



Hakim Sabzevari University

Arid Regions Geographic Studies

Homepage: jargs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-7167
E- ISSN: 2981-1910



Assessing the Potential of the sabkhas of the Hor al-Azim wetland in generating fine dust using the WASPAS model

Kosar Abyat¹ | Sajad Zareie²

1. Remote Sensing and GIS department, Earth Sciences faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz.Iran
abyatkosar@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Remote Sensing and GIS, Earth Sciences faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. s.zareie@scu.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 16
No: 61
P: 145-164
Received: 2024-12-21
Revised: 2025-01-19
Accepted: 2025-02-01
Published: 2025-11-01

Keywords:

- Multi-criteria decision making
- WASPAS
- Fine dust
- Hor al-Azim wetland

Cite this Article:

Abyat, Kosar & Zareie, Sajad, (2025). Assessing the Potential of the sabkhas of the Hor al-Azim wetland in generating fine dust using the WASPAS model. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(61): 145-164.
doi: 10.22034/jargs.2025.494634.1168.

Publisher: Hakim Sabzevari University

The Author(s) Authors retain the copyright and full publishing rights



10.22034/jargs.2025.494634.1168

Abstract

Aim: One of the most significant measures to reduce the destructive impact of fine dust on the environment and human health is dust source detection and conducting specialized studies on them. This study aims to assess the potential of the Hor al-Azim sabkhas in generating dust.

Material & Method: A combination of field, laboratory analyses, and the WASPAS multi-criteria decision-making model was applied. The parameters used include salinity, moisture, PH, specific gravity, sodium absorption ratio, and the amount of clay, silt, and sand, as well as vegetation maps and land surface temperature. The Shannon entropy weighting method was used, and the options were prioritized using the WASPAS model. The final 5-class map of the potential for fine dust production was then prepared based on this model.

Finding: The findings illustrated that 18.84 percent of the area is in the very high-risk category, 30.50 percent is in the medium-risk category, and 14.85 percent is in the low-risk category. The southern parts of the region are classified as very high and high risk, the central parts as medium risk, and the northern parts of the western as low and very low risk.

Conclusion: The results align with the maps of dust origin and sources in Khuzestan province, which include the dried parts of the Hor-e-Azim wetland and its surrounding areas. It can be said that the study area is one of the most significant sources of dust production in the country.

Innovation: A combination of field and laboratory studies and the use of the WASPAS multi-criteria decision-making model was employed to assess the potential of the existing sabkhas in the Hor al-Azim wetland in producing dust, for the first time in this study using physicochemical properties of the region's soils.

Extended Abstract

1. Introduction

Dust storms are one of the most significant sources of atmospheric pollution, occurring in arid and desert regions. Iran is constantly under the influence of dust storms due to its proximity to a large part of the desert areas. Dust storms have a negative impact on climate, weather patterns, the air quality of ecosystems, and human health. One of the most essential measures to control and reduce the destructive impact of dust storms on the environment and human health is dust source detection and conducting specialized studies on them. Since the drying of the Hor al-Azim wetland and its transformation into a sabkha has created lands susceptible to erosion and dust centers, this study aims to identify places with high potential for dust storms in the Hor al-Azim wetland, as well as potential assessment of the existing sabkhas in this wetland in the production of dust storm with a combination of field, laboratory studies and the use of multi-criteria decision-making model WASPAS.

2. Materials and Methods

In this research, to identify dust storm source areas, the initial areas that have soil erosion potential are determined. The determining factors of soil erosion in this study are the physical and chemical properties of the soils of the study area, including salinity, PH, bulk density, sodium absorption ratio, and amount of clay, silt, and sand, as well as vegetation and land surface maps. After determining the effective criteria, soil property maps were prepared using the ordinary kriging method, and vegetation and land surface temperature maps were prepared using NDVI and LST indices, respectively. In the WASPAS model, in order to prioritize the options, it is necessary to weigh the criteria. For this purpose, the weight of these criteria was calculated by the Shannon entropy weighting method, and finally, the options were prioritized with the WASPAS model, and the final 5-class map of dust storm generation potential was prepared based on the output of this model.

3. Results and Discussion

The results of this study indicate that the salinity level in most of the study area is in the very high salinity class, and there also is a sodium problem. The moisture map of the region illustrates low moisture in the southern and southeastern parts. The average bulk density was low, which indicates the fine-grained nature of the soils in the study area, with the lowest value in the southern parts. Also, in the soils of the study area, the amount of silt is higher than the percentage of clay and sand particles. These factors reduce the strength and stability of the soil against wind erosion and erosion and ultimately lead to the formation of dust storm centers. The zonation map of the potential of sabkhas to generate dust storms using the WASPAS model reveals that 18.84% of the study area falls into the very high-risk range, 30.50% into the medium-risk range, and 14.85% into the low-risk range. The southern parts of the region are in the very high and high-risk classes, the middle parts of the region are in the medium-risk class, and the northern parts and parts of the west of the region are in the low and very low-risk classes.

4. Conclusions

The zonation map of the potential of sabkhas to generate dust storms using the WASPAS model illustrated that the southern parts of the region are in the very high and high-risk classes. Comparing this map with the maps of moisture, bulk density, and vegetation, which have a negative impact, meaning that their low levels increase the risk of dust storm formation. This comparison shows that these parts have the lowest amount of moisture, bulk density, and also the low amount of vegetation cover. Also, this map shows that the middle sections of the region are in the medium-risk class, and the northern parts and parts of the west of the region are in the low and very low-risk classes. A comparison of the findings from this study revealed that the results align with the maps of dust origin and sources in Khuzestan province, which include the dried parts of the Hor al-Azim wetland and its surrounding areas. Additionally, based on the obtained results, it can be

said that the study area is one of the most significant sources of dust production in the country and, hence, requires management interventions to control or reduce its production.

5. Acknowledgment & Funding

The authors are grateful to US Geological Survey for providing the required data. The manuscript did not receive a grant from any organization.

6. Conflict of Interest

Ethical principles have been fully followed in manuscript preparation. The authors declare no conflict of interest.



پتانسیل سنجی سبخاهای تالاب هورالعظیم در ایجاد طوفان گرد و غبار با

استفاده از مدل WASPAS

کوثر عیبات^۱، سجاد زارعی^۲ 

۱- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. abyatkosar@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. s.zareie@scu.ac.ir

چکیده

هدف: یکی از اقدامات لازم برای کنترل اثرات مخرب طوفان گرد و غبارها بر محیطزیست و سلامت انسانها، شناسایی کانونهای آنها و انجام مطالعات تخصصی روی آنها است. از آنجایی که خشک شدن تالاب هورالعظیم و تبدیل آن به سبخا باعث ایجاد زمین‌هایی حساس به فرسایش و کانونهای طوفان گرد و غبار شده است؛ لذا هدف این مطالعه پتانسیل سنجی سبخاهای هورالعظیم در ایجاد طوفان گرد و غبار است.

روش و داده: برای این منظور مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره WASPAS استفاده شده است. پارامترهای استفاده‌شده در این مطالعه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه که شامل شوری، رطوبت، اسیدیته، وزن مخصوص ظاهری، نسبت جذب سدیمی و میزان رس، سیلت، شن و همچنین نقشه‌های پوشش گیاهی و دمای سطح زمین بوده است. جهت تعیین وزن این معیارها از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون استفاده گردید و اولویت‌بندی گزینه‌ها با مدل WASPAS انجام شد و نقشه نهایی ۵ کلاسه پتانسیل سنجی تولید طوفان گرد و غبار تهیه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۱۸/۸۴ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه در محدوده خطرپذیری بسیار بالای تولید طوفان گرد و غبار، ۳۰/۵۰ درصد در محدوده خطرپذیری متوسط و ۱۴/۸۵ درصد از مساحت منطقه در محدوده خطرپذیری پایین قرار دارد. بخش‌های جنوبی منطقه در کلاس خطرپذیری بسیار بالا و بالا، بخش‌های میانی منطقه در خطرپذیری متوسط و قسمت‌های شمالی و بخش‌هایی از غرب منطقه در خطرپذیری کم و بسیار کم قرار دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که یافته‌های مطالعه حاضر با نقشه‌های منشأ تولید طوفان‌های گرد و غبار استان خوزستان که بخش‌های خشک شده تالاب هورالعظیم و نواحی پیرامون آن را شامل می‌شود، مطابقت دارد. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه یکی از مناطق مهم تولید طوفان گرد و غبار در کشور است و نیاز به اقدامات مدیریتی برای کنترل و یا کاهش تولید آن است.

نوآوری، کاربرد نتایج: در این پژوهش برای پتانسیل سنجی سبخاهای موجود در تالاب هورالعظیم در تولید طوفان گرد و غبار، تلفیقی از مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره WASPAS استفاده شد که برای اولین بار در مطالعه حاضر با استفاده از معیارهای فیزیکی شیمیایی خاک‌های منطقه انجام شده است.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره: ۱۶

دوره: ۶۱

صفحه: ۱۴۵-۱۶۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰

کلیدواژه‌ها:

- تصمیم‌گیری چندمعیاره
- WASPAS
- طوفان گرد و غبار
- تالاب هورالعظیم

نحوه ارجاع به این مقاله:

عیبات، کوثر و زارعی کوثر (۱۴۰۴). پتانسیل سنجی سبخاهای تالاب هورالعظیم در ایجاد طوفان گرد و غبار با استفاده از مدل WASPAS. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶ (۶۱): ۱۴۵-۱۶۴. doi: 10.22034/jargs.2025.494634.1168.

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسندگان حق نشر و حقوق انتشار کامل را حفظ می‌کنند.



