



Spatial assessment of desertification severity using climate, soil, vegetation, and water criteria and presenting a management plan (Case study: Isfahan Province)

Seyyed Ali Mousavi¹ 

1. Assistant Professor, Drylands Management Department, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran. Email: Mousaviali@kashanu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received Received 02 July 2025

Received in revised form 17 August 2025

Accepted 08 September 2025

Available online 23 September 2025

Keywords:

Desertification,
IMDPA,
Index,
Spatial Assessment,
Isfahan Province

ABSTRACT

Research Topic: Land degradation in arid and semi-arid regions due to human activities and climate change leads to desertification.

Objective: In this study, the IMDPA model was used to spatially assess the intensity of desertification in Isfahan Province with four main criteria: vegetation, soil, climate, and water.

Method: The criteria were scored based on field observations and regional conditions. The index map of each criterion was combined with the geometric mean method, and then a desertification severity map of each criterion and a final map of the province were prepared using ArcGIS software. Also, a management plan to reduce desertification was developed using the SWOT model.

Results: The results indicate that climate, vegetation, soil, and water criteria are the most important factors of desertification, respectively. The climate criterion with a geometric value of 3.08 was in the severe class, and vegetation (2.72), soil (1.98), and water (1.07) were in the moderate class. Drought indices, annual precipitation, and vegetation renewal were the most important, and groundwater table decline, vegetation exploitation, and percentage of rocks and gravel were the least important factors.

Conclusions: The final map showed that 5.52 percent of the area is in the low desertification class and the rest is in the medium desertification class. SWOT analysis showed a defensive pattern for Isfahan province. Among the internal strengths, appropriate indigenous knowledge shows the greatest impact and water transfer to neighboring provinces shows the least impact. In terms of external opportunities, the government's attention to desertification and the restoration of the Zayandeh Rood River have the greatest positive impact, and the number of sunny hours for solar panels have the least positive impact. Internal weaknesses include dry climate and water shortages, which have the greatest negative impact, and overgrazing of livestock, which has the least negative impact. Also, in terms of external threats, proximity to the desert and dust production show the greatest negative impact, and inefficient governance management shows the least negative impact.

Cite this article: Mousavi, A. (2025). Spatial assessment of desertification severity using climate, soil, vegetation, and water criteria and presenting a management plan (Case study: Isfahan Province). *ECOHYDROLOGY*, 12(3), 901-926. <http://doi.org/10.22059/ije.2025.404049.1889>



© Seyyed Ali Mousavi.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2025.404049.1889>

Introduction

Today, desert does not refer to arid and semi-arid areas, but rather the desert and desertification of a land depend on how humans interact with nature. In recent years, many deserts have been transformed from being to becoming, and this process has accelerated and intensified with the changes that humans have made to nature (Ekhtesasi and Mohajeri, 1995). To assess the phenomenon of desertification, extensive research has been conducted in different regions of the world, which has led to the presentation of various models for analyzing and studying desertification. The most important models in the field of desert assessment are FAO-UNEP, MEDALUS, GLASOD TAXONOMY LADA, and ASSOD (Masoudi and Elhaei, 2018). In Iran, ICD, MICD and recently IMDPA models have been presented (Khosravi, 2005, European Commission, 1999, Babayev Kharin and Orlovsky, 1993, Basu et al., 1999, Ardakani and Vahdati, 2018, Kosmas et al., 1999). Based on the results of this project, a qualitative and quantitative assessment method was presented in the form of the IMDPA model (Ahmadi, 2004). In this study, to achieve the research goal and provide a desertification map of the study area, the Iranian Model for Desertification Potential Assessment (IMDPA) was used. The importance of this research is in slowing the desertification process in Isfahan Province, preventing the adverse effects of desertification on natural areas, the need to estimate and evaluate the overall pattern of desertification intensity, better understanding the status of natural resources for implementing desertification prevention plans, the need to use the correct method for examining the process and intensity of desertification for regional management, and finally, using a comprehensive model for monitoring and evaluating the desertification phenomenon for correct and principled planning.

Method

Isfahan province, with an average altitude of 1511 meters, is located in the central plateau of Iran and is considered one of the foothill regions of Iran (Abdi and Afsharzadeh, 2012). The nature of the research is applied; the data collection method is based on field studies. The research method in this study is quantitative and based on Arc GIS software. Climatic and soil data were collected from soil and water research centers and numerous field visits were made to the study area and combined with satellite images and finally a map output was obtained from it. The research stages include collecting relevant documents, data and statistics such as meteorology, hydrology, soil science, vegetation and other matters along with essential base maps including digital topographic maps at a scale of 1:50,000, geology and similar matters. To assess the intensity of desertification in the province using the IMDPA model, key desertification criteria have been examined taking into account regional conditions as well as existing data and information. Which included groundwater, cover, soil quality and climate criteria. To evaluate the climate criteria of the province, annual precipitation indices, UTI drought index and drought persistence indices from 43 synoptic stations of Isfahan province were used. In this study, three indices of annual precipitation, drought index and drought persistence were used to quantify climate information. To score and evaluate the climate criterion in the study area, a series of climate information including annual precipitation, evapotranspiration and annual temperature information was needed, which was received from the synoptic stations of the province. In this study, data from 165 piezometric wells in Isfahan province were used to investigate the trend and impact of changes in quantitative and qualitative water parameters, including groundwater level, groundwater depth, electrical conductivity and sodium absorption ratio. For zoning quantitative water characteristics, the IDW method with powers of 1 to 5 and two geostatistical methods (kriging and cokriging) were used in ArcGIS and Surfer8 software. To evaluate the interpolation methods, the elimination validation method with the MAE and MBE criteria was used less and finally, the best interpolation method was selected to prepare the desired maps. To evaluate the soil criterion, the soil quality map indices in the study area were considered, including four indices of soil depth, soil texture, gravel content, salinity and alkalinity, and depth. The vegetation cover indices NDVI, TSAVI, RVI, DVI, SARVI, and SAVI were used to prepare and produce the vegetation map. In addition, the normalized difference vegetation index (NDVI) was used to highlight and increase the differences in the spectral reflectance of vegetation. Then, the final desertification map was drawn using these four maps and based on equation 1. Each index was assigned a weight between 1 and 4 based on its impact on desertification and taking into account regional conditions, field studies, and expert opinions; so that a weight of 1 indicated the best situation and a weight of 4 indicated the worst situation.

A map was prepared for each indicator based on the weight assigned to it. In this method, each criterion was calculated through the geometric mean of the corresponding indicators according to Equation 1:

$$\text{Index} - X = [(Layer - 1) \cdot (layer - 2) \dots (Layer - n)]^{1/n} \quad (1)$$

Results

In order to investigate and determine the intensity of desertification in the study area, the IMDPA model was used in an area of 107 thousand square kilometers in Isfahan province. For the evaluation of the water criterion, the groundwater level decline index with a numerical value of 1.50 has the least impact on the intensity of desertification in the region in terms of the water criterion. The desertification status map also shows the soil criteria of the study area; 87.50 percent of the total area (93661.10 square kilometers) is in the moderate desertification class and 12.50 percent of the total area (13378.90 square kilometers) is in the severe desertification class. The desertification status map shows the vegetation criteria of the study area; 97.20 percent of the total area (104044 square kilometers) is in the moderate desertification class and 2.80 percent of the total area (3001 square kilometers) is in the severe desertification class. The desertification status map derived from the region's climate criteria shows that 0.58 percent of the region is in the low and insignificant desertification class. Therefore, the current desertification intensity map of the region shows that 52.5 percent of the region is in the low desertification class, which is scattered in the western half of the province, and 48.94 percent of the region is in the medium desertification class, which includes all the eastern and most of the western half of the province. To identify the capabilities available in Isfahan province, the results of the IMDPA model were used, and to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats in the region, the SWOT strategic planning model was used. Using the results related to desertification criteria in Isfahan province based on the SWOT model analysis table, it was shown that Isfahan province has a defensive pattern.

Conclusions

Research results in Isfahan province show that climate is the most important factor in desertification. Vegetation is the second most important factor. Soil is the third most important factor. Water has the least impact on desertification. Using the results of the SWOT model, recommendations for appropriate management measures to minimize the damage caused by desertification are provided. Tackling desertification and sustainable development of affected areas requires a comprehensive and multifaceted approach. At the heart of this strategy is smart and sustainable management of natural resources.

Author Contributions

The author participated in all aspects of the article up to the final stage. All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We would like to thank the IMO for providing the observational data of the study area.

Ethical considerations

All text used in this research has been written in accordance with scientific and ethical principles.

Declaration of generative AI use

No generative AI was used in this study

Funding

The author declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

Conflict of interest

Author declares no conflict of interest.

ارزیابی مکانی شدت بیابان‌زایی با معیارهای اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و آب و ارائه برنامه مدیریت (مطالعه موردی: استان اصفهان)

سید علی موسوی^۱

۱. استادیار گروه مدیریت سرزمین‌های خشک، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. رایانامه: Mousaviali@kashanu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱ کلیدواژه‌ها: بیابان‌زایی، IMDPA، شاخص، ارزیابی مکانی، تحلیل چندمعیاره، استان اصفهان.	موضوع: تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسط فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی، منجر به بیابان‌زایی می‌شود. هدف: در این پژوهش، برای ارزیابی مکانی شدت بیابان‌زایی در استان اصفهان، از مدل IMDPA با چهار معیار اصلی پوشش گیاهی، خاک، اقلیم و آب استفاده شد. روش تحقیق: معیارها براساس مشاهدات میدانی و شرایط منطقه‌ای امتیازدهی شدند. نقشه شاخص‌های هر معیار با روش میانگین هندسی تلفیق گردید و سپس با نرم‌افزار ArcGIS، نقشه وضعیت شدت بیابان‌زایی هر معیار و نقشه نهایی استان تهیه شد. همچنین، با مدل SWOT، برنامه مدیریتی برای کاهش بیابان‌زایی تدوین گردید. یافته‌ها: نتایج حاکی است معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و آب به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی هستند. معیار اقلیم با ارزش هندسی ۳/۰۸ در کلاس شدید، و پوشش گیاهی (۲/۷۲)، خاک (۱/۹۸) و آب (۱/۰۷) در کلاس متوسط قرار گرفتند. شاخص‌های خشکی، بارش سالانه و تجدید پوشش گیاهی مهم‌ترین، و افت سفره آب زیرزمینی، بهره‌برداری از پوشش گیاهی و درصد سنگ و سنگریزه کم‌اهمیت‌ترین عوامل بودند. نتیجه‌گیری: نقشه نهایی نشان داد ۵/۵۲ درصد مساحت در کلاس کم و مابقی در کلاس متوسط بیابان‌زایی است. تحلیل SWOT الگوی تدافعی را برای استان اصفهان نشان داد. از میان نقاط قوت درونی، دانش بومی مناسب‌ترین و انتقال آب به استان‌های هم‌جوار کمترین اثر را نشان می‌دهد. در فرصت‌های بیرونی، توجه دولت به بیابان‌زدایی و احیای زاینده‌رود بیشترین و بالا بودن ساعات آفتابی برای پل خورشیدی کمترین تأثیر مثبت را دارند. نقاط ضعف درونی اقلیم خشک و کم‌آبی بیشترین تأثیر منفی و برای بیش‌ازحد دام کمترین اثر منفی را دارد؛ همچنین در تهدیدهای بیرونی، هم‌جواری با کویر و تولید ریزگرد بیشترین و مدیریت حاکمیتی ناکارآمد کمترین تأثیر منفی را نشان می‌دهند.

استناد: موسوی، سید علی. ارزیابی مکانی شدت بیابان‌زایی با معیارهای اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و آب و ارائه برنامه مدیریت (مطالعه موردی: استان اصفهان).

اکوهیدرولوژی، ۱۲(۳)، ۹۰۱-۹۲۶.

<http://doi.org/10.22059/ije.2025.404049.1889>



ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © سید علی موسوی.

