Investigate Desertification using Underground Water and Subsidence Criteria by IMDPA Model (Case Study: Rafsanjan Watershed)

Seyed Masoud Soleimanpour[a,*], Maryam Naeimi[b], Omid Rahmati[c], Mahboobeh Moatamednia[d]

[a] *Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.*

[b] *Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.*

[c] *Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran.*

[d] *Ph.D., Natural Resources and Watershed Management Department, Bafgh County, Yazd Province, Iran.*

Research Full Paper

Article History (Received: 2023/12/25 Accepted: 2024/04/5)

Extended abstract

1- Introduction

Desertification in arid and semi-arid areas is an invisible and very dangerous phenomenon, and if it continues, it leads to the destruction of the land and the loss of renewable natural resources. Several factors play an effective role in the occurrence of desertification in a region, among which the phenomenon of land subsidence can be mentioned. Land subsidence is a geological process that occurs in a long-term balance and coordination between human activities and the hydrogeological environment. Today, land subsidence caused by the extraction of underground water has become a global problem, and it can even be the site of other hazards and threaten the society. The challenge of establishing a balance between groundwater consumption and land subsidence control is essential for sustainable development and curbing desertification. In order to meet their needs, including agriculture, industry and drinking, human societies depend on underground water sources and provide the required water through underground water. These conditions have become more severe in Iran due to its location in the arid and semi-arid belt, along with the improper distribution of rainfall with excessive extraction of underground water. In Iran, this phenomenon has extensive ecological, economic, social and environmental consequences due to the multiplicity, extent and complexity of the environmental and human factors that cause desertification. Hence, the precise monitoring and analysis of the intensity of desertification is of great importance for risk assessment and risk assessment. Therefore, it is necessary to know the criteria and indicators effective in the occurrence of desertification in order to achieve a model that can monitor the intensity of desertification in order to manage and plan the desert areas correctly and on principles. For this purpose, the aim of this research is to evaluate the state of desertification by IMDPA model based on two criteria of underground water and subsidence in the Rafsanjan watershed located in the northwest of Kerman province.

2- Methodology

In this research, two criteria of underground water and subsidence rate were used as key criteria to prepare the desertification intensity map. According to the available information and the goals of this research, the criteria of underground water were scored based on electrical conductivity indicators, sodium absorption ratio, and groundwater level drop. For the subsidence criterion, the subsidence rate

* **Corresponding Author: m.soleimanpour@areeo.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

index was used in the year 2014-2015. In the next stage, a weight between 1 and 4 was given to each index based on its effect on desertification. The weighting is linear and equal in proportion; So that value 1 is the best and value 4 is the worst weight. Zoning of the mentioned indicators was also done by geographic information system and interpolation methods. The subsidence criterion was evaluated using the subsidence map prepared from Sentinel 1 satellite images in the year 2014-2015. In the end, the final map of the desertification situation was obtained according to the IMDPA model and based on the geometric mean of the criteria.

3- Results

The average electrical conductivity measure in Rafsanjan watershed was 9351.4, which with a score of 4, is in a very severe desertification situation. Also, in terms of absorbable sodium, this watershed with an average of 12.28 and a score of 1, put it in a state of low desertification. In addition, according to the results of the groundwater quantity criterion based on the average level drop for the aquifer located in the Rafsanjan watershed, it was determined that the average drop of groundwater is about 54 cm with a score of 4, and is in a severe state of desertification. The subsidence of the aquifer located in the Rafsanjan watershed has varied from seven to less than one centimeter per year. Also, based on the average values, the average subsidence in the water year 1394-1395 in the region was in the low category with an average of -1.25 and a score of 1. Examining the areas with subsidence and the level of the drop in the underground water level showed that the drop in the underground water level can be considered as the main reason for the subsidence in the Rafsanjan aquifer. The overlap of three indicators of groundwater criteria, including: electrical conductivity, sodium absorption ratio and level drop, showed that 2.74, 59.07, 37.15 and 1.02 percent of Rafsanjan watershed are in low, medium, severe and There is a lot of desertification. Also, the overlap of the underground water and land subsidence criteria showed that the intensity of desertification is placed in three levels: low, moderate and severe, and the highest level corresponds to the moderate severity.

4- Discussion & Conclusions

Rafsanjan watershed is one of the critical areas of subsidence. For this purpose, it is very important to evaluate land degradation caused by subsidence and drop in the underground water level in the Rafsanjan watershed. The results of this research confirm that according to the underground water criteria, the average electrical conductivity, absorbable sodium, and the drop in the water level of the region are in very severe, low, and severe desertification. In addition, in terms of the intensity of desertification from the point of view of water quality, the region is located in low, medium, severe and very severe classes. Finally, the intensity of desertification according to the two investigated criteria (underground water and subsidence) is placed in three levels: low, medium and severe, and the highest level is related to moderate severity. The results of this research will create a clear horizon for managers and planners of the natural resources sector, which will lead to a precise understanding of the criteria and indicators effective in the occurrence of desertification in the region. In addition, it is suggested to identify other effective factors in the region and introduce them to the desired model for accurate estimation of this phenomenon.

Key Words: Electrical conductivity, Groundwater level drop, Land degradation, Soil erosion, Sodium absorption ratio.

Cite this article: Soleimanpour, S.M., Naeimi, M., Rahmati, O., & Motamednia, M. (2024). Investigate Desertification using Underground Water and Subsidence Criteria by IMDPA Model (case study: Rafsanjan watershed). *Journal of Environmental Erosion Research. 2024; 14(2): 126-140*, http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

ارزیابی روند بیابان‌زایی با بهره‌گیری معیار آب زیرزمینی و فرونشست با استفاده از مدل IMDPA (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز رفسنجان)

سید مسعود سلیمان‌پور*: *دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.*

مریم نعیمی: *استادیار بخش تحقیقات بیابان، مؤسسهٔ تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.*

امید رحمتی: *استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.*

محبوبه معتمدنیا: *دکتری تخصصی، ادارهٔ منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان بافق، استان یزد، ایران.*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷)