10.22034/jargs.2025.494634.1168

۱- مقدمه

طوفان گرد و غبار یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی جوی و یک رویداد طبیعی است؛ اما فعالیت‌های انسانی نقش مؤثری در تشدید آن دارند. از آنجایی که این پدیده در مناطق خشک و بیابانی جهان ایجاد می‌شود، کشور ایران نیز با این مشکل روبه‌رو است. ایران همچنین به دلیل همجوار بودن با بخش وسیعی از پهنه‌های بیابانی، همواره تحت اثر نامطلوب پدیده طوفان گرد و غبار قرار می‌گیرد (Dermani et al., 2019). با توجه به اینکه طوفان‌های گرد و غبار اثرات منفی بر اقلیم، الگوهای آب و هوایی، کیفیت هوا، سلامت اکوسیستم‌ها و سلامت انسان دارند، لذا شناسایی صحیح منابع اصلی، پویایی آن‌ها و پیش‌بینی سناریوهای آینده برای کنترل و کاهش اثرات مضر آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد (Jafari et al., 2024). به همین جهت شناسایی کانون آلودگی، اولین گام در فرآیند تعیین استراتژی مؤثر بر کنترل آلودگی طوفان گرد و غبار محسوب می‌شود (Shayesteh et al., 2020). امروزه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی در تمام زمینه‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی به کار گرفته می‌شوند. با استفاده از مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان تصمیم‌گیری مطلوبی قبل از بروز هرگونه مشکل یا فاجعه گرفته شود (Hosseinkhah and Zarabi, 2019).

عبیات و همکاران در پژوهشی با بررسی محیط‌های رسوبی کواترنری در دشت خوزستان و بررسی کانون‌های داخلی طوفان گرد و غبار، از منظر محیط رسوبی نشان دادند که حدود ۸۰ درصد از کانون‌های داخلی طوفان گرد و غبار، در محیط‌های سب‌خ‌ی قاره‌ای قرار دارند (Abyat et al., 2017). بروغنی و همکاران برای شناسایی منابع طوفان گرد و غبار، از تکنیک‌های سنجش از دور و الگوریتم یادگیری ماشین و از تصاویر ماهواره پرتوسنج طیفی تصویربرداری با توان تفکیک متوسط (MODIS) ۱ طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ استفاده کردند. برای مدل‌سازی از متغیرهای کاربری زمین، سنگ‌شناسی، شیب، خاک، ژئومورفولوژی، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) ۲ و فاصله از رودخانه استفاده کردند و سه الگوریتم یادگیری ماشین، وزن شواهد (WOE) ۳، نسبت فراوانی (FR) ۴ و جنگل تصادفی (RF) ۵ مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که هر سه الگوریتم نقشه‌های حساسیت قابل قبولی از منابع گرد و غبار تولید کردند، ولی الگوریتم جنگل تصادفی عملکرد بالاتری داشت (Boroughani et al., 2020). درویشی بلورانی به منظور ارائه رویکرد جدید برای شناسایی منابع طوفان گرد و غبار از تفسیر بصری و الگوریتم تقسیم‌بندی شی‌گرا استفاده کردند. این مطالعه در منطقه دجله و فرات و شرق ایران صورت گرفت. پارامترهای ورودی رس خاک، ضخامت رسوبات و خاک، کاربری و پوشش زمین و آلودگی سطح زمین بوده است. در نهایت عنوان کردند که منابع انتشار گرد و غبار شناسایی شده در مناطق مورد مطالعه از سازگاری مکانی نسبتاً قابل قبولی در مقایسه با ادبیات تحقیق برخوردار بودند. علاوه بر این، در مقایسه با مطالعات قبلی مرتبط، مرزهای منابع با استفاده از الگوهای مکانی محرک‌های گرد و غبار با حداکثر دقت ممکن استخراج شدند (Darvishi Bolooran et al., 2024). غلامی و همکاران در پژوهشی ۸ الگوریتم داده‌کاوی را برای تهیه نقشه پراکنش طوفان گرد و غبار در استان خوزستان مورد مقایسه قرار دادند. ۱۲ عامل مؤثر بر تولید طوفان گرد و غبار شامل سرعت باد، بارش، بافت خاک، مقاومت خاک، چگالی خاک، شوری خاک، مقدار ماده آلی خاک، ظرفیت آب موجود در خاک، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع و نوع زمین را شناسایی کردند و بر مبنای دقت کاهش میانگین (MDAM) ۶ رتبه‌دهی را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل یادگیری جمعی (EM) ۷ بالاترین دقت را در پیش‌بینی منشأ گرد و غبار داشته است و به چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی کردند که به ترتیب ۳۶، ۱۳، ۲۳ و ۲۸ درصد از کل منطقه را تشکیل می‌دهند (Gholami et al., 2019). وایت و همکاران در مطالعه‌ای با هدف تجزیه و تحلیل مسیر طوفان‌های گرد و غبار در بیابانی در آمریکای شمالی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۲ انجام دادند. برای این منظور از مدل حداقل پارامترهای هواشناسی (HYSPLIT) ۸ استفاده کردند. نتایج حاصل از آن تغییرات مکانی در طوفان‌های گرد و غبار و محتمل‌ترین مسیرهای قوی‌ترین رویدادها را نشان داد و همچنین به شناسایی منشأ گرد و غبار بادی کمک شایانی کرد (White et al., 2023). پوره‌اشمی و همکاران با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور (RS) ۹ و تکنیک‌های یادگیری ماشین، از جمله رگرسیون تطبیقی چند متغیره اسپلاین (MARS) ۱۰، RF و رگرسیون لجستیک

1. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Weight of Evidence
4. Frequency Ratio
5. Random Forest
6. Mean Decrease Accuracy Measure

7. Ensemble Modelling
8. Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model
9. Remote Sensing
10. Multivariate Adaptive Regression Splines

(LR)^۱، برای شناسایی منبع گرد و غبار و تهیه نقشه حساسیت در مرزهای ایران و عراق، استفاده کردند. نتایج هر سه مدل نشان داد که کاربری اراضی بیشترین تأثیر را داشته است. همچنین، نتایج نشان دادند که در هر سه مدل، کلاس‌های حساسیت بالا و بسیار بالا به طور کلی درصد زیادی از منطقه را پوشش می‌دهند (Pourhashemi et al., 2022).

حسینی و همکاران روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^۲ را با هدف شناسایی منبع طوفان گرد و غبار استفاده کردند، که با تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی مسیرهای اصلی سیستم‌های انتقال طوفان گرد و غبار و باد را شناسایی کردند. همچنین سه روش (PSCF)^۳، (CWT)^۴ و (BCT)^۵ را برای ارزیابی پتانسیل منابع طوفان گرد و غبار که ایران مرکزی و یزد را تحت تأثیر قرار می‌دهند، استفاده کردند. رویکرد MCDM برای شناسایی منابع طوفان گرد و غبار نیز نشان داد که دشت کویر در مرکز ایران بحرانی‌ترین منبع طوفان گرد و غبار است (Hosseini et al., 2022). اژدری و همکاران در پژوهشی با هدف شناسایی کانون‌های تولید طوفان گرد و غبار در استان خوزستان، از لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی، قابلیت خاک، کاربری اراضی، توپوگرافی، شیب، اقلیم، تصاویر ماهواره لندست ۸ و اطلاعات حاصل از برداشت‌های صحرایی استفاده کردند. در نهایت با استفاده از توابع همپوشانی فازی، کانون‌های تولید طوفان گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه را شناسایی کردند (Azhdari et al., 2015). شایسته و همکاران در پژوهشی با هدف شناسایی مناطق دارای پتانسیل تولید طوفان گرد و غبار در محدوده استان همدان، مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ایجاد طوفان‌های گرد و غبار را شناسایی و نقشه‌برداری کردند. سپس نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و زبری سطح زمین را بر اساس تصاویر ماهواره‌ای تهیه و با استفاده از توابع فازی و تلفیق شاخص‌ها، مناطق دارای بیشترین پتانسیل شناسایی و اولویت‌بندی شدند (Shayesteh et al., 2020). رایگانی و همکاران به منظور شناسایی کانون‌های تولید طوفان گرد و غبار و بررسی روند تغییرات آن‌ها از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده (OLI)^۶ لندست ۸ در طول سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ استفاده کردند، همچنین اطلاعات زمین‌شناسی و زبری زمین را با روش ارزیابی چندمعیاره تلفیق کردند و نقشه مناطق تولید گرد و غبار را تولید کردند (Raigani et al., 2019).

دشت خوزستان با توجه به واقع بودن در شمال خلیج فارس و نیز دارا بودن دمای بالا، شرایط مناسبی جهت تشکیل سبخ‌های قاره‌ای و ساحلی دارد (Abyat et al., 2019). این سبخ‌ها، در فصل‌های گرم و خشک، توسعه می‌یابند. بستر تالاب‌ها، آبگیرها و نواحی مرکز دشت‌ها به دلیل این که از نهشته‌های دانه ریز رسی تشکیل شده‌اند در صورت خشک شدن، پتانسیل بالایی جهت تولید غبار دارند. همچنین بخش‌های جنوبی و خشک شده تالاب هورالعظیم نمونه بارزی از این مناطق است که به کانونی جهت تولید طوفان‌های گرد و غبار تبدیل شده است (Azhdari et al., 2015).

هدف از این مطالعه، شناسایی مکان‌های دارای پتانسیل بالا در ایجاد طوفان گرد و غبار در تالاب هورالعظیم، همچنین پتانسیل‌سنجی سبخ‌های موجود در این تالاب در تولید طوفان گرد و غبار با تلفیقی از مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره ارزیابی حاصلضرب مجموع وزنی (WASPAS)^۷ است که برای اولین بار در مطالعه حاضر با استفاده از معیارهای فیزیکی شیمیایی خاک‌های منطقه انجام شده است. برای این پژوهش از خصوصیات خاک‌های منطقه مورد مطالعه و همچنین نقشه پوشش گیاهی و دمای سطح زمین استفاده شده است. تفاوت اصلی تحقیق حاضر با پژوهش‌های قبل، این است که در تحقیق حاضر با تمرکز بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌های منطقه، نقشه پتانسیل‌سنجی تولید طوفان گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است.

