فازی بی مقیاس) برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳

بررسی نقشه‌های ترسیمی نشان می‌دهد که تغییرات در این شاخص از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ قابل ملاحظه است. در طی این بازه زمانی میزان آلودگی در قسمت‌های جنوب شرقی بیش از سایر قسمت‌های عراق کاهش یافته است (شکل ۸). بعد از استخراج شاخص آلودگی برای سال‌های مورد مطالعه، در این پژوهش از طریق آنالیز سلولی در تحلیل فضایی نرم افزار آرک جی ای اس^۱ اقدام به محاسبه میانگین آلودگی در طی سال‌های مورد مطالعه شد. این لایه (شکل ۹) نشان دهنده متوسط آلودگی هر سلول رستری طی سال‌های مورد مطالعه است. همچنین به منظور درک بهتر از تغییرات آلودگی در طی سال‌های مورد مطالعه، انحراف معیار شاخص برای سال‌های مورد مطالعه نیز در همان محیط تحلیل فضایی صورت گرفت. در واقع انحراف معیار بدست آمده (شکل ۹) نشان دهنده بیشترین تغییرات صورت گرفته برای شاخص آلودگی در سال‌های مورد مطالعه است. شکل ۹ نشان می‌دهد بیشترین انحراف صورت گرفته از میانگین آلودگی در بخش‌های شمالی رودخانه دجله و در شمال استان الواسط می‌باشد

¹ ArcGis



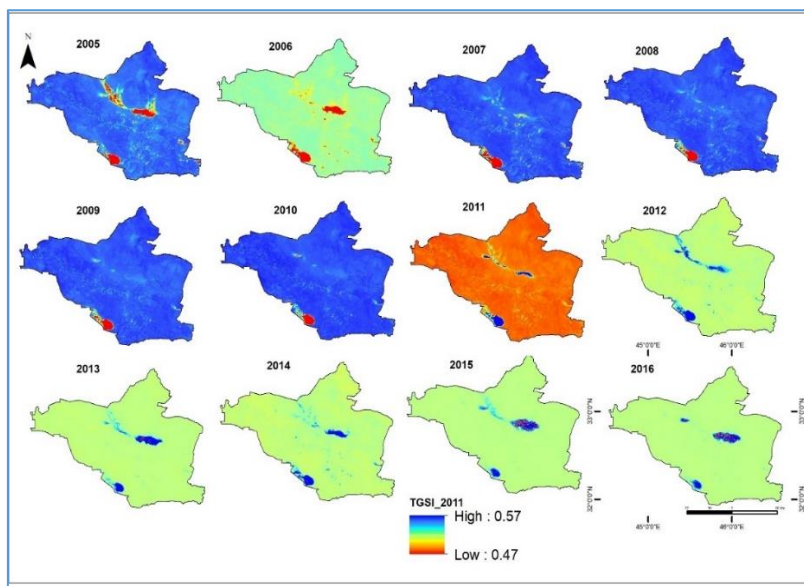
شکل ۹. میانگین انحراف معیار آلودگی برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳

با کاهش بارش و کاهش رطوبت خاک و به دنبال آن کاهش پوشش گیاهی محافظ خاک، بیابان‌زایی تشدید می‌شود. به همین دلیل با بررسی میزان تغییرات در بافت خاک و ویژگی سطحی زمین، می‌توان میزان بیابان‌زایی را نیز تخمین زد و اقدامات مدیریتی مناسب را برنامه‌ریزی کرد. یکی از شاخص‌های مهم بررسی ویژگی‌های خاک، شاخص TGS^۱ است که به عنوان یک ابزار مفید در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی و پایش شدت بیابان‌زایی و تغییرات سطح زمین محسوب می‌شود. این شاخص به وسیله تحلیل ترکیبات طیفی تصاویر ماهواره‌ای، به دست می‌آید و به بررسی اندازه دانه‌های سطحی خاک و تغییرات آن‌ها در زمان و مکان می‌پردازد (لیو و همکاران^۲، ۲۰۱۸). از این شاخص برای شناسایی مناطق در معرض بیابان‌زایی و اندازه‌گیری شدت آن استفاده می‌شود. شکل ۱۰، تغییرات زمانی این شاخص را برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ و شکل ۱۱ تغییرات آنرا برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌های ارایه شده در شکل ۱۰ حاکی از این است که از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ تغییرات در خاک بسیار قابل ملاحظه بوده است. طبق نقشه‌های ارایه شده، تغییرات در خاک استان مورد مطالعه طبق شاخص TGS^۱ برای سال‌های مختلف بسیار متفاوت است. با توجه به نتایج محاسبات در نقشه‌های شکل (۱۱) می‌توان گفت که، کمترین مقدار بدست آمده برای این شاخص در سال ۲۰۱۱ برابر با ۰/۴۷ و بیشترین مقدار بدست آمده برابر با ۰/۵۷ می‌باشد. در میانگین بدست آمده برای این شاخص طی دوره مورد مطالعه، کمترین مقدار آن برابر با ۰/۲ و بیشترین مقدار برابر با ۰/۶ می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات زمانی این شاخص انحراف معیار شاخص مورد بحث در طی دوره مورد مطالعه حساب شده است (شکل ۱۱). بیشترین مقدار انحراف بدست آمده برابر با ۰/۱۹ بود که در شکل ۱۱ و در بخش تقریباً مرکزی استان الواسط قرار می‌گیرد. ترکیب این دو شاخص برای سال‌های مختلف مورد مطالعه شاخص بیابان‌زایی را بدست می‌دهد. به منظور ترکیب این دو شاخص از محیط تحلیل فضایی در نرم افزار ارک جی ای اس^۳ استفاده شده است. شاخص بیابان‌زایی (DI) برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ در شکل ۱۲ آمده است.