DOI: http//doi.org/

چکیده

فرونشست زمین یک رخداد زمین‌شناسی است که بروز سایر بلایای ثانویه که می‌تواند بر تولید و زندگی انسان تأثیر منفی بگذارد را منجر می‌شود. افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، فرونشست را به‌دنبال خواهد داشت که آخرین مرحلهٔ بیابان‌زایی محسوب می‌شود. لذا هدف این پژوهش ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی توسط مدل IMDPA بر اساس دو معیار آب زیرزمینی و فرونشست در حوزهٔ آبخیز رفسنجان می‌باشد. به‌منظور ارزیابی شدت بیابان‌زایی توسط این مدل، از شاخص‌های افت سطح آب زیرزمینی، نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی تحت معیار آب زیرزمینی و از شاخص میزان فرونشست به‌عنوان معیار فرونشست زمین استفاده شد. شاخص‌های مورد نظر پس از امتیازدهی و طبقه‌بندی، پهنه‌بندی شدند. معیار فرونشست، با استفاده از نقشهٔ فرونشست تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس نقشهٔ نهایی وضعیت بیابان‌زایی از هم‌پوشانی نقشه‌های معیار آب زیرزمینی و فرونشست زمین بر اساس میانگین هندسی معیارها به‌دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که بر اساس معیار آب زیرزمینی میانگین هدایت الکتریکی، سدیم قابل‌جذب و افت سطح تراز آب، به‌ترتیب ۹۳۵۱/۴، ۱۲/۲۸ و ۵۴ سانتی‌متر با امتیازهای چهار، یک و چهار در وضعیت بیابان‌زایی خیلی‌شدید، کم و شدید قرار دارد. مطابق شاخص فرونشست، این میزان در منطقه بین هفت تا کم‌تر از یک سانتی‌متر در سال متغیر بوده است. بر اساس شدت بیابان‌زایی از منظر معیار آب زیرزمینی مشخص شد که حدود ۲/۷۴، ۵۹/۰۷، ۳۷/۱۵ و ۱/۰۲ درصد از این حوزهٔ آبخیز در طبقه‌های کم، متوسط، شدید و خیلی‌شدید قرار دارد. در نهایت، شدت بیابان‌زایی بر طبق دو معیار، در سه طبقهٔ کم، متوسط و شدید قرار می‌گیرد که بیش‌ترین سطح مربوط به شدت متوسط می‌باشد. نتایج این پژوهش منجر به شناخت دقیق معیار و شاخص‌های مؤثر در وقوع بیابان‌زایی در حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه شده است. این شناخت می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای دستیابی به ارائهٔ مدیریت مناسب و برنامه‌ریزی صحیح و اصولی برای جلوگیری از تسریع این پدیده مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: افت سطح آب زیرزمینی، تخریب زمین، فرسایش خاک، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی.

* **نویسندهٔ مسئول:** **m.soleimanpour@areeo.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

۱ـ مقدمه

بیابان‌زایی[1] در نواحی خشک و نیمه‌خشک پدیده‌ای نامحسوس و بسیار خطرناک است و در صورت استمرار منجر به تخریب زمین[2] و از بین رفتن منابع طبیعی تجدیدشونده در هر یک از نقاط مختلف کشورها می‌شود (Golshiriasfahani & Sarai, 2013; Rafi Sharifabad & Alipour, 2023). عوامل متعددی در وقوع پدیدهٔ بیابان‌زایی در یک منطقه نقش مؤثر دارند که در این میان می‌توان به پدیدهٔ فرونشست زمین[3] اشاره کرد. فرونشست زمین، یک فرآیند زمین‌شناسی است که در یک تعادل بلندمدت و هماهنگی بین فعالیت‌های انسانی و محیط هیدروژئولوژیکی رخ می‌دهد (Li et al., 2017). افزایش جمعیت و به‌دنبال آن نیاز به منابع آبی باعث شده که برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی صورت بگیرد؛ به‌طوری‌که کاهش سطح آب زیرزمینی در اکثر مناطق جهان محسوس شود. کاهش سطح آب زیرزمینی به‌عنوان یک محرک با داشتن تنوع مکانی باعث ایجاد یک‌روند توسعهٔ نابرابر در فرونشست زمین می‌شود (Brown & Nicholls, 2015). ضمن‌آن‌که فعالیت‌های مهندسی انسانی نظیر معادن زیرزمینی و استخراج زغال‌سنگ می‌تواند از علل اصلی فرونشست زمین باشد (Li et al., 2023).

امروزه فرونشست زمین ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی نیز به یک مشکل جهانی تبدیل‌شده است (Anderssohn et al., 2008)، حتی می‌تواند زمینهٔ رخداد سایر مخاطرات باشد و جامعه را مورد تهدید قرار دهد (Zou et al., 2015). خسارت‌های ناشی از فرونشست زمین، آهسته و پایدار بوده و منجر به مشکلات زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر و تلفات منابع (Han et al., 2023) و در نهایت آسیب به زیرساخت‌های شهری و زندگی روزانهٔ مردم می‌شود (Diao et al., 2019). چالش ایجاد توازن بین مصرف آب زیرزمینی و کنترل فرونشست زمین برای توسعهٔ پایدار و مهار بیابان‌زایی امری ضروری است (Shi et al., 2012; Tzampoglou et al., 2023). جوامع بشری به‌منظور تأمین نیازهای خود از جمله کشاورزی، صنعت و شرب، به منابع آب زیرزمینی وابسته می‌باشند و آب مورد نیاز را از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین می‌کنند. این شرایط در ایران، به‌دلیل واقع‌شدن در کمربند خشک و نیمه‌خشک همراه با توزیع نامناسب بارش با برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، شدیدتر شده است. در ایران، به‌علت تعدد، گستردگی و پیچیدگی عوامل محیطی و انسانی بیابان‌زا، این پدیده همچون ابعاد بین‌المللی مستعد پیامدهای وسیع اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است (Mombeni et al., 2016). از این‌رو، پایش و تحلیل دقیق شدت بیابان‌زایی برای ارزیابی خطر و ارزیابی ریسک از اهمیت بالایی برخوردار است.

شناخت دقیق معیار و شاخص‌های مؤثر در وقوع بیابان‌زایی برای دستیابی به یک مدل که بتواند شدت بیابان‌زایی را به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح و اصولی مناطق بیابانی پایش کند، ضروری می‌باشد. به همین منظور، تاکنون مطالعات متعددی در این زمینه با بهره‌گیری از مدل‌ها و شاخص‌های متنوعی برای ارزیابی و تخمین گسترهٔ بیابان‌زایی انجام شده است (Chen et al., 2017; Chen et al., 2020; Guzt & Malinowska, 2020; Han et al., 2021; Younas et al., 2023; Lan et al., 2023) ، که می‌توان به برخی از این پژوهش‌ها اشاره نمود. Sowter و همکاران (۲۰۱۶)

