

Analysis of Desertification Potential of Yazd Province Using DVI Indicators

H. Ganjaeian^{1*}, K. Mohammadian², M. Javedani³, M. Safari Namivandi⁴

1. Ph. D of Geomorphology, Tehran University, Tehran, Iran.
2. Master of Geomorphology, Payam Noor University, Sanandaj branch, Sanandaj, Iran.
3. Ph. D Student of Geomorphology, Ferdosi University, Mashhad, Iran.
4. Ph. D student in geomorphology, University of Kharazmi, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: h.ganjaeian@ut.ac.ir

Received date: 18/06/2023

Accepted date: 16/08/2023



[10.22034/JDMAL.2023.2004871.1419](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.2004871.1419)

Extended Abstract

Introduction

One of the environmental challenges in the world is desertification. Desertification is land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid caused by several factors such as climate change and human activities. Desertification is a significant phenomenon, particularly in arid and semi-arid regions. In many instances, it is seen as a serious threat to human societies. The desertification process in developing countries is very intense, and this issue can have a significant impact on the future of these countries. Iran is a country that is exposed to the phenomenon of desertification. Due to the geographical location, arid and semi-arid areas cover approximately two-thirds of Iran. The desertification phenomenon is present in Yazd province. Due to its climate and hydrogeomorphology, this province, which is located in the central regions of Iran, has a high vulnerability potential against land use changes and desertification. Considering the importance of the topic, this research has identified the vulnerable areas of Yazd province against desertification using the DVI index.

Material and Methods

In this research, library information, statistical data related to the population of Yazd province, climatic data of Yazd province, as well as the 30-meter SRTM DEM as the most important research data were used. The model used in this research was based on DVI vulnerability index. The DVI vulnerability index was the basis for the model used in this research. The time-spatial changes of vulnerability to desertification in the Banas River basin in India have been investigated using the DVI model. The DVI model uses 9 indicators, which are grouped into 4 groups: demographic indicators, weather indicators, topographic indicators, and soil indicators.

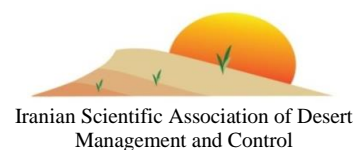
Results and Discussion

In this research, in order to identify the vulnerable areas of Yazd province to desertification from demographic indicators (population density, population growth and illiteracy percentage), weather indicators (precipitation rate, average temperature, and evaporation rate and dryness index), topographic indices (slope percentage) and soil science indices (soil type) have been used.



Desert Management

www.isadmc.ir



The slope index indicates that the western parts of Yazd province are more vulnerable. According to the geological index, the northern and eastern parts of this province are highly vulnerable. The northern, central, and eastern regions of Yazd province are highly vulnerable in terms of precipitation, average temperature, evaporation, and dryness indicators. Yazd city has a high vulnerability potential in terms of population density index. In terms of population growth index, Ardakan city has a high vulnerability potential and also in terms of illiteracy index, Taft city has a high vulnerability potential. The location of Yazd province has resulted in a large portion of its area being covered in arid and hyper-arid areas. Due to their high vulnerability to erosion, destruction, and vulnerability, many parts of this province are prone to desertification. The DVI model was used to evaluate the vulnerability potential of Yazd province against desertification in this research. The DVI model results are divided into 4 vulnerability potential classes: low, medium, high, and very high. The results indicate that the class with a high vulnerability potential covers 42.9% of the area, which is primarily concentrated in the northern and central areas of Yazd province. The class with high vulnerability potential covers 41/4 of the area, which primarily encompasses the western regions of Yazd province. The classes with medium and low vulnerability potential are distributed in the central, southeastern, and southern parts of Yazd province, with 14.3 and 1.4 percent of the area, respectively. The vulnerability status of cities in Yazd province has been assessed in this research. Khatam and Bahabad cities have the lowest vulnerability percentage, while Yazd, Meibod, and Ardakan cities have the highest vulnerability potential, according to the results. Many parts of Yazd province, including its northern and central regions, have a high vulnerability potential, which requires special attention and the implementation of long-term programs to prevent vulnerability and increase desertification.

Keywords: Dry areas; Vulnerability; Population; weather; Topography; Soil science





برآورد توان بیابان‌زایی استان یزد با بهره‌گیری از شاخص‌های DVI

حمید گنجائیان^{۱*}، کلثوم محمدیان^۲، مهناز جاودانی^۳، مهدی صفری نامیوندی^۴

۱. دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه پیام نور، واحد سنندج، سنندج، ایران.

۳. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

۴. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: h.ganjaeian@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵

doi [10.22034/JDMAL.2023.2004871.1419](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.2004871.1419)

چکیده

بیابان‌زایی یکی از چالش‌هایی مهم در بسیاری از کشورهای دنیا است و این پدیده بعنوان تهدیدی جدی برای بسیاری از مناطق از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش حاضر به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر استان یزد در برابر بیابان‌زایی با استفاده از شاخص DVI پرداخته است. در پژوهش حاضر از اطلاعات کتابخانه‌ای، بررسی‌های آماری مربوط به جمعیت استان یزد، داده‌های اقلیمی استان یزد و مدل رقومی ارتفاعی SRTM 30m استفاده شده است. مهم‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده، نرم‌افزار ArcGIS و SPSS بودند که بر پایه شاخص آسیب‌پذیری DVI به کار برده شدند. در شاخص DVI از ۹ معیار در قالب چهار گروه: جمعیتی، آب‌وهوایی، توپوگرافی و خاکشناسی بهره‌گیری می‌شود. همچنین بر خلاف پژوهش‌های پیشین، از مدل ANP نیز به منظور وزن‌دهی به شاخص‌ها استفاده شده است. نتایج حاصله از پژوهش نشان داده است که حدود ۸۴٪ از وسعت استان یزد دارای توان آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیادی است که عمدتاً شامل مناطق شمالی و مرکزی استان یزد است. همچنین بر اساس نتایج حاصله، در بین شهرستان‌های استان یزد، شهرستان‌های خاتم و بهاباد دارای کم‌ترین درصد آسیب‌پذیری و شهرستان‌های یزد، میبد و اردکان دارای بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند. مجموع نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که بخش‌های زیادی از استان یزد از جمله مناطق شمالی و مرکزی آن دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی هستند که نیازمند توجه ویژه و اجرای برنامه‌های بلندمدت برای جلوگیری از آسیب‌پذیری و افزایش بیابان‌زایی است.

