Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

Investigating of climatic elements affecting the sand dunes activity and sensitivity analysis using the Lancaster index (Case study: Iranshahr)

Hadi Dorudi1[1] | Mohammad Khosroshahi[2]✉ | Masoumeh Shahabi[3]

1. Corresponding author, Department of Forest and Rangeland Research Group, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Baluchestan (Iranshahr), Iran. E-mail: hadi_f79@yahoo.com
2. Department of Forest and Rangeland Research Group, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Baluchestan (Iranshahr), Iran. E-mail: khosromk@yahoo.com
3. Department of Forest and Rangeland Research Group, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Baluchestan (Iranshahr), Iran. E-mail: m.shahabi62@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 08 January 2024
Accepted 15 September 2024
Published online 23 December 2024

Keywords:
Iranshahr,
Sand dunes,
Sensitivity analysis,
Lancaster index,
Dust storm.

ABSTRACT

Objective: The phenomenon of dust storms and consequently the movement of quicksand as one of the climatic components in arid and semi-arid regions is considered one of the most important environmental problems in these regions. Sand dunes are one of the most sensitive natural features of the earth that are affected by wind erosion and their activity is affected by numerous climatic factors. Since the phenomenon of quicksand movement is considered one of the important processes of land degradation and a serious challenge in Sistan and Baluchestan province and climatic factors also play a significant role in this phenomenon; therefore, investigating and understanding these factors in terms of their impact on the occurrence and intensification of quicksand mobility is an undeniable necessity to prevent the intensification of environmental crises. Therefore, in this study, the activity of sand dunes based on the Lancaster index in Iranshahr city in Sistan and Baluchestan province was investigated. The aim of this study is to investigate the effect of climatic conditions on the mobility of quicksand in Iranshahr city.

Methods: To achieve the goal, hourly data related to wind events in the 15-year statistical period (2003-2017) and data related to rainfall and temperature in the statistical period were used. Also, the DSI index was used to analyze and investigate the wind regime and the occurrence of dust storms. Finally, the effects of possible changes in climatic elements on the mobility of quicksand were predicted.

Results: The results of the correlations showed that the relationship between the Lancaster index and the annual rainfall, wind and aridity index was significant. The results of the sensitivity analysis also showed that if the frequency of erosive winds and potential evapotranspiration increased by 30%, the sand dune activity at the Iranshahr station increased by 25 and 23%, respectively. On the other hand, with a 30% increase in rainfall, the sand dune activity decreased by 30%.

Conclusions: Given the condition of the sand dunes, which are in an active and fully active state, necessary measures are needed to stabilize them in this city.

Cite this article: Dorudi, H., Khosroshahi, M., & Shahabi, M. (2024). Investigating of climatic elements affecting the sand dunes activity and sensitivity analysis using the Lancaster index (Case study: Iranshahr). *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 11 (3), 1-20. https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.3.2

© The Author(s)
Publisher: Kharazmi University
DOI: https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.3.2

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Dust storms affect different regions of the globe countries and Iran. The dust storm events were considered as one of the climatic components in arid and semi-arid regions and it is called one of the most important environmental problems of these regions. In addition, sand dunes are the most sensitive natural form of the earth, which are affected by wind erosion, and their activities classes is affected by many climatic factors. Therefore, in this research, the activity class of sand dunes were investigated based on the Lancaster index in Iranshahr city in Sistan and Baluchistan province. The aim of this study is to investigate the climatic different conditions on the mobility of sand dunes in Iranshahr city.

Methods

Meteorological data for synoptic station of Iranshahr were collected from the Iranian Meteorological Organization for 15 years (2003 to 2018). To determine the aridity of the studied station, the annual aridity coefficient was calculated using the aridity index of the United Nations Environment Program (UNEP), which is provided to measure the aridity coefficient of climate. The index proposed by UNEP is widely used to investigate the climate and is directly based on the average total annual rainfall compared to the average air temperature. After examining the wind speed velocity in Iranshahr, and extracting the seasonal and annual Wind rose diagrams, Dust Storm Index (DSI) was calculated. For surveying sand dunes activities using Lancaster index. Sensitivity analysis is a method to change the inputs of a statistical model in an organized (systematic) way so that the effects of these changes can be predicted on the output of the model. Which is used in order to investigate the possible effect of the climatic elements changes on the mobility of sand dunes and the intensification of the dust phenomenon after calculating the activity of wind erosion. The use of sensitivity analysis is used to determine the relationships between the variables of the model and also to determine the priority of the impact of the parameters on the output of the model. Considering this issue and because some important climatic elements such as rain, wind and evaporation have a significant effect on the mobility of sand. Therefore, the desired variables are changed in a reasonable range and the effect of these changes is calculated in the output of the model and the amount of sand movement.