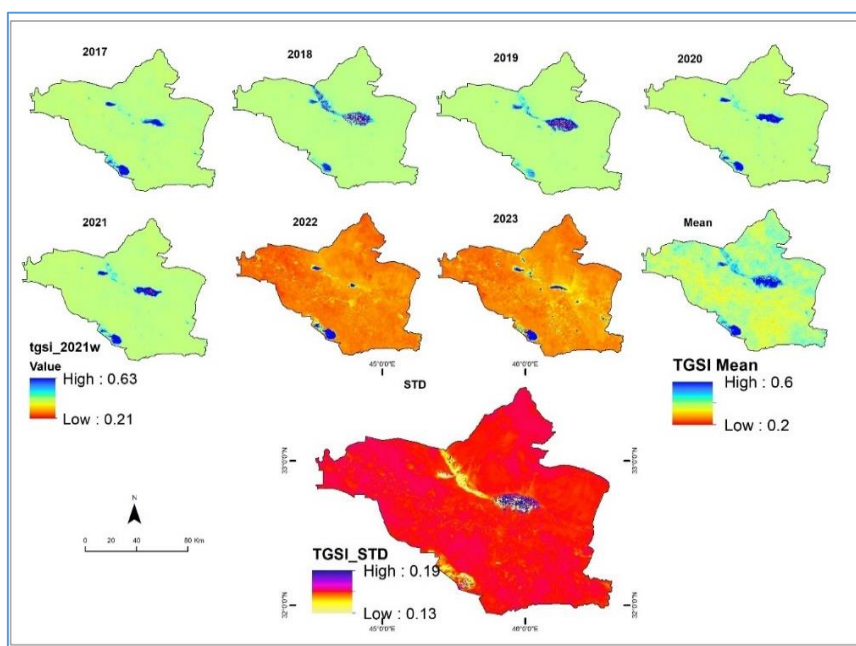
¹ Total Grain Size Index

² Liu et al.,

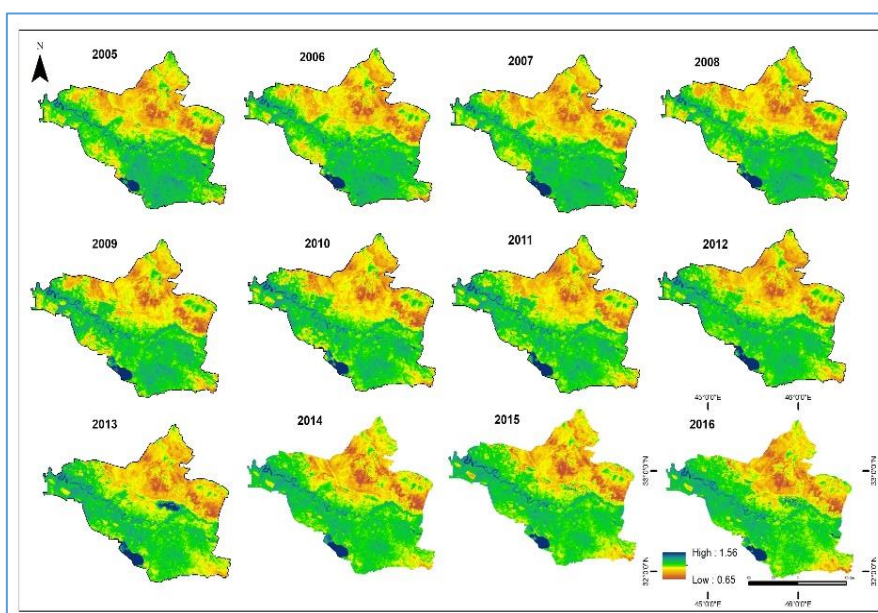
³ ArcGIS



شکل ۱۰. شاخص TGSi (عدد فازی بی مقیاس) برای سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۶ استان واسط