واژگان کلیدی: مناطق خشک؛ آسیب‌پذیری؛ جمعیت؛ آب و هوا؛ توپوگرافی؛ خاکشناسی



■ مقدمه

یکی از چالش‌هایی که بسیاری از کشورهای دنیا را دربر گرفته است، بیابان‌زایی است (۴ و ۱۸). بیابان‌زایی عبارت است از تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب ناشی از عوامل متعددی چون تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (۸). پدیده بیابان‌زایی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مهم است (۶) و در بسیاری از مواقع، تهدید جدی برای جوامع انسانی محسوب می‌شود (۹)، (۱۰). روند بیابان‌زایی در کشورهای در حال توسعه از شدت بالایی برخوردار است (۵) و این مسئله می‌تواند آینده کشورها را با تهدید جدی مواجه کند (۳). ایران از جمله کشورهایی است که در معرض پدیده بیابان‌زایی قرار دارد. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا حدود دو سوم آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک دربرگیرد و همین مسئله سبب شده تا پدیده بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از چالش‌های جدی پیشروی آن باشد. از جمله استان‌های ایران که در معرض پدیده بیابان‌زایی قرار دارد، استان یزد است. این استان در مناطق مرکزی ایران قرار دارد و با توجه به وضعیت اقلیمی و هیدروژئومورفولوژی که دارد، پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر تغییرات کاربری اراضی و بیابان‌زایی دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر استان یزد در برابر بیابان‌زایی با استفاده از شاخص DVI^۱ پرداخته شده است.

در ارتباط با موضوع مورد بررسی پژوهش‌های مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. پژوهش‌های انجام‌شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در یونان بیانگر روند افزایشی تخریب زیست محیطی بر اساس تغییرات کاربری اراضی است (۱). نتایج حاصله از تحقیقی در حوضه سانتیاگو نشان داده است که حدود ۵۰٪ از حوضه در معرض تبدیل شدن به بیابان قرار دارد (۱۷). نتایج تحقیقی در شرق آسیا نشان داده است که عامل انسانی مهم‌ترین نقش را در روند افزایشی بیابان دارند (۱۹). نتایج تحقیقی در کشورهای بورکینافاسو و سنگال بیانگر تاثیر تغییرات کاربری اراضی در بیابان‌زایی و کاربرد مدل ESAs در ارتباط با بررسی این پدیده است (۱۰). نتایج تحقیقی در کشور هند با استفاده از

مدل DVI نشان داده است که عامل انسانی نقش مهمی در افزایش روند بیابان‌زایی در حوضه رودخانه باناس داشته است (۷). نتایج تحقیقی با استفاده از مدل IMDPA در سراوان استان سیستان و بلوچستان نشان داده است که حدود ۴۰ درصد از منطقه در معرض بیابان‌زایی شدید قرار دارد (۲۰). نتایج تحقیقی با استفاده از مدل IMDPA در دشت عباس‌آباد استان ایلام نشان داده است که تخریب پوشش گیاهی مهم‌ترین عامل در روند افزایشی بیابان‌زایی در منطقه است (۱۲). نتایج پژوهشی توصیفی-تحلیلی در شرق اصفهان بیانگر نقش اصلی عامل انسان‌ساخت در بیابان‌زایی است (۱۵). یافته‌های اجرای مدل مدالوس در منطقه گلسرای تربت حیدریه نشان داده است که بیش از ۶۰ درصد منطقه در معرض بیابان‌زایی شدید قرار دارد (۱۶). نتایج تحقیقی در شهر طبس که از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های بیابان‌زایی استفاده شده است، بیانگر روند افزایشی بیابان‌زایی منطقه در طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷ است (۱۳). در تحقیقی در استان کرمان که از شاخص‌های DVI برای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی بهره‌گیری شده است، مناطق جنوبی استان کرمان به‌عنوان مناطق مستعد بیابان‌زایی شناسایی شده است (۱۱). بررسی تحقیقات پیشین صورت گرفته نشان داده است که به‌منظور ارزیابی مخاطره بیابان‌زایی تحقیقات مختلفی صورت گرفته است و در این تحقیقات از روش‌های مختلف سنجش از دوری، کمی و کیفی استفاده شده است. همچنین در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده، یا بر عامل انسانی تاکید شده است یا عامل طبیعی و به‌صورت جامع تمامی عوامل انسانی و طبیعی در نظر گرفته نشده است. اما در این بررسی، از نمایه DVI استفاده شده که علاوه بر متغیرهای طبیعی بر عامل انسانی نیز تاکید دارد. همچنین بر خلاف نمونه‌های کار شده، علاوه بر استفاده از شاخص‌های DVI، از مدل ANP نیز به‌منظور وزن‌دهی به پارامترها استفاده شده است.

بررسی پژوهش‌های پیشین در منطقه مورد مطالعه نشان داده است که مخاطره بیابان‌زایی دارای روند افزایشی است و همین مسئله سبب شده است تا این مخاطره از جمله عوامل تهدیدکننده مناطق خشک و نیمه‌خشک در سال‌های آتی باشد. با توجه به اینکه مخاطره بیابان‌زایی با تخریب محیط و

^۱ Desertification Vulnerability Index

کویری و ریگزارها دربرگرفته است. از نظر تقسیمات حوضه‌ای، استان یزد در حوضه آبریز ایران مرکزی قرار دارد و همچنین از نظر اقلیمی نیز با میانگین بارش سالانه حدود ۱۰۰mm از جمله استان‌های کم‌بارش کشور محسوب می‌شود.

روش تحقیق

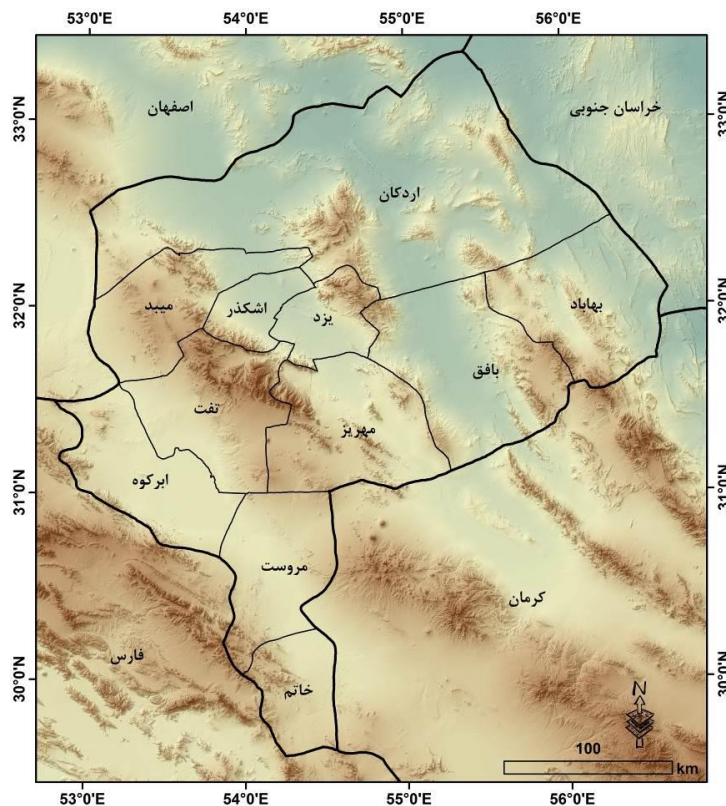
با توجه به موضوع و روش مورد استفاده، در پژوهش حاضر از اطلاعات کتابخانه‌ای، اطلاعات آماری مربوط به جمعیت استان یزد، داده‌های اقلیمی استان یزد و همچنین مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده، نرم‌افزار ArcGIS و SPSS بوده است که به ترتیب برای تهیه نقشه‌های پایانی و همچنین محاسبه‌های مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند. همچنین مدل مورد استفاده در پژوهش حاضر نیز بر مبنای شاخص آسیب‌پذیری DVI بوده است که در ادامه به تشریح آن پرداخته شده است.