[1] Desertification
[2] Land degradation
[3] Land-subsidence

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

میزان فرونشست زمین در منطقه‌ای در مکزیک که ناشی از برداشت بی‌رویهٔ آب زیرزمینی بود را توسط تصاویر راداری ارزیابی کردند. بر اساس یافته‌های این پژوهش در منطقهٔ مورد مطالعه بیش از ۱۸ فرونشست با مجموع طول ۲۷ کیلومتر شناسایی شده است. Declercq و همکاران (۲۰۱۷) فرونشست بخش‌هایی از کشور بلژیک را با استفاده از فن پراکنشگرهای دائمی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۴ را با استفاده از تصاویر آی- آر- اس و انویست و تراسار مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد در برخی مناطق که از سال ۱۹۹۰ با تغذیهٔ مناسب سفره‌های زیرزمینی روبرو بوده و در آن مناطق سطح پیزومتری بالاآمدگی داشته، نه‌تنها فرونشست متوقف‌شده بلکه بالاآمدگی (سه میلی‌متر در سال) مشاهده‌شده است؛ اما فرونشست در مناطقی که چاه‌های آب فعال داشتند کماکان ادامه داشته است. Meza Mori و همکاران (۲۰۲۲) الگوی مکانی تخریب ارزیابی در اتیوپی با تأکید بر معیارهای خاک، پوشش‌گیاهی، اقلیم و مدیریت مدل مدالوس تعیین کردند. بر طبق نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، ۲/۹۶ درصد از منطقهٔ مورد مطالعه به در طبقهٔ بحرانی تخریب قرار می‌گیرد، ۴۸/۸۵ درصد در طبقهٔ شکننده، ۱۵/۴۸ درصد به‌طور بالقوه در معرض خطر تخریب بوده و ۳۰/۴۶ درصد نیز بدون خطر می‌باشد. هم‌چنین معیارهای پوشش‌گیاهی، خاک و مدیریت نیز بیش‌ترین تأثیر را بر تخریب زمین در این منطقه داشته‌اند طبقه‌بندی‌شده است. Huang و همکاران (۲۰۲۳)، در شهر شیان[1] چین در ترکیب با شبیه‌سازی عددی، ویژگی‌های تغییر شکل و تنش تونل ناشی از فرونشست زمین مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مطابق نتایج، در هنگام فرونشست زمین، فشار خاک اطراف در بالا و پایین تونل در ناحیهٔ نفوذ فرونشست زمین کاهش و در خارج افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که طول تونل متأثر از فرونشست زمین ۱/۲۵ برابر طول محور اصلی منطقهٔ فرونشست زمین بوده است. در مطالعات داخل کشور نیز، Alesheikh و همکاران (۲۰۲۲) فرونشست زمین ناشی از برداشت بی‌رویهٔ آب زیرزمینی در آبخوان مرودشت با استفاده از روش زمین‌آمار و تداخل‌سنجی راداری تعیین کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط ۴۵ سانتی‌متر در سال افت داشته و بیش‌ترین میزان فرونشست زمین برابر با ۲/۵ سانتی‌متر بوده است. Saleh و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر افت سطح تراز آب زیرزمینی، کیفیت آب زیرزمینی و فرونشست زمین را بر شدت بیابان‌زایی توسط مدل IMDPA در حوزهٔ آبخیز مهارلو- بختگان را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد ۸۳ درصد از سطح حوزهٔ آبخیز در طبقهٔ کم و متوسط، و ۱۷ درصد نیز در طبقهٔ شدید بیابان‌زایی قرار دارد.

مرور سوابق پژوهشی حاکی از آن است تاکنون روند و گسترهٔ بیابان‌زایی با استفاده از مدل‌های مختلف برآورد شده است؛ ولی برای تخمین این روند ضروری است که از مدل‌های بومی هر منطقه استفاده شود. در همین راستا استفاده از مدل‌های داخلی نظیر IMDPA ارائه شده توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، در پروژه‌های تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی توصیه می‌شود (Khosravi et al., 2014). این مدل، بر پایهٔ مدل مدالوس ارائه شده توسط کمیسیون بین‌المللی اروپا می‌باشد. از مهم‌ترین مزایای این مدل، توانایی ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی با تعداد شاخص‌های محدود است (Saleh et al., 2023). هم‌چنین این مدل، می‌تواند پارامترهای مؤثر بر بیابان‌زایی را بررسی کرده و نقشهٔ بیابان‌زایی را تهیه نماید (Zolfaghari & Khosravi, 2016). از دیگر مزایای این مدل، استفادهٔ کمتر از نظر کارشناسی در مقایسه با سایر مدل‌ها می‌باشد. استفاده از میانگین هندسی و سیستم اطلاعات جغرافیایی نیز موجب افزایش دقت

[1] Xi'an

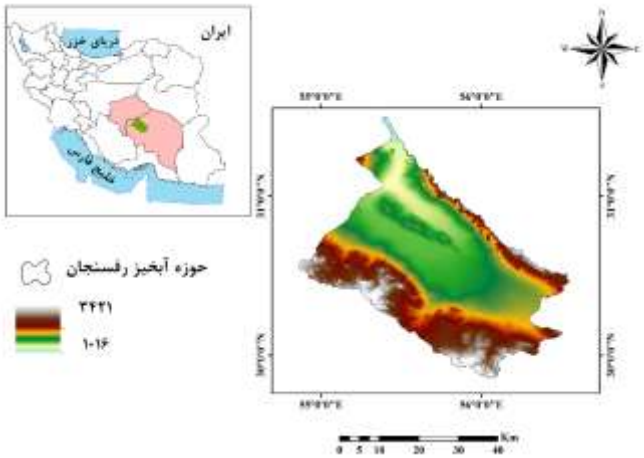
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

ارزیابی مدل شده است (Mombeni et al., 2016). از سوی دیگر، با توجه به این‌که حوزۀ آبخیز رفسنجان یکی از مناطق بحرانی فرونشست کشور و مستعد پدیدۀ بیابان‌زایی است و طی دورۀ آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ با افت سطح تراز آب زیرزمینی مواجه بوده؛ تاکنون به‌صورت جامع مورد پایش و ارزیابی قرار نگرفته است. به‌همین دلیل، بررسی و ارزیابانی وضعیت بیابان‌زایی در این حوزۀ آبخیز ضروری و هدف انجام پژوهش حاضر می‌باشد.