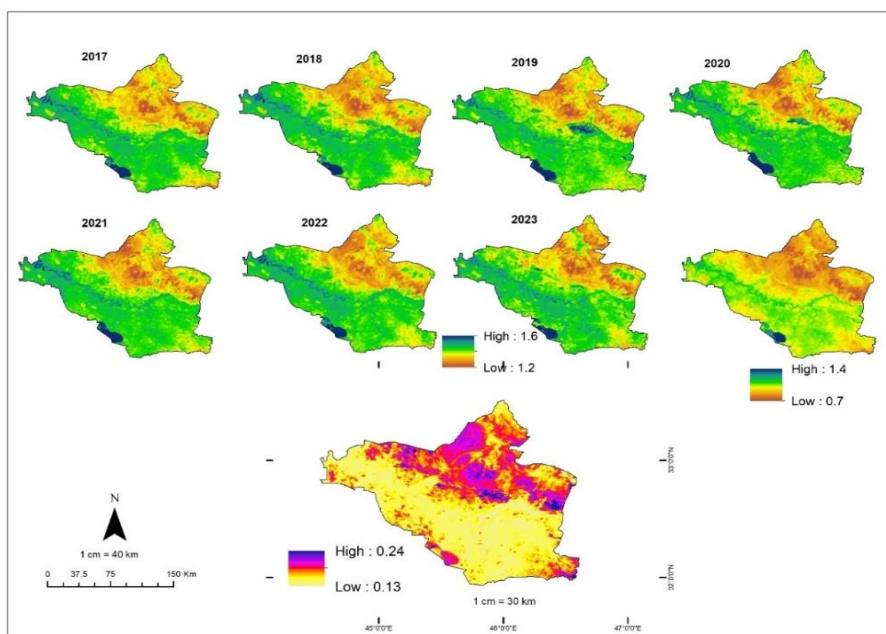


شکل ۱۱. شاخص آلبدو (فازی بی مقیاس) برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ به‌مراه میانگین انحراف معیار آلبدو



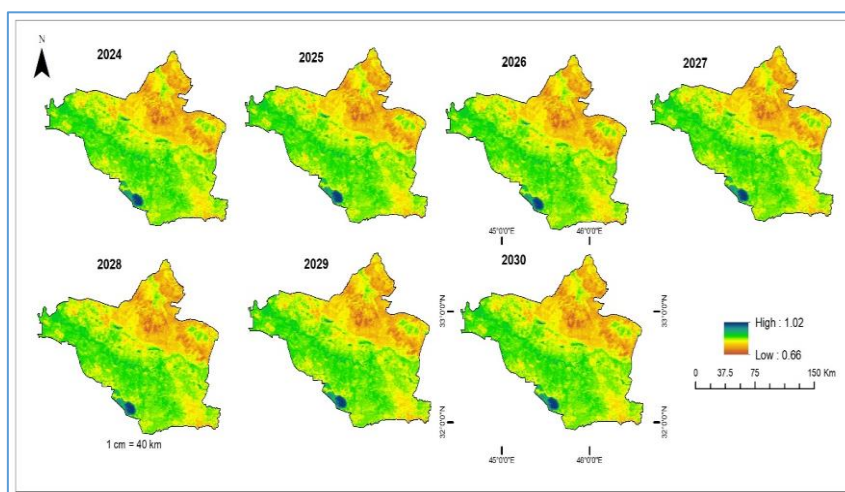
شکل ۱۲. شاخص بیابان‌زائی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶

شکل ۱۳ نشان می‌دهد که کمترین مقدار انحراف بدست آمده برای شاخص DI برابر با $0/13$ و بالاترین مقدار انحراف بدست آمده برابر با $0/24$ بود. همچنین کمترین مقدار متوسط شاخص در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ برابر با $0/7$ و بیشترین میانگین مقدار بدست آمده برای شاخص بیابان‌زائی برابر با $1/4$ در بازه زمانی مطالعه بوده است. در این شکل، مناطقی که به رنگ قهوه ای تا زرد دیده می‌شوند مطابق با شاخص، در ریسک بالاتری از شاخص بیابان‌زائی قرار می‌گیرند. این مناطق اغلب در بخش‌های بالایی رودخانه دجله قرار می‌گیرند. یک بخش کوچکی نیز در بخش جنوب شرقی استان الواسط قرار دارد.

