



Identification of Areas Vulnerable to Desertification Hazards (Case Study: Qom Province)

Masoumeh Asadi¹ | Mina Shahjamali² | Hamid Ganjaeian^{✉ 3} | Atrin Ebrahimi⁴

1. Soil and Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran. asadi_zhina@yahoo.com
- 2- Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Minash.jamali@gmail.com
3. Corresponding Author Geomorphology, Faculty of Geography., University of Tehran, Tehran, Iran. h.ganjaeian@ut.ac.ir
4. Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tabriz, Tabriz, Iran. ebrahimiasad955@gmail.com

Article Information

Vol: 16
No: 62
P: 21-36
Received: 2024-12-14
Revised: 2025-02-26
Accepted: 2025-03-17
Published: 2026-02-01

Keywords:

- Desertification
- Google Earth Engine
- WLC
- Qom Province

Cite this Article:

Asadi, M., Shahjamali, M., Ganjaeian, H., & Ebrahimi, A. (2026). Identifying Vulnerable Areas to Desertification Risk (Case Study: Qom Province). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 16(62): 21-36.

doi: 10.22034/jargs.2025.493988.1167

Publisher: Hakim Sabzevari University

Authors retain the copyright and full publishing rights



Abstract

Aim: Iran's geographical location has caused a large part of its regions to include arid and semi-arid regions. Given the high sensitivity of these areas to environmental degradation, the spread of desertification is considered one of the most important environmental hazards in these areas. Given the importance of the issue, this study aims to identify areas at risk of desertification in Qom province.

Materials & Methods: In this research, Google Earth images, MODIS satellite images, CHIRPS, and 30-meter digital elevation model have been used as the most important research data. The most important tools used in the research include Google Earth Engine, ArcGIS, and Super Decisions. Also, NDVI, weighted linear combination (WLC), and analytical network (ANP) models have been used. The general method of work in this research has been based on 9 parameters (vegetation density, dust concentration, average precipitation, average temperature, aridity coefficient, elevation, slope, distance from main road, and distance from urban areas), as well as the combined WLC-ANP model. Areas vulnerable to desertification risk have been identified.

Finding: Based on the results, a large part of the central areas of Qom province is affected by low vegetation density, high dust concentration, high aridity coefficient, low average rainfall, high temperature, low altitude, and proximity to urban areas and main roads. It has a very high potential for vulnerability to desertification.

Conclusion: The overall results of this study have shown that the central regions of Qom province are highly sensitive to the risk of desertification, so special attention should be paid to this issue in environmental planning, especially in plans related to land use changes.

Innovation: The innovation of this research is the combined use of Google Earth Engine and geomorphological parameters, and only areas with an NDVI coefficient greater than 0.1 were selected as study areas. The results of this research can be used in various environmental planning.

Extended Abstract

1. Introduction

Desertification refers to the degradation of land in arid, semi-arid, and semi-humid areas, which is influenced by various human and natural factors and is often considered a significant threat to human societies. The phenomenon of desertification today affects many areas, particularly in arid and semi-arid regions. Arid and semi-arid areas are highly sensitive to the destruction of vegetation cover. In these areas, various natural factors, such as climate change and drought, as well as human factors, like land use changes, can contribute to the destruction of vegetation cover and the spread of desertification. The importance of the issue of desertification has made it a significant challenge for many countries. Given that approximately two-thirds of Iran's territory is comprised of arid and semi-arid areas, it can be said that a significant portion of Iran's land is vulnerable to desertification. In fact, Iran's location has caused a large part of its central and eastern regions to be at risk of desertification. Among the areas exposed to this phenomenon is Qom province. The climatic conditions of Qom province and its human activities have put pressure on natural resources, leading to the destruction of pastures and, consequently, the spread of desertification. Given that the risk of desertification is one of the leading threats in Qom province, it is crucial to study and investigate this phenomenon in detail and identify areas vulnerable to its spread, which is addressed in this research.

2. Materials and Methods

In this study, Google Earth images, MODIS satellite images, CHIRPS, and a 30-meter digital elevation model were utilized as the primary research data. The most important tools used in the study included the Google Earth Engine system (to prepare maps of dust concentration, vegetation density, average temperature, average precipitation, and aridity coefficient), ArcGIS (to prepare the desired maps), and Super Decisions (weighting the parameters). In this study, various indices were also employed, the most important of which were the AOD index (used to create the dust concentration map of the region) and the NDVI index (used to create the vegetation density map of the region). Additionally, this study employed the integrated WLC-ANP model to create the final map of desertification-prone areas. Considering the desired objectives, this study was carried out in three general stages. In the first stage, the parameters were selected, and the main study area was determined. In the second stage, information layers related to the desired parameters were prepared. In the third stage, using the integrated ANP-WLC model, the final map of areas vulnerable to desertification risk was prepared.

3. Results and Discussion

The geographical location of Iran has led to a significant portion of its regions being arid and semi-arid. Given the high sensitivity of arid and semi-arid regions to environmental degradation, the loss of vegetation cover and the spread of desertification are considered one of the most significant environmental hazards in these regions. Among the regions facing the challenge of desertification is Qom province. The results of this study have shown that a significant portion of this province consists of land without vegetation cover. In fact, the results obtained from the NDVI coefficient have shown that a large part of the eastern half of Qom Province lacks vegetation cover, and as a result, only parts of Qom Province with an NDVI coefficient of more than 0.1 have been studied. The results obtained from the evaluation of climatic parameters have shown that due to the significant difference in altitude between the western regions and the central and eastern regions of Qom province, in a general trend, the western regions have more precipitation, lower temperature, lower aridity coefficient, and lower dust concentration coefficient than the central and eastern regions of this province. Due to climatic differences, topographical variations, and varying levels of human activity in the studied area, the potential for desertification also varies across different regions of Qom Province.

4. Conclusions

The results of this study have shown that a large part of the central regions of Qom Province has a very high potential for desertification due to low vegetation density, high dust concentration, a high aridity coefficient, low average rainfall, high temperatures, low altitude, and proximity to urban areas and main roads. Additionally, the western regions of this province have a low potential for desertification due to their location within the mountain unit, low impact of human activities, higher rainfall, and lower temperatures compared to the central and eastern regions of Qom province, as well as their high altitude and low dust concentration. The overall results of this study have shown that the central regions of Qom province are highly susceptible to desertification, so special attention should be paid to this issue in environmental

planning, especially in land-use change plans. Additionally, it is possible to provide solutions to increase the density of vegetation, particularly in sandy areas and those without vegetation adjacent to the cities of Qom province.

5. Acknowledgment & Funding

The manuscript did not receive a grant from any organization.

6. Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی (مطالعه موردی: استان قم)

معصومه اسدی^۱، مینا شاه‌جمالی^۲، حمید گنجائیان^۳، عطرین ابراهیمی^۴

- ۱- پژوهشکده حفاظت آب و خاک و آب‌خیزداری، تهران، ایران. asadi_zhina@yahoo.com
۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Minash.jamali@gmail.com
۳- نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. h.ganjaiean@ut.ac.ir
۴- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. ebrahimiasad955@gmail.com

چکیده

هدف: موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بخش زیادی از مناطق آن را مناطق خشک و نیمه خشک دربرگیرد. با توجه به حساسیت بالای این مناطق در برابر تخریب زیست‌محیطی، گسترش بیابان‌زایی به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی این مناطق محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به شناسایی مناطق در معرض مخاطره بیابان‌زایی در استان قم پرداخته شده است.

روش و داده: در این تحقیق از تصاویر گوگل ارث، تصاویر ماهواره‌های MODIS، CHIRPS و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، به عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق شامل سامانه گوگل ارث انجین، ArcGIS و Super Decisions بوده است. همچنین در این تحقیق از شاخص‌های NDVI و AOD و مدل‌های ترکیب خطی وزنی (WLC) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. روش کلی کار در این پژوهش به این صورت بوده است که بر مبنای ۹ پارامتر (تراکم پوشش گیاهی، غلظت گرد و غبار، میانگین بارش، میانگین دما، ضریب خشکی، ارتفاع، شیب، فاصله از جاده اصلی و فاصله از نقاط شهری) و همچنین مدل تلفیقی WLC-ANP، مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی شناسایی شده است.