مقدمه

امروزه بیابان به مناطق خشک و فراخشک اطلاق نمی‌شود، بلکه بیابان و بیابانی شدن سرزمین منوط به نوع برخورد انسان‌ها با طبیعت است. در سال‌های اخیر، بیابان‌های زیادی از بودن به شدن تبدیل شده‌اند و با تغییراتی که انسان به طبیعت داده شتاب و شدت بیشتری گرفته است (اختصاصی و مهاجری، ۱۳۷۴). طبق آخرین تعریف ارائه‌شده توسط UNEP^۱ در اجلاس محیط‌زیست و توسعه ملل متحد (UNCED^۲) در سال ۱۹۹۲، بیابان‌زایی یعنی تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب توسط عواملی چون تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی. بیابان‌زایی یکی از مهم‌ترین بحران‌های امروز جهان است. حدود ۲/۳ میلیارد نفر در حال حاضر در مناطقی در حال زندگی هستند که تحت‌تأثیر تخریب زمین قرار گرفته‌اند و حدود ۱/۱ میلیارد نفر در بیش از ۱۰۰ کشور از پیامدهای مستقیم بیابان‌زایی رنج می‌برند. این تخریب نه‌تنها امنیت غذایی، آبی و زیستی را تهدید می‌کند، بلکه با افزایش فقر، مهاجرت اجباری و بی‌ثباتی اجتماعی-اقتصادی، سایر نقاط جهان را نیز متأثر می‌سازد (صالحی و کرباسی، ۱۴۰۰). گسترش سریع بیابان‌زایی باعث تخریب محیط‌زیست، شرایط ناپایدار سیاسی محلی و هرج‌ومرج‌های اقتصادی اجتماعی می‌شود؛ به همین دلیل بیابان‌زایی در بسیاری از مطالعات مورد اهتمام است (ملکی، ۱۳۹۷). بیش از یک‌سوم اراضی جهان و بخش بزرگی از زمین‌های ایران در مناطق خشک و بیابانی واقع شده است (بتولی، ۱۳۹۷). مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای اکوسیستمی شکننده بوده و برای شوری‌زایی آمادگی دارند (دبنهام، ۱۹۹۲^۳). در این مناطق خشک شوری‌زایی باعث بیابانی شدن خاک‌ها و کاهش کیفیت آن شده است (دیانگ جیان لی و من چونو تیپ، ۲۰۱۱^۴). همچنین بارندگی اندک و تبخیر زیاد از سطح خاک به‌عنوان مهم‌ترین عامل تجمع عناصر نمکی و شور در خاک است (راسل، ۲۰۰۶^۵). ارزیابی و شناسایی اراضی در سیطره مخاطره شوری برای مدیریت زمین‌های کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مهم است (فریفته^۶ و همکاران، ۲۰۰۸)؛ این موضوع یعنی تجمع بیش از حد نمک محلول در خاک و آب که بیشتر در مناطق نیمه‌خشک و خشک شیوع دارد، مهم‌ترین پارامتر محدودکننده رشد گیاه به حساب می‌آید (بلیلاک، ۱۹۹۴^۷). در کشور ایران با روند سالانه یک درصد، بیابان‌زایی در حال توسعه یافتن است و پیامدهایی همچون شور شدن اراضی و کاهش کیفیت منابع آب، از بین رفتن مراتع و دشت‌های حاصلخیز، تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی و تخریب اراضی مرغوب دانست که این روند در مناطق شکننده و آسیب‌پذیر به‌ویژه قسمت‌های مرکزی، شرقی و جنوبی کشور دارای شدت اثر و سرعت بیشتری است. در همین راستا پیدا کردن روش‌ها و راهکارهای مدیریتی مناسب، برای ارزیابی علل اصلی بیابان‌زایی و پیشرفت آن در همه مدل‌های پیش‌بینی روند بیابان‌زایی، به‌ویژه در کشوری مثل ایران که ۸۵ درصد آن جزء اقلیم‌های فراخشک، نیمه‌خشک و خشک بوده، بیش از پیش ضرورت دارد (بیرویدیان، ۱۳۸۰). به‌دلیل اینکه پوشش گیاهی سطح زمین در طول زمان و به‌خاطر عوامل انسانی و طبیعی به‌صورتی تغییر پیدا کرده که عملکرد اکوسیستم و همه‌چیز را متأثر کرده است، باید این تغییرات پیش‌بینی و آشکارسازی گردیده و اکوسیستم، به‌طور مرتب تحت پایش قرار گیرد (کورانی‌فر، احمدوند و صمدی فروشانی، ۲۰۲۴). پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از معیارهای زیست‌محیطی برای بررسی وضعیت محیط‌زیست محسوب می‌شود و معمولاً به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد پروژه‌های احیای پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (اولیور، ۲۰۰۲^۸). تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، مستقیماً تأثیر بر روی پوشش سطح زمین دارند (لئو^۹ و همکاران، ۲۰۱۸؛ پن^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۸).

پیشینه پژوهش

امروزه شناخت دقیق‌تر عوامل و سازوکارهای مؤثر در شکل‌گیری پدیده بیابان‌زایی به‌منظور مدیریت اصولی و برنامه‌ریزی صحیح برای مناطق بیابانی و حفاظت از آن‌ها، بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. علاوه بر این، در پژوهش‌های علمی، بارها به

1. United Nations Environment Programme
2. United Nations Conference on Environment and Development
3. Debenham
4. Ding JianLi, ManChun & Tiyp
5. Rosel
6. Farifteh
7. Blaylock
8. Oliver
9. Luo
10. Pen

اهمیت پدیده جهانی بیابان‌زایی، تخریب زمین و پیامدهای ناشی از آن اشاره شده است (اخوان کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸). بدیهی است که برای مدیریت پایدار زیست‌محیطی و انجام اقدامات مرتبط با حفاظت محیط‌زیست، ارزیابی و پایش مستمر این فرایند امری ضروری است (یانگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). برای ارزیابی پدیده بیابان‌زایی، تحقیقات گسترده‌ای در مناطق مختلف جهان انجام شده که نتیجه آن ارائه مدل‌های مختلف برای تحلیل و بررسی بیابان‌زایی بوده است. مهم‌ترین مدل‌های در زمینه ارزیابی بیابان-FAO^۲ MEDALUS^۳، UNEP^۴، GLASOD TAXONOMY^۵، LADA^۶ و ASSOD^۷ است (مسعودی و الهایی، ۲۰۱۸). در کشور ایران هم مدل‌های ICD^۸، MICD^۹ و به‌تازگی IMDPA^{۱۰} ارائه شده است (خسروی، ۲۰۰۴؛ کمیسیون اروپا، ۱۹۹۹؛ بابای، بابای، خارین و اورلوفسکی،^{۱۱} ۱۹۹۳؛ باسو^{۱۲} و همکاران، ۱۹۹۹؛ حکیم‌زاده و وحدتی، ۲۰۱۸؛ کاسماس^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۹). هریک از مدل‌های مطرح‌شده دارای کاستی‌هایی هستند که با استفاده از آن‌ها در شرایط محیطی مختلف و اعمال اصلاحات به‌منظور سازگاری بیشتر، می‌توان عملکرد بهتری در ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی به دست آورد. کنتادور^{۱۳} و همکاران در سال ۲۰۰۸ حساسیت تخریب اراضی را با روش ESAs^{۱۴} در جنوب غرب اسپانیا بررسی کردند و دریافتند که نقشه بیابان‌زایی تهیه‌شده با این روش، تطابق بیشتری با شرایط طبیعی داشته و در مقایسه با سایر مدل‌ها از کیفیت بالاتری برخوردار است. بر همین اساس، برنامه جامعی برای کمی‌سازی معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار بر روند بیابان‌زایی در زیست‌بوم‌های طبیعی تدوین شد. بر پایه نتایج این طرح با روش‌شناسی ارزیابی کیفی و کمی در قالب مدل IMDPA ارائه شد (احمدی، ۱۳۸۳). استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تلفیق لایه‌های این معیارها یکی از مزیت‌های برجسته دیگر این مدل محسوب می‌شود (زهتاییان و همکاران، ۱۳۸۶). در پایان، نقشه بیابان‌زایی از میانگین هندسی شاخص‌ها و معیارهای مدل به دست می‌آید. همه اطلاعات مورد نیاز در مدل مذکور به سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شده تا با توجه به الگوریتم‌های تعریف‌شده، محاسبات مورد نیاز برای اندازه‌گیری شاخص‌ها را انجام دهد و درنهایت، نقشه بیابان‌زایی منطقه را به‌عنوان خروجی محاسبه نماید (زهتاییان، ۱۳۸۳). در این راستا در یک پژوهش با مدل IMDPA، شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز رفسنجان براساس معیارهای آب زیرزمینی شامل افت سطح آب، هدایت الکتریکی و جذب سدیم و فرونشست زمین و با استفاده از تصاویر سنتینل ارزیابی شد. نتایج نشان داد که براساس معیار آب زیرزمینی، ۲/۷۴، ۵۹/۰۷ و ۳۷/۱۵ از منطقه به‌ترتیب در کلاس‌های کم، متوسط، شدید و خیلی شدید بیابان‌زایی قرار دارد؛ فرونشست سالانه نیز بین کمتر از ۱ تا ۷ سانتی‌متر متغیر است. درنهایت، شدت بیابان‌زایی در سه کلاس کم، متوسط و شدید طبقه‌بندی شد که بیشترین مساحت مربوط به کلاس متوسط بود و نتایج برای مدیریت و برنامه‌ریزی جلوگیری از بیابان‌زایی مفید واقع شد (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۳). در پژوهشی دیگر در منطقه جنوب شرق اهواز با بهره‌گیری از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی IMDPA، ۲ معیار پوشش گیاهی و اقلیم از میان ۹ معیار اصلی انتخاب شد و شاخص‌های متعددی برای هریک تعیین گردید. نقشه نهایی بیابان‌زایی در ArcGIS با استفاده از میانگین هندسی معیارها تهیه گردید. نتایج نشان داد معیار پوشش گیاهی با ارزش عددی ۲/۰۶ تأثیر بیشتری نسبت به اقلیم با ارزش عددی ۱/۹۳ دارد و شدت کلی بیابان‌زایی منطقه با مقدار ارزش عددی ۱/۹۹ در کلاس متوسط قرار گرفت (کرامت‌زاده، فتحی و معاضد، ۱۴۰۱).

اهمیت این پژوهش به‌منظور کند شدن روند بیابانی شدن استان اصفهان، جلوگیری از تأثیرات نامطلوب بیابانی شدن بر عرصه‌های طبیعی، ضرورت برآورد و ارزیابی شمای کلی از شدت بیابان‌زایی، شناخت بهتر وضعیت منابع طبیعی جهت اجرای طرح‌های جلوگیری از

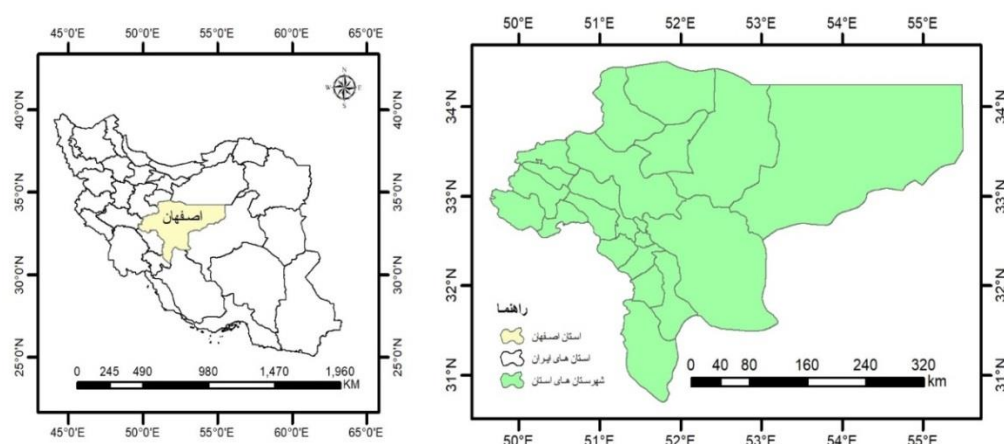
1. Yang
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations- United Nations Environment Programme
3. Mediterranean Desertification and Land Use Nations
4. Global Assessment of Soil Degradation
5. Land Degradation Assessment in Dry Lands
6. Asian Assessment of Soil Degradation
7. Iranian Classification of Desertification
8. Modified Iranian Classification of Desertification
9. Iranian Model of Desertification Potential Assessment
10. Babaev, Kharin and Orlovsky
11. Basso
12. Kosmos
13. Contador
14. Environmental Sensitive Areas to Desertification

پیشرفت بیابان، لزوم استفاده از روش صحیح بررسی روند و شدت بیابان‌زایی برای مدیریت عرصه‌ها و درنهایت، استفاده از مدلی جامع برای پایش و ارزیابی پدیده بیابان‌زایی در جهت برنامه‌ریزی صحیح و اصولی است. همچنین ارزیابی شدت بیابان‌زایی در برخی از مناطق استان اصفهان به‌صورت موردی بررسی گردیده، ولی به‌صورت جامع و استانی نبوده که در این پژوهش بدین موضوع پرداخته شده است. هدف از این پژوهش، ارزیابی شدت بیابان‌زایی استان اصفهان با استفاده از مدل IMDPA و ارائه برنامه مدیریت برای کاهش سرعت پیشرفت آن است.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با متوسط ارتفاع ۱۵۱۱ متر در فلات مرکزی ایران و جزء مناطق کوهپایه‌ای ایران به حساب می‌آید (عبدی و افشارزاده، ۱۳۹۱). این استان با وسعت ۱۰۷۰۱۹ کیلومتر مربع، حدود ۶/۶ درصد از مساحت کل کشور را شامل شده که در عرض جغرافیایی $30^{\circ} 43'$ تا $30^{\circ} 34'$ شمالی و در طول جغرافیایی $49^{\circ} 36'$ تا $55^{\circ} 33'$ شرقی واقع شده است. این استان دارای اقلیم نیمه‌بیابانی با بارندگی متوسط سالانه ۱۲۵ میلی‌متر، دمای متوسط سالانه $16/7$ درجه سانتی‌گراد، کمینه و بیشینه دمای ثبت‌شده درازمدت به ترتیب $10/6 -$ و $40/6$ درجه سانتی‌گراد است (عساکره، ۱۳۸۴) (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی استان اصفهان