تهدید جوامع انسانی همراه است و بهترین راهکار مقابله با آن، کنترل آن است، لازم است تا به این موضوع توجه ویژه‌ای شود. بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر، تحلیل توان بیابان‌زایی استان یزد با استفاده از شاخص‌های DVI و در پایان شناسایی مناطق در معرض بیابان‌زایی در این استان است.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

محدوده مطالعاتی پژوهش حاضر منطبق بر استان یزد است. استان یزد در بخش‌های مرکزی ایران قرار گرفته است که از اطراف به استان‌های خراسان جنوبی، اصفهان، فارس و کرمان منتهی می‌شود (شکل ۱). استان یزد حدود ۷۴۰۰۰km² وسعت و حدود ۱۱۴۰۰۰۰ نفر جمعیت دارد (۱۴). استان یزد از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی^۱ در واحد ایران مرکزی قرار گرفته است. از نظر ژئومورفولوژی بخش‌های غربی استان را واحد کوهستان و مخروطه‌افکنه و بخش زیادی از مناطق مرکزی، شرقی و شمالی آن را اراضی



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد بررسی

^۱ Morphotectonic

شاخص DVI

Super Decisions استفاده شده است و در نهایت وزن نهایی شاخص‌ها بدست آمده است.

پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، با استفاده از رابطه DVI (رابطه ۱)، لایه‌های اطلاعاتی با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه نهایی میزان آسیب‌پذیری منطقه در برابر بیابان‌زایی تهیه شده است.

$$DVI = (CQI \times SEQI)^{1/3} \quad (1)$$

در این رابطه، DVI نمایانگر شاخص آسیب‌پذیری بیابان‌زایی است، CQI نمایانگر شاخص کیفیت آب‌وهوا، SQI نمایانگر شاخص کیفیت خاک و SEQI نشان‌دهنده شاخص کیفیت اجتماعی - اقتصادی است (۷). در شکل ۲ روندنمای اجرای پژوهش نشان داده است.

نتایج و بحث

شاخص‌های مورد استفاده

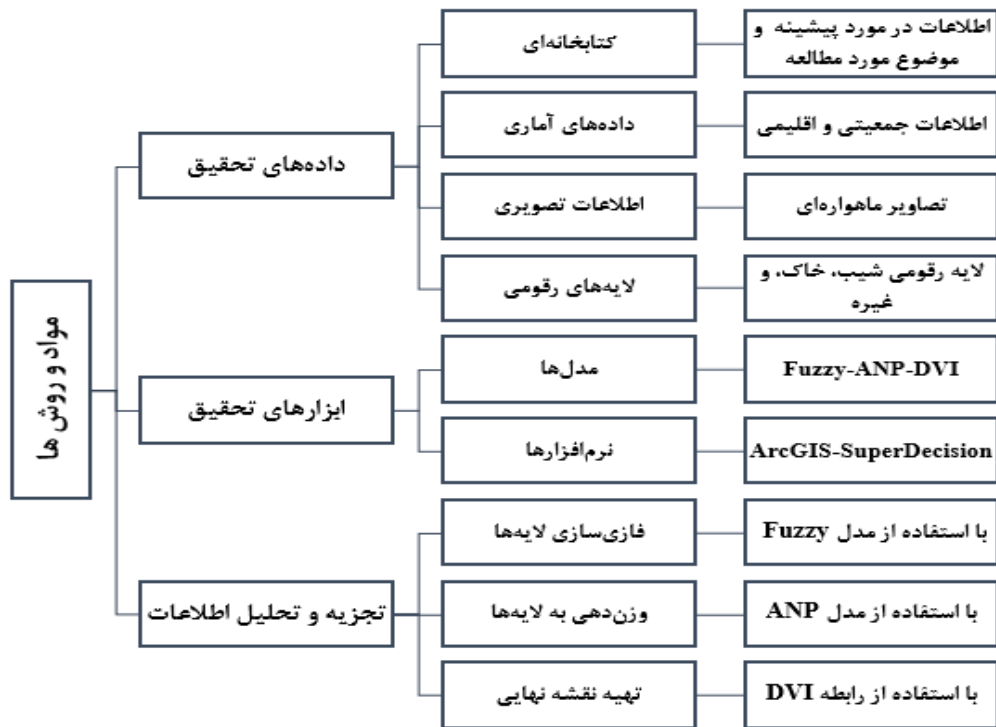
شاخص‌های شیب و خاکشناسی

شاخص‌های شیب و خاکشناسی نقش مهمی در میزان آسیب‌پذیری مناطق بیابانی دارند. مقدار شیب بعنوان مهم‌ترین پارامتر توپوگرافی در بیابان‌زایی محسوب می‌شود. شیب زمین تاثیر مستقیمی بر میزان رواناب، نفوذپذیری و فرسایش دارد و به‌طور معمول، در مناطق پرشیب میزان فرسایش خاک بیشتر است.

جدول ۱. شاخص‌های DVI و اهمیت آن‌ها (۷)

شاخص	اهمیت
میانگین بارندگی سالانه (mm) مقدار کم باران باعث کاهش رطوبت خاک می‌شود که روی رشد گیاه تأثیر می‌گذارد.	
دمای متوسط سالانه (°C) دما تبخیر آب، تعرق گیاهان در حال رشد، شوری خاک و قلیایی بودن آن را تعیین می‌کند.	
متوسط PET سالانه وقتی تبخیر و تعرق در یک منطقه بیش‌تر باشد، آسیب‌پذیری خاک در برابر شور شدن و بیابان‌زایی بیش‌تر است.	
شاخص خشکی (UNEP) شاخص خشکی بالا به این معنی است که منطقه کمبود آب بیش‌تری دارد و منابع آب ناکافی به آسیب‌پذیری منطقه در برابر بیابان‌زایی منجر می‌شود.	
شیب (%) زمانیکه زاویه شیب از مقدار بحرانی آن بیش‌تر شود فرسایش خاک حاد خواهد شد و شیب زیاد خاک تأثیر منفی روی بیابان‌زایی می‌گذارد.	
نوع خاک نوع خاک می‌تواند روی زهکشی خاک، دمای خاک، ظرفیت نگهداری آب موجود (AWC)، حاصلخیزی خاک و فرسایش آن تأثیر بگذارد.	
تراکم جمعیت مناطق با تراکم جمعیت بالا تحت تأثیر تنش آب و فرسایش خاک قرار دارند که نسبت به بیابان‌زایی و تخریب زمین آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند.	
نرخ رشد جمعیت (%) مناطق دارای نرخ رشد جمعیت بالا با تخریب بیش‌تر زمین در ارتباط هستند.	
نرخ بی‌سوادی (%) کشاورزان باسواد به‌احتمال بیش‌تری از تکنیک‌های کشاورزی جدید برای کشت استفاده کرده و روش‌های جدید مدیریت زمین را برای کاهش فرسایش خاک و تخریب مواد مغذی از زمین خود در پیش می‌گیرند.	