۲ـ منطقۀ مورد مطالعه

حوزۀ آبخیز رفسنجان واقع در شمال‌غرب استان کرمان و در بین طول جغرافیایی ۰۸ ۵۷ و عرض جغرافیایی ۴۸ ۳۰ قرار دارد (شکل ۱). بخش اندکی از این حوزۀ آبخیز نیز در استان یزد واقع شده است. این منطقه جزیی از فلات مرکزی ایران می‌باشد و با کد مطالعاتی ۴۹۰۲ در مطالعات وزارت نیرو شناخته می‌شود. مساحت این حوزۀ آبخیز ۱۲۵۱۳/۶۹ کیلومتر مربع می‌باشد که از این مقدار، ۵۳/۸۸ درصد را ارتفاعات و ۴۶/۱۱ درصد از آن را دشت به‌خود اختصاص داده است. ارتفاع از سطح دریا ۲۲۲۰ متر و متوسط بارندگی سالانۀ این آبخیز، ۱۱۸/۳۷ میلی‌متر می‌باشد (Moazenpour Kermani et al., 2018).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقۀ مورد مطالعه

۳ـ مواد و روش

در مدل IMDPA به‌منظور کمی کردن معیارها از شاخص‌های متعددی از جمله: اقلیم، ژئومورفولوژی، خاک، پوشش گیاهی، اقتصادی- اجتماعی، آب آبیاری در کشاورزی، آب زیرزمینی، فرسایش و فناوری و توسعۀ شهری استفاده می‌شود. در این پژوهش، برای تهیۀ نقشۀ شدت بیابان‌زایی، از دو معیار آب زیرزمینی و میزان فرونشست، به‌عنوان معیارهای کلیدی استفاده شده است.

با توجه به اطلاعات دسترس و اهداف پژوهش حاضر، معیار آب زیرزمینی بر اساس شاخص‌های هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و افت سطح آب زیرزمینی بر طبق جدول (۱) امتیازدهی و ارزش عددی این معیار طبق رابطۀ (۱) تعیین شد. برای معیار فرونشست نیز از شاخص میزان فرونشست در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ استفاده شد. در مرحلۀ بعد، به هر شاخص بر پایه‌ی تأثیر آن در بیابان‌زایی، وزنی بین ۱ تا ۴ داده شد. وزن‌دهی به‌صورت خطی و نسبت برابر بوده؛

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

به‌طوری‌که ارزش ۱، بهترین و ارزش ۴، بدترین وزن می‌باشد. پهنه‌بندی شاخص‌های مذکور نیز توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] و روش‌های درون‌یابی صورت گرفت.

جدول ۱: امتیازدهی شاخص‌های معیار آب زیرزمینی در مدل IMDPA

شاخص	وضعیت فعلی بیابان‌زایی			
	۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (شدید)	۴ (خیلی‌شدید)
هدایت الکتریکی (EC)	۷۵۰>	۲۲۵۰-۷۵۰	۵۰۰۰-۲۲۵۰	۵۰۰۰<
نسبت جذب سدیم (SAR)	۱۸>	۲۶-۱۸	۳۲-۲۶	۳۲<
افت آب زیرزمینی (سانتی‌متر در سال)	۲۰>	۳۰-۲۰	۵۰-۳۰	۵۰<

رابطهٔ (۱)

$$GWI = (\text{نسبت جذب سدیم} \times \text{هدایت الکتریکی} \times \text{افت آب زیرزمینی})^{1/3}$$

معیار فرونشست با استفاده از نقشهٔ فرونشست تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ ارزیابی گردید. به این منظور، شاخص میزان فرونشست مدل IMDPA بر طبق جدول (۲) امتیازدهی شد.

جدول ۲: امتیازدهی شاخص معیار میزان فرونشست در مدل IMDPA

شاخص	وضعیت فعلی بیابان‌زایی			
	۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (شدید)	۴ (خیلی‌شدید)
فرونشست (سانتی‌متر در سال)	۱/۴۹- >	۲/۹۹- تا ۱/۵-	۵/۹۹- تا ۳-	۶-<

پس از محاسبهٔ معیارهای آب زیرزمینی و فرونشست و تهیهٔ نقشه‌های مربوطه؛ نقشهٔ نهایی وضعیت بیابان‌زایی بر طبق مدل IMDPA و بر اساس میانگین هندسی معیارها به‌دست آمد (رابطهٔ ۲).

رابطهٔ (۲)

$$DM = (GWI \times SRI)^{1/2}$$

در این رابطه؛ GWI: معیار آب زیرزمینی، SRI: معیار میزان فرونشست و DM: وضعیت فعلی بیابان‌زایی می‌باشد. در انتها، بر طبق مدل IMDPA، شدت بیابان‌زایی در چهار کلاس کم و ناچیز، متوسط، شدید و بسیار شدید طبقه‌بندی شدند. جدول (۳)، کلاس‌ها و وزن‌های اخذ شده برای ارزیابی وضعیت معیارها در مدل IMDPA را نشان می‌دهد.

جدول ۳: طبقات کلاس‌های شدت بیابان‌زایی مدل IMDPA

کلاس شدت بیابان‌زایی	امتیاز
کم	۱-۰/۵
متوسط	۱/۲-۵/۵
شدید	۲/۳-۵/۵
بسیار شدید	۳/۴-۵

[1] Geographic information system: GIS

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

۴-یافته‌ها

ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی بر اساس معیار آب زیرزمینی

در این مرحله، پارامترهای کیفی و کمی آب زیرزمینی به‌عنوان معیار آب مدل IMDPA در نظر گرفته شده است که بر طبق جدول‌های ۴ و ۵، به پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و افت تراز آب زیرزمینی امتیازدهی شده و وضعیت فعلی بیابان‌زایی بر اساس این شاخص‌ها برای آبخوان مستقر در حوزهٔ آبخیز رفسنجان استخراج شد.

جدول ۴: امتیازهای شاخص معیار کیفیت آب زیرزمینی برای مدل ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی

شاخص	وضعیت فعلی بیابان‌زایی			
	۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (شدید)	۴ (خیلی‌شدید)
هدایت الکتریکی (EC)	۷۵۰>	۷۵۰-۲۲۵۰	۲۲۵۰-۵۰۰۰	۵۰۰۰<
نسبت جذب سدیم (SAR)	۱۸>	۱۸-۲۶	۲۶-۳۲	۳۲<

جدول ۵: امتیازهای شاخص معیار کمیت آب زیرزمینی برای مدل ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی

شاخص	وضعیت فعلی بیابان‌زایی			
	۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (شدید)	۴ (خیلی‌شدید)
افت آب زیرزمینی (سانتی‌متر در سال)	۲۰>	۲۰-۳۰	۳۰-۵۰	۵۰<