۲- مواد و روش

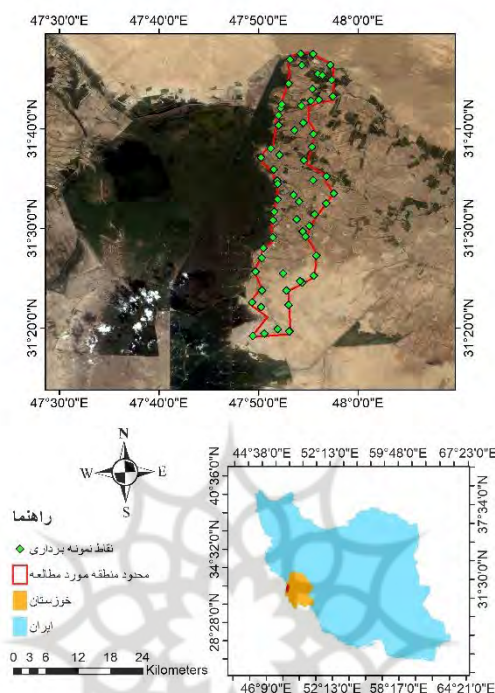
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تالاب هورالعظیم که در جنوب غرب ایران در استان خوزستان واقع شده است، و درصد بالایی از مساحت آن به خشکی تبدیل شده است، در ایجاد و تولید طوفان گرد و غبار نقش مؤثری دارد به همین جهت به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است (شکل ۱). این تالاب در محدوده عرض جغرافیایی ۳۱° ۰۰' تا ۳۱° ۴۵' شمالی و طول جغرافیایی ۴۷° ۲۵' تا ۴۷° ۵۰' شرقی واقع شده است.

1. Legestic Regression
2. Multi Criteria Decision Making
3. Probability of Source Contribution Function
4. Concentration Weighted Trajectory

5. Backward Constrained Trajectory
6. Operational Land Imager
7. Weighted Aggregated Sum Product Assessment

(UNEP, 2001). تالاب هورالعظیم و مناطق مجاور آن از نظر اقلیمی در منطقه گرم و خشک قرار دارند، به طوری که میزان بارش اندک و میزان تبخیر و دمای آن‌ها بسیار بالا است. با توجه به داده‌های ایستگاه هواشناسی بستان که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه است. میانگین بارش سالانه در این منطقه در دوره ۲۰ ساله (سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶) معادل ۱۶۰/۵۸ میلی‌متر، متوسط دمای آن ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دما ۳۶/۹ درجه و میانگین حداقل دما ۱۱/۴ درجه است. همچنین میانگین تبخیر سالانه در منطقه مورد مطالعه برابر ۳۶۴۱ میلی‌متر است.



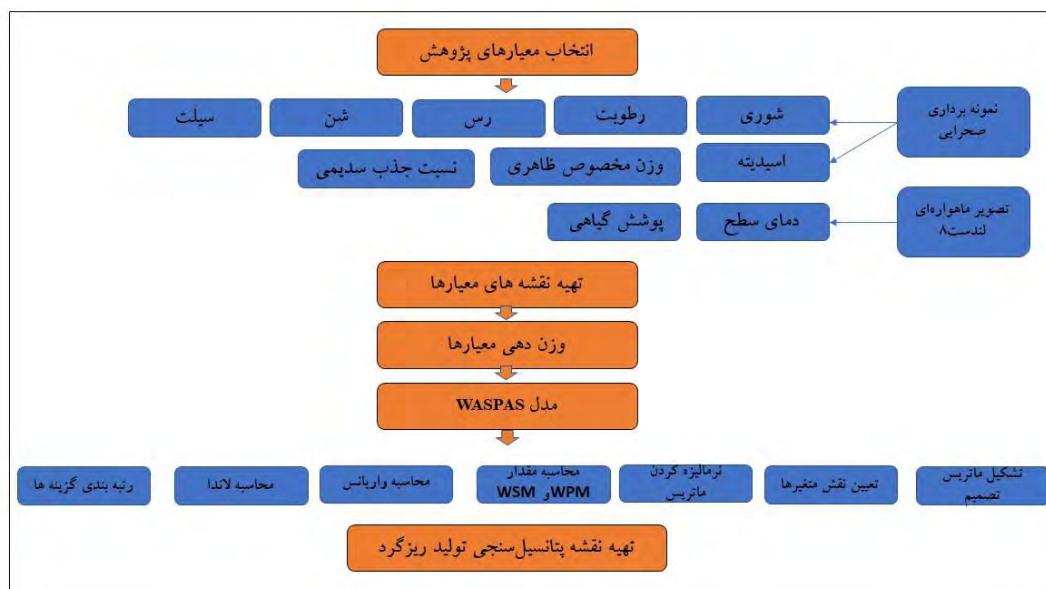
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده بر روی تصویر لندست ۸.

۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش برای شناسایی کانون‌های تولید طوفان گرد و غبار، ابتدا مناطقی که دارای پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک هستند، مشخص شدند. عوامل تعیین‌کننده فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و بافت خاک هستند (Raigani et al., 2019). از عوامل تأثیرگذار دیگر میزان سدیم خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک، شوری خاک، اسیدیته خاک است که به همراه نقشه دمای سطح زمین به عنوان ورودی‌های مدل پتانسیل‌سنجی طوفان گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شکل ۲ فلوچارت مراحل انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

۲-۳- جمع‌آوری نمونه‌های خاک

در این مطالعه تعداد ۶۴ نمونه میدانی از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری برداشت شد که روش برداشت این نمونه‌ها برای افزایش دقت نتایج به صورت تصادفی انتخاب شده است. توزیع و پراکندگی نمونه‌ها به گونه‌ای است که سطح منطقه مطالعاتی را به‌طور همگن و یکنواخت پوشش می‌دهند و برای تعیین و شناسایی موقعیت دقیق نقاط نمونه‌برداری در منطقه از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)^۱ استفاده گردید. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲. روندنمای مراحل انجام کار.

۲-۴- تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک

نمونه‌ها بعد از جمع‌آوری هواخشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها به شرح زیر که در جدول شماره ۱ عنوان شده است، اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری اسیدیته خاک از جمله روش گل اشباع و همچنین عصاره گل اشباع وجود دارد که در پژوهش حاضر از روش عصاره اشباع استفاده گردید.

جدول ۱. آنالیزهای آزمایشگاهی داده‌های خاک و روش‌های مورد استفاده.

آزمایشات	روش
نسبت جذب سدیمی (SAR)	سدیم: قرائت با دستگاه فلیم‌فوتومتر، کلسیم و منیزیم: تیتراسیون با ورسین ۰/۱ نرمال (Lanyon and Hartge, 1982)
وزن مخصوص ظاهری	با استفاده از روش استوانه‌های استاندارد (Blacke and Heald, 1986)
اسیدیته خاک (pH)	قرائت در عصاره گل اشباع (Rhoades, 1996)
شوری خاک (EC _e)	قرائت در عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت سنج برحسب دسی زمینس بر متر (Rhoades, 1996)
درصد رطوبت وزنی	خشک کردن نمونه در آون با دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت
دانه‌بندی (شن، رس، سیلت)	روش هیدرومتري

۲-۵- تهیه نقشه‌های خصوصیات خاک با استفاده از زمین‌آمار

زمین‌آمار یک تکنیک قدرتمند برای مطالعه الگوی فضایی و تغییرپذیری خصوصیات خاک است. در روش‌های زمین‌آمار، با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده می‌توان تخمینی از مقدار آن پارامتر در مکان‌هایی که نمونه‌برداری نشده است، انجام داد. همچنین واریانس خطا را می‌توان با این روش برآورد نمود. یکی از روش‌های درون‌یابی، کریجینگ است که شامل کریجینگ شاخص، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ مشترک که کاربرد هر مدل آن با توجه به ویژگی‌های داده و مدل فضایی مورد نظر تعیین می‌شود (Kaboli-zadeh et al., 2023; Selmy, 2022).

یکی از گسترده‌ترین تکنیک‌های درون‌یابی برای پیش‌بینی الگوهای توزیع فضایی ویژگی‌های خاک، کریجینگ معمولی است. در کریجینگ معمولی، ساختارهای فضایی و الگوهای ویژگی‌های خاک که با سایر عناصر محیطی مرتبط هستند، نادیده گرفته می‌شوند. کریجینگ معمولی یک تکنیک پیش‌بینی فضایی است که واریانس تخمین را به حداقل می‌رساند. کریجینگ معمولی توانایی بالایی در ارزیابی داده‌ها و ارائه نتایج دقیقی به صورت نقشه است. این روش به عنوان یک روش درون‌یابی کارآمد برای بررسی ویژگی‌های فضایی عوامل محیطی و آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود (Selmy, 2022). رابطه زیر فرم کلی معادله کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد (Kabolizadeh et al., 2023).

$$\hat{Z}(x_p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه $\hat{Z}(x_p)$ مقدار تخمینی متغیر Z در موقعیت x_p است. $Z(x_i)$ مقدار معلوم در موقعیت x_i است و λ_i وزن مرتبط با داده است.

برای استفاده از روش‌های درون‌یابی داده‌های مورد استفاده باید دارای توزیع نرمال باشند. برقراری این شرط با استفاده از نمودار چنک-چنک (QQP)^۱ انجام گرفت و داده‌هایی که از توزیع نرمال دور بودند با استفاده از تبدیل لگاریتمی به داده‌هایی با توزیع نرمال تبدیل شدند (Sadeghi Kho, 2018).