نمایه DVI از چهار گروه شاخص‌های جمعیتی، آب و هوایی، توپوگرافی و خاکشناسی تشکیل شده‌اند (جدول ۱). پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز برای هر شاخص، به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، ابتدا وزن درون لایه‌ای هر شاخص مشخص شده است و بر اساس آن لایه‌های اطلاعاتی فاز‌سازی شده است. در فاز‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، به مناطقی که مستعد بیابان‌زایی هستند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که مستعد بیابان‌زایی نیستند، ارزش نزدیک به صفر داده شده است. با توجه به اینکه ارزش و اهمیت شاخص‌ها برابر نیست، در پژوهش حاضر به‌منظور وزن‌دهی به شاخص‌های مورد استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است (این مدل به دلیل انعطاف‌پذیری بالایی که دارد، جهت وزن‌دهی به پارامترهای مختلف طبیعی و انسانی مناسب است). برای اجرای مدل ANP، پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای و با توجه به رابطه دورنی و بیرونی شاخص‌ها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل ۹ سطر و ۹ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از معیارها و شاخص‌ها استفاده شده است. به‌منظور امتیازدهی به شاخص‌ها از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان بهره‌گیری شده است و همچنین برای انجام محاسبه‌ها نیز از نرم‌افزار



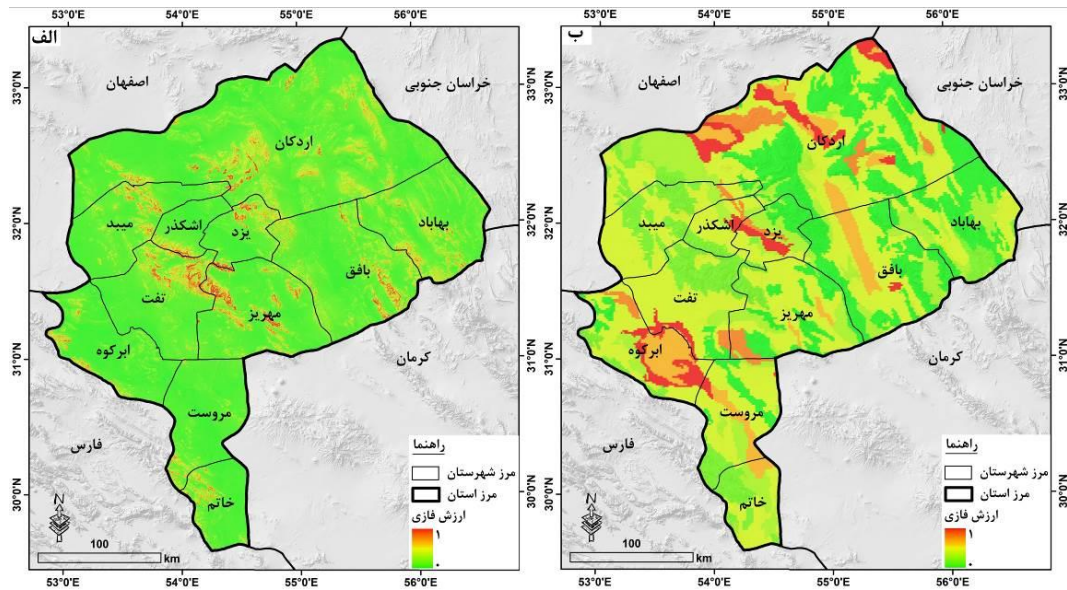
شکل ۲. روندنمای اجرای پژوهش

اراضی بدلندی ارزش نزدیک به ۱ و به خاک‌های اینسپتی‌سول، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۳: ب). بررسی وضعیت خاکشناسی استان یزد نشان داده است که همانند استان کرمان (۱۱)، بخش زیادی از وسعت این استان را شوره‌زارها، تپه‌های ماسه‌ای و اراضی بدلندی دربرگرفته که دارای توان بالای آسیب‌پذیری هستند.

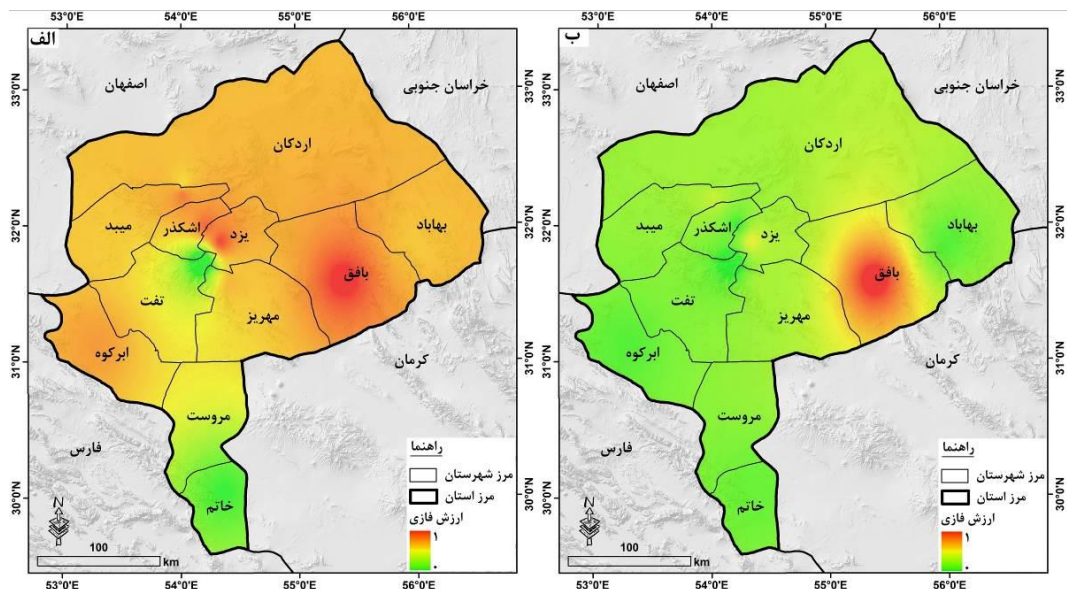
شاخص‌های اقلیمی

شاخص‌های اقلیمی نقش اصلی را در تعیین میزان آسیب‌پذیری مناطق دارند. از جمله شاخص‌های اقلیمی مورد استفاده، میزان بارش، دما، تبخیر و خشکی است. میزان بارش نقش مستقیمی در تراکم پوشش گیاهی، تثبیت خاک و در نتیجه فرسایش دارد. مناطقی که دارای بارش کم‌تری هستند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارند و در معرض بیابان‌زایی هستند. بررسی مجموع بارش سالانه استان یزد بیانگر این که بیش‌ترین میزان بارش با ۱۰۷mm مربوط به شهر تفت و کم‌ترین آن با ۴۸mm مربوط به شهر بافق بوده است. بر این اساس، مناطق مجاور شهر بافق از نظر پارامتر بارش دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری هستند (شکل ۴: الف).