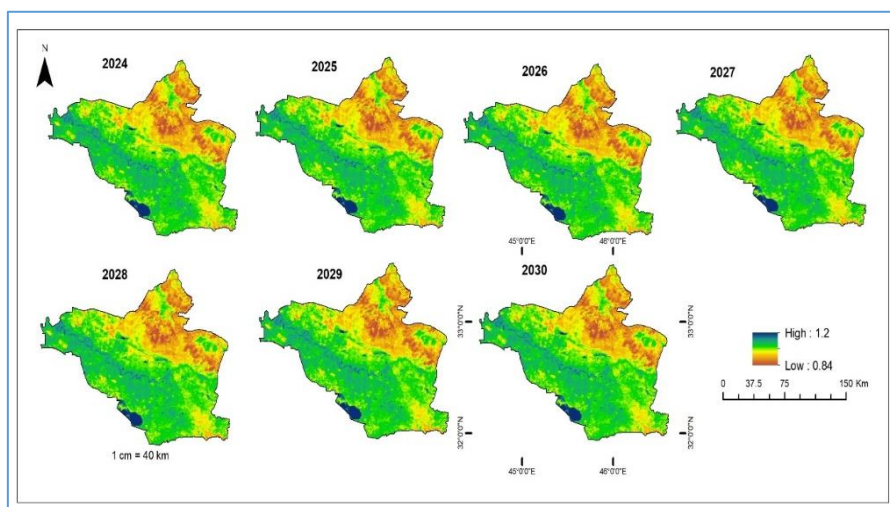


شکل ۱۳. شاخص بیابان‌زائی برای سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۳

همانطوری که در شکل ۱۴ نیز مشخص است، بیشتر انحراف معیاری که در شاخص بیابان‌زائی (DI) محدوده صورت گرفته در مناطقی از شمال استان واسط، شرق و بخش‌های از مرکز استان بوده است که همگی در بخش‌های شمالی رودخانه دجله قرار دارند. با تغییراتی که در سواحل رودخانه دجله صورت می‌گیرد (در اثر کاهش آب رودخانه) به نظر می‌رسد که تغییرات در شدت بیابان‌زایی در آینده نیز بیشتر خواهد شد و پیش‌بینی این تغییرات به دلیل لحاظ نمودن کنترل‌های محیطی از اهمیت زیادی برخوردار است. واقع برای مدیریت درست سرزمین، باید نگاهی نیز به آینده داشت و با توجه به وضع موجود و تغییرات در عوامل، آینده را نیز پیش‌بینی کرد. طبق این توجیه، پیش‌بینی‌هایی برای بیابان‌زایی در استان مورد مطالعه صورت گرفته است. پیش‌بینی تغییرات شاخص (DI) برای سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۰ در شکل ۱۵ آمده است. تحلیل‌های بدست آمده از آریمای نشان‌دهنده تداوم روند کنونی در آینده نیز می‌باشد. بر طبق یافته‌های شکل ۱۵ در صورتیکه حد پایین مدل آریمای در تحلیل سری زمانی ادامه پیدا کند، انتظار می‌رود که در سال ۲۰۳۰ دامنه تغییرات شاخص بیابان‌زائی در مقدار پایین خود برابر با ۰/۶۶ و در حداکثر مقدار خود برابر با ۱/۰۲ باشد. در حد پایین مدل آریمای بخش‌های زیادی از محدوده شمال و شمال شرق در استان واسط در معرض بیابان‌زائی قرار خواهند گرفت. شکل ۱۵ نشان می‌دهد در صورت تداوم همین روند بخش‌هایی از جنوب شرق استان نیز در معرض خطر قرار خواهند گرفت.

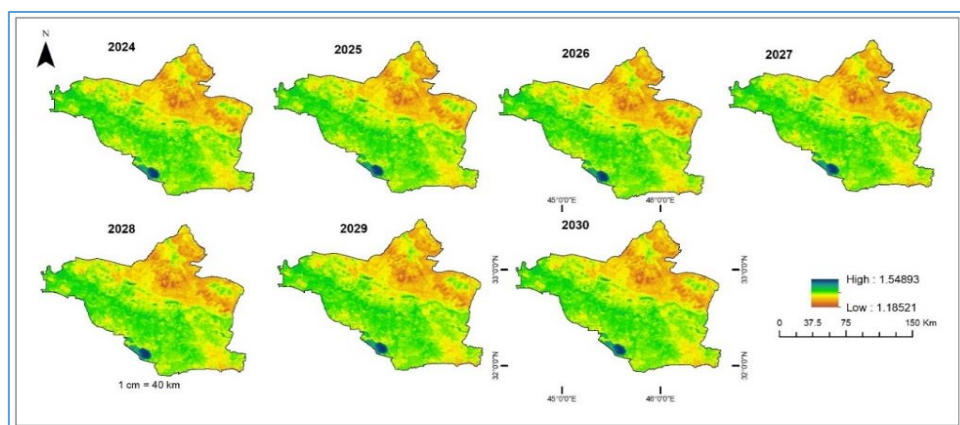


شکل ۱۴. پیش‌بینی شاخص DI مستخرج از مدل آریمای حد پایین برای سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۰