۲-۶- تهیه نقشه پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI

شاخص NDVI از نور منعکس شده در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک برای تشخیص و تعیین کمیت حضور گیاهان سبز زنده استفاده می‌کند. به بیان ساده، NDVI معیاری است که سبزی و سلامت پوشش گیاهی را در هر پیکسل در یک تصویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری می‌کند. برای محاسبه این شاخص از باندهای قرمز (Red) و مادون قرمز نزدیک (NIR)^۲ تصویر لندست ۸ (پیکسل سبزی ۳۰ متر) استفاده گردید. این شاخص از تصاویر تاریخ ۲ شهریور ماه ۱۳۹۶ با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Samani et al., 2023; Pradeep Kuma et al, 2022):

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad \text{رابطه ۲:}$$

۲-۷- تهیه نقشه دمای سطحی با استفاده از شاخص دمای سطح زمین (LST)^۳

یکی از معیارهای مؤثر در پتانسیل سنجی تولید طوفان گرد و غبار دمای سطح زمین است که با استفاده از شاخص LST نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است که برای تولید شاخص LST از داده‌های حرارتی لندست ۸ (پیکسل سبزی ۱۰۰ متر) استفاده شد. محاسبه شاخص LST از تصاویر تاریخ ۲ شهریور ماه ۱۳۹۶ طبق فرمول‌های زیر شامل مراحل محاسبه رادیانس طیفی، وضعیت پوشش گیاهی، کسر پوشش گیاهی، گسیلمندی و دمای درخشندگی است (Samani et al., 2023; Pradeep Kuma et al, 2022).

$$TOA = ML * Q_{cal} + AL - Oi \quad \text{رابطه ۳:}$$

ضرایب این رابطه از فایل فرا داده تصویر لندست ۸ استخراج می‌شوند و Q_{cal} تصویر خام باند ۱۰ است.

$$BT = (K_2 / (\ln(K_1 / L) + 1)) - 273.15 \quad \text{رابطه ۴:}$$

K_1 و K_2 ثابت حرارتی هستند ($K_1 = 774/89$ و $K_2 = 1321/0.8$).

$$NDVI = (NIR(\text{Band } 5) - R(\text{Band } 4)) / (NIR(\text{Band } 5) + R(\text{Band } 4)) \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$P_v = \text{Square}((NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})) \quad \text{رابطه ۶:}$$

P_v معادل کسر پوشش گیاهی

$$\varepsilon = 0.004 * P_v + 0.986 \quad \text{رابطه ۷:}$$

ε معادل گسیلمندی

$$LST = BT / (1 + (\lambda \times BT / C2) \times \ln(\varepsilon)) \quad \text{رابطه ۸:}$$

در این رابطه $C2 = 14/388$ و مقدار λ برای باند ۱۰ لندست ۸ برابر $10/8$ و باند ۱۱ برابر $12/0$ است.

۲-۸- وزن دهی به روش آنتروپی شانون

جهت وزن دهی معیارها از روش وزن دهی آنتروپی شانون استفاده گردید. این روش بر این فرض استوار است که هر چه شاخص‌ها برای یک معیار پراکنده‌تر باشد، اهمیت آن معیار بیشتر می‌شود. مزیت اساسی رویکرد آنتروپی نسبت به سایر تکنیک‌ها این است که ذهنیت تصمیم‌گیرنده را در تعیین وزن‌ها حذف می‌کند. روش وزن دهی آنتروپی را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود (Singh, 2024).

$$P_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{رابطه ۹:}$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [P_{ij} \ln P_{ij}] \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

$$d_i = 1 - E_j \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

۲-۹- مدل ارزیابی حاصلضرب مجموع وزنی (WASPAS)

مدل WASPAS یکی از جدیدترین مدل‌های ترکیبی تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توسط زاوادمکاس و همکاران در سال ۲۰۱۲ معرفی شده است. مدل ارزیابی تولید وزنی تجمعی WASPAS در مسائل پیچیده تصمیم‌گیری کارایی بالایی دارد و نتایج آن از دقت بالایی برخوردار است. WASPAS تکنیک بسیار دقیقی است که مبتنی بر روش‌های عینی است و همچنین ماتریس تصمیم‌گیری آن بر پایه جدیدترین داده‌های عینی و پایه‌ای است. این مدل از ترکیب مدل جمع وزنی (WSM) و مدل حاصلضرب وزنی (WPM) به دست آمده است. مراحل انجام این مدل به صورت زیر است: (Hosseinihah et al., 2019; Rezaei Moghadam et al., 2019).

مرحله اول مدل مذکور تشکیل ماتریس تصمیم (مشخص کردن گزینه‌ها و معیارها) است و مرحله دوم آن نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم با استفاده از معادلات زیر است.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad \text{رابطه ۱۳:}$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad \text{رابطه ۱۴:}$$

که $\bar{x}_{ij}$ در این معادله مقدار نرمالیزه شده، x_{ij} نشان‌دهنده ارزش گزینه i طبق معیار j ، j مجموعه گزینه‌ها و i مجموعه معیارها است.

مرحله سوم پیاده‌سازی این مدل، محاسبه مدل‌های $WSM(Q_i^{(1)})$ و $WPM(Q_i^{(2)})$ با استفاده از معادلات زیر است.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \quad \text{رابطه ۱۵:}$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad \text{رابطه ۱۶:}$$

که $Q_i^{(1)}$ اهمیت نسبی گزینه‌ها بر اساس مدل WSM، $Q_i^{(2)}$ اهمیت نسبی گزینه‌ها بر اساس مدل WPM، n تعداد معیارها و w_j وزن معیار j هستند.

اما، مرحله چهارم اجرای مدل، محاسبه مقادیر واریانس $WSM(Q_i^{(1)})$ و $WPM(Q_i^{(2)})$ با استفاده از معادلات زیر است.

$$\sigma^2(Q_i^{(1)}) = \sum_{j=1}^n w_j^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad \text{رابطه ۱۷:}$$

$$\sigma^2(Q_i^{(2)}) = \sum_{j=1}^n \left[\frac{\prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j * w_{ij}}}{(\bar{x}_{ij})^{w_j (\bar{x}_{ij})^{(1-w_j)}}} \right] \sigma^2(w_{ij}) \quad \text{رابطه ۱۸:}$$

در مرحله پنجم پیاده‌سازی مدل، محاسبه مقدار بهینه لاندا از طریق معادله زیر انجام شد.

$$\lambda = \frac{\sigma^2(Q_i^{(2)})}{\sigma^2(Q_i^{(1)}) + \sigma^2(Q_i^{(2)})} \quad \text{رابطه ۱۹:}$$

در مرحله ششم اجرای مدل مقادیر ترکیب شده از روش WASPAS برای هر معیار محاسبه شدند.

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} = 0.5 \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} + 0.5 \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad \text{رابطه ۲۰:}$$

و نهایتاً در مرحله هفتم پیاده‌سازی مدل، بر اساس مقدار Q_i رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود. به منظور افزایش دقت رتبه‌بندی روش WASPAS در تعیین اهمیت نسبی گزینه i ام از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} + (1 + \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad \text{رابطه ۲۱:}$$

$$(\lambda = 0, 0.1, \dots, 1)$$

۲-۱۰- صحت‌سنجی

در مرحله آخر صحت نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور نقشه تولید طوفان گرد و غبار مدل WASPAS با نقشه‌های تولید طوفان گرد و غبار در استان خوزستان که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور و همچنین نقشه حساسیت به تولید طوفان گرد و غبار که توسط غلامی و همکاران با روش داده‌کاوی در استان خوزستان تهیه شده بود، تطابق داده شدند (Gholami et al., 2019).

۳- یافته‌ها

در این پژوهش پس از تعیین معیارهای مؤثر، نقشه‌های هر معیار تهیه گردید که نتایج آن‌ها در شکل‌های شماره ۳ نشان داده شده است.

• شوری

از عوامل مهم در افزایش حساسیت خاک به بادبردگی شوری خاک است که سبب پوکی خاک می‌گردد (Kharazmi et al., 2023). برای تهیه نقشه شوری منطقه، هدایت الکتریکی نمونه‌های جمع‌آوری شده در آزمایشگاه محاسبه و با استفاده از روش کریجینگ نقشه شوری منطقه تهیه گردید.

محدوده شوری بر اساس معیارهای کلاس شوری خاک سازمان مطالعات شوری خاک آمریکا است که چنانچه میزان EC_e از ۴ دسی زیمنس بر متر کمتر باشد، خاک در طبقه غیرشور و بیشتر از ۳۲ دسی زیمنس بر متر خاک در طبقه شوری بسیار زیاد قرار می‌گیرد (Pishnamaz Ahmadi et al., 2023). نتایج حاصل در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که شوری در اکثر منطقه مورد مطالعه بسیار زیاد است و میانگین آن $144/99$ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. این نتایج با مطالعات کونینگ مطابقت دارد (Konig, 2012)، این پژوهشگر مقادیر شوری (EC_e)^۱ در سیخا را حدود 167 دسی زیمنس بر متر به دست آورد و عنوان کرد میزان شوری در سطح، در حد سمی است (Konig, 2012). شکل ۳ (الف) نشان می‌دهد که بیشترین میزان شوری در بخش‌های جنوبی منطقه قرار دارد. لازم به ذکر است که این موضوع سبب کاهش استحکام خاک در مقابل بادبردگی می‌شود (Kharazmi et al., 2023).

• نسبت جذب سدیمی (SAR)^۲

سدیم در اغلب خاک‌های مناطق خشک و به خصوص در خاک‌های محتوی نمک‌های محلول به مقدار قابل توجهی وجود دارد. در شرایط سدیمی، خاکدانه‌ها در معرض پراکنش بوده و از پایداری آن‌ها کاسته می‌شود. در خاک‌ها نسبت بین سدیم و سایر کاتیون‌های دو ظرفیتی مهم است که از طریق پارامتر SAR بیان می‌شود (Mirian et al., 2014). نمک‌ها و یا یون‌های سدیمی در غلظت‌های بالا شرایط نامساعدی برای رشد گیاهان ایجاد می‌کنند و اغلب منجر به برهنه شدن سطح زمین می‌شوند. میانگین نسبت جذب سدیمی در منطقه مورد مطالعه، $59/16$ است، چون میزان آن از 13 بالاتر است، در نتیجه منطقه دارای مشکل سدیمی است. نبی‌اللهی و همکاران طی پژوهشی بیان کردند اگر منطقه از لحاظ ژئومورفولوژی پست باشد و همچنین دارای سفره‌های آب زیرزمینی با کیفیت نه چندان مناسب باشد که در عمق کمی نسبت به سطح زمین واقع شده‌اند (Nabi Elahi et al., 2017)، این مسئله باعث افزایش میزان شوری و SAR در منطقه می‌شود. شکل ۳ (ب) نقشه پراکنش نسبت جذب سدیمی در منطقه مطالعاتی این پژوهش را نشان می‌دهد.