در این پژوهش با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، نقشه شیب استان یزد تهیه شده است و سپس با استفاده از منطق فازی به مناطق با شیب زیاد، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با شیب کم، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۳: الف). بررسی وضعیت شیب استان یزد نشان داده است که بخش‌هایی از مناطق مرکزی استان یزد همانند بخش‌های غربی استان کرمان (۱۱)، دارای شیب زیادی هستند که مستعد فرسایش و آسیب‌پذیری هستند. همچنین نوع خاک نیز نقش مهمی در میزان فرسایش و بیابان‌زایی دارد. بعضی از انواع خاک‌ها مانند اینسپتی‌سول، به دلیل شرایط مناسبی که دارند، دارای تراکم پوشش گیاهی هستند و این مسئله باعث کاهش آسیب‌پذیری منطقه در برابر بیابان‌زایی می‌شود. بعضی از مناطق نیز مانند بخش‌های مرکزی و شمالی استان یزد که دارای شوره‌زارها، اراضی بدلندی و تپه‌های ماسه‌ای هستند، به دلیل نوع خاکی که دارند، پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی دارند و مستعد گسترش بیابان‌زایی هستند. با توجه به موارد مذکور، پس از تهیه لایه نوع خاک‌های استان یزد، به شوره‌زارها، تپه‌های ماسه‌ای و



شکل ۳. نقشه فازی‌سازی شده شاخص‌های الف) شیب ب) خاکشناسی



شکل ۴. نقشه فازی‌سازی شده شاخص‌های الف) بارش ب) دما

آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند. با توجه به اینکه استان یزد از نظر دمایی و توپوگرافی دارای تنوع زیادی است، بنابراین میزان تبخیر نیز در مناطق مختلف آن متفاوت است. محاسبه مقدار تبخیر استان یزد بر اساس ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده است که بیش‌ترین میزان تبخیر مربوط به مناطق شمالی و شرقی استان یزد می‌باشد (شکل ۵: الف). همچنین شاخص خشکی نیز دیگر شاخص اقلیمی مورد استفاده بوده است. شاخص خشکی زیاد به این معنی است که منطقه دارای کمبود آب بیشتری است و پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر بیابان‌زایی دارد. نتایج حاصله

پارامتر دما نیز نقش مهمی در میزان آسیب‌پذیری و بیابان‌زایی دارد. در مناطق با دمای زیاد، میزان تبخیر بیشتر است و این مناطق پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری دارند. بررسی وضعیت میانگین دمای سالانه استان یزد نشان داده است که بیش‌ترین میانگین دما با $21/9^{\circ}\text{C}$ مربوط به شهر بافق و کم‌ترین آن با $18/2^{\circ}\text{C}$ مربوط به شهر تفت است. بر این اساس، مناطق مجاور شهر بافق از نظر دما نیز دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری هستند (شکل ۴: ب). از دیگر شاخص‌های اقلیمی مورد استفاده شاخص تبخیر است. مناطق که دارای تبخیر زیادی هستند، پتانسیل

روند تخریب زمین و افزایش آسیب‌پذیری مؤثر است. نتایج حاصله از پژوهش حاضر نشان داده است که در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵، در بین شهرستان‌های استان یزد، شهرستان اردکان با رشد جمعیتی ۴/۷۳٪ دارای بالاترین نرخ رشد جمعیت و شهرستان تفت با ۰/۵۶٪ دارای پایین‌ترین نرخ رشد جمعیت است. با توجه به موارد مذکور، شهرستان اردکان از نظر شاخص رشد جمعیت، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری است (شکل ۶: ب). مجموع نتایج حاصله از ارزیابی شاخص‌های جمعیتی در استان یزد نشان داده است که همانند استان‌های اصفهان (۱۵) و کرمان (۱۱) و شهر اهواز (۸)، عوامل انسانی نقش مهمی در گسترش پدیده بیابان‌زایی در این استان داشته است.

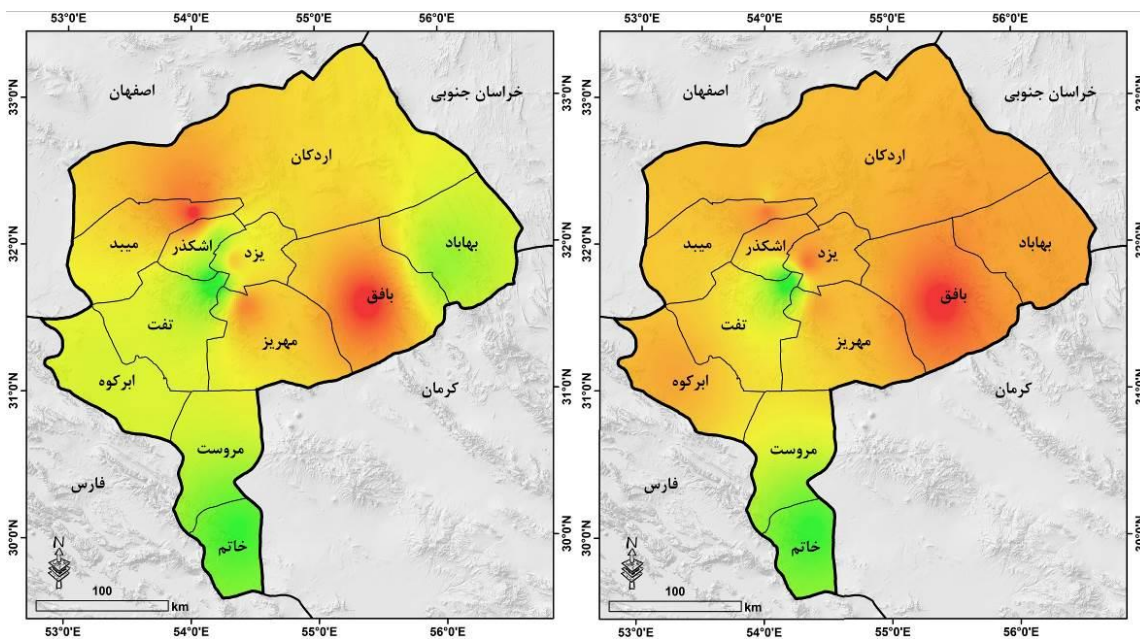
نرخ بی‌سوادی نیز در افزایش آسیب‌پذیری مؤثر است. در واقع، نرخ بی‌سوادی در میزان آگاهی مردم و مدیریت محیطی مؤثر است، بنابراین به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در نظر گرفته شده است.