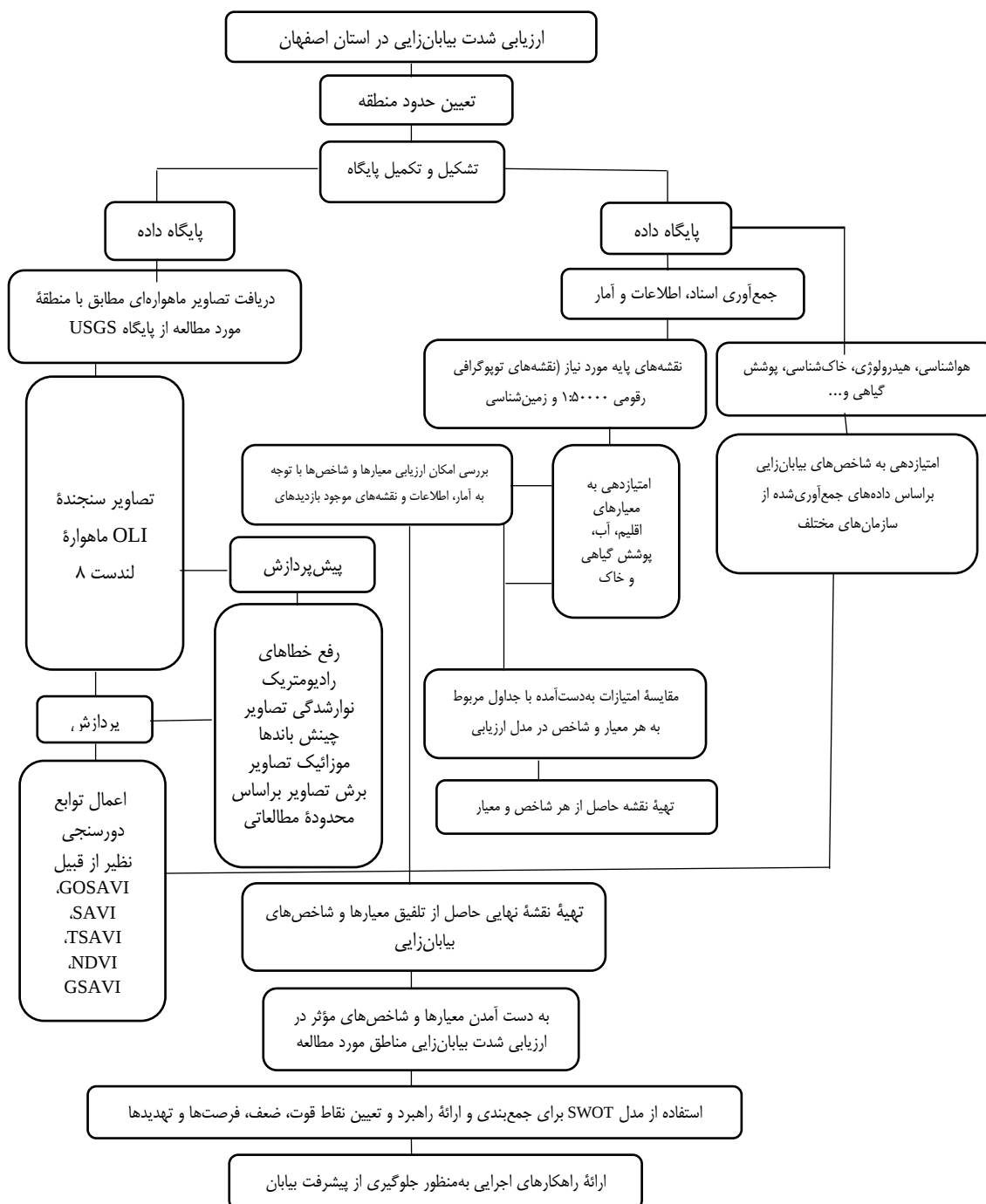
ارتفاعات غربی استان اصفهان، که اغلب پوشیده از برف هستند، به‌عنوان یکی از کانون‌های آبگیر دائمی ایران اهمیت ویژه‌ای دارند. این ارتفاعات با قرارگیری عمود بر مسیر جریان‌های مرطوب غربی (به‌ویژه در شمال غرب و غرب استان)، نقش کلیدی در تخلیه رطوبت ایفا می‌کنند. عمده بارش‌ها در فصول پاییز و زمستان به‌صورت برف بر این ارتفاعات می‌نشینند. این جریان‌ها عمدتاً از نوع مدیترانه‌ای بوده و رطوبت دریای مدیترانه را به مناطق مرکزی منتقل و تخلیه می‌نمایند (بیات و همکاران، ۱۳۹۲). از ویژگی‌های طبیعی برجسته استان می‌توان به وجود چاله‌های وسیع مستقل یا نیمه‌مستقل میان رشته‌کوه‌های پراکنده و حاکمیت شرایط زیست‌اقلیمی خشک اشاره کرد (تقوایی و صبوچی، ۱۳۹۶).

بررسی‌های اقلیمی نشان می‌دهند که استان اصفهان در کمربند بیابانی نیمکره شمالی قرار گرفته و حدود نیمی از مساحت آن را بیابان‌ها تشکیل می‌دهند. بارش اندک و تبخیر بالا از ویژگی‌های اصلی اقلیمی منطقه است که محدودیت‌های جدی برای حیات و فعالیت‌های اقتصادی ایجاد کرده است (گلدانی و همکاران، ۱۳۹۶). براساس طبقه‌بندی اقلیمی گسترش‌یافته دومارتن، اقلیم‌های موجود در استان شامل ۶۳ درصد از سطح استان دارای اقلیم فراخشک فراسرد تا فراخشک معتدل، ۲۱/۹ درصد اقلیم خشک فراسرد تا سرد، ۸ درصد اقلیم نیمه‌خشک فراسرد تا نیمه‌خشک معتدل، ۲/۹ درصد اقلیم مدیترانه‌ای فراسرد تا سرد، ۱/۶ درصد اقلیم نیمه‌مرطوب فراسرد تا سرد، ۰/۹ درصد اقلیم مرطوب فراسرد تا سرد و ۱/۷ درصد اقلیم خیلی مرطوب فراسرد تا سرد است (اسدی و باعقیده، ۱۳۹۵).

روش تحقیق

با توجه به نبود سیستم مشخصی برای رصد تغییرات معیارها و شاخص‌های پایداری در کشور، لازم است پیش از تخریب کامل

عرصه‌ها، روند نزولی تخریب شناسایی شود. این پژوهش کاربردی با روش کمی و مبتنی بر نرم‌افزار ArcGIS انجام شده است. داده‌های مورد نیاز از دو راه مطالعات اسنادی و بازدیدهای میدانی جمع‌آوری گردید؛ به این ترتیب که داده‌های اقلیمی و اداکیکی از مراکز تحقیقاتی آب و خاک اخذ شد، بازدیدهای میدانی متعددی از منطقه مطالعاتی به عمل آمد و نتایج با تصاویر ماهواره‌ای تلفیق گردید تا در نهایت نقشه‌های خروجی تولید شود. مراحل اجرای پژوهش شامل گردآوری اسناد، داده‌ها و آمار مرتبط مانند هواشناسی، هیدرولوژی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و دیگر موارد به همراه نقشه‌های پایه ضروری نظیر نقشه‌های توپوگرافی رقومی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ و زمین‌شناسی بود. ارزیابی معیارها و شاخص‌ها نیز با استناد به داده‌ها، اطلاعات و نقشه‌های موجود و در کنار بازدیدهای میدانی انجام گرفت. امتیازدهی به معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی بر پایه داده‌های دریافتی از سازمان‌های مختلف و مقایسه آن‌ها با جداول استاندارد هر معیار و شاخص در مدل ارزیابی بیابان‌زایی صورت پذیرفت (شکل ۲).



شکل ۲. فلوچارت روش تحقیق

جدول ۲. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار آب در مدل IMDPA

شاخص	کلاس بیابان‌زایی	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزیابی	امتیاز	۱/۰۰-۱/۵۰	۱/۵۱-۲/۵۰	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
	افت سفره زیرزمینی	<۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۵۰	>۵۰
	EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	<۷۵۰	۷۵۰-۲۲۵۰	۲۲۵۰-۵۰۰۰	>۵۰۰۰
	SAR ($\mu\text{mhos/cm}$)	<۱۵	۱۵-۲۶	۲۶-۳۲	>۳۲

نقشه کیفیت خاک (شامل شاخص‌های عمق، بافت، سنگریزه، شوری و قلیائیت) از پایگاه داده‌های رسمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵) تهیه شد. داده‌ها براساس نمونه‌برداری میدانی از بیش از ۲۰۰ نقطه در دشت‌های مرکزی (اصفهان-برخور، لنجان) با روش‌های استاندارد USDA (بافت) و EC (شوری) تحلیل و با کریجینگ در ArcGIS پهنه‌بندی گردیدند (صالحی و کرباسی، ۱۴۰۰) (جدول ۳).

جدول ۳. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار خاک در مدل IMDPA

شاخص ارزیابی	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
	امتیاز	۱/۰۰-۱/۵۰	۱/۵۱-۲/۵۰	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
	عمق مؤثر خاک (سانتی‌متر)	>۸۰	۵۰-۸۰	۲۰-۵۰	<۲۰
	بافت خاک	رسی - رسی شنی - سیلتی رسی	سیلتی لومی - لومی - سیلتی رسی	شنی لومی - لومی - شن	شنی - رس < ۶۰٪
	سنگ و سنگریزه (درصد)	<۱۵	۱۵-۳۵	۳۵-۶۵	>۶۵
	هدایت الکتریکی (ds/m)	<۴	۴-۸	۸-۱۶	>۱۶

برای تهیه و تولید نقشه پوشش گیاهی از شاخص‌های گیاهی NDVI، SAVI، RVI، DVI، SARVI، SAVI تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 و MODIS استفاده شد. به علاوه، برای برجسته‌سازی و افزایش تفاوت در انعکاس طیفی پوشش گیاهی، از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (NDVI) بهره گرفته شد. هنگامی که پوشش گیاهی بسیار خوب و متراکم باشد، این شاخص به عدد ۱+ نزدیک می‌شود، اما در صورت تخریب یا کاهش پوشش گیاهی، مقدار آن کاهش می‌یابد (جدول ۴).

جدول ۴. تعیین امتیاز شاخص‌های ارزیابی معیار پوشش گیاهی در روش IMDPA

شاخص	کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزیابی	امتیاز	۱/۰۰-۱/۵۰	۱/۵۱-۲/۵۰	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
وضعیت پوشش		گونه‌های مهاجم کمتر از ۵ درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل می‌دهد و کمتر از ۲۵ درصد ترکیب گیاهی از گونه‌های یک‌ساله است.	گونه‌های مهاجم ۵-۲۰ درصد ترکیب گیاهی را تشکیل داده و ۲۵-۵۰ درصد ترکیب گیاهی منطقه از گیاهان یک‌ساله است.	گونه‌های مهاجم ۲۰-۵۰ درصد ترکیب گیاهی را تشکیل داده و اکثر پوشش گیاهی منطقه از گیاهان یک‌ساله است.	گونه‌های مهاجم بیش از ۵۰ درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل داده و پوشش گیاهی منطقه از گیاهان یک‌ساله است.
		درصد پوشش تاجی دائمی بیش از ۳۰ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی ۱۵-۳۰ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی ۵-۱۵ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی کمتر از ۵ درصد
بهره‌داری از پوشش		آثار بوته‌کنی مشاهده نمی‌شود.	قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان نسبتاً زیاده‌تر از بیوماس سالانه	قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان زیاد و کاملاً محسوس	قطع بی‌رویه بوته‌ها، درختان و درختچه‌ها در حال حاضر و یا گذشته نه‌چندان دور
		چرا متعادل یا کمتر از ظرفیت و در فصل مناسب	مازاد دام تا ۲۵ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام ۲۵ تا ۵۰ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام بیش از ۵۰ درصد بیشتر از ظرفیت چرا
تجدید پوشش به‌نگاه		تجدید حیات به‌طور طبیعی انجام می‌شود.	تجدید حیات با هزینه کم امکان‌پذیر است.	تجدید حیات با هزینه زیاد امکان‌پذیر است.	تجدید حیات پوشش گیاهی بسیار مشکل یا غیرممکن و غیرقابل توجیه اکولوژیکی-اقتصادی
		نیازی به عملیات اصلاحی نیست.	عملیات احیای پوشش تاکنون مؤثر بوده است.	عملیات اصلاحی انجام‌شده نسبتاً موفق بوده است.	عملیات اصلاح و احیای پوشش تاکنون موفق نبوده است.