• اسیدیته

تقسیم‌بندی خاک در مناطق خشک و نیمه خشک مثل ایران به صورت زیر است: اسیدی قوی $pH=4-5/5$ ، اسیدی ضعیف $6/9-$ $5/5$ ، خنثی $pH=7$ ، قلیایی ضعیف $pH=7-8/3$ ، قلیایی قوی $pH=8/3-9$ (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲). pH خاک‌های مورد مطالعه، $7/19$ به دست آمد، در نتیجه در گروه خاک‌های قلیایی ضعیف $pH=8-7/3$ هستند. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف زیادی بین pH خاک‌های منطقه وجود ندارد. احمدی و همکاران نیز بیان داشتند که pH خاک همبستگی بسیار قوی با بارندگی دارد، بدین طریق که مناطق خشک و نیمه خشک قلیایی یا خنثی هستند (Ahmadi et al., 2011). شکل ۳ (پ)، نقشه پهنه‌بندی اسیدیته خاک را در منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

• رطوبت

کمبود رطوبت خاک نقش مهمی در شکل‌گیری و گسترش کانون‌های تولید طوفان گرد و غبار دارد. رطوبت خاک علاوه بر تأثیر مستقیمی که در یکپارچه‌سازی ذرات خاک و جلوگیری از انفصال آن‌ها دارد، نقشی تعیین‌کننده در میزان دمای سطح و پوشش گیاهی منطقه دارد و به طور غیرمستقیم در ایجاد منشأ تولید طوفان گرد و غبار مؤثر است (Heidarian et al., 2017). میانگین درصد رطوبت در منطقه مورد مطالعه $12/88$ است. طبق نتایج به دست آمده، تفاوت زیادی در مقدار رطوبت در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۳ (ت) قابل مشاهده است، بخش‌های شمالی بیشترین میزان رطوبت و بخش‌های جنوب و جنوب شرقی کمترین میزان رطوبت را دارا هستند.

• وزن مخصوص ظاهری

میانگین وزن مخصوص ظاهری در منطقه مورد مطالعه مقدار پایینی ($1/2$) به دست آمد، که نشان ریزدانه بودن خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. شکل ۳ (ث) نشان می‌دهد که بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه کمترین مقدار وزن مخصوص ظاهری را دارند، در نتیجه شرایط مناسبی برای ایجاد طوفان گرد و غبار فراهم می‌شود.

• دانه‌بندی خاک (شن، رس، سیلت)

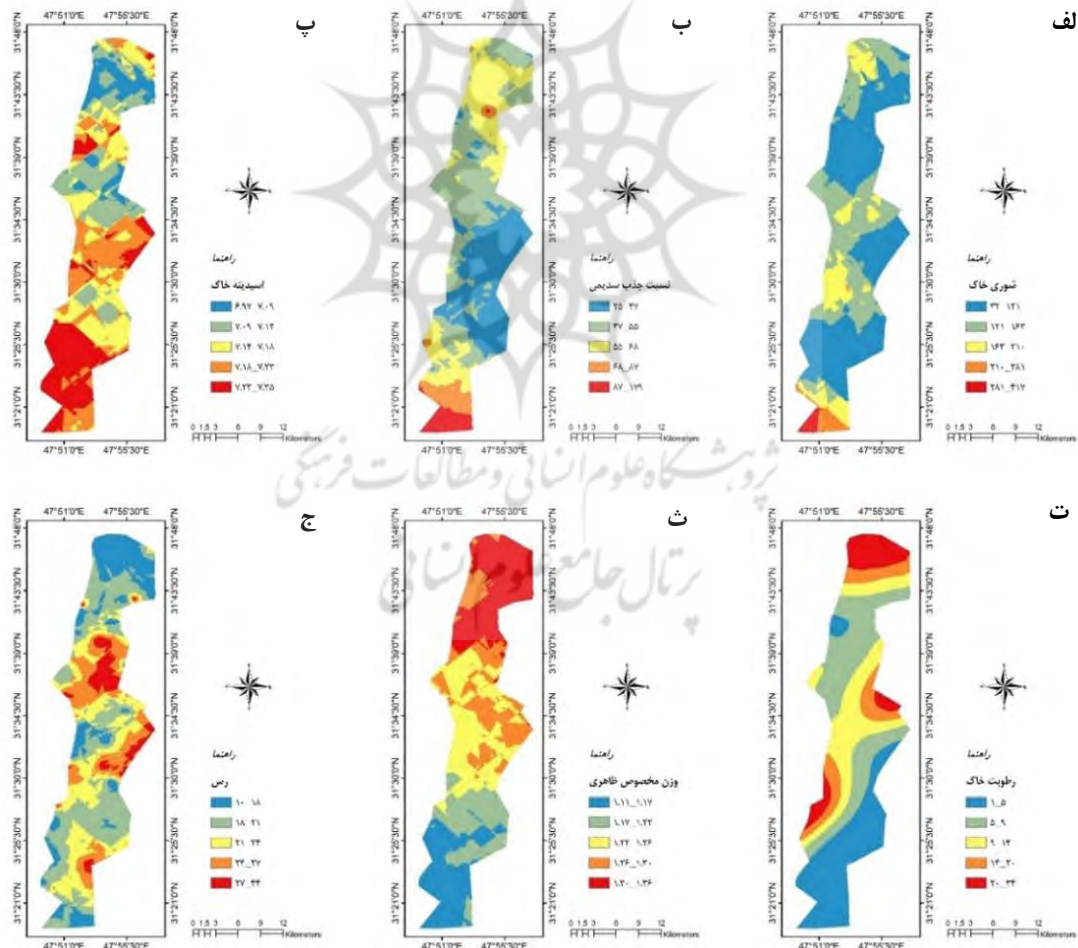
شکل‌های ۳ (ج)، (چ) و (ح) پهنه‌بندی رس، سیلت و شن را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهند. در خاک‌های منطقه مورد مطالعه میزان سیلت بیشتر از درصد ذرات رس و شن به دست آمد. مطالعات بیت‌لفته و همکاران نشان می‌دهد که توزیع اندازه ذرات خاک‌های محلی اطراف هورالعظیم عمده آن‌ها از ذرات با اندازه سیلت تشکیل شده است که با افزایش سرعت باد به راحتی فرسایش می‌یابند (Beitlftteh et al., 2015). زمین‌های تالابی خشکیده به علت ریز و سبک بودن رسوب‌ها از منابع اصلی تولید طوفان گرد و غبار هستند (Dargahian et al., 2020).

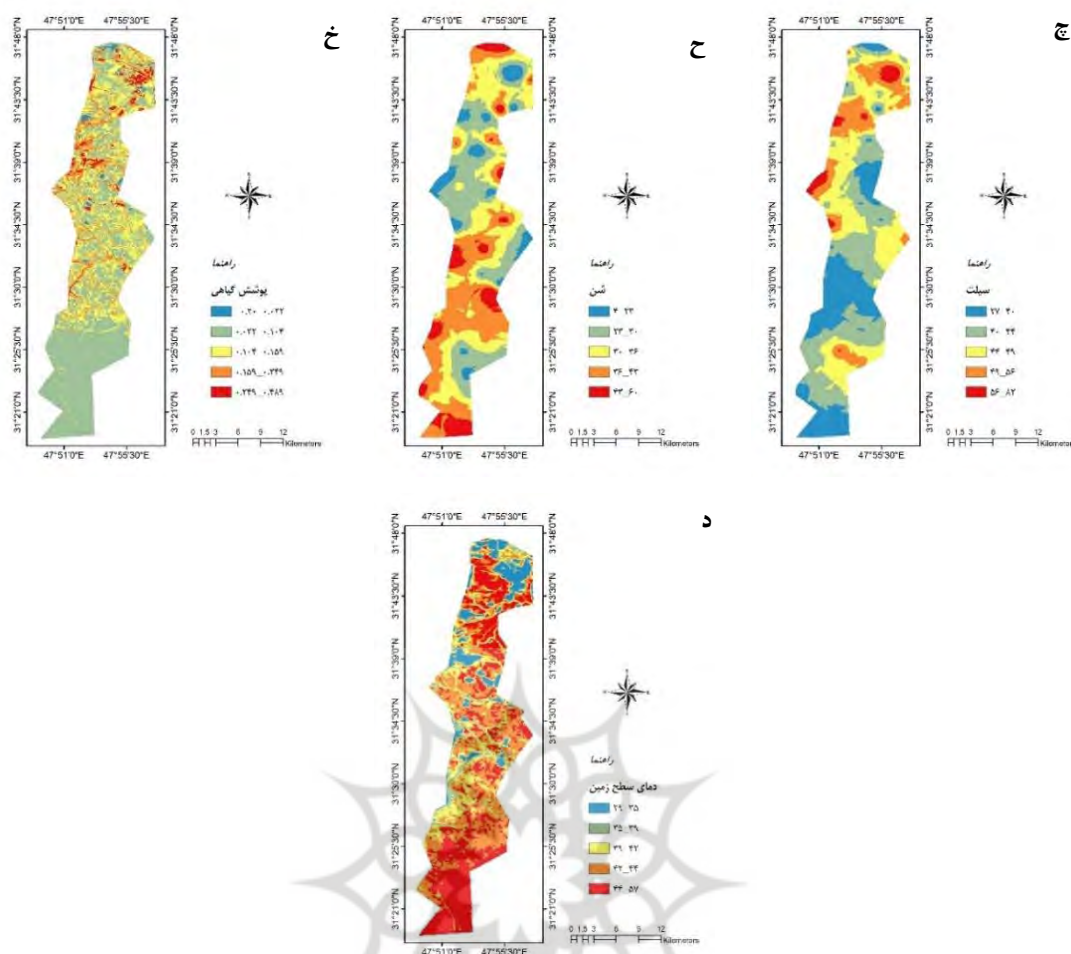
• پوشش گیاهی

پوشش گیاهی در تثبیت خاک تأثیر زیادی دارد و از بین رفتن آن در منطقه سبب فرسایش و تشکیل کانون‌های طوفان گرد و غبار می‌شود. شاخص NDVI کم بودن پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، که در محدوده بین -0.20 تا -0.48 به دست آمد (شکل ۳، خ).

• دمای سطح زمین

افزایش دمای سطح زمین که اغلب با کاهش رطوبت به ویژه در نواحی خشک همراه است سبب از بین رفتن تدریجی پوشش گیاهی و در نهایت شکل‌گیری کانون‌های تولید طوفان گرد و غبار می‌شود (Azhdari et al., 2015). شکل ۳ (د) پهنه‌بندی دمای سطح زمین را نشان می‌دهد که طبق آن بخش‌های جنوبی منطقه بیشترین دما و بخش‌های شمالی کمترین مقدار دما را دارند.