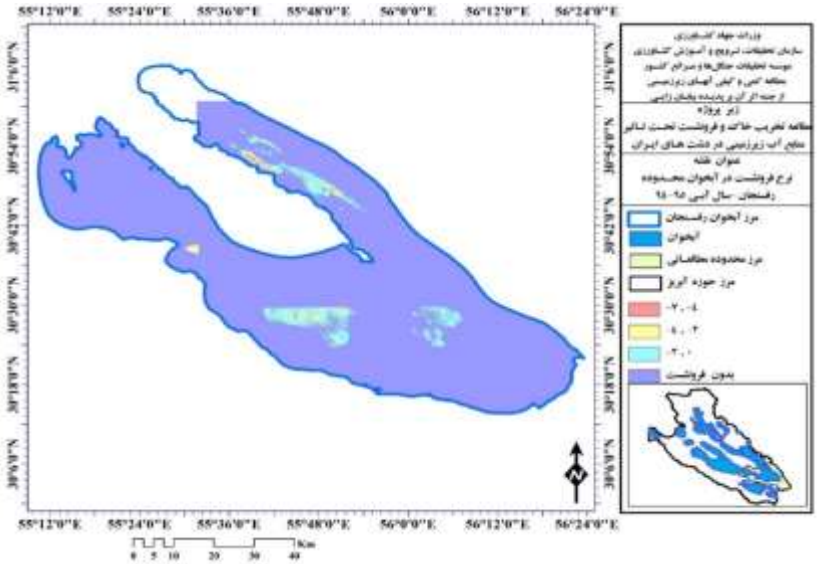
به این منظور، معیار کیفیت آب زیرزمینی، بر اساس مقادیر میانگین پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵، مطابق جدول ۴، برای حوزهٔ آبخیز رفسنجان طبقه‌بندی شد و سپس وضعیت بیابان‌زایی منطقه تعیین شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده میانگین معیار هدایت الکتریکی در منطقه ۹۳۵۱/۴ با امتیاز ۴ در وضعیت بیابان‌زایی خیلی‌شدید قرار دارد. هم‌چنین از نظر سدیم قابل‌جذب، منطقه با داشتن میانگین حدود ۱۲/۲۸ و امتیاز ۱ در وضعیت بیابان‌زایی کم قرار داد. علاوه بر آن، مطابق نتایج معیار کمیت آب زیرزمینی بر اساس میانگین افت سطح تراز برای آبخوان مستقر در حوزهٔ آبخیز رفسنجان مشخص شد که متوسط افت آب زیرزمینی منطقه حدود ۵۴ سانتی‌متر با امتیاز ۴ در وضعیت شدید بیابان‌زایی قرار دارد.

ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی بر اساس معیار فرونشست

در این قسمت، معیار فرونشست مدل بیابان‌زایی IMDPA با استفاده از نقشهٔ فرونشست حوزهٔ آبخیز رفسنجان ارزیابی شد. همان‌طور که از نقشهٔ فرونشست قابل تشخیص است فرونشست آبخوان مستقر در حوزهٔ آبخیز رفسنجان، بین هفت تا کم‌تر از یک سانتی‌متر در سال متغیر بوده است (شکل ۲).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]



شکل ۲: میزان فرونشست در آبخوان واقع در حوزهٔ آبخیز رفسنجان- سال آبی ۹۵-۱۳۹۴

به‌منظور ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی بر اساس معیار فرونشست، میزان فرونشست در منطقه مطابق جدول (۶) امتیازدهی انجام شد. بر اساس مقادیر میانگین، میانگین فرونشست در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در منطقه با میانگین ۱/۲۵- و امتیاز ۱ در طبقه‌ی کم قرار می‌گیرد. هم‌چنین مطابق شکل ۳ که نقشهٔ وضعیت بیابان‌زایی را بر اساس میزان فرونشست نشان می‌دهند؛ وضعیت بیابان‌زایی در طبقات خیلی‌شدید، شدید، متوسط و کم قرارگرفته است. درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص فرونشست، در جدول (۷) ارائه شده است. لازم به ذکر است بررسی نواحی دارای فرونشست و میزان افت سطح تراز آب زیرزمینی نشان داد افت سطح آب زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان دلیل اصلی فرونشست در آبخوان رفسنجان در نظر گرفته شود. به این منظور، خطوط هم‌افت سطح تراز آب زیرزمینی بر روی نواحی دارای فرونشست در منطقه قرار گرفت که نتایج حاصل در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول ۶: امتیازهای معیار فرونشست مدل بیابان‌زایی IMDPA

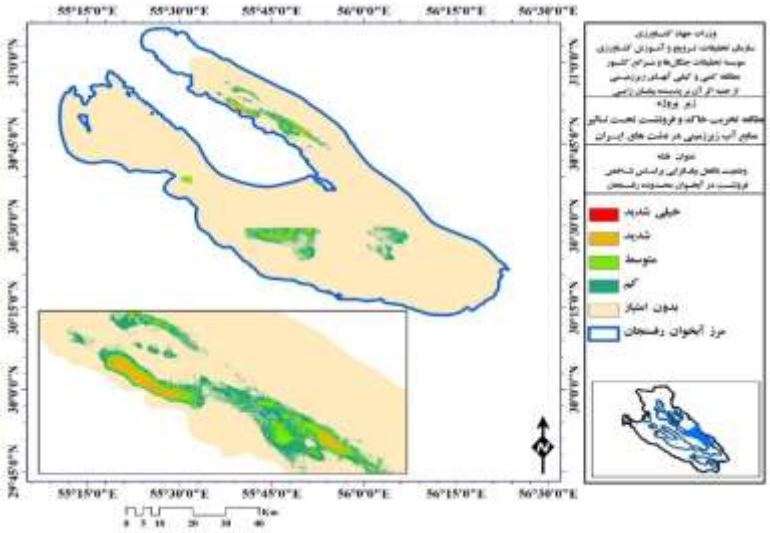
شاخص	وضعیت فعلی بیابان‌زایی			
	۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (شدید)	۴ (خیلی‌شدید)
فرونشست (سانتی‌متر در سال)	> ۱/۴۹-	۱/۵- تا ۲/۹۹-	۳- تا ۵/۹۹-	۶- >

جدول ۷: درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص فرونشست در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