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از مناطق مرکزی استان قم به دلیل تراکم کم پوشش گیاهی، غلظت زیاد گرد و غبار، ضریب خشکی بالا، میانگین بارش کم و دمای زیاد، ارتفاع کم و همچنین نزدیکی به نقاط شهری و جاده‌های اصلی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی‌زیادی در برابر مخاطره بیابان‌زایی است.

نتیجه‌گیری: مناطق مرکزی استان قم دارای حساسیت بالایی در برابر مخاطره بیابان‌زایی است بنابراین باید در برنامه‌ریزی‌های محیطی و خصوصاً برنامه‌های مربوط به تغییرات کاربری اراضی به این مسئله توجه ویژه‌ای شود.

نوآوری، کاربرد نتایج: نوآوری این تحقیق استفاده ترکیبی از سامانه گوگل ارث انجین و پارامترهای ژئومورفولوژی است و همچنین فقط مناطقی به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده است که دارای ضریب NDVI بیش از ۰/۱ بوده‌اند. از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌ریزی‌های مختلف محیطی استفاده کرد.

اطلاعات مقاله

شماره:	۱۶
دوره:	۶۲
صفحه:	۲۱-۳۶
تاریخ دریافت:	۱۴۰۳/۰۹/۲۴
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۳/۱۲/۰۸
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۳/۱۲/۲۷
تاریخ انتشار:	۱۴۰۴/۱۱/۱۲

کلیدواژه‌ها:

- بیابان‌زایی
- گوگل ارث انجین
- WLC
- استان قم

نحوه ارجاع به این مقاله:

اسدی، معصومه؛ شاه‌جمالی، مینا؛ گنجائیان، حمید؛ ابراهیمی، عطرین. (۱۴۰۴). شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی (مطالعه موردی: استان قم). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶(۶۲): ۲۱-۳۶.

doi: 10.22034/jargs.2025.493988.1167

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسندگان حق نشر و حقوق کامل انتشار را حفظ می‌کنند.

۱- مقدمه

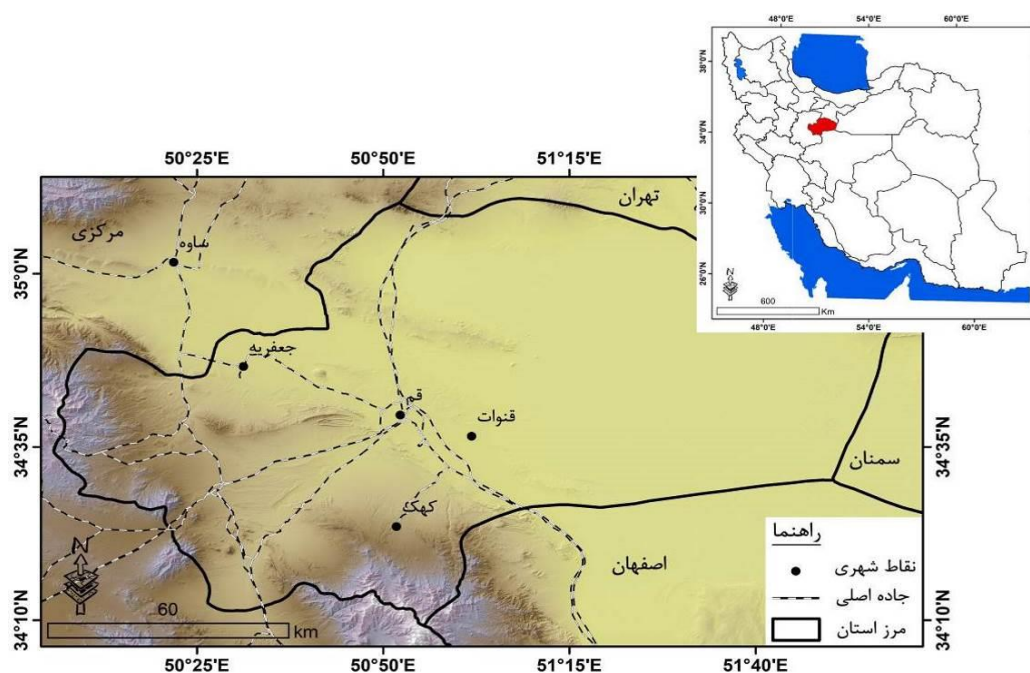
بیابان‌زایی به تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب گفته می‌شود که متأثر از عوامل مختلف انسانی و طبیعی است (Lamchin et al., 2017) و در بسیاری از مواقع، تهدیدی جدی برای جوامع انسانی محسوب می‌شود (Ma et al., 2011). پدیده بیابان‌زایی امروزه بسیاری از مناطق خصوصاً مناطق خشک و نیمه‌خشک را در بر گرفته است (Kazemi et al., 2017). مناطق خشک و نیمه‌خشک، حساسیت بالایی در برابر تخریب پوشش گیاهی دارند (D'Odorico et al., 2013; De Paola et al., 2013) و در این مناطق، عوامل مختلف طبیعی مانند تغییرات اقلیمی و خشکسالی و همچنین عوامل انسانی مانند تغییرات کاربری اراضی، می‌توانند باعث تخریب پوشش گیاهی و گسترش پدیده بیابان‌زایی شوند (Roberto, 2002). اهمیت موضوع بیابان‌زایی سبب شده است تا این مسئله به عنوان یک چالش مهم برای بسیاری از کشورها باشد (Flores & Yool, 2007; Vorovencii, 2007). با توجه به اینکه حدود دو سوم از وسعت ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته است (Maghsoudi et al., 2018)؛ بنابراین می‌توان گفت که بخش زیادی از وسعت ایران را مناطق حساس در مقابل بیابان‌زایی در بر گرفته است. در واقع، موقعیت قرارگیری ایران سبب شده است تا بخشی زیادی از مناطق مرکزی و شرقی آن در معرض مخاطره بیابان‌زایی باشد. از جمله مناطقی که در معرض این پدیده قرار دارد، استان قم است. وضعیت اقلیمی استان قم و همچنین فعالیت‌های انسانی آن سبب وارد آوردن فشار بر منابع طبیعی، تخریب مراتع و در نتیجه گسترش پدیده بیابان‌زایی شده است. با توجه به اینکه مخاطره بیابان‌زایی، از مخاطرات پیشروی استان قم است، مطالعه و بررسی همه‌جانبه این پدیده و شناسایی مناطق در معرض گسترش آن بسیار حائز اهمیت است که در این پژوهش به این مهم پرداخته شد.