برای ارزیابی این معیارها اطلاعات کاملی از مطالعات آب‌های زیرزمینی و هیدرولوژیکی، هواشناسی و اقلیم‌شناسی، خاک‌شناسی و پوشش گیاهی در منطقه استفاده شد و هریک از این پارامترها به‌عنوان معیارهای بیابان‌زایی به‌صورت تک‌تک مورد مطالعه قرار گرفتند. درنهایت، نقشه‌های معیار شامل آب زیرزمینی، پوشش گیاهی، خاک و اقلیم با توجه به مدل جهت ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی تدوین شدند. سپس نقشه نهایی بیابان‌زایی با استفاده از این چهار نقشه و براساس رابطه ۱ ترسیم شد. به هر شاخص، براساس تأثیرش در بیابان‌زایی و با در نظر گرفتن شرایط منطقه، مطالعات میدانی و نظرات کارشناسی، وزنی بین ۱ تا ۴ اختصاص داده شد؛ به‌طوری‌که وزن ۱ نشان‌دهنده بهترین وضعیت و وزن ۴ بدترین وضعیت بود. برای هر شاخص براساس وزنی که به آن اختصاص داده شده بود، یک نقشه تهیه گردید. در این روش، هر معیار از طریق میانگین هندسی شاخص‌های مربوطه طبق رابطه ۱ محاسبه شده است:

$$\text{Index-X} = [(Layer-1).(layer-2)...(Layer-n)]^{1/n} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن Index-x معیار مورد نظر، Layer شاخص‌های هر معیار و N تعداد شاخص‌های آن معیار است. درنهایت، نقشه نهایی که نشان‌دهنده وضعیت بیابان‌زایی در کل منطقه است، از میانگین هندسی معیارهای ذکرشده به دست آمد که مطابق جدول ۵ در چهار کلاس طبقه‌بندی شد.

جدول ۵. توزیع فراوانی کلاس‌های شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی

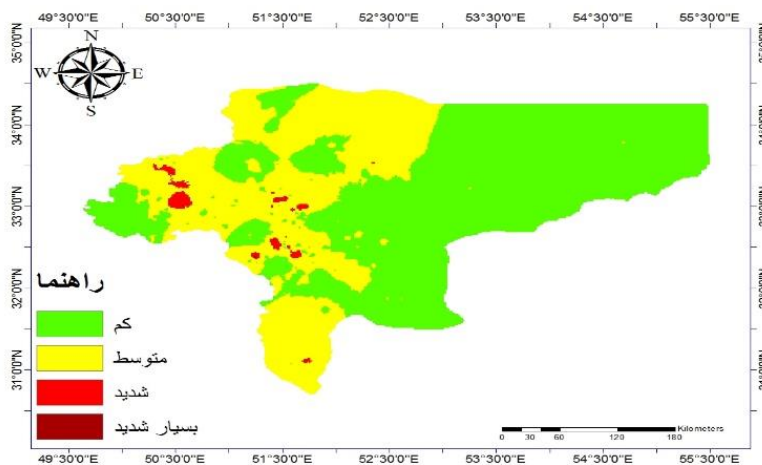
طبقه‌بندی کیفی شدت بیابان‌زایی	علامت	دامنه ارزش عددی
ناچیز و کم	۱	۱-۱/۵
متوسط	۲	۱/۵۱-۲/۵
شدید	۳	۲/۵۱-۳/۵
بسیار شدید	۴	۳/۵۱-۴

یافته‌های پژوهش

به‌منظور بررسی و تعیین شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه از مدل IMDPA در سطحی بالغ بر ۱۰۷ هزار کیلومتر مربع در استان اصفهان استفاده شد.

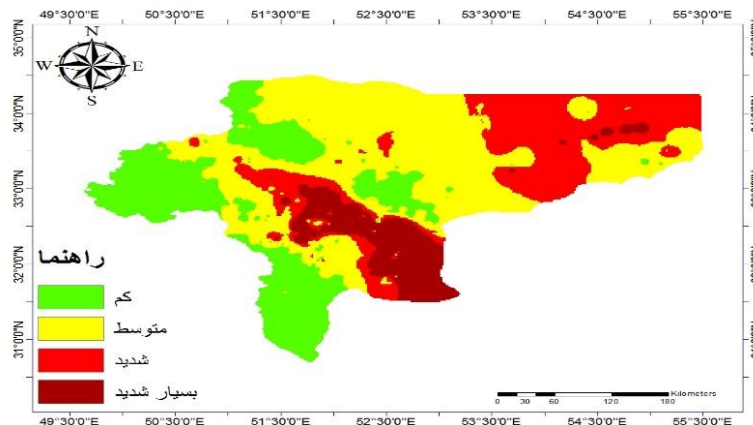
معیار آب

برای ارزیابی معیار آب و امتیازدهی به آن در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مدل مذکور و داده‌های موجود، از سه شاخص شامل افت سطح آب زیرزمینی، نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی بهره گرفته شده است. شاخص افت سطح سفره با ارزش عددی ۱/۵۰ کمترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه از نقطه‌نظر معیار آب دارد. تغییرات شاخص افت آب زیرزمینی در تمامی نقاط استان یکسان نبوده و از وضعیت افت بسیار شدید تا کم متغیر است. براساس نقشه مذکور، وضعیت بیابان‌زایی براساس شاخص افت سفره، در نیمه شرقی و قسمت‌هایی از نیمه غربی و جنوبی با روند بیابان‌زایی کم و اکثر نیمه غربی با روند بیابان‌زایی متوسط است. شدت بیابان‌زایی شدید و بسیار شدید در وسعت بسیار کم و تماماً در نیمه غربی استان است (شکل ۴).



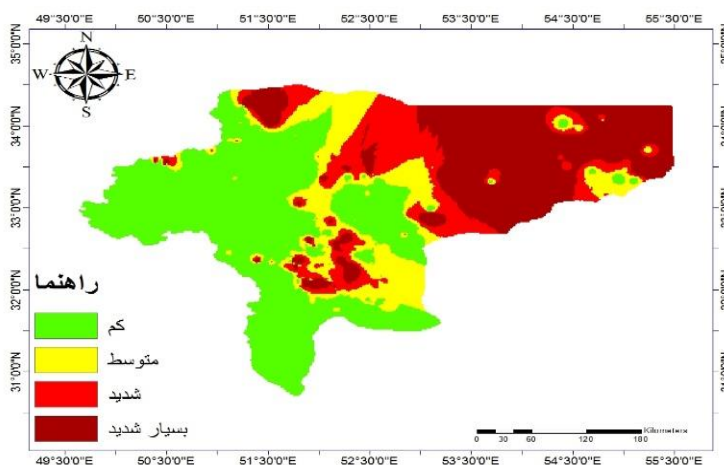
شکل ۴. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص افت سفره

در بین شاخص‌های سه‌گانه معیار آب در استان اصفهان، شاخص هدایت الکتریکی بیشترین سهم را در روند بیابان‌زایی با ارزش عددی ۲/۲۰ دارد. تغییرات شدت بیابان‌زایی در نیمه شرقی استان (نائین و خور بیابانک) متوسط تا شدید است. مناطقی از جنوب استان اصفهان (شهرستان) با شدت بیابان‌زایی شدید تا بسیار شدید و مناطق سمیرم، شهرضا، دهقان، کاشان و فریدون‌شهر با شدت بیابان‌زایی کم است. سایر مناطق دارای شدت بیابان‌زایی متوسط است (شکل ۵).



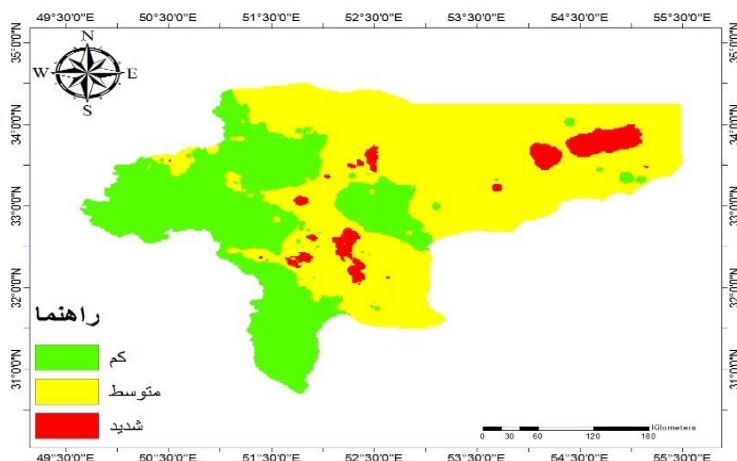
شکل ۵. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص هدایت الکتریکی

شاخص نسبت جذب سدیم با ارزش عددی ۲/۰۵ نسبت به شاخص شوری آب سهم کمتر و نسبت به شاخص افت سفره آب زیرزمینی سهم بیشتری در شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه دارد. بررسی‌ها نشان داد که قسمت نیمه شرقی منطقه وضعیت بهتری دارند و در کلاس کم‌شدت بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند. و کلاس‌های شدید و بسیار شدید بیابان‌زایی بیشتر در مناطق غربی استان قرار گرفته‌اند (شکل ۶).



شکل ۶. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص نسبت جذب سدیم

نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار آب نشان می‌دهد که ۳۵/۵۶ درصد از کل منطقه (۳۸۰۶۹/۴۰ کیلومتر مربع) در کلاس کم بیابان‌زایی قرار گرفته است و این مناطق عمدتاً در نیمه غربی استان واقع شده‌اند. ۵۹/۹۸ صد از کل منطقه (۶۴۲۱۴ کیلومتر مربع) در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته است و این مناطق بیشتر در نیمه شرقی استان واقع شده‌اند. ۴/۴۶ درصد از کل منطقه (۴۷۶۱/۶۰ کیلومتر مربع) در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است که به صورت پراکنده در سطح استان قرار دارد (شکل ۷).



شکل ۷. نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار آب منطقه مورد مطالعه

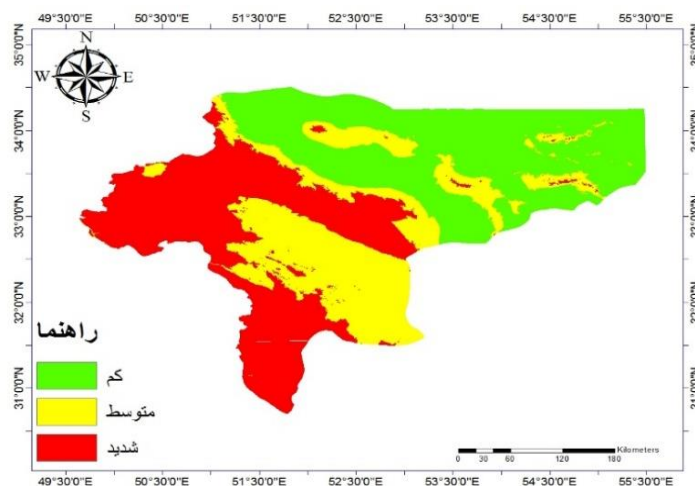
براساس جدول ۶ شاخص افت سفره در کلاس بیابان‌زایی یک و شاخص نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی آب در کلاس دو بیابان‌زایی قرار می‌گیرد، و در نهایت معیار آب با متوسط ارزش عددی $1/70$ در کلاس دو بیابان‌زایی قرار می‌گیرد (جدول ۶).

جدول ۶. متوسط هندسی ارزش عددی و کلاس بیابان‌زایی معیار آب

شاخص‌ها	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
افت سفره	$1/50$	I
نسبت جذب سدیم	$2/05$	II
هدایت الکتریکی	$2/20$	II

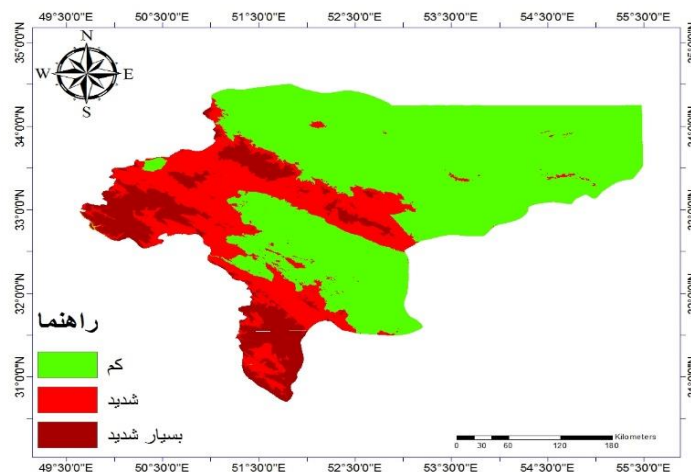
معیار خاک

برای بررسی و ارزیابی معیار خاک در منطقه مورد مطالعه، از چهار شاخص شامل عمق خاک، بافت خاک، درصد سنگ و سنگریزه، و هدایت الکتریکی استفاده شده است. از منظر شاخص عمق خاک نیمه غربی و قسمت کمی از نیمه شرقی استان در کلاس بیابان‌زایی متوسط و شدید و قسمت اعظم نیمه شرقی استان در کلاس بیابان‌زایی کم قرار می‌گیرد (شکل ۸).