شکل ۳. نقشه‌های خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه

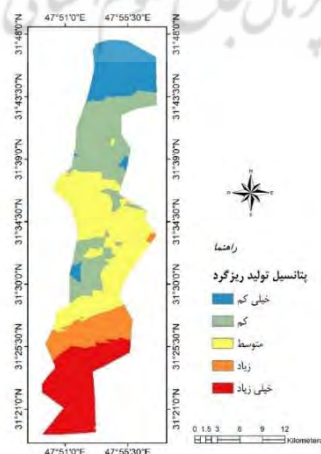
جدول ۲. وزن معیارها با روش آنتروپی شانون و نوع تاثیر هریک از معیارها

وزن مخصوص ظاهری	رطوبت	اسیدیته	شوری	رس	سیلت	شن	نسبت جذب سدیم	پوشش گیاهی	دما	معیار
۰/۱۰۱۵	۰/۰۹۶۲	۰/۱۰۱۶	۰/۰۹۸۸	۰/۱۰۰۱	۰/۱۰۱۲	۰/۰۹۹۹	۰/۰۹۸۱	۰/۱۰۰۶	۰/۱۰۱۶	وزن
منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	نوع تاثیر

نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سنجی سیخاها در ایجاد طوفان گرد و غبار با مدل WASPAS بر اساس جدول ۳ تهیه گردیده است. با استفاده از رتبه‌ای که هر گزینه به دست آورده بود، با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی این نقشه تولید گردید و به پنج کلاس آسیب‌پذیری بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم گردید (شکل ۴). نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که بخش‌های جنوبی منطقه در کلاس خطرپذیری بسیار بالا و بالا قرار دارند. مقایسه این نقشه با نقشه‌های رطوبت، وزن مخصوص ظاهری و پوشش گیاهی شکل ۳ (ت، ث و خ) که دارای تاثیر منفی هستند، بدین معنا است که کم بودن آن‌ها سبب افزایش خطرپذیری ایجاد طوفان گرد و غبار می‌شود. این مقایسه نشان می‌دهد که این بخش‌ها کمترین مقدار رطوبت، وزن مخصوص ظاهری و همچنین مقدار کم پوشش گیاهی را داشته‌اند. همچنین این نقشه نشان می‌دهد که بخش‌های میانی منطقه در کلاس خطرپذیری متوسط و قسمت‌های شمالی و بخش‌هایی از غرب منطقه در کلاس خطرپذیری کم و بسیار کم قرار دارند.

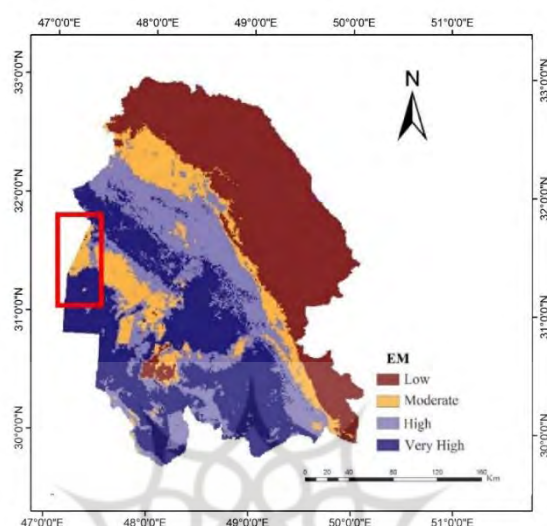
جدول ۳. نتایج محاسبات بر اساس مدل WASPAS

alternative	wsm	wpm	q1	q2	landa	score
1	0.1354	0.78332	1.18E-05	1.4E-05	0.542677	0.431708
2	0.156701	0.835326	1.32E-05	1.59E-05	0.546774	0.464271
3	0.159118	0.834899	1.34E-05	1.59E-05	0.542842	0.468057
4	0.152089	0.823833	1.26E-05	1.55E-05	0.551575	0.453316
5	0.180998	0.848103	1.61E-05	1.64E-05	0.504941	0.511254
6	0.172028	0.841041	1.49E-05	1.62E-05	0.519727	0.493337
7	0.148159	0.830388	1.21E-05	1.58E-05	0.564641	0.445174
8	0.150355	0.829286	1.28E-05	1.57E-05	0.550258	0.455698
9	0.160912	0.834897	1.34E-05	1.59E-05	0.542203	0.469461
10	0.156975	0.829595	1.27E-05	1.57E-05	0.552251	0.45814
11	0.144673	0.818222	1.26E-05	1.53E-05	0.547771	0.449271
12	0.15503	0.848936	1.21E-05	1.65E-05	0.576585	0.44884
13	0.155835	0.825166	1.35E-05	1.56E-05	0.535655	0.466635
14	0.161367	0.839999	1.42E-05	1.61E-05	0.532495	0.478631
15	0.169211	0.851867	1.58E-05	1.66E-05	0.512209	0.502204
16	0.16713	0.858675	1.46E-05	1.68E-05	0.535003	0.488696
17	0.168183	0.870226	1.45E-05	1.73E-05	0.543694	0.488529
18	0.174186	0.856845	1.51E-05	1.68E-05	0.526723	0.497273
19	0.14409	0.806836	1.28E-05	1.49E-05	0.536494	0.451277
20	0.169253	0.85777	1.5E-05	1.68E-05	0.528132	0.494142
21	0.141104	0.810903	1.17E-05	1.5E-05	0.561409	0.434872
22	0.155622	0.8337	1.26E-05	1.59E-05	0.558501	0.454993
23	0.150104	0.813226	1.36E-05	1.51E-05	0.526391	0.464165
24	0.150333	0.815679	1.31E-05	1.52E-05	0.537265	0.458212
25	0.163848	0.853456	1.46E-05	1.66E-05	0.532774	0.486051
26	0.142107	0.809848	1.2E-05	1.5E-05	0.554834	0.439362
27	0.147951	0.823005	1.32E-05	1.55E-05	0.540354	0.458237
28	0.152125	0.822909	1.24E-05	1.55E-05	0.555333	0.450401
29	0.155486	0.811331	1.42E-05	1.5E-05	0.513799	0.474359
30	0.164271	0.848002	1.47E-05	1.64E-05	0.527943	0.487031
31	0.158246	0.843276	1.26E-05	1.62E-05	0.562487	0.457956
32	0.177029	0.890241	1.57E-05	1.81E-05	0.536123	0.507872
33	0.148262	0.830716	1.29E-05	1.58E-05	0.549983	0.455378
34	0.149634	0.82706	1.29E-05	1.56E-05	0.548647	0.455393
35	0.146832	0.826522	1.23E-05	1.56E-05	0.558905	0.44664
36	0.154078	0.833782	1.33E-05	1.59E-05	0.544775	0.463497
37	0.147078	0.827852	1.2E-05	1.57E-05	0.565507	0.442869
38	0.152848	0.834988	1.21E-05	1.59E-05	0.568364	0.447284
39	0.152194	0.838914	1.22E-05	1.61E-05	0.568229	0.448699
40	0.170057	0.870658	1.54E-05	1.73E-05	0.528889	0.500118
41	0.174737	0.882164	1.59E-05	1.78E-05	0.527816	0.508773
42	0.133332	0.795934	1.09E-05	1.45E-05	0.570359	0.418013
43	0.148282	0.831231	1.18E-05	1.58E-05	0.572243	0.440419
44	0.149366	0.838628	1.24E-05	1.61E-05	0.563779	0.450036
45	0.147952	0.821246	1.27E-05	1.54E-05	0.547268	0.452774
46	0.151436	0.820985	1.25E-05	1.54E-05	0.55263	0.450972
47	0.147147	0.808194	1.29E-05	1.49E-05	0.536538	0.453517
48	0.162581	0.863642	1.43E-05	1.7E-05	0.544333	0.482031
49	0.151745	0.841306	1.31E-05	1.62E-05	0.553198	0.459842
50	0.142019	0.796697	1.19E-05	1.45E-05	0.550234	0.436471
51	0.153726	0.832106	1.39E-05	1.58E-05	0.533007	0.470525
52	0.158306	0.836226	1.23E-05	1.6E-05	0.564199	0.453744
53	0.152378	0.832421	1.25E-05	1.58E-05	0.559727	0.451783
54	0.142346	0.808462	1.14E-05	1.49E-05	0.566347	0.431209
55	0.17806	0.885235	1.67E-05	1.79E-05	0.517017	0.519613
56	0.163763	0.842497	1.4E-05	1.62E-05	0.536582	0.478301
57	0.170702	0.872207	1.51E-05	1.74E-05	0.535723	0.496395
58	0.158563	0.847649	1.33E-05	1.64E-05	0.552024	0.467256
59	0.156593	0.814243	1.53E-05	1.51E-05	0.497327	0.487176
60	0.16594	0.86304	1.4E-05	1.7E-05	0.547755	0.4812
61	0.17722	0.88602	1.54E-05	1.79E-05	0.538613	0.504251
62	0.192084	0.907743	1.8E-05	1.88E-05	0.510552	0.542362
63	0.163551	0.871469	1.39E-05	1.73E-05	0.555257	0.478392
64	0.180982	0.89036	1.73E-05	1.81E-05	0.510827	0.527991

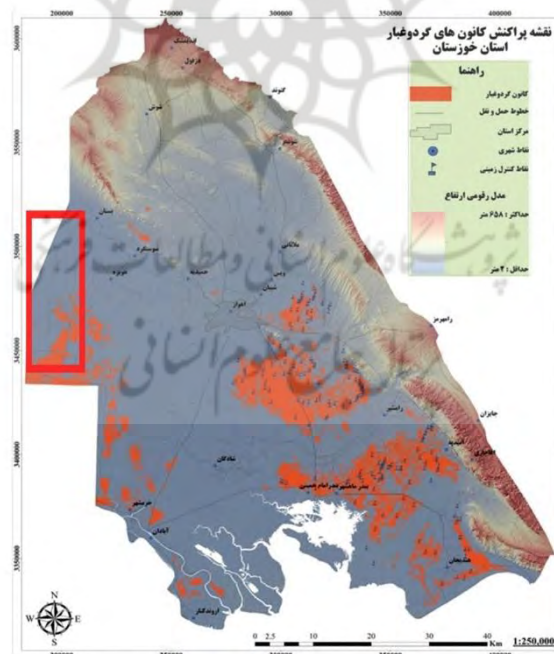


شکل ۴. نقشه نهایی پتانسیل سنجی تولید طوفان گرد و غبار

لازم به ذکر است که این نتایج با نقشه حساسیت به تولید طوفان گرد و غبار که توسط غلامی و همکاران با روش داده کاوی در استان خوزستان تهیه گردید، مطابقت دارد (Gholami et al., 2019) (در شکل های ۵ و ۶ کادر قرمز رنگ، منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد). طبق نتایج به دست آمده در این مطالعه (شکل ۴) و همچنین بر اساس شکل ۵، قسمت های جنوب غربی دشت خوزستان بیشترین پتانسیل تولید طوفان گرد و غبار را داشته اند. همچنین مطالعه حیدریان و همکاران که کانون های داخلی تولید طوفان گرد و غبار در استان خوزستان را شناسایی کردند، یکی از این کانون ها را بخش های خشک شده هورالعظیم و نواحی پیرامون آن معرفی کردند (Heidarian et al., 2017) (شکل ۶) که این کانون در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارد.