در ارتباط با موضوع بیابان‌زایی تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به کاپوزی و همکاران اشاره کرد که در تحقیقی نشان دادند عوامل انسانی نقش مهمی در وضعیت بیابان‌زایی کشورهای بوركینافاسو و سنگال داشته‌اند (Capozzi et al., 2018). هانگ و همکاران به بررسی وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری بیابان‌زایی جهانی (GDVI)^۱ و ترکیب فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی پرداختند (Huang et al., 2020). ژانگ و همکاران با بررسی عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی در کشور چین نشان دادند که سهم فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی به ترتیب ۲۶ و ۲۲/۶ درصد بوده است (Zhang et al., 2020). وانگ و همکاران به بررسی وضعیت بیابان‌زایی در کشور چین با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین پرداختند و نشان دادند که تغییرات اقلیمی و کاهش تراکم جمعیت، نقش مهمی در کاهش روند بیابان‌زایی در برخی از مناطق چین داشته است (Wang et al., 2024). ژائو و همکاران با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین، به بررسی چالش بیابان‌زایی در آسیای مرکزی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که عامل اصلی بیابان‌زایی این منطقه، عوامل اقلیمی بوده است (Zhao et al., 2024). تان و همکاران به ارزیابی حساسیت بیابان‌زایی در مناطق شمالی چین پرداختند و نشان دادند که عوامل مدیریتی، نقش مهم‌تری نسبت به عوامل اقلیمی و پوشش گیاهی در روند بیابان‌زایی دارد (Tan et al., 2024). خدایی و همکاران به پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در محدوده پیرامون دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که افت شدید منابع آب زیرزمینی، نقش مهمی در شدت بیابان‌زایی منطقه داشته است (Khodaei et al., 2021). صالحی و کرباسی به تحلیل نقش عوامل انسان ساخت در بیابان‌زایی شرق اصفهان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که در بین عوامل انسانی، فعالیت‌های کشاورزی، بیش‌ترین نقش را در وضعیت بیابان‌زایی منطقه داشته است (Salehi & Karbasi, 2021). کرامت‌زاده و همکاران با بررسی روند بیابان‌زایی منطقه جنوب شرق اهواز نشان دادند که وضعیت پوشش گیاهی، نقش بیش‌تری نسبت به عوامل اقلیمی در روند بیابان‌زایی منطقه داشته است (Keranatzadeh et al., 2022). گنجائیان و همکاران با استفاده از شاخص‌های DVI نشان دادند که بخش‌های زیادی از استان یزد از جمله مناطق شمالی و مرکزی آن در معرض پدیده بیابان‌زایی هستند (Ganjaeian et al., 2023). صفری نامیوندی و همکاران به ارزیابی پتانسیل مخاطره بیابان‌زایی در استان سمنان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بخش‌های زیادی از مناطق شمالی استان سمنان پتانسیل بالایی از نظر بیابان‌زایی دارند (Safari Namivandi et al., 2023). صادقی‌روش به پایش وضعیت بالفعل بیابان‌زایی در دشت یزد-خضراباد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که واحدهای کشاورزی، بیش‌ترین میزان بیابان‌زایی را داشته‌اند (Sadeghiravesh, 2024). در راستای تحقیقات پیشین صورت گرفته، هدف از این تحقیق شناسایی مناطق در معرض مخاطره بیابان‌زایی در استان قم است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش محدوده سیاسی استان قم به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شد. استان قم از اطراف به استان‌های تهران در شمال، سمنان در شرق، اصفهان در جنوب و مرکزی در شمال غرب، غرب و جنوب غرب منتهی می‌شود (شکل ۱). بر اساس اطلاعات مرکز آمار کشور در سال ۱۳۹۵، این استان با ۱۱۲۴۰ کیلومترمربع، حدود ۱/۳ میلیون نفر جمعیت دارد. از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک، استان قم در واحد ایران مرکزی قرار دارد و از نظر لیتولوژی دارای تنوع زیادی است. از نظر ژئومورفولوژی، بخش زیادی از این استان را واحد دشت در بر گرفته است و بخش‌های زیادی از مناطق غربی این استان در واحد کوهستان قرار دارند و دارای ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر هستند. با توجه به اختلاف ارتفاع و تنوع لندفرمی، از نظر وضعیت آب و هوایی نیز اختلاف زیادی بین مناطق غربی و شرقی این استان وجود دارد به طوری که میانگین بارش این استان در مناطق شرقی کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر و در مناطق غربی بیش از ۳۰۰ میلی‌متر است.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش پژوهش

روش‌های سنجش از دور کاربرد زیادی در بررسی وضعیت سطح زمین و همچنین تغییرات صورت گرفته در آن دارد. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، در این تحقیق نیز به منظور تهیه داده‌های مورد نظر، از روش‌های سنجش از دوری استفاده شده است. در این تحقیق از تصاویر گوگل ارث، تصاویر ماهواره‌های MODIS، CHIRPS و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، به عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شد. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق شامل سامانه گوگل ارث انجین (به منظور تهیه نقشه‌های غلظت گرد و غبار، تراکم پوشش گیاهی، میانگین دما، میانگین بارش و ضریب خشکی)، ArcGIS 10.3 (به منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر) و Super Decisions 2.10 (وزن‌دهی به پارامترها) بوده است. در این تحقیق از شاخص‌های مختلفی نیز استفاده شد که مهم‌ترین آن‌ها شاخص AOD^۱ (به منظور تهیه نقشه غلظت گرد و غبار منطقه) و شاخص NDVI^۲ (به منظور تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه) بوده است. لازم به ذکر است که دلیل استفاده از شاخص NDVI، برآورد وضعیت نسبی تراکم پوشش گیاهی منطقه بوده است و به همین دلیل از این شاخص به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر استفاده شد. همچنین در این تحقیق به منظور تهیه

1. Aerosol Optical Depth (AOD)
2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

نقشه نهایی مناطق مستعد بیابان‌زایی از مدل تلفیقی WLC-ANP استفاده شد. با توجه به اهداف مورد نظر، این تحقیق در سه مرحله کلی انجام شد که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شد:

مرحله اول (انتخاب پارامترها و تعیین محدوده اصلی مورد مطالعه): در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق در معرض مخاطره بیابان‌زایی از ۹ پارامتر شامل تراکم پوشش گیاهی، غلظت گرد و غبار، میانگین بارش، میانگین دما، ضریب خشکی، ارتفاع، شیب، فاصله از جاده اصلی و فاصله از نقاط شهری استفاده شد. لازم به ذکر است که انتخاب پارامترهای ذکر شده بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، نظرات کارشناسان و وضعیت جغرافیایی استان قم بوده است. پس از انتخاب پارامترهای مورد نظر و قبل از تجزیه و تحلیل اطلاعات، ابتدا محدوده مطالعاتی اصلی مشخص شد. به منظور تعیین این محدوده، از شاخص NDVI استفاده شد و مناطق که دارای ضریب $0/1$ و بیش‌تر بوده‌اند، به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده‌اند و به این صورت، مناطقی که فاقد پوشش گیاهی هستند از محدوده مطالعاتی حذف شده‌اند.

مرحله دوم (تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به پارامترهای مورد نظر): پس از تعیین محدوده مطالعاتی و پارامترهای مورد نظر، در این مرحله با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین، تصاویر گوگل ارث و مدل رقومی ارتفاعی 30 متر SRTM، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر تهیه شد. به منظور تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی و غلظت گرد و غبار منطقه، از سامانه گوگل ارث انجین، تصاویر ماهواره MODIS با قدرت تفکیک مکانی 250 متر در طی دوره زمانی 2020 تا 2023 و شاخص‌های NDVI (نقشه تراکم پوشش گیاهی) و AOD (تهیه نقشه غلظت گرد و غبار) استفاده شد. به منظور تهیه نقشه میانگین دما، میانگین بارش و ضریب خشکی، از سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره CHIRPS با قدرت تفکیک مکانی 1 کیلومتر در طی دوره زمانی 2020 تا 2023 استفاده شد. به منظور تهیه نقشه ارتفاع و شیب منطقه، از مدل رقومی ارتفاعی 30 متر SRTM استفاده شد و همچنین به منظور تهیه نقشه فاصله از جاده و نقاط شهری منطقه، از تصاویر گوگل ارث استفاده شد.

مرحله سوم (شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی): در این مرحله به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی، از مدل تلفیقی WLC-ANP استفاده است. انتخاب مدل‌های مورد استفاده بر مبنای کارایی آن‌ها و مطالعات پیشین بوده است. ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر استانداردسازی شد و به هر لایه وزن درون لایه‌ای بین صفر (کم‌ترین پتانسیل بیابان‌زایی) تا 1 (بیش‌ترین پتانسیل بیابان‌زایی) داده شد. پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، با استفاده از نظرات کارشناسان و مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP)^۱، به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شد. پس از وزن‌دهی و اعمال وزن به دست آمده بر روی هر لایه، لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار IDRISI شد و در نهایت با استفاده مدل ترکیب خطی وزنی (WLC)^۲ با هم ترکیب شده و نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی تهیه شد.