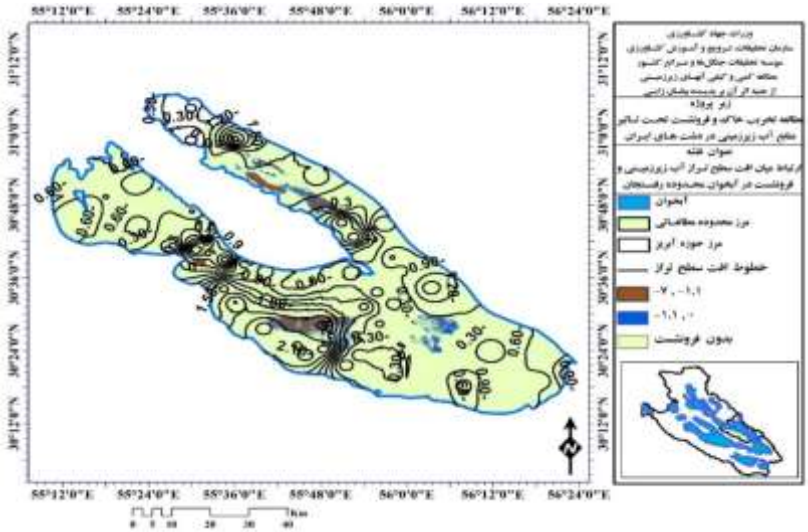
طبقات شدت بیابان‌زایی	درصد مساحت
کم	۳/۴۲
متوسط	۱/۳۰
شدید	۰/۳۳
خیلی‌شدید	۰/۰۰۲
بدون فرونشست	۹۴/۹۳

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]



شکل ۳: وضعیت بالفعل بیابان‌زایی بر اساس شاخص فرونشست در آبخوان رفسنجان- سال آبی ۹۵-۱۳۹۴



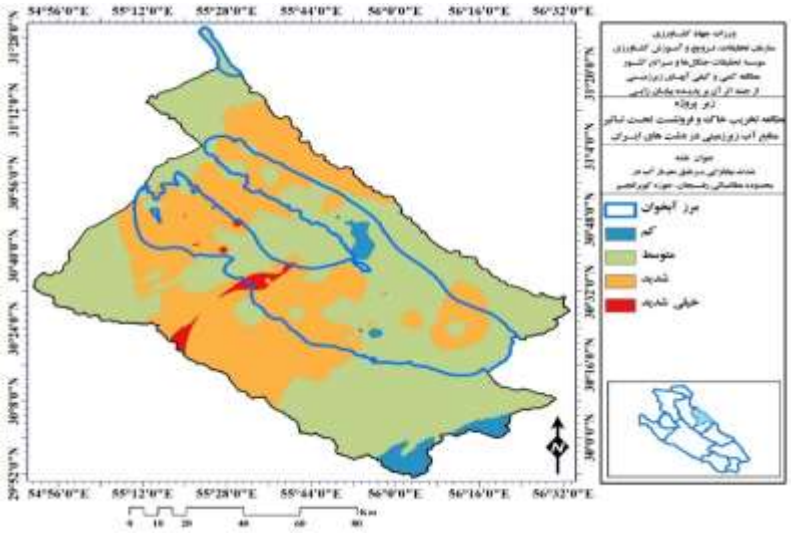
شکل ۴: ارتباط میان افت سطح تراز آب زیرزمینی و نواحی دارای فرونشست در سال‌های آبی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵

ارزیابی شدت بیابان‌زایی از منظر معیار آب زیرزمینی

در این مرحله با هم‌پوشانی سه شاخص معیار آب زیرزمینی از جمله: هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و افت سطح تراز، با استفاده از رابطهٔ (۱)، شدت بیابان‌زایی به‌دست آمد. درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی نیز نشان می‌دهد که ۲/۷۴، ۵۹/۰۷، ۳۷/۱۵ و ۱/۰۲ درصد از حوزهٔ آبخیز رفسنجان در طبقه‌های کم، متوسط، شدید و خیلی‌شدید قرار دارد (شکل ۵).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

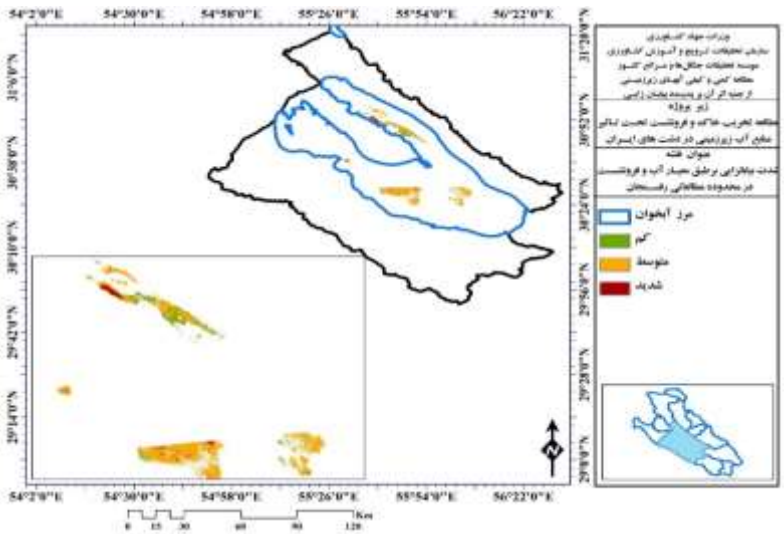


شکل ۵: شدت بیابان‌زایی بر طبق معیار آب زیرزمینی در حوزهٔ آبخیز رفسنجان

ارزیابی شدت بیابان‌زایی از منظر معیار آب زیرزمینی و فرونشست

در این مرحله، شدت بیابان‌زایی بر اساس دو معیار آب زیرزمینی که در مرحلهٔ قبل تعیین گردید؛ و معیار فرونشست، ارزیابی شد. به این منظور، با هم‌پوشانی معیار آب زیرزمینی و فرونشست، با استفاده از رابطهٔ (۲) شدت بیابان‌زایی به‌دست آمد.

شکل (۶)، شدت بیابان‌زایی را بر اساس معیار آب زیرزمینی و فرونشست نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است شدت بیابان‌زایی بر طبق این دو معیار، در سه طبقهٔ کم، متوسط و شدید قرار می‌گیرد که بیش‌ترین سطح، مربوط به‌شدت متوسط می‌باشد. در صورتی‌که ذوالفقاری و خسروی (۲۰۱۶)، در ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقهٔ سراوان استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل IMDPA نشان دادند که عمدهٔ منطقه در طبقهٔ بیابان‌زایی متوسط و شدید قرار گرفته است که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد.



شکل ۶: شدت بیابان‌زایی بر طبق معیار آب زیرزمینی و فرونشست در حوزهٔ آبخیز رفسنجان

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

اهم یافته‌های این پژوهش تأکید دارد که میانگین هدایت الکتریکی، سدیم قابل‌جذب و افت سطح تراز آب نقش قابل‌توجهی در افت سطح آب و شوری خاک بر عهده دارند. از طرف دیگر، کاهش سطح آب زیرزمینی پدیدهٔ فرونشست را به‌دنبال دارد و همهٔ این عوامل در جدی‌تر کردن خطرات و بلایای بیابان‌زایی سهیم می‌باشند. میزان سدیم خاک، نقش مؤثری در پراکندگی کلوئیدهای رسی و انهدام ساختمان خاک و در نتیجه از بین رفتن تهویه و کاهش نفوذپذیری بر عهده دارد (Jahantigh & Jahantigh., 2022) و در نهایت بر روند بیابان‌زایی اثرگذار است.