شکل ۵. نقشه پراکنش منشأهای تولید طوفان گرد و غبار در استان خوزستان (Heidarian et al., 2017).



شکل ۶. نقشه حساسیت به تولید طوفان گرد و غبار در استان خوزستان (Gholami et al., 2019).

جدول شماره ۴ مساحت و درصد کلاس های مختلف منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد، طبق این جدول ۱۸/۸۴ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه در محدوده خطرپذیری بسیار بالا، ۳۰/۵۰ درصد در محدوده خطرپذیری متوسط و ۱۴/۸۵ درصد از مساحت منطقه در محدوده خطرپذیری پایین قرار دارد.

جدول ۴. مساحت و درصد کلاس‌های مختلف منطقه مورد مطالعه.

پتانسیل خطر	مساحت (مترمربع)	درصد مساحت
خیلی کم	۵۲/۸۸	۱۴/۸۵
کم	۹۱/۵۲	۲۵/۷۰
متوسط	۱۰۸/۶۳	۳۰/۵۰
زیاد	۳۵/۹۵	۱۰/۰۹
خیلی زیاد	۶۷/۱۰	۱۸/۸۴

۴- بحث و نتیجه‌گیری

طوفان گرد و غبار از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی است که اثرات مخرب بر محیط زیست و کیفیت زندگی انسان‌ها داشته است. این مسئله در محیط‌های خشک و نیمه خشک شایع است، در نتیجه پایش علل تولید طوفان گرد و غبار و شناسایی مناطق حساس، امری اساسی برای مدیریت این چالش محسوب می‌شود. در این مطالعه با بررسی خصوصیات اراضی منطقه، پتانسیل تولید طوفان گرد و غبار در منطقه شناسایی گردید. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که میزان شوری در اکثر منطقه مورد مطالعه در کلاس شوری بسیار زیاد و میانگین آن ۱۴۴/۹۹ دسی زیمنس بر متر است. میانگین نسبت جذب سدیمی در منطقه مورد مطالعه، ۵۹/۱۶ به دست آمد که نشان می‌دهد منطقه دارای مشکل سدیمی است. نقشه رطوبت منطقه، کم بودن رطوبت در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی را نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده میانگین وزن مخصوص ظاهری در منطقه مورد مطالعه پایین (۱/۲) است، که نشان ریزدانه بودن خاک‌های منطقه مورد مطالعه است و نقشه حاصل از آن نشان می‌دهد که کمترین مقدار وزن مخصوص ظاهری در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. همچنین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه میزان سیلت بیشتر از درصد ذرات رس و شن است. این عوامل سبب کاهش استحکام و پایداری خاک در مقابل بادبردگی و فرسایش می‌شود و در نهایت سبب تشکیل کانون‌های طوفان گرد و غبار می‌گردد.

نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی پتانسیل‌سنجی سیخاها در ایجاد طوفان گرد و غبار با مدل WASPAS، نشان می‌دهد که ۱۸/۸۴ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه در محدوده خطرپذیری بسیار بالا در بخش‌های جنوبی منطقه قرار دارد. ۳۰/۵۰ درصد از مساحت منطقه در محدوده خطرپذیری متوسط قرار دارد و ۱۴/۸۵ درصد از مساحت منطقه در محدوده خطرپذیری پایین است. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه یکی از مناطق مهم تولید طوفان گرد و غبار در کشور است و نیاز به اقدامات مدیریتی برای کنترل و یا کاهش تولید آن است.

۵- سپاس‌گزاری

این مقاله با حمایت‌های معنوی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است.

۵- فهرست منابع

- احمدی، توفیق، ملک پور، بهروز، کاظمی مازندرانی، سوده. (۱۳۹۰). بررسی قرق بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کهنه لاشک کجور مازندران. مجله اکولوژی گیاهی. ص ۸۹-۱۰۰.
- اژدری، علی، حیدریان، پیمان، جودکی، محمد، درویشی خاتونی، جواد، شهبازی، رضا. (۱۳۹۴). شناسایی کانون‌های گرد و غبار در استان خوزستان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۲ ص.
- بیت لفته، رضا، لندی، احمد، حجتی، سعید، صیاد، غلامعباس. (۱۳۹۴). نرخ ترسیب کانی شناسی و الگوی توزیع اندازه ذرات گرد و غبار در اطراف تالاب هورالعظیم در استان خوزستان. نشریه آب و خاک، ۲۹(۳)، ۶۹۵-۷۰۷.
- پیشنامز احمدی، مجید، رضایی مقدم، محمد حسین، فیضی‌زاده، بخیار. (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دلتای آبی چای). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۱)، ۹۶-۸۵.
- جعفری حقیقی، مجتبی (۱۳۸۲). روش‌های تجزیه خاک: نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی با تأکید بر اصول تئوری و کاربردی، ۲۳۱ ص.

- حجازی زاده، زهرا، خسروی، آراس، حسینی، اسعد، رحیمی، علیرضا، کربلایی، علیرضا. (۱۴۰۰). پتانسیل سنجی مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران به منظور کسب انرژی از خورشید با استفاده از منطق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، (۶۳)، ۲۱، ۱۸-۱.
- حسینی خواه، حسین و ضرابی، اصغر. (۱۳۹۸). نقش مدل ترکیبی تصمیم گیری WASPAS در شناسایی پهنه های لرزه خیز پژوهش موردی: مراکز جمعیتی شهرستان بهمئی در استان کهگیلویه و بویراحمد. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، (۲)، ۱۴۷ تا ۱۶۴.
- حیدریان، پیمان، اژدری، علی، جودکی، محمد، درویشی خاتونی، جواد، شهبازی، رضا. (۱۳۹۶). شناسایی منشأهای داخلی طوفان های گردوغبار با استفاده از سنجش از دور، GIS و زمین شناسی (مطالعه موردی استان خوزستان). مجله علوم زمین، (۱۰۵)، ۲۷، ۳۳-۴۶.
- خوارزمی، رسول، عباسی، حمیدرضا، مرادی ثانی، سارا، خاکساریان، فرهاد. (۱۴۰۲). کانون های فعال گردوغبار با روش های میدانی و دورسنجی به منظور تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی (مطالعه موردی: شرق استان کرمان). حمایت و حفاظت جنگل ها و مراتع ایران، (۲۱)، ۷۵-۵۵.
- درگاهیان، فاطمه، تیموری، سارا، لطفی اصل نصب، سکینه، رضوی زاده، سمانه. (۱۳۹۸). بررسی تغییر کاربری زمین در هور منصوریه و ارتباط آن با رخدادهای خشکسالی و گردوغبار در کلان شهر اهواز. پژوهش های آبخیزداری، (۴)، ۳۲، ۹۴-۱۰۴.
- درمانی، معصومه، آراء، هایده، راشکی، علیرضا، مافی، آبرادات. (۱۳۹۹). منشأیابی و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات گردوغبار در شهرستان سرخس. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۵، ص ۲۱-۳۷.
- رایگانی، بهزاد، براتی قهفرخی، سوسن، خوش نوا، احمد. (۱۳۹۸). شناسایی کانون های تولید گرد و غبار به کمک داده های دورسنجی: یک رویکرد جامع. مرتع و آبخیزداری، (۱)، ۷۲، ۸۳-۱۰۵.
- رضایی مقدم، محمدحسین، حجازی، اسداله، ولیزاده، خلیل، رحیم پور، توحید. (۱۳۹۹). تحلیل سیل خیزی زیرحوضه ها بر پایه ی مدل WASPAS مطالعه ی موردی: حوضه ی آبریز الوندچای. شمال غرب ایران، هیدروژئومورفولوژی، (۲۴)، ۸۳-۱۰۶.
- سامانی، بابک، زارعی، سجاد، قنبری عدیوی، عاطفه. (۱۴۰۱). تحلیل الگوی دمای سطحی گنبدهای نمکی گچ و سیاه طاق با استفاده از روش های دورسنجی منطقه زاگرس. علوم زمین، (۱)، ۳۲، ۱۳۷-۱۴۸.
- شایسته، کامران، غریبی، شیوا، صفی خانی، مهدی، عربی، عادل. (۱۳۹۹). شناسایی کانون های دارای پتانسیل تولید گرد و غبار با منطق فازی در محدوده استان همدان. پژوهش های فرسایش محیطی، (۳۸)، ۲، ۵۹-۷۴.
- صادقی خو، رضا، عباسپور، رحیم. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد مدل های درون یابی در پهنه بندی فلزات سنگین خاک (مطالعه موردی: شهرستان هریس). محیط شناسی، (۱)، ۴۴، ۱۷-۳۲.
- عبیات، احمد، اژدری، علی، جودکی، محمد، درویشی خاتونی، جواد. (۱۳۹۶). بررسی و تفکیک محیط های رسوبی کوآترنری در دشت خوزستان. زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۲۵، ۴۹-۶۴.
- علوی پناه، کاظم، متین فر، حمیدرضا، عبدالعظیمی، هادی. (۱۳۹۳). سنجش از دور شوری خاک، تألیف مترنیچ، گریسیلا، زینک، جی آلفرد. انتشارات دانشگاه تهران، ص ۵۶۸.
- کابلی زاده، مصطفی، زارعی، سجاد، عباسی، محمد. (۱۴۰۱). تحلیل الگوی توزیع مکانی کیفیت آب های زیرزمینی و تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در استان همدان. زمین شناسی کاربردی پیشرفته، (۴)، ۱۲، ۷۴۷-۷۶۷.
- میریان، آیلین، پهلوانروی، احمد، خلیل مقدم، بیژن. (۱۳۹۳). بررسی برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در قسمت های خشک شده تالاب هورالعظیم. دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، ۸-۱.
- نبی الهی، کمال، مرادیان، شیرین، تقی راده مهرجردی، روح اله. (۱۳۹۶). پهنه بندی خطر شور و سدیمی خاک با استفاده از کریجینگ شاخص در قروه استان کردستان، نشریه پژوهش های خاک. (۳۱)، ۱، ص ۱۱۶-۱۰۳.