۳- یافته‌ها

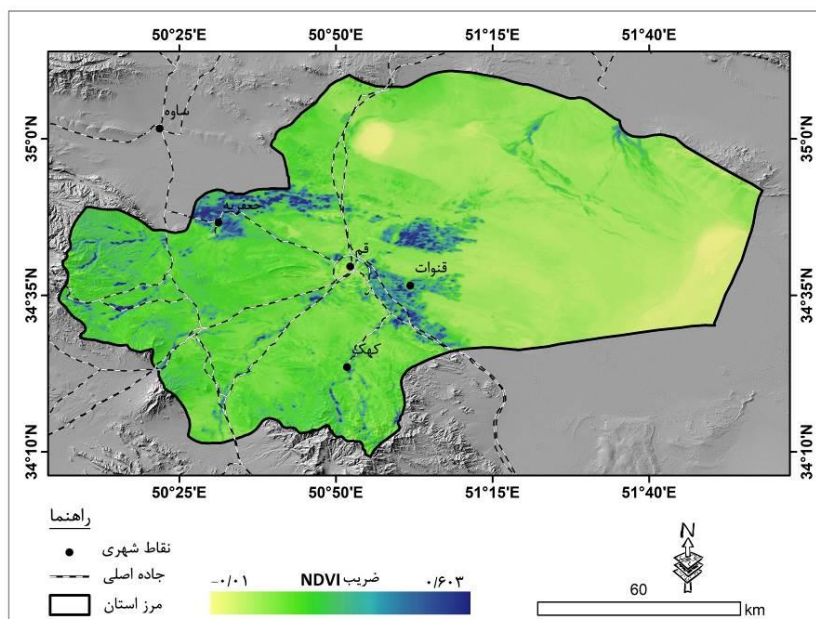
۳-۱- بررسی وضعیت پوشش گیاهی استان قم و تعیین محدوده مطالعاتی

در این پژوهش، به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی، بر مناطق دارای پوشش گیاهی تأکید شد. در واقع، مناطقی که فاقد پوشش گیاهی است، قبلاً با این مخاطره مواجه شده‌اند، پس باید مناطقی مورد بررسی قرار گیرد که دارای پوشش گیاهی باشد. به منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر مادیس و شاخص NDVI، نقشه تراکم پوشش گیاهی استان قم تهیه شد (شکل ۲). بر اساس نقشه تهیه شده، مناطق مرکزی استان قم دارای بالاترین تراکم پوشش گیاهی و مناطق شرقی این استان، دارای کم‌ترین تراکم پوشش گیاهی است و در یک روند کلی، میزان تراکم پوشش گیاهی از سمت شرق به سمت غرب استان قم دارای روند افزایشی است.

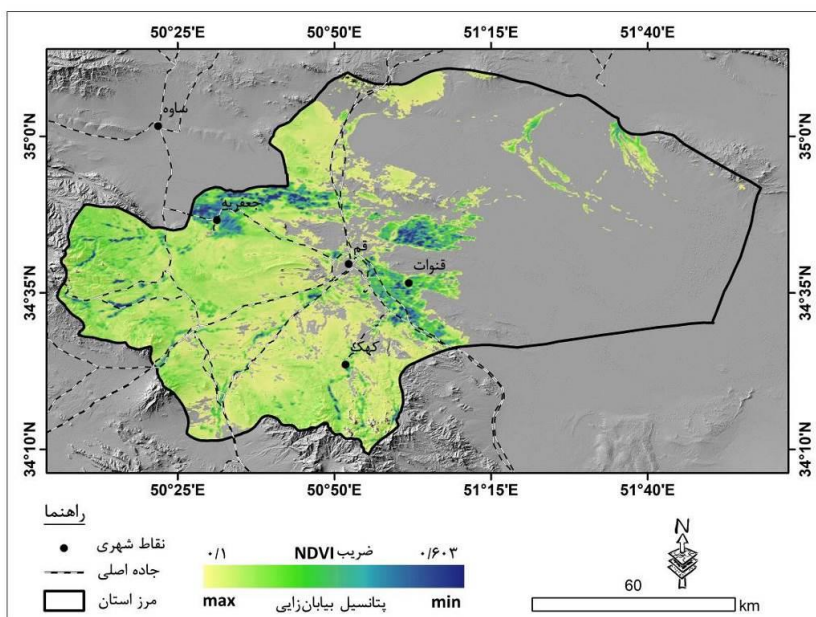
پس از تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی استان قم، به منظور شناسایی مناطق در معرض مخاطره بیابان‌زایی، مناطقی که دارای ضریب NDVI $0/1$ و بیش‌تر هستند، به عنوان محدوده اصلی مورد مطالعه انتخاب شد. در واقع این محدوده دارای پوشش گیاهی نسبی است و عمدتاً شامل نیمه غربی استان قم است (شکل ۳). همچنین پس از تهیه نقشه مورد نظر، به منظور استانداردسازی لایه

1. Analytic Network Process (ANP)
2. Weighted Linear Combination (WLC)

NDVI، به مناطق دارای پوشش گیاهی کم تراکم، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با پوشش گیاهی متراکم، ارزش نزدیک به صفر داده شد.



شکل ۲. نقشه ضریب NDVI استان قم



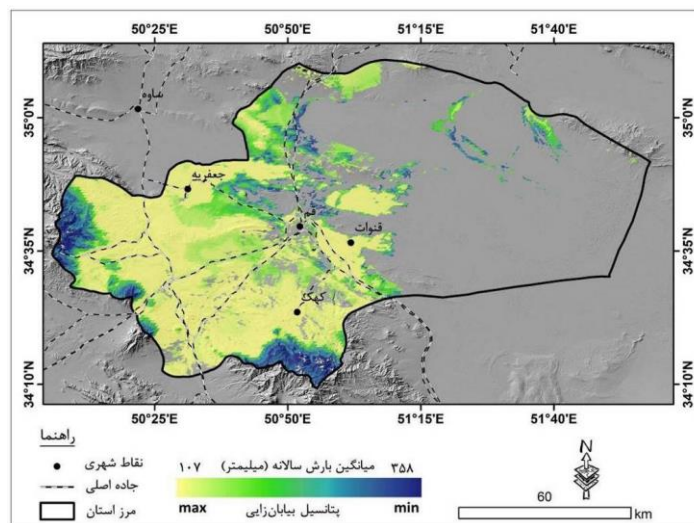
شکل ۳. نقشه مناطق با ضریب NDVI بیش از ۰/۱

۳-۲- تشریح پارامترهای مورد استفاده

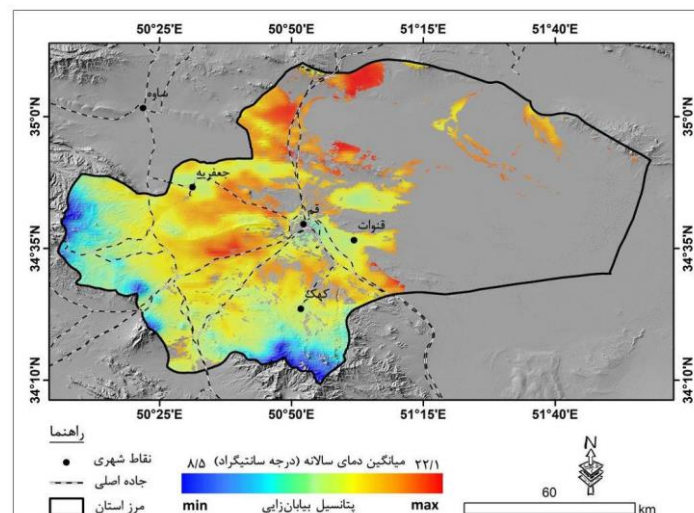
در این پژوهش علاوه بر پارامتر شاخص NDVI، از پارامترهای میانگین بارش، میانگین دما، ضریب خشکی، غلظت گرد و غبار، ارتفاع، شیب، فاصله از نقاط شهری و فاصله از جاده‌های اصلی استفاده شد. در ادامه به تشریح پارامترهای مورد استفاده پرداخته شد:

– **میانگین بارش و دما:** عناصر اقلیمی بارش و دما تعیین‌کننده اصلی وضعیت اقلیمی و همچنین وضعیت پوشش گیاهی منطقه است. تغییرات هر کدام از این عناصر، نقش مهمی در وضعیت زیست‌محیطی منطقه و خصوصاً وضعیت بیابان‌زایی آن دارد. در این بخش به منظور بررسی وضعیت بارش و دمای محدوده مطالعاتی، از سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره CHIRPS

استفاده شد و نقشه میانگین بارش و میانگین دمای سالانه محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ تهیه شد. بررسی نقشه میانگین بارش محدوده مطالعاتی (شکل ۴) بیانگر این است که این محدوده دارای بارش سالانه بین ۱۰۷ تا ۳۵۸ میلی‌متر است که در یک روند کلی، بیش‌ترین میزان بارش مربوط به مناطق غربی استان قم است که دارای ارتفاع بیش‌تری نسبت به مناطق مرکزی و شرقی این استان هستند. با توجه به اینکه مناطق کم بارش، پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری در برابر بیابان‌زایی دارند، بنابراین به مناطقی که دارای میانگین بارش کم‌تری هستند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که دارای میانگین بارش بیش‌تری هستند، ارزش نزدیک به صفر داده شد. همچنین بررسی وضعیت میانگین دمای سالانه محدوده مطالعاتی نیز بیانگر اختلاف دمای محسوس بین مناطق غربی و مرکزی استان قم است به طوری که مناطق غربی استان قم به دلیل قرار گرفتن در واحد کوهستان، دارای میانگین دمای سالانه حدود ۸ درجه سانتی‌گراد و مناطق مرکزی و شرقی این استان به دلیل قرار گرفتن در مناطق پست، دارای میانگین دمای حدود ۲۲ درجه هستند. با توجه به اینکه مناطق با دمای بیش‌تری، پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری در برابر بیابان‌زایی دارند، بنابراین به مناطقی که دارای میانگین دمای بیش‌تری هستند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که دارای میانگین دمای کم‌تری هستند، ارزش نزدیک به صفر داده شد (شکل ۵).



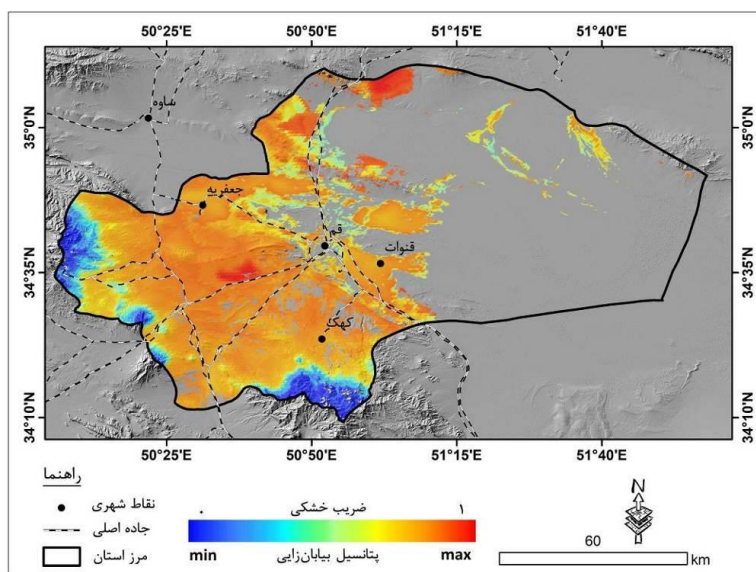
شکل ۴. نقشه میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳



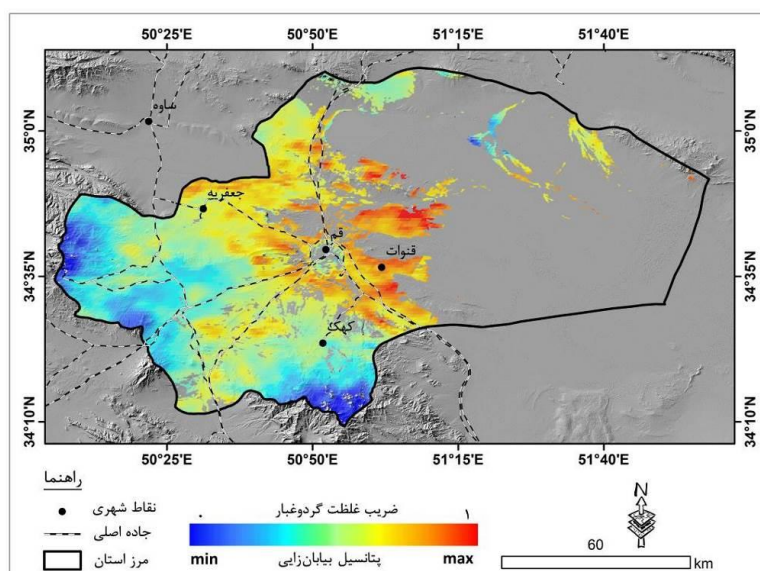
شکل ۵. نقشه میانگین دمای سالانه منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

– ضریب خشکی و غلظت گرد و غبار: از دیگر پارامترهای مؤثر در تخریب پوشش گیاهی و گسترش بیابان‌زایی، ضریب خشکی و غلظت گرد و غبار است که برای تهیه نقشه‌های آن‌ها از سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد. لازم به ذکر است که گرد و غبار از

عوامل تخریب اراضی کشاورزی و باغی محسوب می‌شود (Khaledi, 2013; Bayat & Rahim Kazemi, 2021; Monjezi & Roknedineftekhari, 2024) و به همین دلیل از این پارامتر نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر در گسترش بیابان‌زایی استفاده شد. بررسی ضریب خشکی محدوده مطالعاتی بیانگر این است که مناطق مرکزی و شرقی استان قم دارای بالاترین ضریب و مناطق غربی این استان دارای کم‌ترین ضریب خشکی هستند. با توجه به اینکه بین ضریب خشکی و پتانسیل بیابان‌زایی ارتباط مستقیمی وجود دارد، به مناطقی که دارای ضریب خشکی بالاتری هستند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که دارای ضریب خشکی کم‌تری هستند، ارزش نزدیک به صفر داده شد (شکل ۶). همچنین بررسی نقشه غلظت گرد و غبار منطقه بیانگر این است که مناطق مرکزی استان قم دارای بالاترین غلظت گرد و غبار هستند. با توجه به اینکه غلظت گرد و غبار نیز یکی از عوامل تخریب پوشش گیاهی و گسترش اراضی بیابانی است، به مناطقی که دارای غلظت گرد و غبار بیش‌تری هستند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که دارای غلظت گرد و غبار کم‌تری هستند، ارزش نزدیک به صفر داده شد (شکل ۷).