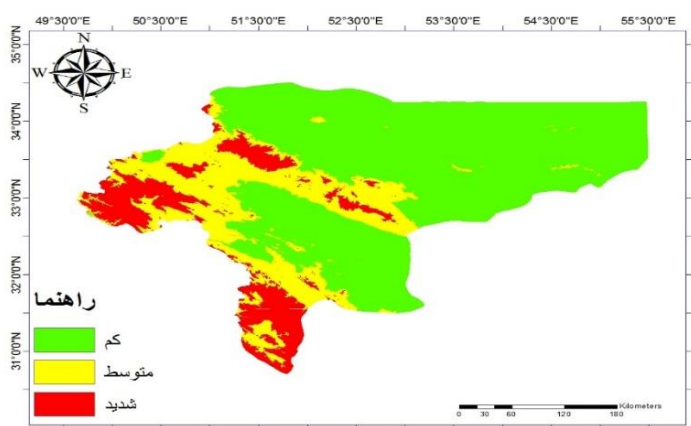
شکل ۸. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص عمق خاک

برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری که توسط بای کاس طرح گردیده، استفاده گردید. بدین منظور ۱۵۰ نمونه از ۵۰ پروفیل خاک در عمق ریشه به روش تصادفی سیستماتیک (شبکه‌ای ۵۰۰ متری) جمع‌آوری و با روش هیدرومتری بای کاس تحلیل شد. توزیع بافت در استان شامل لومی (۳۵٪)، رسی (۲۵٪)، شنی-لومی (۲۰٪)، سیلتی (۱۰٪) و شنی (۵٪) است که غالبیت بافت متوسط تا سنگین را نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج مرجوی و مشایخی (۱۴۰۳) در بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های استان اصفهان مطابقت دارد. براساس نقشه ارزش عددی شاخص بافت خاک، بیشترین مساحت استان شامل شهرستان‌های آران بیدگل، خور و بیابانک، نائین، اردستان و اصفهان دارای شدت بیابان‌زایی کم از بعد شاخص بافت خاک و سایر مناطق استان دارای شدت بیابان‌زایی شدید و بسیار شدید است (شکل ۹).



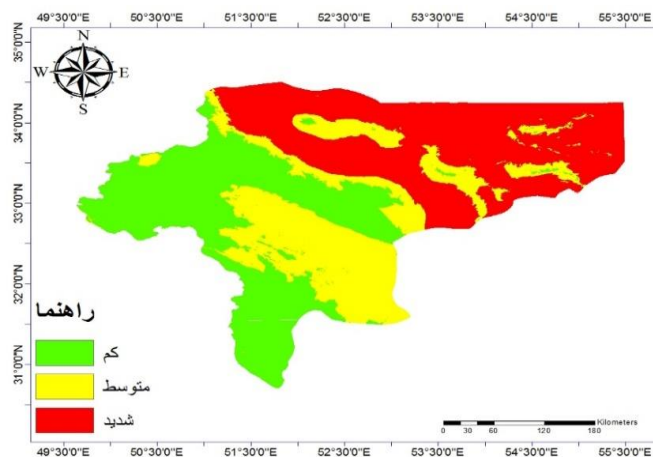
شکل ۹. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص بافت خاک

تغییرات شاخص درصد سنگ و سنگریزه در منطقه مورد مطالعه تقریباً منطبق با تغییرات شاخص بافت خاک است؛ به گونه‌ای که بیشتر مناطق نیمه شرقی استان و همچنین خود شهرستان اصفهان به همراه مناطق کمی از اطراف شهرستان اصفهان در کلاس بیابان‌زایی کم و سایر مناطق استان در کلاس بیابان‌زایی متوسط و شدید قرار دارد (شکل ۱۰).



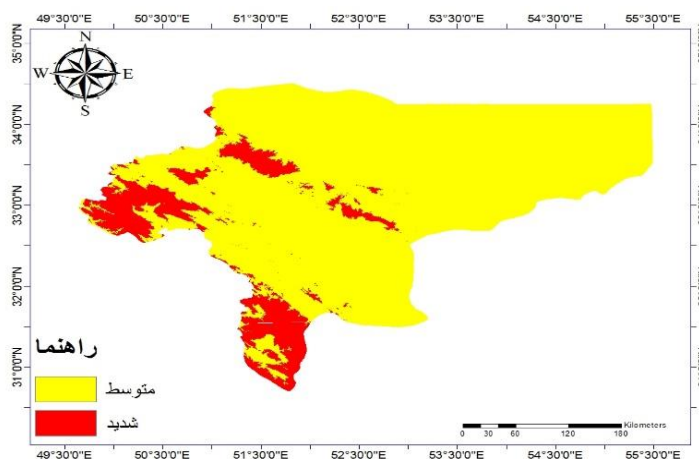
شکل ۱۰. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص درصد سنگ و سنگریزه خاک

شوری خاک توسط نگارنده با روش عصارة اشباع و هدایت‌سنج براساس ۱۵۰ نمونه از ۵۰ پروفیل خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تعیین شد. شاخص شوری خاک برخلاف سایر شاخص‌های معیار خاک در استان در کلاس بیابان‌زایی شدید و متوسط قرار گرفته و نیمه غربی استان در کلاس بیابان‌زایی متوسط و کم قرار می‌گیرد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص هدایت الکتریکی خاک

در نهایت، شکل ۱۲ نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ ۸۷/۵۰ درصد از کل منطقه (۹۳۶۶۱/۱۰ کیلومتر مربع) در کلاس متوسط بیابان‌زایی و ۱۲/۵۰ درصد از کل منطقه (۱۳۳۷۸/۹۰ کیلومتر مربع) در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است.



شکل ۱۲. نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار خاک منطقه مورد مطالعه

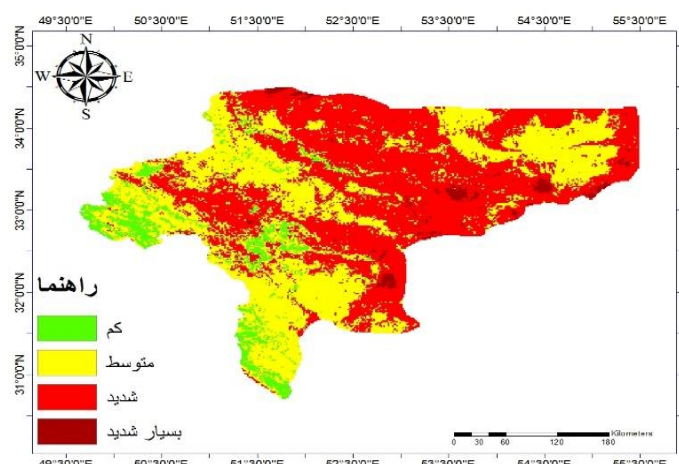
در نهایت، متوسط ارزش هندسی شاخص‌های معیار خاک در جدول ۷ نشان می‌دهد که بافت خاک بیشترین سهم را در شدت بیابان‌زایی منطقه دارد. بعد از آن به ترتیب، عمق خاک، هدایت الکتریکی و درصد سنگ و سنگ‌ریزه بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه ایفا می‌کند. همچنین کلاس بیابان‌زایی تمامی شاخص‌های معیار خاک در منطقه در کلاس دو بیابان‌زایی قرار می‌گیرد.

جدول ۷. متوسط هندسی ارزش عددی و کلاس بیابان‌زایی معیار خاک

شاخص‌ها	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
عمق خاک	۲/۲۲	II
بافت خاک	۲/۳۱	II
درصد سنگ و سنگ‌ریزه	۱/۹۶	II
هدایت الکتریکی	۲	II

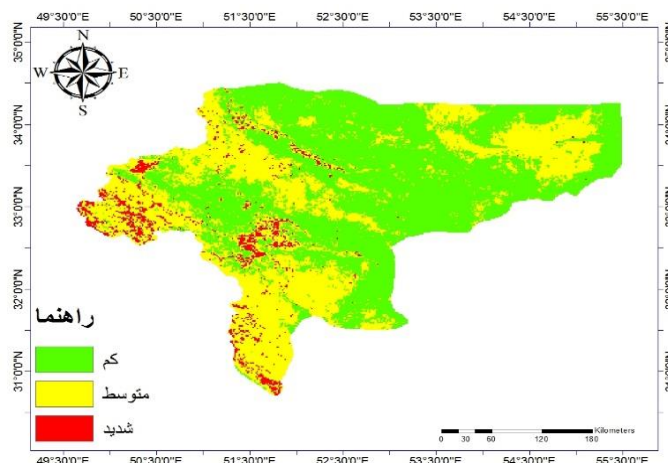
معیار پوشش گیاهی

برای ارزیابی و تحلیل معیار پوشش گیاهی و امتیازدهی به آن در منطقه مورد مطالعه، از سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی، بهره‌برداری از پوشش گیاهی و تجدید پوشش گیاهی بهره گرفته شده است. بیشترین وسعت کلاس بیابان‌زایی در منطقه از بعد وضعیت پوشش گیاهی در محدوده شدت بیابان‌زایی شدید می‌باشد که در تمامی سطح استان (به‌خصوص نیمه شرقی استان) پراکنده است. کلاس بیابان‌زایی متوسط، رتبه بعدی شدت بیابان‌زایی در منطقه را از بعد شاخص وضعیت پوشش گیاهی بر عهده دارد و همانند کلاس بیابان‌زایی شدید در کل سطح استان پراکنده است. کلاس بیابان‌زایی کم در سطح کمی از استان (نیمه غربی استان) قرار گرفته و کلاس بیابان‌زایی خیلی شدید در سطح بسیار کمی از استان پراکنده است. به‌طور کلی، استان اصفهان از بعد وضعیت پوشش گیاهی بیشتر در کلاس بیابان‌زایی متوسط و شدید قرار می‌گیرد (شکل ۱۳).



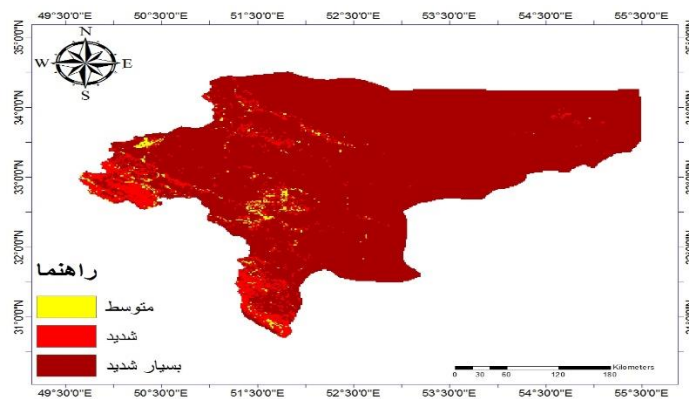
شکل ۱۳. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص وضعیت پوشش گیاهی

از بعد شاخص وضعیت بهره‌برداری از پوشش گیاهی سهم کلاس بیابان‌زایی کم در منطقه، بیشترین مقدار است، و سهم کلاس بیابان‌زایی متوسط رتبه بعدی و در نهایت کلاس بیابان‌زایی شدید کمترین سهم را در شدت بیابان‌زایی منطقه دارد. نیمه شرقی استان تماماً در کلاس بیابان‌زایی کم و متوسط و نیمه غربی، در هر سه کلاس بیابان‌زایی کم، متوسط و شدید قرار می‌گیرد (شکل ۱۴).



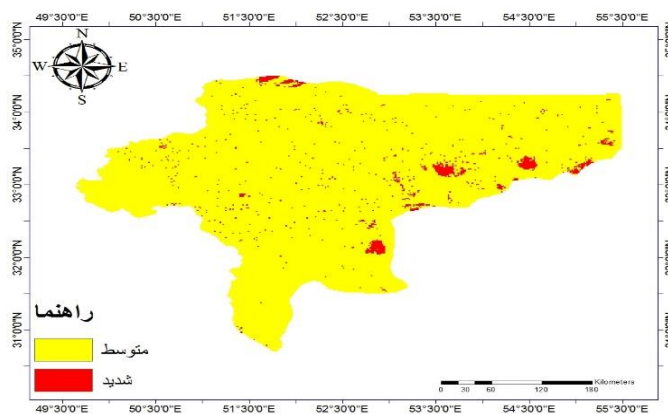
شکل ۱۴. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص بهره‌برداری از پوشش گیاهی

از بعد شاخص تجدید حیات پوشش گیاهی سهم کلاس بیابان‌زایی بسیار شدید در منطقه مورد مطالعه، بسیار زیاد و دو کلاس بیابان‌زایی شدید و متوسط کمتر است. در مجموع می‌توان گفت استان اصفهان از بعد شاخص تجدید پوشش گیاهی، دارای وضعیت بیابان‌زایی بسیار نامناسب است و در بین شاخص‌های معیار پوشش گیاهی، بیشترین سهم را در شدت بیابان‌زایی منطقه ایفا می‌کند (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص تجدید پوشش گیاهی

در نهایت شکل ۱۶ نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ ۹۷/۲۰ درصد از کل منطقه (۱۰۴۰۴۴ کیلومتر مربع) در کلاس بیابان‌زایی متوسط و ۲/۸۰ درصد از کل منطقه (۳۰۰۱ کیلومتر مربع) در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است.