References

- Abyat, A., Azhdari, A., Almasi Kia, H., Joudaki, M., (2019). Khuzestan plain continental sabkhas, southwest Iran, Carbonates and Evaporites, 21P. <https://doi.org/10.1007/s13146-019-00494-3>
- Abyat, A., Azhdari, A., Jodaki, M., Darvish-Khatuni, J. (2017). Investigation and differentiation of Quaternary sedimentary environments in the Khuzestan Plain. Advanced Applied Geology, 25, 49-64. 10.22055/aag.2017.21931.1702 [In Persian]

- Ahmadi, T., Malekpour, B., Kazemi Mazandarani, S. (2011). Investigation of enclosure on physical and chemical properties of soil in Kohneh Lashk, Mazandaran. *Journal of Plant Ecology*. pp. 89-100. **[In Persian]**
- Alavipanah, K., Matinfar, H., Abdolazimi, H. (2014). Remote Sensing of Soil Salinity, edited by Metternich, Grisilla, Zink, J. Alfred. Tehran University Press, p. 568. **[In Persian]**
- Azhdari, A., Heydarian, P., Jodaki, M., Darvishi Khatouni, J., Shahbazi, R. (2015). Identification of dust centers in Khuzestan Province, *Geology and Mineral Exploration Organization of the Country*, 72 pp. 10.22111/jneh.2019.30868.1542 **[In Persian]**
- Beitleftteh, R., Landi, A., Hojati, S., Sayyad, Gh. (2015). eposition Rate, Mineralogy and Size Distribution Pattern of Dust Particles Collected Around the Houralazim Marshland, Khuzestan Province, *Journal of Water and Soil*, 695-707. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.29946> **[In Persian]**
- Boroughani, M., Pourhashemib, S., Hashemic, H., Salehi, M., Amirahmad, A., Zangane Asad, M., Berndtsson.(2020). Application of remote sensing techniques and machine learning algorithms in dust source detection and dust source susceptibility mapping, *Ecological Informatics*, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101059>
- Dargahian, F., Teimori, S., Lotfinasbasl, S., Razavizadeh, S. (2020). Land use Changes in the Mansouriyeh Wetland and its Relation with the Occurrence of Drought and Dust Formation in the Ahwaz Metropolis, *Watershed Management Research*, 94-104. 10.22092/wmej.2019.126472.1224 **[In Persian]**
- Darvishi Boloorani, A., Nasiri, N., Soleimani, M., Papi, R., Amiri, F., Neysani Samany, N., Ibrahim Al-Taei, A., Mirzaei, S., Al-Hemoud, A., (2024). A new approach to dust source mapping using visual interpretation and object-oriented segmentation of satellite imagery, *Applied Computing and Geosciences*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2024.100182>
- Dermani, M., Ara, H., Rashki, A., Mafi, A. (2019). Origin and investigation of physical and chemical properties of dust particles in Sarakhs city. *Geography and Environmental Hazards*, 35, pp. 21-37. 10.22067/geo.v9i3.87970 **[In Persian]**
- Gholami, H., Mohamadifar, A., Collins, A. L.(2019). Spatial mapping of the provenance of storm dust: application of data mining and ensemble modelling. 1-53. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104716>
- Heidarian, P., Azhdari, A., Jodaki, M., Darvishi Khatooni, J., Shahbazi, R. (2017). Identifying interior sources of dust storms using remotr sesing , GIS and geology (case study:Khuzestan province), *Scientific Quarly Journal*, 33-46. <https://doi.org/10.22071/gsj.2017.53928> **[In Persian]**
- Hejazi Zadeh, Z., Khosravi, A., Hosseini, A., Rahimi, A., Karbalai, A. (2021). Potential assessment of desert, desert and coastal areas of Makran for obtaining energy from the sun using fuzzy logic and analytic hierarchy process model. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, (63)21, 1_18. <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.63.1> **[In Persian]**
- Hosseini, S .,Firoozabadi, B., Afshin, H., (2022). A new application of multi-criteria decision making in identifying critical dust sources and comparing three common receptor-based models, *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152109>
- Hosseinihah, H., & Zarabi, A. (2019). The role of WASPAS hybrid decision-making model in identifying seismic zones. Case study: Population centers of Bahmai County in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, (2)6, 147 to 164. <https://civilica.com/doc/1285684/> **[In Persian]**
- Jafari Haghighi, M. (2003). *Soil Analysis Methods: Sampling and Important Physical and Chemical Analysis with Emphasis on Theoretical and Applied Principles*, 231 pp. **[In Persian]**
- Jafari, R., Amiri, M., Jebali, A. (2024). Machine learning-driven scenario-based models for predicting desert dust sources in central playas of Iran, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107618>
- Kabolizadeh, M., Zareie1, S., Abbsi, M. (2023). Analysis of Groundwater Quality Spatial Distribution Pattern and Spatial Variations in Electrical Conductivity (Case Study: Hamadan Province), *Advanced Applied Geology*, 747-767. <https://doi.org/10.22055/aag.2022.39635.2271> **[In Persian]**
- Kharazmi, R., Abbasi, H.R., Moradi Sani, S., Khaksarian, F. (2023). Identification of active dust source areas using field and remote sensing methods for determining wind erosion threshold velocity (Case study: eastern Kerman province), *Iranian Journal of Forest and Range Protection Researc*, 55-75. 10.22092/ijfrpr.2023.361243.1565 **[In Persian]**
- Konig. (2012). Plant life in the Umm as Samim, Oman e A case study in a major inland sabkha. *Journal of Arid Environments*, p122-127. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2012.06.007
- Mirian, A., Pahlevanroui, A., Khalil Moghaddam, B. (2014). Investigation of some physical and chemical properties of soil in the dried parts of Hor-alAzim Wetland. *Second National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources*, 1-8. <https://civilica.com/doc/310283> **[In Persian]**

- Nabi Elahi, K., Moradian, S., Taghi Radeh Mehrjerdi, R. (2017). Mapping of Soil Salinity and Sodicity Hazard Using Indicator Krijing in Ghorveh, Kurdistan Province, Journal of Soil Research. pp. 103-116. <http://dx.doi.org/10.22092/ijsr.2017.110351> **[In Persian]**
- Pishnamaz Ahmadi, M., Rezaei Moghadam, M., Feizizadeh, B. (2017). Investigating the indicators and preparing a soil salinity map using remote sensing data (Case study: Ajichai Delta). Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources, (1)8, 85-96. <http://noo.rs/Sfb9l> **[In Persian]**
- Pourhashemi, S., Asadi, M.A.Z., Boroughani, M. et al. Mapping of dust source susceptibility by remote sensing and machine learning techniques (case study: Iran-Iraq border). Environ Sci Pollut Res 30, 27965–27979 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23982-x>
- Pradeep Kuma, B., Raghu Babu, K., Anusha, B.N., Rajasekhar, M. (2022). Geo-environmental monitoring and assessment of land degradation and desertification in the semi-arid regions using Landsat 8 OLI / TIRS, LST, and NDVI approach, Environmental Challenges, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100578>
- Raigani, B., Barati-Gahfarkhi, S., Khoshnava, A. (2019). Identifying dust production centers using remote sensing data: a comprehensive approach. Rangeland and Watershed Management, (1)72, 83-105. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.251015.1223> **[In Persian]**
- Rezaei Moghadam, M., Hejazi, A., Valizadeh, K., Rahimpour, T. (2019). Sub basin flood analysis based on WASPAS model, case study: Alandchay watershed. Northwest Iran, Hydrogeo morphology, (24)6, 83-106. <https://doi.org/10.22034/hyd.2020.39815.1534> **[In Persian]**
- Sadeghi Kho, R., Abbaspour, R. (2018). Performance evaluation of interpolation models in soil heavy metal zoning (case study: Harris County). Environment, (1)44, 17-32. 10.22059/jes.2018.242785.1007513 **[In Persian]**
- Samani1,B., Zareie, S., Ghanbari Adyoni, A. (2022). Surface temperature pattern analysis of Gach and Siah Tagh salt domes using remote sensing methods, Zagros area, Scientific Quarterly Journal, 137-148. <https://doi.org/10.22071/gsj.2021.258561.1860> **[In Persian]**
- Selmy, S., Abd El-Aziz, S., El-Desoky, A., El-Sayed, M. (2022). Characterizing, predicting, and mapping of soil spatial variability in Gharb El-Mawhoub area of Dakhla Oasis using geostatistics and GIS approaches, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 383-396. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.10.013>
- Shayesteh, K., Gharibi, Sh., Safikhani, M., Arabi, A. (2020). Identifying Dust generation potential sources using fuzzy logic in Hamadan province, Environmental Erosion Research, 59-74. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1399.10.2.4.7> **[In Persian]**
- Singh, T. (2024). Entropy weighted WASPAS and MACBETH approaches for optimizing the performance of solar water heating system, Case Studies in Thermal Engineering, 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103922>
- UNEP.(2001). The Mesopotamian Marshlands: demise of an ecosystem. Early Warning and Assessment Technical Reportm, UNEP, DEWA, 1-46.
- White, J., Balling, R., Cervený, R. (2023). Trajectory analysis of central Sonoran Desert dust storms, Journal of Arid Environments, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.105077>