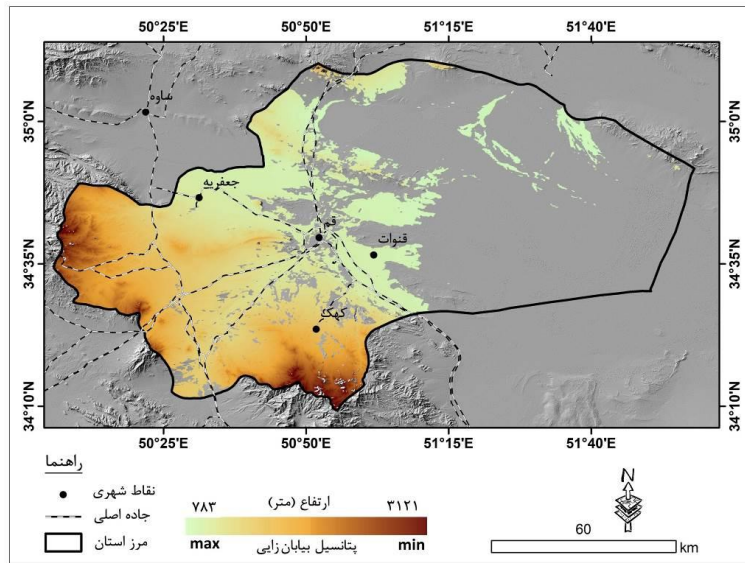


شکل ۶. نقشه ضریب خشکی منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

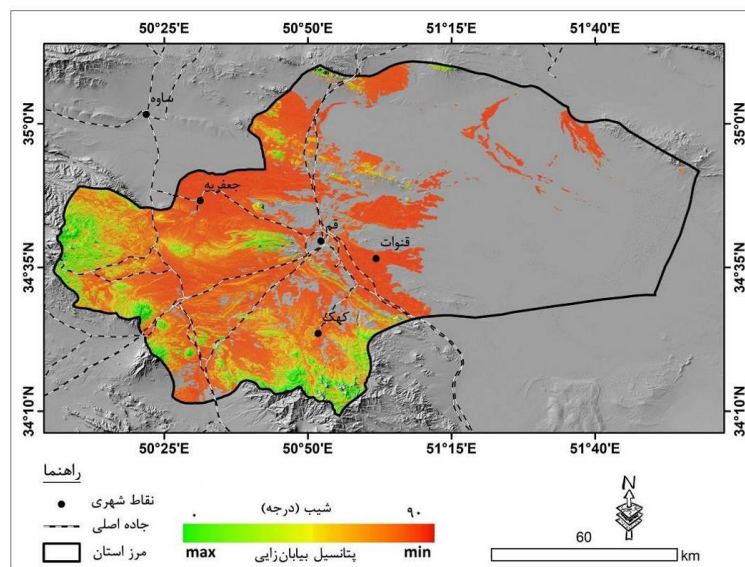


شکل ۷. نقشه غلظت گرد و غبار منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

– **ارتفاع و شیب:** ارتفاع و شیب از جمله پارامترهایی هستند که نقش غیرمستقیمی در گسترش بیابان‌زایی دارند. بر اساس نقشه وضعیت ارتفاعی محدوده مطالعاتی، این محدوده در بین ارتفاع ۷۸۳ تا ۳۱۲۱ متری از سطح دریا قرار دارد که در یک روند کلی، میزان ارتفاع از سمت شرق به سمت محدوده دارای روند افزایشی هستند (شکل ۸). با توجه به اینکه به طور معمول مناطق مرتفع دارای بارش، رطوبت و پوشش گیاهی بیش‌تری هستند و همچنین کم‌تر مورد توجه فعالیت‌های انسانی هستند، این مناطق کم‌تر در معرض مخاطره بیابان‌زایی قرار دارند. با توجه به موارد مذکور، به منظور استانداردسازی لایه ارتفاع، به مناطق کم ارتفاع، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق مرتفع، ارزش نزدیک به صفر داده شد. همچنین بررسی وضعیت شیب منطقه مورد مطالعه نیز بیانگر این است که بخش زیادی از مناطق غربی محدوده را دامنه‌های پر شیب در بر گرفته است. با توجه به اینکه مناطق با شیب زیاد، حساسیت بیش‌تری در برابر تخریب و آسیب‌پذیری دارند، به منظور استانداردسازی لایه شیب، به مناطق با شیب زیاد، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق کم شیب، ارزش نزدیک به صفر داده شد (شکل ۹).

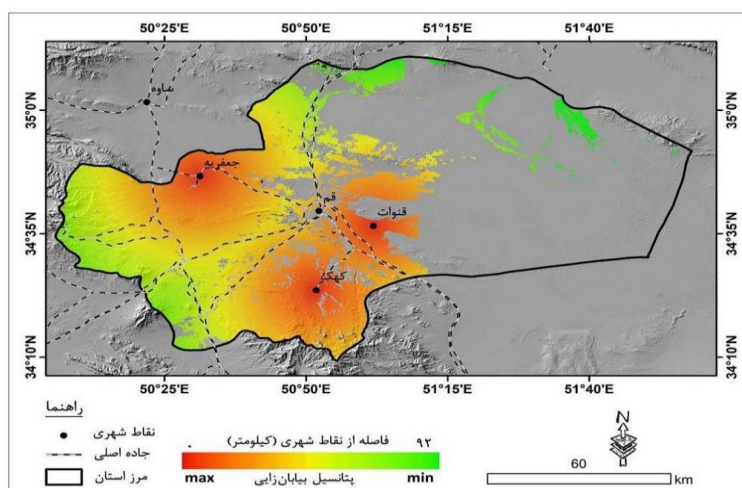


شکل ۸. نقشه وضعیت ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

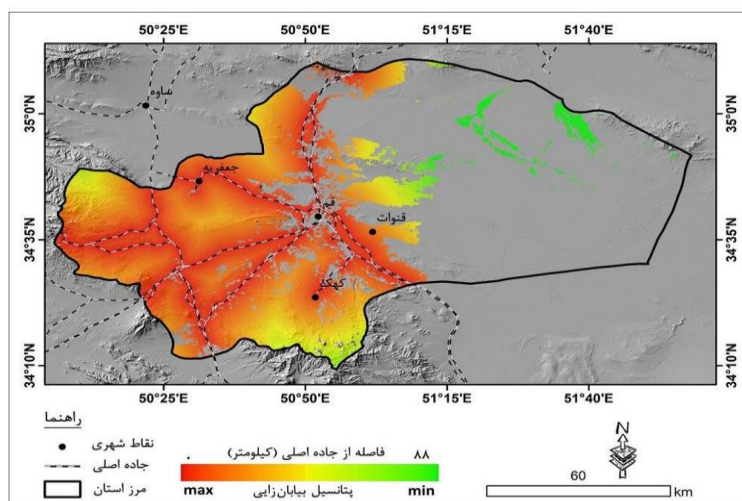


شکل ۹. نقشه وضعیت شیب منطقه مورد مطالعه

– **فاصله از نقاط شهری و جاده‌های اصلی:** فاصله از نقاط شهری و جاده‌های اصلی به عنوان مهم‌ترین پارامترهای انسانی هستند که نقش مهمی در گسترش بیابان‌زایی دارند. در واقع، روند افزایشی جمعیت و تغییرات بی‌برنامه کاربری‌های اراضی، زمینه را برای بروز مخاطرات مختلف از جمله بیابان‌زایی فراهم می‌آورد. بر این اساس، مناطق نزدیک به شهرها پتانسیل بیابان‌زایی بالایی دارند. مناطق نزدیک به جاده‌های اصلی نیز به توجه به اینکه مورد توجه فعالیت‌های انسانی هستند، مستعد بیابان‌زایی هستند. همچنین بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه نشان داده است که در طی سال‌های اخیر، تغییرات کاربری اراضی نزدیک جاده‌های اصلی، نقاط شهری و روستایی از جمله شهر قم، باعث تخریب پوشش گیاهی شده است. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب نقشه فاصله از نقاط شهری و جاده‌های اصلی نشان داده است که با توجه به موارد مذکور، مناطق نزدیک به نقاط شهری و جاده‌های اصلی، دارای ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دور از نقاط شهری و جاده‌های اصلی، ارزش نزدیک به صفر داده شد.