Anjum و همکاران (۲۰۱۰)، Zalibekov و همکاران (۲۰۱۹) نیز تأیید نمود که کاهش سطح آب زیرزمینی باعث سرعت روند بیابانی شدن مناطقی از پاکستان و آفریقا شده است. در پژوهشی دیگر Khanamani و همکاران (۲۰۱۷)، به نقش سدیم قابل‌جذب، مواد آلی و سایر نمک‌ها بر افزایش روند بیابان‌زایی اشاره داشتند که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. Mesbahzadeh و Soleimani Sardoo (۲۰۱۹) در بررسی روند بیابان‌زایی دشت کرمان با شاخص‌های بارش سالانه، شاخص خشکی SPI و شاخص تداوم خشک‌سالی به این نتیجه رسیدند که این منطقه در طبقهٔ شدید، کم و شدید قرارگرفته است که با یافته‌های این پژوهش مطابقت و هم‌خوانی دارد.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

امروزه برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و آبیاری‌های غیراصولی زمین‌های کشاورزی باعث کاهش توان دینامیکی سفره‌ها، پدیدهٔ فرونشست، فشرده شدن زمین، کاهش آب‌دهی و خشک شدن بعضی از چاه‌ها و پیشروی جبههٔ آب‌شور در مجاور بعضی از کفه‌ها در سفره‌های آب زیرزمینی شده است. به‌طوری‌که سرعت تخریب و بهره‌برداری بسیار بیش‌تر از روند تجدید و احیاء این منابع شده و همین مسأله باعث نابودی سطوح گسترده‌ای از منابع و شکنندگی عرصه‌های وسیع‌تر محیط‌زیست شده است. در این میان، دشت رفسنجان، جزء مناطق بحرانی فرونشست می‌باشند. به همین منظور ارزیابی تخریب اراضی ناشی از فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی در حوزهٔ آبخیز رفسنجان از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. پژوهش حاضر، با هدف تعیین شدت بیابان‌زایی و یا به‌بیان‌دیگر، تخریب زمین توسط مدل ایرانی بیابان‌زایی IMDPA در این حوزهٔ آبخیز با تأکید بر دو معیار آب زیرزمینی و نرخ فرونشست زمین انجام شده است. نتایج این پژوهش مؤید آن است که مطابق معیار آب زیرزمینی میانگین هدایت الکتریکی، سدیم قابل‌جذب و افت سطح تراز آب منطقه در وضعیت بیابان‌زایی خیلی‌شدید، کم و شدید قرار دارد. علاوه بر آن، از نظر شدت بیابان‌زایی از منظر معیار آب، منطقه در طبقه‌های کم، متوسط، شدید و خیلی‌شدید واقع شده است. در نهایت، شدت بیابان‌زایی بر طبق دو معیار مورد بررسی در سه طبقهٔ کم، متوسط و شدید قرار گرفته که بیش‌ترین سطح، مربوط به شدت متوسط می‌باشد. نتایج این پژوهش، افقی روشن برای مدیران و برنامه‌ریزان بخش منابع طبیعی ایجاد خواهد کرد که منجر به شناخت دقیق معیار و شاخص‌های مؤثر در وقوع بیابان‌زایی در منطقه خواهد شد. علاوه بر آن پیشنهاد می‌شود که برای تخمین دقیق این پدیده، سایر عوامل مؤثر در منطقه شناسایی و به مدل مورد نظر معرفی شود.

سپاسگزاری

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

این اثر بر گرفته از بخشی از نتایج پروژهٔ تحقیقاتی با عنوان "مطالعات تخریب خاک و فرونشست تحت تأثیر منابع آب زیرزمینی در دشت‌های ایران"، با کد ۹۹۰۵۴۳-۹۹۰۲۵-۰۳۰-۰۹-۰۱ و مصوب در مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور می‌باشد. نویسندگان این مقاله بر خود فرض می‌دانند از همکاری و پشتیبانی آن مؤسسه سپاسگزاری و قدردانی نمایند.

منابع

1. Alesheikh, A., Chatrsimab, Z., Vosoghi, B., Modiri, M., & Pakdaman, M.S. (2022). Surveying subsurface abandonment due to groundwater irregular removal using radar interferometry technique. Marvdasht Aquifer. *Watershed Engineering and Management*, 14(1), 114-125. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.116621.1400
2. Anderssohn, J., Wetzel, H.U., Walter, T.R., Motagh, M., Djamour, Y., & Kaufmann, H. (2008). Land subsidence pattern controlled by old alpine basement faults in the Kashmar Valley, northeast Iran: results from InSAR and levelling. *Geophysical Journal International*, 174(1), 287-294. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03805.x
3. Anjum, S.A., Wang, L.C., Xue, L., Saleem, M.F., Wang, G.X., & Zou, C. M. (2010). Desertification in Pakistan: Causes, impacts and management. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8, 1203-1208.
4. Brown, S., & Nicholls, R.J. (2015). Subsidence and human influences in mega deltas: the case of the Ganges–Brahmaputra–Meghna. *Science of the Total Environment*, 527, 362-374. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.124
5. Declercq, P., Gerard, P., Pirard, E., Perissin, D., Walstra, J., & Devleeschouwer, X., (2017). Subsidence related to groundwater pumping for breweries in Merchtem area (Belgium), highlighted by Persistent Scaterrer Interferometry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoformation*, 63, 178-185. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.07.012
6. Diao, X., Wu, K., Chen, R., & Yang, J. (2019). Identifying the cause of abnormal building damage in mining subsidence areas using InSAR technology. *IEEE Access*, 7, 172296-172304. DOI:10.1109/ACCESS.2019.2956094
7. Chen, B., Gong, H., Li, X., Lei, K., Zhu, L., Gao, M., & Zhou, C. (2017). Characterization and causes of land subsidence in Beijing, China. *International Journal of Remote Sensing*, 38(3), 808-826. DOI:10.1080/01431161.2016.1259674
8. Chen, B., Gong, H., Chen, Y., Li, X., Zhou, C., Lei, K., Lei, Z., Lei, D., & Zhao, X. (2020). Land subsidence and its relation with groundwater aquifers in Beijing Plain of China. *Science of the Total Environment*, 735, 139111. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139111
9. Golshiriasfahani, Z., & Sarai, M. (2013). An Investigating of Human Activities Affecting the Desertification in Arid Rural Areas: A Case Study of Mortazeye Desert, Yazd Province. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 1(1), 35-52. (In Persian).
10. Guzy, A., & Malinowska, A.A. (2020). State of the art and recent advancements in the modelling of land subsidence induced by groundwater withdrawal. *Water*, 12(7), 2051. https://doi.org/10.3390/w12072051
11. Han, J., Wang, J., Chen, L., Xiang, J., Ling, Z., Li, Q., & Wang, E. (2021). Driving factors of desertification in Qaidam Basin, China: An 18-year analysis using the