شکل ۱۶. نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

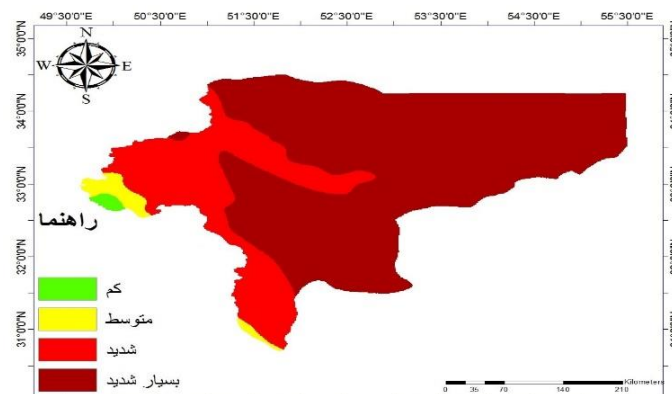
براساس جدول ۸ شاخص تجدید پوشش گیاهی با ارزش عددی ۳/۵۰ مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی (کلاس سه بیابان‌زایی) از بعد معیار پوشش گیاهی در منطقه است و شاخص‌های وضعیت و بهره‌برداری از پوشش گیاهی به ترتیب در کلاس‌های بعدی بیابان‌زایی (کلاس دو بیابان‌زایی) در منطقه از بعد معیار پوشش گیاهی قرار می‌گیرند.

جدول ۸. متوسط هندسی ارزش عددی و کلاس بیابان‌زایی معیار پوشش گیاهی

شاخص‌ها	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
وضعیت پوشش	۲/۲۰	II
بهره‌برداری از پوشش	۱/۵۹	II
تجدید پوشش	۳/۵۰	III

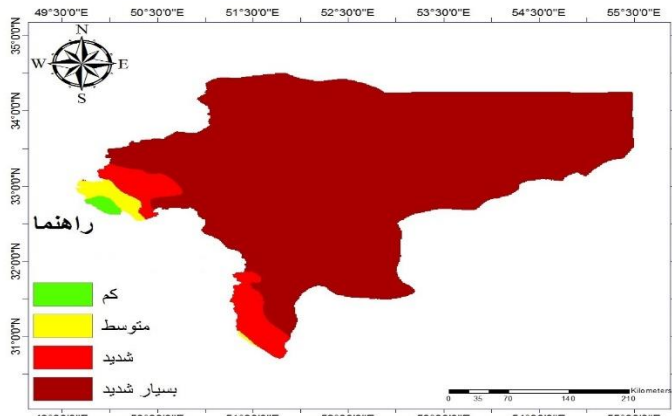
معیار اقلیم

برای ارزیابی معیار اقلیم، از سه شاخص شامل میزان بارش سالانه، شاخص خشکی UTI و پایداری دوره‌های خشکسالی بهره‌گیری شده است. در منطقه مورد مطالعه، مقدار بارش تغییرات زیاد و چشمگیری دارد که یکی از این عوامل، تغییرات ارتفاعی منطقه بین ۶۸۵ متر یا ۴۴۰۵ متر، و دیگری هم‌جواری این استان با استان‌های مختلف با آب‌وهوای متنوع است. مناطق شرقی استان در کلاس بیابان‌زایی بسیار شدید، قسمت اعظم نیمه غربی در کلاس بیابان‌زایی شدید و مناطقی از شهرستان‌های سمیرم، فریدون و فریدون‌شهر در کلاس‌های بیابان‌زایی کم و متوسط قرار می‌گیرد (شکل ۱۷).



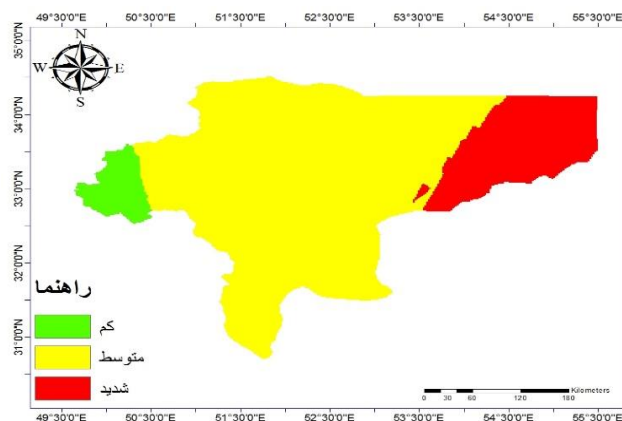
شکل ۱۷. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص مقدار بارش سالانه اقلیم

در مورد شاخص خشکی UTI، نتایج نیز مشابه شاخص مقدار بارش است و تمامی عوامل مذکور، روی شاخص خشکی نیز تأثیر گذاشته و باعث کلاس‌های بیابان‌زایی متفاوت در سطح استان از منظر شاخص خشکی شده است؛ به گونه‌ای که شهرستان فریدون شهر در کلاس بیابان‌زایی کم و متوسط، شهرستان سمیرم و فریدون در کلاس بیابان‌زایی شدید و سایر مناطق استان در کلاس بیابان‌زایی بسیار شدید قرار می‌گیرد (شکل ۱۸).



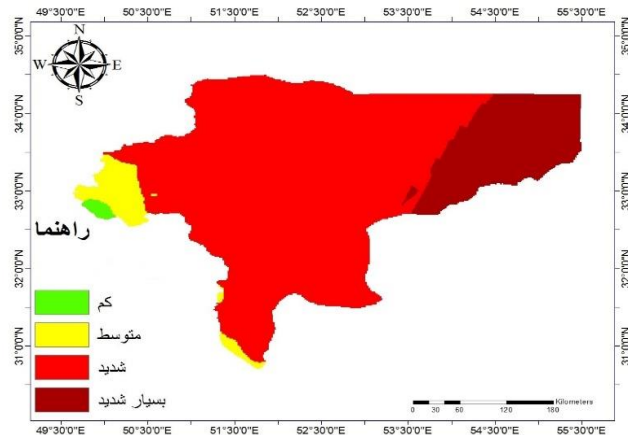
شکل ۱۸. نقشه وضعیت بیابان‌زایی شاخص خشکی UTI اقلیم

در مورد شاخص تداوم خشکسالی، کلاس بیابان‌زایی شدید مربوط به مناطق شرقی استان شامل شهرستان‌های خور بیابانک و نائین است. کلاس بیابان‌زایی کم مربوط به شاخص خشکسالی مربوط به مناطق کمی از نیمه غربی استان شامل شهرستان‌های فریدون و فریدون شهر است و سایر مناطق استان (قسمت اعظم استان) در کلاس بیابان‌زایی متوسط از بعد شاخص خشکسالی معیار اقلیم قرار می‌گیرد (شکل ۱۹).



شکل ۱۹. نقشه وضعیت بیابان‌زایی تداوم خشکسالی اقلیم

نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار اقلیم منطقه نشان می‌دهد ۵۸/۰ درصد منطقه در کلاس کم و غیرقابل ملاحظه شامل مناطق غربی شهرستان فریدون‌شهر، ۴/۶۳ درصد منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی شامل مناطقی از سمیرم، فریدن و فریدون‌شهر، ۷۷/۶۰ درصد منطقه در کلاس شدید بیابان‌زایی که در نیمه غربی و قسمتی از نیمه شرقی استان و ۱۷/۱۹ درصد منطقه در کلاس بسیار شدید بیابان‌زایی که در نیمه شرقی استان قرار دارد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰. نقشه وضعیت بیابان‌زایی معیار اقلیم منطقه مورد مطالعه

بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که شاخص خشکی UTI با ارزش عددی ۳/۸۹ مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی از بعد معیار اقلیم (کلاس چهار بیابان‌زایی) در منطقه بوده است. همچنین شاخص مقدار بارش سالانه (کلاس سه بیابان‌زایی) و تداوم خشکسالی (کلاس دو بیابان‌زایی) به ترتیب اولویت بعدی شدت بیابان‌زایی در استان اصفهان از بعد معیار اقلیم است (جدول ۹).

جدول ۹. متوسط هندسی ارزش عددی و کلاس بیابان‌زایی معیار اقلیم

شاخص‌ها	ارزش عددی	کلاس بیابان‌زایی
مقدار بارش سالانه	۳/۵۰	III
شاخص خشکی UTI	۳/۸۹	VI
تداوم خشکسالی	۲/۰۹	II

در ارزیابی شاخص‌های مؤثر بر بیابان‌زایی منطقه و براساس اطلاعات جدول ۱۰، شاخص‌های خشکی (کلاس بیابان‌زایی بسیار شدید) مانند مقدار بارش سالانه و تجدید پوشش گیاهی (کلاس بیابان‌زایی شدید) بیشترین نقش را در تشدید بیابان‌زایی منطقه دارند. در مقابل، شاخص‌هایی مانند افت سطح آب زیرزمینی (کلاس بیابان‌زایی کم)، بهره‌برداری از پوشش گیاهی، و درصد سنگریزه‌های سطحی خاک (کلاس بیابان‌زایی متوسط) کمترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه نشان می‌دهند. سایر شاخص‌ها در کلاس بیابان‌زایی متوسط تأثیر خود را در بیابان‌زایی استان اصفهان بر جای می‌گذارند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. متوسط هندسی ارزش عددی و کلاس بیابان‌زایی شاخص‌های منطقه مورد مطالعه

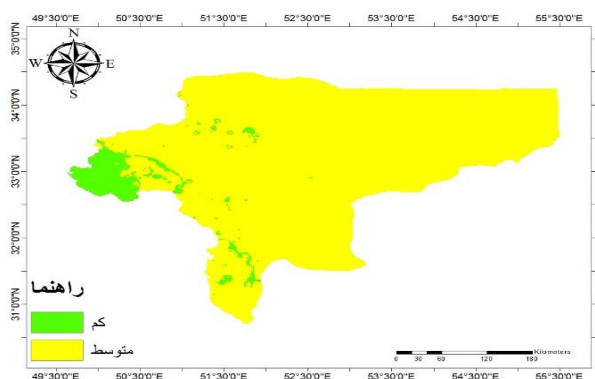
شاخص‌ها	ارزش عددی	وضعیت بیابان‌زایی
شاخص خشکی UTI	۳/۸۹	خیلی شدید
مقدار بارش سالانه	۳/۵۰	شدید
تجدید پوشش	۳/۵۰	شدید
بافت خاک	۲/۳۱	متوسط
عمق خاک	۲/۲۲	متوسط
هدایت الکتریکی آب	۲/۲۰	متوسط
وضعیت پوشش	۲/۲۰	متوسط
تداوم خشکسالی	۲/۰۹	متوسط
نسبت جذب سدیم آب	۲/۰۵	متوسط
هدایت الکتریکی خاک	۲	متوسط
درصد سنگ و سنگریزه	۱/۹۶	متوسط
بهره‌برداری از پوشش	۱/۵۹	متوسط
افت سفره آب زیرزمینی	۱/۵۰	کم

همچنین در بررسی معیارهای مؤثر در بیابان‌زایی منطقه براساس جدول ۱۱ معیار اقلیم با ارزش هندسی ۳/۰۸ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه گذاشته که این معیار در کلاس بیابان‌زایی شدید قرار می‌گیرد. سایر معیارها شامل پوشش گیاهی، خاک و آب بعد از عامل اقلیم به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی منطقه هستند که تماماً در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار می‌گیرند.

جدول ۱۱. متوسط هندسی ارزش عددی و کلاس بیابان‌زایی معیارهای منطقه مورد مطالعه

معیارها	ارزش عددی	وضعیت بیابان‌زایی
اقلیم	۳/۰۸	شدید
پوشش گیاهی	۲/۲۷	متوسط
خاک	۱/۹۸	متوسط
آب	۱/۷۰	متوسط

براساس ارزیابی‌ها و بررسی‌های صورت‌گرفته در منطقه مورد مطالعه، میانگین هندسی شاخص کمی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه، با توجه به چهار معیار بررسی‌شده، برابر با ۱/۹۵ محاسبه شده است. این مقدار براساس جدول امتیازدهی مدل در طبقه‌بندی بیابان‌زایی متوسط قرار می‌گیرد. بنابراین نقشه وضعیت فعلی شدت بیابان‌زایی منطقه نشان می‌دهد: ۵/۵۲ درصد از منطقه در کلاس کم بیابان‌زایی که به‌صورت پراکنده در نیمه غربی استان و ۹۴/۴۸ درصد از منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته که تمامی مناطق شرقی و قسمت اعظم نیمه غربی استان را در بر می‌گیرد (شکل ۲۱).