شکل ۱۰. نقشه وضعیت فاصله از نقاط شهری منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱. نقشه وضعیت فاصله از جاده‌های اصلی منطقه مورد مطالعه

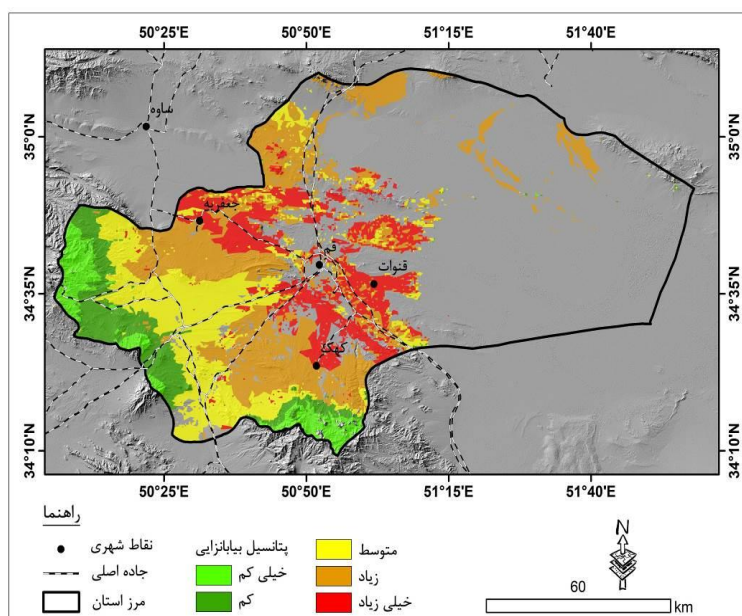
۳-۳- وزن دهی به پارامترها و تهیه نقشه نهایی مناطق مستعد بیابان‌زایی

با توجه به اینکه پارامترهای مورد استفاده دارای ارزش و اهمیت یکسانی نیستند، در این بخش با استفاده از مدل ANP و نظرات کارشناسان به این پارامترها وزن داده شد (جدول ۱). با توجه به نتایج به دست آمده از مدل ANP، پارامترهای انسانی و خصوصاً فاصله از نقاط شهری، دارای ارزش و امتیاز بیش‌تری هستند.

جدول ۱. وزن نهایی پارامترها بر اساس مدل ANP

پارامتر	تراکم پوشش-گیاهی	غلظت گرد و غبار	بارش	دما	ضریب خشکی	ارتفاع	شیب	فاصله از نقاط شهری	فاصله از جاده اصلی
وزن	۰/۱۹۷	۰/۰۵۴	۰/۰۹۶	۰/۰۶۶	۰/۰۹۸	۰/۰۴۵	۰/۰۴۳	۰/۲۴	۰/۱۶

پس از وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، وزن به دست آمده بر روی هر لایه اعمال شد. پس از اعمال وزن هر لایه، لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار TerrSet شد و سپس لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل WLC با هم ترکیب شده در نهایت نقشه مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره بیابان‌زایی در استان قم تهیه شد (شکل ۱۲). بر اساس نقشه تهیه شده، بخش زیادی از مناطق مرکزی استان قم به دلیل تراکم کم پوشش گیاهی، غلظت زیاد گرد و غبار، ضریب خشکی بالا، میانگین بارش کم و دمای زیاد، ارتفاع کم و همچنین نزدیکی به نقاط شهری و جاده‌های اصلی، دارای پتانسیل خیلی زیادی در برابر مخاطره بیابان‌زایی است. همچنین مناطق غربی این استان به دلیل قرارگرفتن در واحد کوهستان، تأثیر کم فعالیت‌های انسانی، بارش بیش‌تر و دمای کم‌تر نسبت به مناطق مرکزی و شرقی استان قم، ارتفاع زیاد و غلظت کم گرد و غبار، پتانسیل خیلی کمی در برابر مخاطره بیابان‌زایی دارند.



شکل ۱۲. نقشه نهایی پتانسیل مخاطره بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه

۴- بحث و نتیجه‌گیری

موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بخش زیادی از مناطق آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گیرد. با توجه به حساسیت بالای مناطق خشک و نیمه‌خشک در برابر تخریب زیست‌محیطی، از بین رفتن پوشش گیاهی و گسترش بیابان‌زایی به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی این مناطق محسوب می‌شود. از جمله مناطقی که با چالش بیابان‌زایی مواجه است، استان قم است. نتایج این پژوهش نشان داده است که بخش زیادی از این استان را اراضی بدون پوشش گیاهی تشکیل داده است. در واقع، نتایج به دست آمده از ضریب NDVI نشان داده است که بخش زیادی از نیمه شرقی استان قم، فاقد پوشش گیاهی است و در نتیجه فقط بخش‌هایی از استان قم که دارای ضریب NDVI بیش از ۰/۱ هستند مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از ارزیابی پارامترهای اقلیمی نشان داده است که به دلیل اختلاف ارتفاع قابل توجهی که بین مناطق غربی با مناطق مرکزی و شرقی استان قم وجود دارد، در یک روند کلی، مناطق غربی دارای بارش بیش‌تر، دمای کم‌تر، ضریب خشکی کم‌تر و ضریب غلظت گرد و غبار کم‌تری نسبت به مناطق مرکزی و شرقی این استان هستند. با توجه به اختلاف اقلیمی و همچنین تفاوت توپوگرافی و میزان

فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد مطالعه، پتانسیل بیابان‌زایی نیز در مناطق مختلف استان قم متفاوت است و به همین دلیل در این پژوهش با استفاده از مدل WLC به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر استان قم در برابر مخاطره بیابان‌زایی پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از مناطق مرکزی استان قم به دلیل تراکم کم پوشش گیاهی، غلظت زیاد گرد و غبار، ضریب خشکی بالا، میانگین بارش کم و دمای زیاد، ارتفاع کم و همچنین نزدیکی به نقاط شهری و جاده‌های اصلی، دارای پتانسیل خیلی زیادی در برابر مخاطره بیابان‌زایی است. مجموع نتایج این پژوهش نشان داده است که مناطق مرکزی استان قم همانند مناطق مرکزی استان یزد (Ganjaeian et al., 2023) و مناطق شمالی استان سمنان (Safari Namivandi et al., 2023) دارای حساسیت بالایی در برابر مخاطره بیابان‌زایی است؛ بنابراین باید در برنامه‌ریزی‌های محیطی و خصوصاً برنامه‌های مربوط به تغییرات کاربری اراضی به این مسئله توجه ویژه‌ای شود. همچنین می‌توان با ارائه راهکارهایی، باعث افزایش تراکم پوشش گیاهی، خصوصاً در اراضی ماسه‌ای و فاقد پوشش گیاهی مجاور شهرهای استان قم شد.

۵- سپاس‌گزاری

نویسندگان از همه مشارکت‌کنندگان در مصاحبه‌های میدانی برای حمایت از این تحقیق قدردانی می‌نمایند. این مقاله از هیچ سازمانی کمک مالی دریافت نکرده است.