بر اساس نتایج حاصله، نرخ بی‌سوادی استان یزد بین ۱۰/۳ تا ۲۳/۳٪ بوده که بیش‌ترین میزان آن مربوط به شهرستان تفت و کم‌ترین آن مربوط به شهرستان یزد بوده است. با توجه به موارد مذکور، شهرستان تفت از نظر شاخص بی‌سوادی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری است (شکل ۷).

از بررسی شاخص خشکی در استان یزد نشان داده است که بیش‌ترین مقدار شاخص خشکی نیز مربوط به مناطق شرقی و شمالی استان یزد است (شکل ۵: ب). مجموع نتایج حاصله از ارزیابی شاخص‌های اقلیمی در استان یزد نشان داده است که همانند مناطق مجاور سراوان (۲۰)، تربت حیدریه (۱۶) و استان کرمان (۱۱)، وضعیت نامناسب اقلیمی نقش مهمی در گسترش پدیده بیابان‌زایی در این استان داشته است.

شاخص‌های جمعیتی

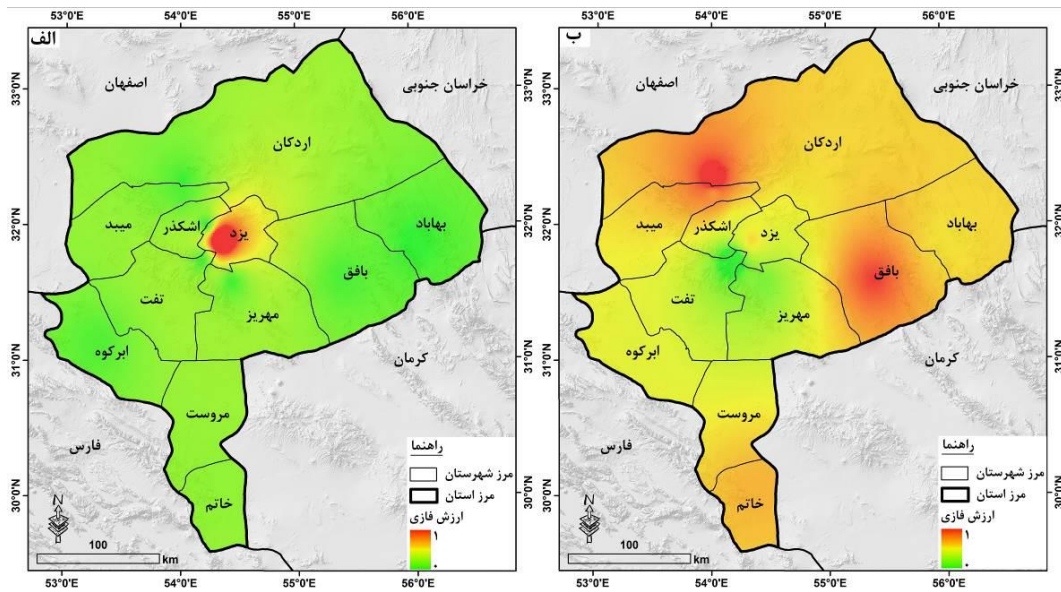
شاخص‌های جمعیتی مورد استفاده در روش DVI شامل تراکم جمعیت، رشد جمعیت و بی‌سوادی است (جدول ۲). بر اساس روش DVI، مناطقی که دارای تراکم جمعیت بالایی هستند، تحت تأثیر تنش آب و فرسایش خاک قرار دارند و در معرض آسیب‌پذیری هستند. بررسی وضعیت تراکم جمعیت در استان یزد نشان داده است که بالاترین تراکم با ۳۵۹ نفر در km^2 مربوط به شهرستان یزد است و کم‌ترین میزان تراکم با ۳ نفر در km^2 مربوط به شهرستان بهاباد است. با توجه به موارد مذکور، شهرستان یزد از نظر شاخص تراکم جمعیت، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیش‌تری است (شکل ۶: الف). بر اساس روش DVI، درصد رشد جمعیت نیز به‌طور مستقیم در افزایش



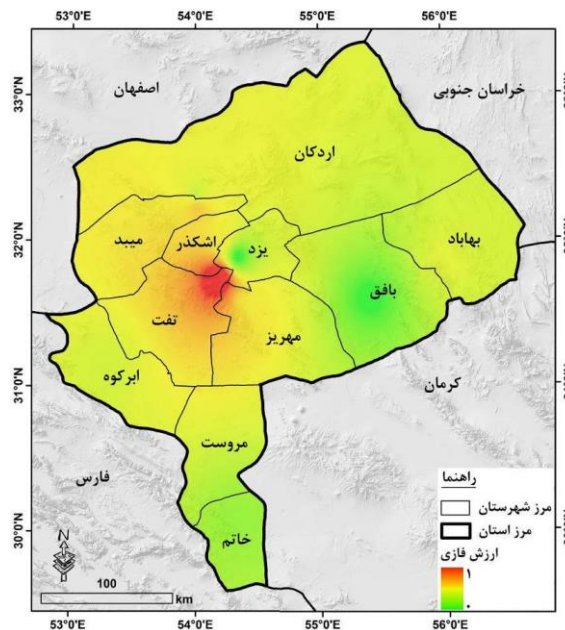
شکل ۵. نقشه فازی‌سازی شده شاخص‌های الف) تبخیر ب) خشکی

جدول ۲. شاخص‌های جمعیتی استان یزد (منبع: مرکز آمار کشور، ۱۳۹۵)

ردیف	شهرستان	وسعت (km ²)	تراکم جمعیت (نفر در km ²)	رشد جمعیت (%)	بی‌سوادی (%)
۱	ابرقوه	۵۳۴۵	۹/۶	۲/۰۱	۱۴/۳
۲	اردکان	۲۳۰۹۹	۴/۲	۴/۷۳	۱۴/۲
۳	اشکذر	۸۳۷۵	۳/۹	۲/۰۱	۱۵/۶
۴	باقق	۶۶۷۵	۷/۶	۳/۹۶	۱۰/۵
۵	بهباد	۵۸۱۷	۳	۲/۳۵	۱۴/۸
۶	تفت	۸۱۶۵	۵/۴	-۰/۵۶	۲۳/۳
۷	خاتم	۶۷۴۵	۵/۴	۰/۷۹	۱۵/۵
۸	مهریز	۵۰۳۰	۱۰/۳	۳/۲۳	۱۶/۵
۹	میبد	۲۴۷۴	۴۰/۳	۲/۸۸	۱۲/۵
۱۰	یزد	۱۸۲۴	۳۵۹/۸	۲/۴۱	۱۰/۳