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

geographic detector model. *Ecological Indicators*, 124, 107404. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107404
12. Han, Y., Liu, G., Liu, J., Yang, J., Xie, X., Yan, W., & Zhang, W. (2023). Monitoring and Analysis of Land Subsidence in Jiaozuo City (China) Based on SBAS-InSAR Technology. *Sustainability*, 15(15), 11737. https://doi.org/10.3390/su151511737
13. Huang, Q., Miao, C., Yuan, Y., Qu, Y., & Gou, Y. (2023). Failure analysis of metro tunnel induced by land subsidence in Xi'an, China. *Engineering Failure Analysis*, 145, 106996. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106996
14. Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2022). Compare Desert Environments Soil Physical and Chemical Characteristics with Different Vegetation (Case Study: Southwestern of Sistan Region). *Human & Environment*, 20(1), 117-128. (In Persian).
15. Li, Y., Gong, H., Zhu, L., & Li, X. (2017). Measuring spatiotemporal features of land subsidence, groundwater drawdown, and compressible layer thickness in Beijing Plain, China. *Water*, 9(1), 64. https://doi.org/10.3390/w9010064
16. Khanamani, A., Fathizad, H., Karimi, H., & Shojaei, S. (2017). Assessing desertification by using soil indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 1-10. DOI:10.1007/s12517-017-3054-5
17. Khosravi, H., Zehtabian, Gh.R., Ahmadi, H., Azarnivand, H., & Ghaiebi, H.Gh. (2014). Hazard Assessment of Desertification as a Result of Soil and Water Recourse Degradation in Kashan Region, Iran. *Desert*, 19(1), 44-55. (In Persian). DOI: 10.22059/jdesert.2014.51053
18. Lan, T., Luo, X., Ma, Q., Jiang, W., & Xia, H. (2023). Desertification Caused by Embankment Construction in Permafrost Environment on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(1), 583-599. https://doi.org/10.1007/s13369-022-06988-y
19. Li, Z., Chen, Q., Xue, Y., Qiu, D., Chen, H., Kong, F., & Liu, Q. (2023). Numerical investigation of processes, features, and control of land subsidence caused by groundwater extraction and coal mining: a case study from eastern China. *Environmental Earth Sciences*, 82(3), 82. DOI:10.1007/s12665-023-10779-5
20. Mesbahzadeh, T., & Soleimani Sardoo, F. (2019). Forecasting of desertification of Kerman plain, based on the climate criterion in 1409 using IMDPA model. *Extension and Development of Watershed Management*, 6(23), 50-57. (In Persian).
21. Meza Mori, G., Torres Guzmán, C., Oliva-Cruz, M., Salas López, R., Marlo, G., & Barboza, E. (2022). Spatial Analysis of Environmentally Sensitive Areas to Soil Degradation Using MEDALUS Model and GIS in Amazonas (Peru): An Alternative for Ecological Restoration. *Sustainability*, 14, 14866. https://doi.org/10.3390/su142214866
22. Moazenpour Kermani, M., Mohammadi Mohammad Abadi, A., Badiehneshin, A., & Noory, H. (2018). Measurement of evapotranspiration and crop coefficient of pistachio trees in Rafsanjan region. *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(2), 47-55. (In Persian). DOI: 10.22125/AGMJ.2018.59723
23. Mombeni, M., Karamshahi, A.A., Azadnia, F., Garaee, P., & Karimi, K. (2016). Assessment of desertification intensity using IMDPA method (Case study: Dashte Abbas, Ilam). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(3), 100-112. (In Persian).
24. Rafi Sharifabad, J., & Alipour, A. (2023). Formulation and evaluation of desertification control strategies using SWOT model (case study: Yazd province). *Amad and Defense Technology Quarterly*, 5(2), 47-70. (In Persian). DOR: 20.1001.1.28212606.1401.5.14.2.2
25. Saleh, I., Khazaei, M., & Naeimi, M. (2023). Desertification intensity affected by groundwater and land subsidence in Maharloo-Bakhtegan watershed. *Water and Soil*

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]

Management and Modelling, 3(2), 171-184. (In Persian). DOI:10.22098/mmws.2022.11906.1187

26. Shi, X., Fang, R., Wu, J., Xu, H., Sun, Y., & Yu, J. (2012). Sustainable development and utilization of groundwater resources considering land subsidence in Suzhou, China. *Engineering geology*, 124(1), 77-89. DOI:10.1016/j.enggeo.2011.10.005
27. Sowter, A., Amat, M.B.C., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A., & Alshammari, L. (2016). Mexico City land subsidence in 2014-2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoformation*, 52, 230-242. https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.015
28. Tzampoglou, P., Ilia, I., Karalis, K., Tsangaratos, P., Zhao, X., & Chen, W. (2023). Selected Worldwide Cases of Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal. *Water*, 15(6), 1094. https://doi.org/10.3390/w15061094
29. Younas, M., Khan, S.D., Tirmizi, O., & Hamed, Y. (2023). Geospatial analytics of driving mechanism of land subsidence in Gulf Coast of Texas, United States. *Science of the Total Environment*, 902, 166102. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166102
30. Zalibekov, Z.G., Mamaev, S.A., Biarslanov, A.B., Magomedov, R.A., Asgerova, D.B., & Galimova, U.M. (2019). The use of fresh groundwater from arid regions of the world in the fight against land desertification. *Arid ecosystems*, 9, 77-84. https://doi.org/10.1134/S2079096119020112
31. Zolfaghari, F., & Khosravi, H. (2016). Assessment of Desertification Severity Using IMDPA Model in Saravan Region. *Geography and Environmental Planning*, 27(2), 87-102. (In Persian). DOI: 10.22108/GEP.2016.21817
32. Zou, L., Kent, J., Lam, N.S.N., Cai, H., Qiang, Y., & Li, K. (2015). Evaluating land subsidence rates and their implications for land loss in the lower Mississippi River basin. *Water*, 8(1), 10. https://doi.org/10.3390/w8010010

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.8]