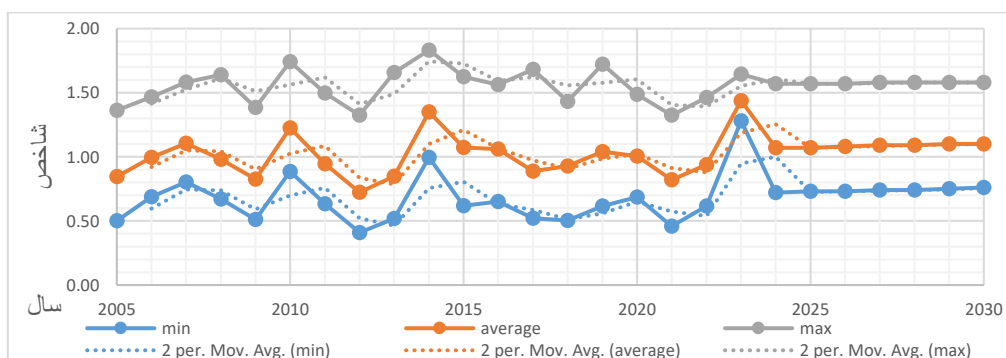


شکل ۱۵. پیش‌بینی شاخص بیابان‌زائی برای سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۰ با مدل آریمای در سری زمانی (تداوم حد متوسط)

مطابق با یافته‌های شکل ۱۶، در صورتی که خدمت‌موسط مدل آریما در تحلیل سری زمانی ادامه پیدا کند، انتظار می‌رود که در سال ۲۰۳۰ دامنه تغییرات شاخص بیابان‌زائی در مقدار پایین خود برابر با ۰/۸۴ و در حداکثر مقدار خود برابر با ۱/۲ باشد. همچنین با استناد به یافته‌های شکل ۱۶، در صورتیکه حد بالای مدل آریما در تحلیل سری زمانی ادامه پیدا کند، انتظار می‌رود که در سال ۲۰۳۰ دامنه تغییرات شاخص بیابان‌زائی در مقدار پایین خود برابر با ۱/۱۸ و در حداکثر مقدار خود برابر با ۱/۵۴ باشد. شکل‌های ۱۳-۱۶ نشان می‌دهد که در هر سه حالت از مدل آریما بخش‌های شمالی و شمال شرق استان بشدت در معرض بیابان‌زائی قرار خواهند داشت. با توجه به عدم حفاظت مناسب خاک، در آینده خیزش بیشتر خاک در این محدوده‌ها دور از انتظار نخواهد بود و با توجه به جهت جریان‌های هوایی، ایران نیز بی‌تأثیر از گردوغبارهای ناشی از آن نخواهد بود و با عنایت به پیامد آلودگی‌های ناشی از آن، لازم هست در جهت تثبیت خاک و احیای پوشش گیاهی متناسب با شرایط محلی، تدابیر مقتضی اتخاذ شود. یافته‌های مندرج در شکل ۱۷ نیز مقادیر حد پایین و حد متوسط و حد بالای تغییرات سری زمانی را نشان می‌دهد. بررسی شکل ۱۷ نشان می‌دهد که الگوی روند تغییرات کاملاً غیر خطی می‌باشد.



شکل ۱۶. پیش‌بینی شاخص بیابان‌زائی برای سالهای ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۰ با مدل آریما در سری زمانی (تداوم حد بالا)



شکل ۱۷. روند تغییرات شاخص بیابان‌زائی در دوره محدوده زمانی مورد مطالعه

توسل به اطلاعات حاصل از سنجنده‌های مختلف و استناد به شاخص‌های بدست آمده از اطلاعات طیفی تصاویر ماهواره‌ای مزیت‌های مختلفی را در مطالعه پدیده‌های همچون بیابان‌زائی دارد. در حالیکه اکثر پژوهش‌های قبلی از شاخص نرمال شده تفاوت‌های پوشش گیاهی^۱ برای مطالعه تغییرات پوشش گیاهی در مطالعه بیابان‌زائی استفاده کرده بودند، این پژوهش به مانند پژوهش‌های