شکل ۲۱. نقشه وضعیت فعلی شدت بیابان‌زایی منطقه

استفاده از مدل SWOT برای جمع‌بندی و ارائه راهبرد

در راستای شناخت قابلیت‌های موجود در استان اصفهان از نتایج مدل IMDPA استفاده شد و در راستای شناخت نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای موجود در منطقه از مدل برنامه‌ریزی راهبردی SWOT استفاده شد. در گام اول الگوی SWOT، فهرستی از فرصت‌ها، تهدیدها، نقاط قوت و ضعف برای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی استان‌های اصفهان تهیه شد. در گام دوم، پرسش‌نامه از فهرست تهیه‌شده طراحی و به‌صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند برای ۳۰ نفر از اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، دانشجویان کارشناسی‌ارشد و دکتری و کارشناسان نخبه و خبره ادارات منابع طبیعی ارسال گردید که پرسش‌نامه‌ها تکمیل و عودت داده شد. درنهایت با استفاده از امتیازات نخبگان در هر بخش، راهبردهای پیشنهادی برای کاهش اثرات بیابان‌زایی و جلوگیری از گسترش آن در بخش‌های مختلف استان ارائه گردید. برای تأیید پایایی پرسش‌نامه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ضریب آلفای کرونباخ برای هریک از مؤلفه‌ها محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۱۲) آمده است که نشان‌دهنده پایایی مطلوب پرسش‌نامه در هریک از این مؤلفه‌ها بود.

جدول ۱۲. محاسبه پایایی پرسش‌نامه طراحی‌شده از طریق ضریب آلفای کرونباخ

ردیف	مؤلفه‌های پژوهش	تعداد عوامل	آلفای کرونباخ
۱	نقاط قوت	۱۶	۰/۸۰
۲	نقاط ضعف	۱۴	۰/۸۳
۳	نقاط فرصت	۱۳	۰/۸۴
۴	نقاط تهدید	۱۳	۰/۸۱

نتایج مربوط به اجزای مدل SWOT و امتیازدهی این اجزا برای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی استان اصفهان در مورد طرح مورد نظر در جدول ۱۳ و ۱۴ آورده شده است.

جدول ۱۳. نتایج آنالیز عوامل درونی وضعیت بیابان‌زایی استان اصفهان

ردیف	نقاط قوت (Strengths) و نقاط ضعف (Weaknesses)	ضریب اهمیت	رتبه	امتیاز نهایی
۱	وضعیت خوب اقلیمی و آب‌وهوایی در مناطق غربی استان	۰/۰۵۳۹۰۳	۳	۰/۱۶۱۷۱
۲	تنوع زیستی بالا و پوشش گیاهی خوب در غرب استان	۰/۰۵۳۲۸۴	۴	۰/۲۱۳۱۳۵
۳	وجود رودخانه زاینده‌رود به‌عنوان شاه‌رگ اصلی آبی در استان و عبور آن از چندین شهرستان و منتهی شدن آن به باتلاق گاوخونی در سال‌های اخیر به‌صورت زیرقشری و جریانی	۰/۰۵۱۴۲۵	۳	۰/۱۵۴۲۷۵
۴	اقلیم چهار فصل استان به‌لحاظ وسعت زیاد آن و هم‌جواری با چندین اقلیم مختلف استان‌های همسایه	۰/۰۵۰۱۸۶	۳	۰/۱۵۰۵۵۸
۵	واقع شدن استان در مرکز کشور و راه‌های ترانزیتی بسیار خوب برای دسترسی	۰/۰۴۷۰۸۸	۴	۰/۱۸۸۵۵۲
۶	وجود چندین تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب در شهر اصفهان و شهرستان‌های این استان و استفاده به‌عنوان منبع آبی برای کاشت گیاهان بیابانی	۰/۰۵۳۲۸۴	۴	۰/۲۱۳۱۳۵
۷	وجود صنایع و معادن زیاد در استان و امکان انتقال نیروی کار از بخش کشاورزی به این بخش‌ها	۰/۰۵۶۲۸۲	۴	۰/۲۲۵۵۲۷
۸	تمایل عمومی مناسب مردم محلی به حفظ محیط‌زیست در سطح استان	۰/۰۵۸۲۵	۴	۰/۲۳۲۹۶۲
۹	وجود دانش بومی مناسب در سطح استان در جهت سازگاری با اقلیم خشک	۰/۰۵۹۴۸	۴	۰/۲۳۷۹۱۸
۱۰	انتقال بخشی از آب استان به استان‌های هم‌جوار مانند یزد با وجود کمبود شدید آب در این مناطق	۰/۰۵۶۳۸۲	۱	۰/۰۵۶۳۸۲
۱۱	کشت محصولات با ارزش اقتصادی پایین و مصرف بالای آب	۰/۰۵۸۸۶	۱	۰/۰۵۸۸۶
۱۲	اقلیم خشک و وضعیت شدید کم‌آبی استان و تأثیر منفی خشکسالی‌های اخیر بر منابع آبی سطحی و زیرسطحی	۰/۰۶۰۰۹۹	۱	۰/۰۶۰۰۹۹
۱۳	واقع شدن قسمت اعظم استان در ناحیه کویری و بیابانی و وجود کانون بحران ریزگرد در شرق استان	۰/۰۵۹۴۸	۱	۰/۰۵۹۴۸
۱۴	پوشش گیاهی ضعیف و مساحت زیادی از مناطق بدون پوشش در نواحی شرقی و شمالی استان	۰/۰۵۵۷۶۲	۱	۰/۰۵۵۷۶۲
۱۵	عمق کم خاک در مناطق غربی و استفاده بیش از حد از مراتع و اراضی کشاورزی و چرای بیش از حد دام و سیر قهقراپی مراتع در این مناطق	۰/۰۵۶۳۸۲	۱	۰/۰۵۶۳۸۲
۱۶	حفر تعداد زیاد چاه‌های عمیق و افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق غربی و نبود رودخانه‌های فصلی و دائمی در مناطق شرقی استان	۰/۰۵۸۲۴	۱	۰/۰۵۸۲۴
۱۷	وابستگی آب زاینده‌رود به ارتفاعات بالاتر (شهرکرد) و امکان کاهش حقایقه این رودخانه	۰/۰۵۵۱۴۳	۲	۰/۱۱۰۲۸۵
۱۸	استخراج بسیار زیاد منابع معدنی و سنگ‌های معدنی بدون فراوری از شهرستان‌های شرقی استان و از بین بردن مناظر طبیعی و تخریب اراضی در این مناطق	۰/۰۵۶۳۸۲	۲	۰/۱۱۲۷۶۳
	مجموع	۱		۲/۴۰۵۸۲۴

جدول ۱۴. نتایج آنالیز عوامل بیرونی وضعیت بیابان‌زایی استان اصفهان

ردیف	فرصت‌ها (Opportunities) و تهدیدها (Threats)	ضریب اهمیت	رتبه	امتیاز نهایی
۱	توجه خاص دولت به بحث بیابان‌زدایی استان و اختصاص ردیف اعتباری به این موضوع و همچنین نگاه ویژه دولت برای احیای رودخانه زاینده‌رود به‌عنوان شاه‌رگ حیاتی استان	۰/۰۷۳۳۰۷	۴	۰/۲۹۳۲۲۷
۲	تأکید استاندار و فرمانداران بر تخصیص حقایقه استان نسبت به استان‌های هم‌جوار	۰/۰۶۴۵۴۲	۳	۰/۱۹۳۶۲۵
۳	ترویج کشاورزی مکانیزه و جدید، استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی تخصصی و احداث مجتمع‌های کشت و صنعت با هدف راندمان بیشتر و هدررفت کمتر در سطح استان	۰/۰۶۹۳۲۳	۳	۰/۲۰۷۹۶۸
۴	اهتمام دولت به نصب سیستم‌های آبیاری نوین و اختصاص وام‌های کم‌بهره برای اجرای سیستم آبیاری نوین برای کشاورزان	۰/۰۶۸۵۲۶	۳	۰/۲۰۵۵۷۸
۵	بالا بودن ساعات آفتابی استان و ایجاد انگیزه برای ساکنان مناطق کویری برای نصب پل‌های خورشیدی برای تولید برق و درآمدزایی مردم و کم شدن فشار بر اراضی کشاورزی و منابع طبیعی	۰/۰۶۶۹۳۲	۳	۰/۲۰۰۷۹۷
۶	وجود جاذبه‌های گردشگری متعدد در این مناطق و همچنین امکان رونق اکوتوریسم بیابان در این استان و کم شدن فشار بر اراضی کشاورزی و منابع طبیعی	۰/۰۷۲۵۱	۴	۰/۲۹۰۰۴
۷	تمایل به استفاده از کاشت گلخانه‌ای در بخش کشاورزی و استفاده از آب‌های نامتعارف برای آبیاری گیاهان بیابانی	۰/۰۷۱۷۱۳	۴	۰/۲۸۶۸۵۳
۸	هم‌جواری استان با استان‌های با اقلیم گرم و خشک (قم، یزد و سمنان) و تأثیرات منفی آن	۰/۰۷۶۴۹۴	۱	۰/۰۷۶۴۹۴
۹	هم‌جواری دریاچه نمک قم، کویر مرند و باتلاق خشک‌شده گاوخونی با شهرستان‌های استان و تولید ریزگرد و نمک بر اثر فرسایش بادی و حمل آن به شهرها و اراضی کشاورزی و تخریب سرزمین	۰/۰۷۳۳۰۷	۱	۰/۰۷۳۳۰۷

ردیف	فرصت‌ها (Opportunities) و تهدیدها (Threats)	ضریب اهمیت	رتبه	امتیاز نهایی
۱۰	آلوده شدن آب زاینده‌رود و بقیه رودخانه‌های دائمی استان به هنگام گذشتن از شهرها و مناطق صنعتی همچون فولاد مبارکه و رسوب فلزات سنگین و سمی به این آب و تحت‌تأثیر قرار گرفتن اراضی پایین‌دست و تخریب پوشش گیاهی و جانوری	۰/۰۷۳۳۰۷	۱	۰/۰۷۳۳۰۷
۱۱	خالی از سکنه بودن قسمت بزرگی از مناطق شرقی و شمالی استان به‌لحاظ قرار گرفتن در کویر مرکزی ایران و کمبود امکانات برای چند شهر کوچک قرارگرفته در این نقاط و اهمیت راهبردی نقاط خالی از سکنه به‌لحاظ امنیتی	۰/۰۷۰۹۱۶	۱	۰/۰۷۰۹۱۶
۱۲	وجود مدیریت حاکمیتی در اجرای طرح‌های منابع طبیعی (به‌جای مدیریت مشارکتی) و همچنین عدم اجرای صحیح طرح‌های منابع طبیعی با توجه به عدم نظارت کافی و عدم پرداخت بموقع هزینه‌های طرح‌ها توسط دولت	۰/۰۷۱۷۱۳	۱	۰/۰۷۱۷۱۳
۱۳	وجود تفکر ارجحیت کامل فعالیت‌های صنعتی و معدنی بر حفظ محیط‌زیست در سطح استان و تخریب منابع طبیعی استان	۰/۰۷۳۳۰۷	۱	۰/۰۷۳۳۰۷
۱۴	تغییر تنوع پوشش گیاهی و تنوع زیستی منطقه و ورود گونه‌هایی غیربومی و ناسازگار با شرایط منطقه با آثار مخرب	۰/۰۷۴۱۰۴	۱	۰/۰۷۴۱۰۴
	مجموع	۱		۲/۱۹۱۲۳۵

استفاده از نتایج مربوط به معیارهای بیابان‌زایی در استان اصفهان براساس جدول تجزیه و تحلیل مدل SWOT نشان داد استان اصفهان الگوی تدافعی را به خود اختصاص داد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد اقلیم مهم‌ترین عامل بیابان‌زایی در استان اصفهان است، زیرا تبخیر و تعرق بالا و کمبود بارندگی به‌ویژه در نواحی مدیرانه‌ای تأثیر تعیین‌کننده‌ای دارد. تنوع اقلیمی استان ناشی از هم‌جواری با مناطق بیابانی فلات مرکزی، رشته‌کوه‌های زاگرس و تغییرات ارتفاعی است که بر بارش، دما و تبخیر اثر گذاشته و آب‌وهوای بیابانی را در شرق، مرکز و شمال و اقلیم نیمه‌مرطوب را در غرب و جنوب غربی ایجاد کرده است. در نتیجه، اکثر مناطق استان شدت بیابان‌زایی شدید تا خیلی شدید را تجربه می‌کنند که با یافته‌های صالحی و کرباسی (۱۴۰۰) در بررسی نقش عوامل انسان‌ساخت در بیابان‌زایی شرق اصفهان هم‌خوانی دارد. پوشش گیاهی دومین عامل مؤثر است. عوامل اقلیمی بر پوشش گیاهی تأثیر گذاشته و از شرق به غرب و از شمال به جنوب، تراکم پوشش افزایش می‌یابد. با این حال، برداشت بیش از حد مجاز در مناطق غربی و جنوب غربی و شرایط اقلیمی نامساعد در شرق، کل استان را در وضعیت شدید تا خیلی شدید از نظر تجدید پوشش گیاهی قرار داده است. این نتایج با مطالعات هادیان و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی تولید خالص اولیه با استفاده از داده‌های MODIS و Landsat در مناطق خشک اصفهان و همچنین برهانی و همکاران (۱۳۸۹) در تحلیل روند تغییرات مراتع استپی طی دوره هشت‌ساله مطابقت دارد. خاک سومین عامل مهم است. خاک‌های کوهستانی و کوهپایه‌ای به دلیل کم‌عمقی و بافت سنگلاخی، شدت بیابان‌زایی بالایی دارند، درحالی‌که خاک‌های دشتی و اطراف زاینده‌رود از عمق و حاصلخیزی بیشتری برخوردارند. اما در شرق استان، خاک‌های بیابانی با محتوای بالای گچ و نمک، شوری را به مشکل اصلی تبدیل کرده‌اند که با نتایج گنجلی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی تغییرات شوری خاک شمال استان اصفهان هم‌خوانی دارد. آب کمترین تأثیر را دارد. مناطق غربی و جنوب غربی دارای رودخانه‌های دائمی هستند، اما شرق فاقد آن است. شوری آب‌های زیرزمینی در شرق و شمال و افت سطح آب در غرب، شاخص‌های کلیدی بیابان‌زایی مرتبط با آب را تشکیل می‌دهند. در مجموع، تنها ۵ درصد از مساحت استان محدود به غرب و جنوب غرب در کلاس کم و سایر مناطق در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار دارند که با نتایج بخش‌ده مهر و همکاران (۱۳۹۹) در تعیین مؤثرترین عوامل خاک‌شناسی و اقلیمی بر وضعیت پوشش گیاهی مراتع استان اصفهان سازگار است.