۶- منابع

- بیات، رضا؛ فاضل‌ایرانمنش، رحیم. (۱۴۰۰). بررسی تاثیر طوفان‌های گرد و غبار بر پوشش گیاهی تالاب شادگان. محیط زیست و مهندسی آب، (۱)۷، ۱-۱۳.
- خالدی، کوهسار. (۱۳۹۲). زیان‌های اقتصادی طوفان گرد و غبار بر استان‌های غربی ایران (مطالعه موردی: ایلام، خوزستان و کرمانشاه). *مدلسازی اقتصادی*، (۳)۷، ۱۰۵-۱۲۵.
- خدائی، فاطمه؛ روستایی، شهرام؛ مختاری، داود. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار تخریب منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل بیابان‌زایی مدالوس (مطالعه موردی: محدوده‌ی پیرامون دریاچه ارومیه)، *هیدروژئومورفولوژی*، (۲۷)۸، ۵۹-۷۹.
- صادقی‌روش، محمدحسن. (۱۴۰۳). پایش وضعیت بالفعل بیابان‌زایی با استفاده از مدل‌های امتیازی وی پی ام و واسپاس. *جغرافیا و پایدار محیط*، (۲)۱۴، ۱۰۱-۱۲۰.
- صالحی، اصغر؛ کرباسی، پریسا. (۱۴۰۰). نقش عوامل انسان ساخت در بیابان‌زایی شرق اصفهان. *برنامه‌ریزی فضایی*، (۳)۱۱، ۱-۲۴.
- صفری‌نامیوندی، مهدی؛ گنجائیان، حمید؛ ابراهیمی، عطرن؛ عبادی‌نژاد، سیدعلی. (۱۴۰۲). ارزیابی پتانسیل مخاطره بیابان‌زایی با استفاده از مدل DVI (مطالعه موردی: مناطق شمالی استان سمنان)، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، (۵۳)۱۴، ۱-۱۷.
- کازم‌نی، عبدالرضا؛ رنگزن، کاظم؛ محمودآبادی، مهدی. (۱۳۹۶). بررسی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس (مطالعه موردی: اراضی غرب اهواز). *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، (۲)۸، ۱۱۱-۱۲۶.
- کرامت‌زاده، مژده؛ فتحی، احمد؛ معاضد، هادی. (۱۴۰۱). بررسی روند بیابان‌زایی منطقه جنوب شرق اهواز به روش IMDPA و تأکید بر دو معیار اقلیم و پوشش گیاهی، *علوم و مهندسی آبیاری*، (۱)۴۵، ۱۵۳-۱۶۶.
- گنجائیان، حمید؛ محمدیان، کلثوم؛ جاودانی، مهناز؛ صفری‌نامیوندی، مهدی. (۱۴۰۲). برآورد توان بیابان‌زایی استان یزد با بهره‌گیری از شاخص‌های DVI، *مدیریت بیابان*، (۲)۱۱، ۳۵-۴۸.
- مقصودی، مهران؛ گنجائیان، حمید؛ حسینی، سیدجواد. (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده در پایش ریگزارها (مطالعه موردی: ریگ جازموریان). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، (۳۲)۹، ۹۲-۸۱.
- منجری، نسیم؛ رکن‌الدین‌افتخاری، عبدالرضا. (۱۴۰۳). برآورد خسارات اقتصادی پدیده گرد و غبار بر بخش کشاورزی (مطالعه موردی: دهستان‌های شهرستان مسجدسلیمان). *مطالعات علوم محیط‌زیست*، (۲)۹، ۸۳۴۵-۸۳۵۴.

References

- Bayat, R., Fazel-Iranmanesh, R. (2021). Investigating the impact of dust storms on the vegetation of Shadegan Wetland. *Environment and Water Engineering*, 7(1), 13-1. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.246746.1414> [In Persian]
- Capozzi, F., Di Palma, A., De Paola, F., Giugni, M., Iavazzo, P., & Topa, M. E., Giordano, S. 2018. Assessing desertification in sub-Saharan peri-urban areas: case study applications in Burkina Faso and Senegal. *Geochemical Exploration*, 190, 281-291. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.03.012>
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., & Runyan, C.W., 2013. Global desertification: drivers and feedbacks. *Adv Water Res*, 51, 326-344. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>
- De Paola, F., Ducci, D., & Giugni, M., 2013. Desertification and erosion sensitivity: a case study in southern Italy: the Tusciano River catchment. *Environmental Earth Sciences*, 70(5), 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-2294-2>
- Flores, E.S., & Yool, S.R., 2007. Sensitivity of change vector analysis to land cover change in an arid ecosystem. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 1069-1088. <https://doi.org/10.1080/01431160600868482>
- Ganjaeian, H., Mohammadian, K., Javedani, M., & Safari Namiondi, M., 2023. Analysis of Desertification Potential of Yazd Province Using DVI Indicators. *Desert Management*, 11(2), 35-48. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2023.2004871.1419> [In Persian]
- Huang, J., Zhang, G., Zhang, Y., Guan, X., Wei, Y., Guo, R., 2020. Global desertification vulnerability to climate change and human activities. *Land Degradation & Development*, 31(11), 1380-1391. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.3556>
- Kazeminia, A., Rangzan, K., & Mahmoodabadi, M., 2017. Investigating the intensity of desertification using the Medalos model (case study: West Ahvaz lands). *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources*, 8(2), 111-126. https://journals.iau.ir/article_532787.html [In Persian]
- Keramatzadeh, M., Fathi, A., & Meazed, H., 2022. Investigating the desertification process in the southeast of Ahvaz using the IMDPA method and emphasizing the two criteria of climate and vegetation cover. *Irrigation Science and Engineering*, 45(1), 153-166. <https://doi.org/10.22055/jise.2021.37216.1968> [In Persian]
- Khaledi, K. (2013). Economic losses of dust storms on western provinces of Iran (Case study: Ilam, Khuzestan and Kermanshah). *Economic Modeling*, 7(3), 105-125. <https://sid.ir/paper/176293/fa> [In Persian]
- Khodaei, F., Roostaei, Sh., & Mokhtari, D., 2021. Zoning of desertification intensity based on the criterion of groundwater resource destruction using the Medalos desertification model (case study: the area around Lake Urmia). *Hydrogeomorphology*, 8(27), 59-79. <https://doi.org/10.22034/hyd.2021.42426.1554> [In Persian]
- Lamchin, M., Lee, W.K., Jeon, S.W., Lee, J.Y., Song, C., & Piao, D., 2017. Correlation between desertification and environmental variables using remote sensing techniques in Hogno Khaan, Mongolia. *Sustainability*, 9, 519. <https://doi.org/10.3390/su9040581>
- Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., Li, L., & Wang, X., 2011. The construction and application of an Aledo-NDVI based desertification monitoring model. *Procedia Environmental Sciences*, 10(C), 2029-2035. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.318>
- Maghsoudi, M., Ganjaeian, H., & Hosseini, S.J., 2018. Evaluation of the efficiency of supervised and unsupervised classification methods in monitoring sand dunes (case study: Jazmorian sand dunes). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 9(32), 81-92. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161472.html [In Persian]
- Monjezi, N., Roknedin-Eftekhari, A. (2024). Estimating the economic losses of dust phenomenon on the agricultural sector (case study: villages of Masjed-e Soliman County). *Environmental Science Studies*, 9(2), 8354-8345. <https://doi.org/10.22034/jess.2022.238385.1409> [In Persian]
- Roberto, J.F., 2002. Do humans create deserts? *Trends Ecology & Evolution*, 17, 6-7. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02366-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02366-7)
- Sadeghiravesh, M. H., 2024. Monitoring the actual state of desertification using VPM and WASPAS scoring models. *Geography and Sustainable Environment*, 14(2), 101-120. <https://doi.org/10.22126/ges.2024.10526.2748> [In Persian]
- Safari Namivandi, M., Ganjaeian, H., Ebrahimi, A., Ebadinejad, S.A., 2023. Assessment of desertification risk potential using DVI model (case study: northern regions of Semnan province). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 14(53), 1-17. <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.397791.1032> [In Persian]

- Salehi, A., & Karbasi, P., 2021. The role of anthropogenic factors in desertification in eastern Isfahan. *Spatial Planning*, 11 (3), 24-1. <https://doi.org/10.22108/spp1.2021.126373.1546> [In Persian]
- Tan, N., Zhang, C., Wu, Y.Y., & Wang, Z.T., 2024. Assessment of desertification sensitivity using an improved MEDALUS model in Northern China. *Research in Cold and Arid Regions*, 16(3), 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.rcar.2024.07.003>
- Vorovencii, L., 2017. Applying the change vector analysis technique to assess the desertification risk in the south-west of Romania in the period 1984–2011. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(524). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6234-6>
- Wang, J., Wang, Y., & Xu, D., 2024. Desertification in northern China from 2000 to 2020: The spatial-temporal processes and driving mechanisms. *Ecological Informatics*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102769>
- Zhang, C., Wang, X., Li, J., & Huaa, T., 2020. Identifying the effect of climate change on desertification in northern China via trend analysis of potential evapotranspiration and precipitation. *Ecological Indicators* 112(1), 106-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106141>.
- Zhao, S., Ding, J., Wang, J., Ge, X., Han, L., Wang, L., & Qin, S., 2024. Central Asia's desertification challenge: Recent trends and drives explored with google earth engine. *Cleaner Production*, 460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142595>