^۱ NDVI

دیگر محققان (هاشم گلوگردی و همکاران، ۲۰۲۲ و می و همکاران^۱، ۲۰۲۴) شاخص TGSi را که نشان دهنده اندازه خاک سطحی است، بکار برد. به مانند سایر پژوهش‌های استفاده از چند شاخص مهم در پدیده بیابان‌زایی می‌تواند محدوده‌های در معرض خطر این پدیده را شناسایی کند. تحلیل سری زمانی با آریما در محیط نرم افزاری R می‌تواند پایش سریع و آسانی را از پدیده بیابان‌زایی بدست بدهد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین روند تغییرات شاخص بیابان‌زایی بدست آمده در سالهای مورد مطالعه از یک الگوی کاملاً غیر خطی تبعیت می‌کند. بطوری‌که طی سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ این روند افزایشی و از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ کاهش و در ادامه تا سال ۲۰۱۰ افزایش و متعاقب آن در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲ کاهش بوده است و در ادامه نیز تا سال ۲۰۱۴ افزایشی بوده است. در کل بررسی روند تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که در مقایسه با سال ۲۰۰۵ این شاخص افزایش داشته است. کمترین مقدار این شاخص در سال ۲۰۱۲ برابر با ۰/۷۲ بوده و بیشترین مقدار آن در سال ۲۰۲۳ برابر با ۱/۴۴ می‌باشد. بررسی نقشه‌های ترسیمی حاکی از این است که، شدت بیابان‌زایی در مناطق شمالی رودخانه عراق یعنی رودخانه دجله و بخش‌های شمالی و شمال شرقی استان واسط در طی دوره مورد مطالعه زیاد بود. مطالعات موریدنجات و همکاران که در عراق صورت گرفته نیز حاکی از شدت‌گیری تغییرات محیطی و تشدید کاهش کیفیت خاک در بخش‌هایی از عراق است (موریدنجات^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). به نظر می‌رسد که همراهی تغییرات اقلیمی و تغییرات در شرایط محیطی توسط انسان، عامل مهمی در تشدید بیابان‌زایی در اکوسیستم‌های نیمه خشک است مطالعاتی که لیو و همکاران در بخشی از چین انجام داده اند، تاکید و تایید کننده این موضوع است که با توجه به حاکمیت شرایط خاص در چنین اکوسیستم‌هایی، باید تدابیر متناسب و مقتضی برای حفظ محیط اتخاذ شود (لیو و همکاران، ۲۰۲۰).

نتیجه‌گیری

بیابان‌زایی به عنوان یکی از شناخته شده ترین چالش‌های زیست محیطی در دنیای امروز است وجود این پدیده نه تنها بر ضرورت مطالعه آن را تاکید می‌کند بلکه نیازمند ابزارهای مناسب و در دسترس برای پایش و کنترل آن نیز هست. پژوهش‌های مختلفی به پایش بیابان‌زایی پرداخته اند هم راستا با پژوهش‌های قبل این پژوهش نیز با هدف ارائه ابزاری ساده و سریع برای پایش بیابان‌زایی در استان الواسط عراق پرداخت. و با بررسی پیشینه پژوهش از دو شاخص آلبدو و شاخص دانه بندی خاک هره گرفت. بمنظور پایش و پیش بینی پدیده بیابان‌زایی از مدل آریما در تحلیل سری زمانی استفاده شد. برای پیاده سازی مدل از محیط نرم افزاری R استفاده شد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که پدیده بیابان‌زایی در محدوده‌هایی از شمال، شمال شرق و بخش‌های از مرکز این استان به عنوان یک معضل جدی قلمداد می‌شود و این روند تا ۲۰۳۰ تداوم خواهد داشت، که نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه آن می‌باشد. تشدید این روند اثرات و پیامدهای مختلف منطقه‌ای را می‌تواند در پی داشته باشد که از آنجمله می‌توان به شکل‌گیری پدیده‌های نظیر ریزگرد اشاره کرد. با توجه به ماهیت شاخص‌های استفاده شده در این مقاله که متوسط سالانه شاخص در هر سال بود نمی‌توان انتظار داشت که مدل آریما دقت کافی را برای پیش بینی و تخمین با توجه به ماهیت غیرخطی شاخص بدست آمده در پژوهش داشته باشد. به همین جهت پیشنهاد می‌شود از مدل‌های غیرخطی برای پیش بینی استفاده شود. موردی دیگری که می‌توان اضافه نمود این است که اکوسیستم‌های محدوده‌های نیمه خشک حساس‌ترین شرایط محیطی را نسبت به سایر محیط‌ها دارا هستند با توجه به چنین حساسیت‌هایی لازم هست پایش‌های مداومی در مورد کاهش رطوبت خاک و کاهش پوشش گیاهی صورت گیرد تا در صورت لزوم، تدابیری متناسب در سریع‌ترین زمان ممکن اتخاذ و اعمال گردد. در خاک‌های خشک و بدون حفاظ باد می‌تواند دانه‌های خاک سطحی را جابجا و تا مسافت‌های طولانی با خود حمل کند و باعث آلودگی

¹ Mihi et al.,

² Moridnejad et al.,

هوا و آب و حتی خاک گردد. لذا برای جلوگیری از جابجایی خاک، باید در اولین فرصت با توسل به روش‌های مختلف، خاک تثبیت و رطوبت آن حفظ گردد.