شکل ۶. نقشه فازی‌سازی شده شاخص‌های الف) تراکم جمعیت ب) رشد جمعیت



شکل ۷. نقشه فازی‌سازی شده شاخص بی‌سوادی

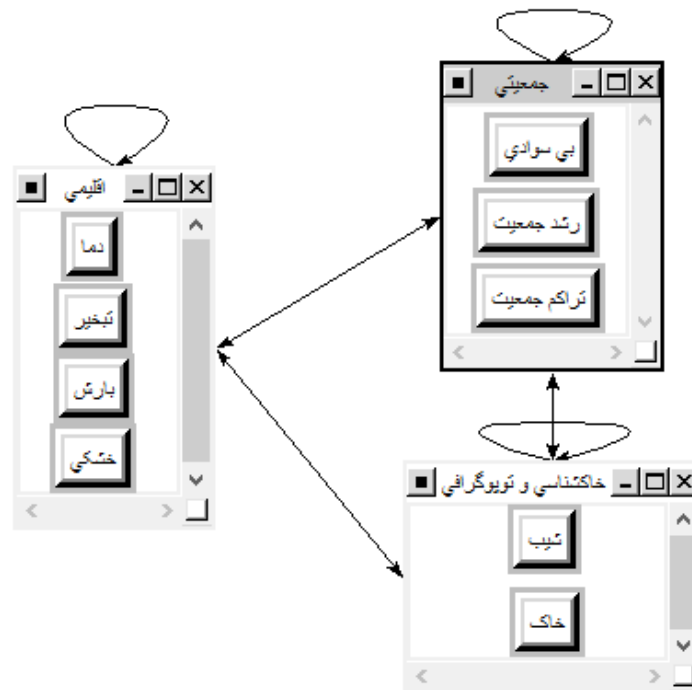
وزن دهی به شاخص‌ها

در پژوهش حاضر به منظور وزن دهی به شاخص‌های مورد استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است و در پایان پس از تشکیل ساختاری شبکه‌ای (شکل ۸)، وزن نهایی شاخص‌ها بدست آمده است (جدول ۳).

تهیه نقشه پایانی مناطق آسیب پذیر

در این پژوهش پس از فازی‌سازی شاخص‌های مورد استفاده و اعمال وزن بدست آمده بر روی آن‌ها، شاخص‌ها با استفاده رابطه ۱ با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه مناطق آسیب پذیر در برابر بیابان‌زایی در محدوده استان یزد تهیه شده است (شکل ۹) که بر اساس آن بخش زیادی از وسعت استان یزد از جمله مناطق شمالی آن را مناطق با پتانسیل زیاد آسیب پذیری دربر گرفته است. بررسی نقشه تهیه شده، بیانگر این است که استان یزد پتانسیل آسیب پذیری بالایی در برابر بیابان‌زایی دارد.

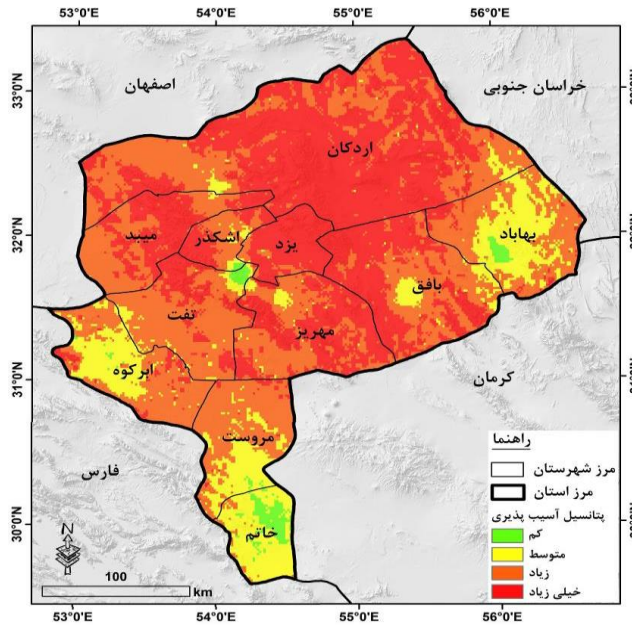
بر اساس نتایج حاصله (جدول ۴)، طبقه با پتانسیل آسیب پذیری خیلی زیاد، 31551 km^2 معادل $42/9\%$ از وسعت منطقه را دربر گرفته است که بیشتر شامل مناطق شمالی و مرکزی استان یزد است. طبقه با پتانسیل آسیب پذیری زیاد 30468 km^2 معادل $41/4\%$ از وسعت منطقه از وسعت منطقه را دربر گرفته است که بیش تر شامل مناطق غربی استان یزد است. طبقه با پتانسیل آسیب پذیری متوسط با 10501 km^2 معادل $14/3\%$ از وسعت منطقه وسعت، شامل بخش‌هایی از مناطق شرقی و جنوبی استان یزد است و همچنین طبقه با پتانسیل آسیب پذیری کم با 1031 km^2 معادل $1/4\%$ از وسعت منطقه وسعت، به صورت پراکنده در بخش‌های مرکزی، جنوب شرقی و جنوبی استان یزد قرار دارند. در این پژوهش وضعیت آسیب پذیری شهرستان‌های استان یزد نیز ارزیابی شده است (جدول ۵).



شکل ۸. ساختار شبکه‌ای شاخص‌های DVI

جدول ۳. وزن نهایی شاخص‌های DVI

شاخص	شيب (%)	خاک	بارش (mm)	دما (C°)	خشکی	تبخير	تراکم جمعيت	رشد جمعيت (%)	بي سوادى (%)
وزن	۰/۰۹۱	۰/۱۴۱	۰/۱۳۶	۰/۰۹۷	۰/۱۱۹	۰/۱۰۹	۰/۱۲۴	۰/۱۰۴	۰/۰۷۹



شکل ۹. نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در استان یزد

جدول ۴. مساحت و درصد مساحت طبقات

طبقات	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت km ²	۱۰۳۱	۱۰۵۱	۳۰۴۶۸	۳۱۵۵۱
درصد مساحت	۱/۴	۱۴/۳	۴۱/۴	۴۲/۹

جدول ۵. درصد مساحت طبقه‌های آسیب‌پذیری بر پایه نمایه DVI به تفکیک شهرستان

ردیف	شهرستان	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
۱	ابرکوه	۱	۳۷	۵۸	۴
۲	اردکان	۰	۳	۲۹	۶۸
۳	اشکذر	۲	۵	۵۷	۳۶
۴	بافق	۰	۶	۴۵	۴۹
۵	بهاباد	۴	۴۲	۴۹	۵
۶	تفت	۳	۵	۶۸	۲۴
۷	خاتم	۲۸	۶۹	۳	۰
۸	مروست	۲	۳۳	۶۲	۳
۹	مهریز	۰	۴	۴۱	۵۵
۱۰	میبد	۰	۱	۵۴	۴۵
۱۱	یزد	۰	۱	۹	۹۰