براساس نتایج تحلیل SWOT پیشنهاد‌های مدیریتی برای کاهش خسارت‌های بیابان‌زایی و دستیابی به توسعه پایدار ارائه می‌شود. مقابله با بیابان‌زایی نیازمند رویکردی جامع و چندوجهی است که در مرکز آن مدیریت هوشمندانه و پایدار منابع طبیعی قرار دارد. این مدیریت شامل به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری، ترویج کشت محصولات کم‌آبر و استفاده بهینه از آب‌های نامتعارف است. در کنار آن حفظ و احیای خاک و پوشش گیاهی از طریق عملیات آبخیزداری، بیابان‌زدایی و کاشت گیاهان بومی و دارویی با ارزش اقتصادی ضروری است. بهره‌برداری از انرژی‌های پاک، به‌ویژه انرژی خورشیدی در مناطق بیابانی، نه تنها به حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند، بلکه فرصت‌های جدیدی برای درآمدزایی ایجاد می‌کند. گام بعدی توسعه اقتصادی و ایجاد اشتغال پایدار

است که از طریق بهره‌گیری از ظرفیت‌های معدنی، توسعه صنایع با ارزش افزوده بالا به‌ویژه کم‌آبر و صادرات‌محور، تقویت نواحی صنعتی روستایی و گسترش اکوتوریسم بیابانی محقق می‌شود. مشارکت بخش خصوصی و جوامع محلی به‌ویژه در طرح‌های زیست‌محیطی، نقش کلیدی در موفقیت این برنامه‌ها دارد. هدف نهایی کاهش بیکاری و جلوگیری از مهاجرت از طریق ایجاد تعادل منطقه‌ای و توسعه فرصت‌های شغلی پایدار است. همچنین ارتقای زیرساخت‌ها و بهبود حکمرانی مکمل این فرایند است و شامل استفاده از روش‌های پیشرفته تحلیلی برای درک بهتر بیابان‌زایی، نظارت دقیق بر پساب‌های صنعتی، تقویت راه‌های ارتباطی و ترانزیتی و بهبود خدمات اجتماعی به‌ویژه در مناطق کویری است. با همگرایی این اقدامات، توسعه اقتصادی در کنار حفظ محیط‌زیست محقق شده و آینده‌ای پایدار برای مناطق بیابانی ترسیم خواهد شد.

References

- Abdi, M., & Afsharzadeh, S. (2012). Floristic study of the Badrud north region, Isfahan province. *Journal of Plant Biological Sciences*, 4(13), 1-12. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20088264.1391.4.13.2.7>. (in persian)
- Ahmadi, H. (2005). *Final report on the project to determine desertification criteria and indicators in Iran*. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 125 pp. (in persian)
- Akhavan Kazemi, M., Sadat Hoseini, T., Bahramipoor, F. (2019). Analysis of the Impact of Climate Change on International Security, *International Relations Studies*, 46(12), 9-39. <https://doi.org/DOR:20.1001.1.24234974.1398.12.46.1.4>. (in persian)
- Asadi, M., & Baaghdeh, M., (2019). Analyses of Changes in Spatial Patterns in Temperature Heat Islands of Esfahan Province, *Amayesh Journal*, 12(45), 119-138. magiran.com/p2033283, <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2676783.1398.12.45.6.2>. (in persian)
- Asakereh, H. (2005). Tempo-spatial Change In Isfahan Province Precipitation Suring Recent Decades. *Research Bulletin Of Isfahan University (Humanities)*, 18(1), 91-116. Sid. <https://sid.ir/paper/24853/en>. (in persian)
- Babaev, A. G., & Kharin, N. G. Orlovsky. (1999). *Assessment and Mapping of Desertification Processes, A Mythological Guide. Ashghabad. European Commission*.
- Bakhshandehmehr, L., Yazdani, M., Jafari, R., & Soltani, S. (2020). Determining the most effective climatic and pedological factors on the vegetation status in rangeland of Isfahan Province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(3), 463-484. doi: 10.22092/ijrdr.2020.126906.1871. (in persian)
- Basso, F., Belloti, A., Faretta, S., Ferara, A., Manino, G., Pisante, M., ... & Tabemer, M. (1999). The Agri Basin In: *MEDALUS Project_ Mediterranean Desertification and Land Use*. Manual on Key indicators of desertification and mapping Environmentally Sensitive areas to desertification.
- Batooli, H. (2018). Introduction of the flora, life form and chorology of Aran & Bidghol deserts area in Isfahan province. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(2), 258-278. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1397.31.2.5.3>. (in persian)
- Bayat, O., Khademi, H., & Karimzadeh, H. R. (2013). Isotopic Thermometry and Past Climatic Reconstruction Using Paleo Pedologic Evidence in the Eastern Part of Zayandehrurd Watershed, Isfahan. *Journal of Climate Research*, 1392(13), 17-30. (in persian)
- Beiroudian, N. (2002). *Principles of Desert Area Management*. First Edition. Rashad Publications. (in persian)
- Blaylock, A. D. (1994). *Soil salinity, salt tolerance, and growth potential of horticultural and landscape plants*. Laramie, WY, USA: University of Wyoming, Cooperative Extension Service, Department of Plant, Soil, and Insect Sciences, College of Agriculture.
- Borhani, M., Arzani, H., Jaberolansar, Z., Azimi, M., & Farahpor, M. (2010). Investigating the range condition trend during eight-year period in Isfahan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 17(1), 1-20. (in persian)
- Contador, J. L., Schnabel, S., Gutiérrez, A. G., & Fernández, M. P. (2008). Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura, SW Spain. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Espanoles*, 53, 387-390.
- Debenham, F. (1992). World Atlas of Desertification. *United Nations Environment Program (UNEP)*. Edward Arnold for UNEP: Kent. 69 p
- Ding JianLi, D. J., Wu ManChun, W. M., & Tiyp, T. (2011). Study on soil salinization infotmation in arid region using remote sensing technique. *Journal of Agricultural Sciences in China*, 10(3), pp 404-411.
- Ekhtesasi, M.R., & Mohajeri, S. (1995). Desert classification method and desertification intensity in Iran. *Second National Conference on Desertification and Different Methods of Combat- Desertification*, Kerman, 21-134. (in persian)
- European Commission, 1999. Mediterranean Desertification and Land Use. (MEDALUS). MEDALUS Office. Landan.

- Farifteh, J., Van der Meer, F., Van der Meijde, M., & Atzberger, C. (2008). Spectral characteristics of salt-affected soils: A laboratory experiment. *Geoderma*, 145(3-4), 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.03.011>
- Ganjali, J., Halabian, A., Karam, A., & hajehforoshnia, S. (2022). Investigation of soil salinity changes related to landforms of desert areas in the northern Isfahan province. *Quantitative Geomorphological Research*, 11(3), 220-253. doi: 10.22034/gmpj.2022.350895.1366. (in persian)
- Goldani, M., & Bannayan, M. (2017). Stratification of Isfahan province regarding crop plants biodiversity during 2003-2012. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(1), 155-172. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1396.30.1.14.3>. (in persian)
- Hadian, F., Jafari, R., Bashari, H., & Tarkesh, M. (2019). Performance Comparison of MODIS and Landsat Data in Estimating of NPP in Arid Regions of Isfahan Province. *Desert Management*, 6(12), 89-106. doi: 10.22034/jdmal.2019.34762. (in persian)
- Hakimzadeh, M., & Vahdati, A. (2018). Monitoring of organic matter and soil salinity by using IRS - LissIII satellite data in the Harat plain, of Yazd province. *Desert*, 23(1), 1-8. doi: 10.22059/jdesert.2018.66342. (in persian)
- Keramatzadeh, M., Fathi, A., & Moazed, H. (2022). Investigate the situation of desertification in south east Ahvaz region using IMDPA model with emphasis on the criteria climate and vegetation. *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(1), 153-166. doi: 10.22055/jise.2021.37216.1968. (in persian)
- Khosravi, H. (2004). Application of the Medalus model in desertification in the Kashan region, Master's thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (in persian).
- Kosmas, C., Kirkby, M., & Geeson, N. (1999). The MEDALUS project: Mediterranean desertification and land use. *Manual on key indicators of Desertification and mapping environmental sensitive areas to desertification. EUR*, 18882.
- Kouranifar, A., Ahmadvand, A.M., Samadi-Foroushani, M. (2024). Policy Analysis of Man-Made Fire Management in North Zagros Forests Using the System Dynamics Approach. *Disaster Prev. Manag. Know*, 14(1), 60-81. <http://dx.doi.org/10.32598/DMKP.14.1.790.1>. (in persian)
- Luo, L., Ma, W., Zhuang, Y., Zhang, Y., Yi, S., Xu, J., ... & Zhang, Z. (2018). The impacts of climate change and human activities on alpine vegetation and permafrost in the Qinghai-Tibet Engineering Corridor. *Ecological Indicators*, 93, 24-35.
- Maleki, A. (2018). Environmental Politics in the Middle East. *Strategic Studies of Public Policy (Strategic Studies of Globalization Journal)*, 8(27), 349-359. Sid. <https://sid.ir/paper/229878/en>, (in persian)
- Marjovvi, A., & Mashayekhi, P. (2024). Spatial variability assessment of some soil nutrient elements using geostatistical methods (Case study: Chadegan, Isfahan province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(6), 1001-1016. doi: 10.22059/ijswr.2024.373779.669677. (in persian)
- Masoudi, M., & Elhaei Sahar, M. (2018). A Comparison of Land Degradation Risk Using the RALDE2 Proposed Model in Two Townships with Different Climates in the Khuzestan Province. *Watershed Management Research*, 31(3), 56-77. doi: 10.22092/wmej.2018.122180.1124. (in persian)
- Oliver, I. (2002). An expert panel-based approach to the assessment of vegetation condition within the context of biodiversity conservation: Stage 1: the identification of condition indicators. *Ecological Indicators*, 2(3), 223-237.
- Pan, N., Feng, X., Fu, B., Wang, S., Ji, F., & Pan, S. (2018). Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends. *Remote Sensing of Environment*, 214, 59-72.
- Rosel, C. E. (2006). *Saltcedar (Tamarix spp.) leaf litter impacts on surface soil chemistry: electrical conductivity and sodium adsorption ratio* (Doctoral dissertation, New Mexico State University).
- Salehi, A. and Karbasi, P. (2021). The role of man-made factors in desertification east of Isfahan. *Spatial Planning*, 11(3), 24-1. doi: 10.22108/sppl.2021.126373.1546. (in persian)
- Soleimanpour, S. M., Naeimi, M., Rahmati, O., & Moatamednia, M. (2024). Investigate Desertification using Underground Water and Subsidence Criteria by IMDPA Model (Case Study: Rafsanjan Watershed). *Environmental Erosion Research Journal*, 14(2), 126-140. <http://dx.doi.org/10.61186/jeer.14.2.8>. (in persian)

- Taghvaei, M., & Saboohi, E. (2017). Zoning, location, climate, solar power plant, Topsis, *Research and Urban Planning*, 8(28), 61-82. magiran.com/p1716764. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22285229.1396.8.28.4.6>. (in persian)
- Yang, X., Ding, Z., Fan, X., Zhou, Z., & Ma, N. (2007). Processes and mechanisms of desertification in northern China during the last 30 years, with a special reference to the Hunshandake Sandy Land, eastern Inner Mongolia. *Catena*, 71(1), 2-12.
- Zehtabian, G.R. (2004). Effective criteria and indicators in desertification, emphasizing the role of water and irrigation. *Forest and Rangeland Journal*, 62, 16-24. (in persian)
- Zehtabian, G.R., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., & Khosravi, H. (2007). Calibration Of Medalus Model To Present Regional Model For Desertification Intensity (Case Study: Kashan). *Iranian Journal Of Natural Resources*, 60(3), 727-744. Sid. <https://sid.ir/paper/22940/en>. (in persian)