منابع

- Abed,R.,Adham ,A.,Falah Allawi ,M & Ritsema,C.(2023).Potential Impacts of Climate Change on the Al Abila Dam in the Western Desert of Iraq, *Hydrology*, 10, 183-199. <https://doi.org/10.3390/hydrology10090183>
- Abiyat ,M., Abiyat,M.& Abiyat,M.(2024).Evaluation of Desertification Intensity using Spectral Indices Resulting from Satellite Images the Case Study of Bandar Mahshahr County,*Physical geography research*,55(4),61-81.DOI:10.2N2059/JPHGR.2023.355751.1007753.
- Attiya,A.& Jones,B.(2020).Climatology of Iraqi dust events during 1980–2015, SN,Applied Sciences 2,845-862. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2669-4>.
- Cai, D., Wang, X., Hua, T., Jiao, L., & Geng, X.(2022).Baseline and status of desertification in Central Asia. *Land Degradation & Development*.33(5),771-784. <https://doi.org/10.1002/ldr.4214>
- Dastorani .M.,& Jafari,S.M.(2022).Shalamzari,Comparison of fuzzy method and Integrated Desertification Index (IDI) in assessing the intensity of desertification in Torbat-e-Heydariyeh of Khorasan Razavi province with emphasis on vegetation indices , *Journal of Arid Biome*,12(1),63-75,DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2023.18283.1887. [In Persian].
- Ehlich ,D.,Estes,T,E.Singh,A.(2007).Applications of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring, *International Journal of Remote Sensing* ,15(1)145-167,DOI:10.1080/01431169408954056
- Emadodin, I., Reinsch, T., & Taube, F.(2019).Drought and desertification in Iran.*Hydrology*, 6(3), 66. <https://doi.org/10.3390/hydrology6030066>
- FAO. (2008) .Country Profile IRAQ, Aqua state Reports.
- Guo,X.,Wang,Y.,Yan,H.,Liu,P.,Tian,Y.,Sheng,G.,Jin,G.,Zhu,T.(2022).Dew/hoar frost on the canopies and underlying surfaces of two typical desert shrubs in Northwest China and their relevance to drought ,*Journal of Hydrology*,609(127880) <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127880>.
- Hashem Geloogerdi ,S.,Vali,A.& Sharifi,M.(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),2843-2851. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.331741.66909V>
- Hasan, S. S., Alharbi, O. A., Alqurashi, A. F., & Fahil, A. S. (2024). Assessment of desertification dynamics in arid coastal areas by integrating remote sensing data and statistical techniques. *Sustainability*, 16(11), 4527. <https://doi.org/10.3390/su16114527>
- Hashemi, Z., Sodaiezadeh, H., Mokhtari, M. H., & Hakimzadeh Ardakani, M.(2024).Monitoring and forecasting desertification and land degradation using remote sensing and machine learning techniques in Sistan plain, Iran. *Journal of African Earth Sciences*,218(3),105375, DOI:10.1016/j.jafrearsci.2024.105375