از وسعت شهرستان خاتم، ۶۵٪ از وسعت شهرستان مروست، ۹۶٪ از وسعت شهرستان مهریز، ۹۹٪ از وسعت شهرستان میبد و همچنین ۹۹٪ از وسعت شهرستان یزد، پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی در برابر بیابان‌زایی دارند. مجموع نتایج

بر اساس نتایج حاصله، حدود ۶۲٪ از وسعت شهرستان ابرکوه، ۹۷٪ از وسعت شهرستان اردکان، ۹۳٪ از وسعت شهرستان اشکذر، ۹۴٪ از وسعت شهرستان بافق، ۵۴٪ از وسعت شهرستان بهاباد، ۹۲٪ از وسعت شهرستان تفت، ۳٪

بالایی از نظر بیابان‌زایی دارند، بنابراین می‌توان انتظار داشت که در آینده، مخاطره بیابان‌زایی در استان یزد تبدیل به چالشی مهم برای این استان شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داده است که در کنار موقعیت جغرافیایی و وضعیت طبیعی استان یزد، همانند بخش‌های شرقی استان اصفهان (۱۵)، مناطق مجاور شهر اهواز (۸) و استان کرمان (۱۱)، عوامل انسانی نیز نقش مهمی در پدیده بیابان‌زایی این استان داشته‌اند و با توجه به روند افزایشی جمعیت و افزایش دخالت‌های انسانی و تخریب محیط، این روند در آینده نیز تشدید شود. مجموع نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که بخش‌های زیادی از استان یزد از جمله مناطق شمالی و مرکزی آن دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی هستند که نیازمند توجه ویژه و اجرای برنامه‌های بلندمدت جهت جلوگیری از آسیب‌پذیری و افزایش بیابان‌زایی است.

■ سپاسگزاری

با تشکر از سازمان هواشناسی استان یزد و همچنین مرکز آمار کشور جهت ارائه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز.

حاصله از این بخش نشان داده است که شهرستان‌ها یزد، میبد و اردکان دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند.

■ نتیجه‌گیری

نتایج بررسی وضعیت جغرافیای طبیعی و انسانی استان یزد نشان داده است که این استان دارای پتانسیل بیابان‌زایی بالایی است. در واقع، قرار گرفتن این استان در منطقه خشک و نیمه خشک، روند افزایشی جمعیت و وضعیت توپوگرافی این استان سبب شده است تا استان یزد دارای حساسیت بالایی در برابر فرسایش و بیابان‌زایی باشد. با توجه اهمیت موضوع، در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های DVI به ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری استان یزد در برابر بیابان‌زایی پرداخته شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داده است که بخشی زیادی از وسعت استان یزد، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است و بیش‌تر شهرهای این استان در معرض بیابان‌زایی هستند. با توجه به اینکه از یک طرف، روند جمعیتی شهرهای استان یزد در حال افزایش است و طرف دیگر نیز این شهرها پتانسیل

■ References

1. Baraka, K., Chandra, M., Sekaran, D., & Barak, K. (2012). Sensitivity of land to desertification and environmental sensitivity indices in agricultural ecosystems (1984 and 2008) in the region of Boustan, Greece. *Ecological Economics*, 1, 834-837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.03.012>
2. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.03.012>
3. Feng, Q., Ma, H., Jiang, X.M., Wang, X., & Cao, S.X. (2015). What Has Caused Desertification in China? *Scientific Reports*, 5, 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep15998>
4. Flores, E. S., & Yool, S. R. (2007). Sensitivity of change vector analysis to land cover change in an arid ecosystem. *Remote Sensing*, 28(5), 1069-1088. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600868482>
5. Honardoust, F., Ownegh, M., & Sheikh, V. (2011). Assessing desertification sensitivity in the northern part of Gorgan Plain, southeast of the Caspian Sea, Iran. *Environmental Sciences*, 5(3), 205-220. DOI: <https://doi.org/10.3923/rjes.2011.205.220> [In Persian]
6. Iran Statistics Center. (2016). Demographic information of Yazd province. <https://www.amar.org.ir> [In Persian]
7. John, R., Chen, J.Q., Lu, N., & Wilske, B. (2009). Land cover/land use change in semi-arid Inner Mongolia: 1992-2004. *Environmental Research Letters*, 4, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045010>
8. Kalyan, S., Sharma, D., & Sharma, A. (2021). Spatio-temporal variation in desert vulnerability using desertification index over the Banas River Basin in Rajasthan, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06417-0>

9. Kazemina, A., Rangzan, K., & Mahmoud Abadi, M. (2017). Assessment of Desertification using the MEDALUS model (Case study: the lands of west Ahvaz). *RS and GIS for Natural Resources*, 8(2), 111-126. [In Persian]
10. 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 Hognu Khaan, Mongolia. *Sustainability*, 9, 519. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9040581>
11. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.318>
12. Maghsoudi, M., & Pireh M. (2022). Identifying Vulnerable Areas to Desertification using the DVI Index (Case study: Kerman province). *Environmental Erosion*, 12 (3), 1-17. [In Persian]
13. Mombeni, M., Karamshahi, A., Azadnia, F., Garaee, P., & Karimi, K. (2016). Assessment of desertification intensity using IMDPA method (Case study: Dashte Abbas, Ilam). *RS and GIS for Natural Resources*, 7(3), 100-112. [In Persian]
14. Nadi, M., Kalantari, S., Khavaninzadeh, A., & Tazeh, M. (2022). Evaluation of desertification situation in Tabas city based on technogenic desertification indicators using satellite images. *Ecosystem Management*, 2(2), 34-45. DOI: <https://doi.org/10.22034/emj.2022.254751> [In Persian]
15. Salehi, A., & Karasi, P. (2021). The role of man-made factors in desertification east of Isfahan. *Spatial Planning*, 11(3), 1-24. DOI: <https://doi.org/10.22108/sppl.2021.126373.1546> [In Persian]
16. Shirghir, S., & Masoudi, M. (2021). Hazard Assessment of Desertification Using the New Model of Proposed MEDALUS. *Watershed Research*, 2(34), 133-148. DOI: <https://doi.org/10.22092/wmej.2021.352966> [In Persian]
17. Tavares, J.D.P., Baptista, I., Ferreira, A.J., Amiotte-Suchet, P., Coelho, C., Gomes, S., & Varela, L. (2015). Assessment and mapping the sensitive areas to desertification in an insular Sahelian mountain region Case study of the Ribeira Seca Watershed, Santiago Island, Cabo Verde. *Catena*, 128, 214-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.005>
18. 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 (10), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6234-6>
19. Wang, X., Hua, T., Lang, L., & Ma, W. (2017). Spatial differences of aeolian desertification responses to climate in arid Asia. *Global and Planetary Change*, 148, 22-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.008>
20. Zolfaghari, F., & Khosravi, H. (2016). Assessment of Desertification Severity Using IMDPA Model in Saravan Region. *Geography and Environmental Planning*, 2(27), 87-102. DOI: <https://doi.org/10.22108/gep.2016.21817> [In Persian]