- Hussein Ali ,S.,Abdalahman R. Qubaa, A.& Mohammad Al-Khayat,B.(2023).Climate Change and its Potential Impacts on Iraqi,Environment: Overview, Climate Change and its Potential Impacts on Iraqi,Environment: Overview,3rd Scientific Conference of Iraqi Desert Geology (IDGC 2023),IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 1300, (2024) 012010,IOP Publishing,[doi:10.1088/1755-1315/1300/1/012010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1300/1/012010).
- Ismaili ,R., Saadiyah H. Halos, b.& Bushra Q. Al-Abudi .(2025).Detection of the most frequent sources of dust storms in Iraq during,2020–2023 using space tools,Kuwait Journal of Science 52 (2025) 100328, <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100328>
- Ji, X., Yang, J., Liu, J., Du, X., Zhang, W., Liu, J., Li, G., & Guo,J.(2023). Analysis of spatial-temporal changes and driving forces of desertification in the Mu Us Sandy Land from 1991 to 2021. *Sustainability*, 15(13), 10399. <https://doi.org/10.3390/su151310399>
- Kaur, J. (2023). Autoregressive models in environmental forecasting time series: A theoretical and application review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 17-41. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25148-9>
- Liu, A., Wang, J., Liu, Z., & Wang, J.(2005).Monitoring desertification in arid and semi-arid areas of China with NOAA-AVHRR and MODIS data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 29-29 July 2005,DOI: [10.1109/IGARSS.2005.1525451](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1525451)
- Liu, Q., Liu, G., & Huang, C. (2018). Monitoring desertification processes in Mongolian plateau using MODIS tasseled cap transformation and TGSi time series. *Journal of Arid Land*, 10(1),12–26,<https://doi.org/10.1007/s40333-017-0109-0>
- Loulli, E. & Hadjimitsis, D. G. (2018). Remote sensing based indices for drought assessment in the East Mediterranean region. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. Proceedings of the SPIE, 10783, 1078314 6. (2018).DOI:[10.1117/12.2325331](https://doi.org/10.1117/12.2325331)
- Lyu, Y., Shi, P., Han, G., Liu, L., Guo, L., Hu, X. & Zhang, G.(2020).Desertification control practices in China. *Sustainability*, 12(8), 3258. <https://doi.org/10.3390/su12083258>
- Mihi, A., Zerroug, K.,Kouachi, M. E. & Benarfa, N.(2024).Spatiotemporal changes of desertification degree in the Algerian green barrier over the last four decades (1984–2020).*Arid Land Research and Management*. 38(2), DOI:[10.1080/15324982.2024.2316657](https://doi.org/10.1080/15324982.2024.2316657),
- Mohammed,R.& Scholz,M.(2017).The reconnaissance drought index: A method for detecting regional arid climatic variability and potential drought risk, *Journal of Arid Environments*,144(12),181-191,[doi:10.1016/j.jaridenv.2017.03.014](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.03.014).
- Moridnejad ,A.,Karimi,N.& Ariya,P.(2015).Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles,Journal of Arid Environments,116(2015),1-10 ,DOI:[10.1016/j.jaridenv.2015.01.008](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.01.008)
- Pereira,S.,Junior,F.B.,Santos,J.S.,Alneida,A.C.,Silva,T.G.,Junior,T.F.,Junior,G.N.,Scheibel,C,H.,Silva,J,L.,Lima,J,L.& Silva,M.V.(2024). Semi-arid to arid scenario shift: Is the Cabrobó

- desertification nucleus becoming arid? *Remote Sensing*, 16(15), 2834. <https://doi.org/10.3390/rs16152834>
- Sidiropoulos, P., Dalezios, N. R., Loukas, A., Mylopoulos, N., Spiliotopoulos, M., Faraslis, I. N., Alpanakis, N. & Sakellariou, S. (2021). Quantitative classification of desertification severity for degraded aquifer based on remotely sensed drought assessment. *Hydrology*, 8(1), 47. <https://doi.org/10.3390/hydrology8010047>
- Sissakian, V. & Al-Ansari, N. (2013). Sven Knutsson Sand and dust storm events in Iraq, *Natural Science*, 5(10), 1084-1094, *doi*: [10.4236/ns.2013.510133](https://doi.org/10.4236/ns.2013.510133)
- Sterk, G., & Stoorvogel, J. J. (2020). Desertification—Scientific versus political realities. *Land*, 9(6), 156. <https://doi.org/10.3390/land9060156>
- Vieira, R. M., Tomasella, J., Barbosa, A. A. & Martins, M. (2020). Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. *Land Degradation & Development*, 32(34), DOI: [10.1002/ldr.3681](https://doi.org/10.1002/ldr.3681)
- Wang, Y., Guo, E., Kang, Y. & Ma, H. (2022). Assessment of land desertification and its drivers on the Mongolian Plateau using intensity analysis and the geographical detector technique. *Remote Sensing*, 14(24), 6365. <https://doi.org/10.3390/rs14246365>
- Wu, Z., Lei, S., Bian, Z. & Zhang, Y. (2019). Study of the desertification index based on the albedo-MSAVI feature space for semi-arid steppe region, *Environmental Earth Sciences*, 78(6), DOI: [10.1007/s12665-019-8111-9](https://doi.org/10.1007/s12665-019-8111-9)
- Yin, W., Hu, Q., Hi, J., Zhu, D. & Boali, A. (2024). Assessing climate and land-use change scenarios on future desertification in Northeast Iran: A data mining and Google Earth Engine-based approach. *Land*, 13(11), 1802. <https://doi.org/10.3390/land13111802>
- Yousef, O. A. R., & Jaber, H. S. (2023). Studying the environmental changes using remote sensing and GIS, *Iraqi Journal of Science*, 64(7), 3705-3716. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2023.64.7.45>
32. Yousuf, R. T. & Al-Khakani, E. T. (2021). Assessing degree of desertification using Tasselled Cap Transformation and Spectral Indicators Techniques: Iraq. *Scientific Journal of King Faisal University*, 22(1). DOI: [10.37575/b/sci/0019](https://doi.org/10.37575/b/sci/0019).
- Zhao, Y., Wang, X., Novillo, C. J., & Maestre, F. T. (2018). Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands. *Journal of Arid Environments*, 157, 116-123, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.010>.