Results

According to the three-hour wind speed data of the meteorological data and using the WR plot software, the wind regime was checked. Results showed that corrosive winds in Iranshahr station blow mostly from the west and north. Wind speed and frequency are higher in spring and summer rather than in autumn and winter. The highest percentage of wind with high speeds is related to the months of June, July and August. The range of annual changes ranges from 3.40 to 1.65 meters per second. The highest wind speed blows in July. The lowest wind speed is in December. Annual DSI index values were calculated using wind and visibility data from Iranshahr station. The results showed that DSI values have decreased over time since 2015 and show significant changes ($P = 0.04$, $R = 0.36$) within the 99% confidence level. Using the Lancaster model, which originates from the relationship between sand mobility and climatic variables, the mobility potential of sand dunes was evaluated. Based on the results of all the studied years except 2016, the sand dunes have been active. The relationship between the Lancaster index and the climatic factors showed that the higher the aridity index (representing wetter periods), the lower the mobility index of sands (Lancaster) and the hills

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

will become inactive. Also, the effect of rainfall on the mobility of sand dunes is similar to the aridity index, increasing the amount of rainfall has reduced the mobility and activity of sand dunes. The higher percentage of erosive winds, showed the more active sand dunes. The sensitivity value of Lancaster index against the changes of climatic factors was investigated in the range of positive 30% and negative 30% for Iranshahr station. The results of the sensitivity test analysis showed that the mobility index of sand has a positive correlation with the changes caused by the wind and a negative correlation with the changes caused by the rain.

Conclusion

The present study was defined with the aim of investigating the activity of sand dunes considering climatic factors and wind regime in Iranshahr city. Because, dust storms and the movement of sand dunes have caused many economic, livelihood, and health problems in arid and semi-arid areas. Seriously it has caused the migration of people in many areas, this issue itself is considered a social problem. Due to the occurrence of climate change, significant decrease in rainfall, increase in temperature and the occurrence of consecutive and severe droughts in Iranshahr city in recent years, the mobility situation of sand dunes has worsened and seriously threatens the residents of these areas. It is possible that in the coming years the villages adjacent to these areas will be deserted and migrate to other cities, which will cause many problems. Therefore, restoration activities to stabilize sands, both biological and non-biological, such as mulching in areas that do not have environmental restrictions, are highly recommended. Those in responsibility, especially the General Administration of Natural Resources and Watershed Management of Sistan and Baluchistan Province, should plan and take action to carry out the necessary executive plans and projects.

Author Contributions

All authors participated in data collection, preparation of the research report, and data analysis.

Data Availability Statement

Data is available upon request from the authors.

Acknowledgements

We would like to thank the esteemed referees for providing structural and scientific comments.

Ethical considerations

The authors have observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by all of them.

Funding

This article has no sponsor.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest in this article.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: **۵۱۴۶- ۲۵۸۸**

Homepage: https://khu.ac.ir

بررسی عناصر اقلیمی موثر بر فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و تحلیل حساسیت آن با استفاده از شاخص لنکستر (منطقه مورد مطالعه؛ ایرانشهر، استان سیستان‌وبلوچستان)

هادی درودی[۱] ✉| محمد خسروشاهی [۲] | معصومه شهابی[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، بلوچستان (ایرانشهر)، ایران. رایانامه: hadi_f79@yahoo.com

۲. گروه تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، بلوچستان (ایرانشهر)، ایران. رایانامه: khosromk@yahoo.com

۳. گروه تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، بلوچستان (ایرانشهر)، ایران. رایانامه: m.shahabi62@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

کلیدواژه‌ها:
ایرانشهر،
تپه‌های ماسه‌ای،
تحلیل حساسیت،
شاخص لنکستر،
طوفان گردوغبار.

چکیده

هدف: پدیده طوفان گردوغبار و به تبع آن حرکت ماسه‌های روان به‌عنوان یکی از مولفه‌های اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از مهمترین مشکلات زیست‌محیطی این مناطق محسوب می‌شود. تپه‌های ماسه‌ای از حساس‌ترین عوارض طبیعی زمین هستند که متاثر از فرسایش بادی می‌باشند و میزان فعالیت آن‌ها تحت تاثیر عوامل متعدد اقلیمی می‌باشد. ازآنجاکه پدیده حرکت ماسه‌های روان به‌عنوان یکی از فرآیندهای مهم تخریب سرزمین و یک چالش جدی در استان سیستان و بلوچستان به‌شمار می‌رود و عوامل اقلیمی نیز در این پدیده نقش بسزایی دارند؛ ازاین رو بررسی و شناخت این عوامل از جنبه تأثیر آنها بر بروز و تشدید تحرک‌پذیری ماسه‌های روان برای جلوگیری از تشدید بحران‌های زیست‌محیطی یک ضرورت انکار ناپذیراست. لذا در این تحقیق میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بر اساس شاخص لنکستر در شهرستان ایرانشهر در استان سیستان‌وبلوچستان مورد بررسی قرار گرفت. هدف این مطالعه بررسی تاثیر شرایط اقلیمی بر میزان تحرک‌پذیری ماسه‌های روان شهرستان ایرانشهر می‌باشد.

روش پژوهش: برای دستیابی به هدف از داده‌های ساعتی مربوط به رویداد باد در دوره آماری ۱۵ سال (۲۰۱۷-۲۰۰۳) و داده‌های مربوط به بارندگی و دما در دوره آماری استفاده گردید. همچنین به‌منظور تحلیل و بررسی رژیم باد و وقوع طوفان گردوغبار از شاخص DSI استفاده شد. در نهایت پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی عناصر اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج همبستگی‌ها نشان داد رابطه شاخص لنکستر با مقدار بارندگی سالانه، باد و شاخص خشکی معنی‌دار بوده است. نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان داد که در صورت افزایش فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر و تعرق پتانسیل به مقدار ۳۰ درصد، فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ایستگاه ایرانشهر به‌ترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد افزایش یافته، از طرفی با افزایش ۳۰ درصدی مقدار بارندگی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای ۳۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به وضعیت تپه‌های ماسه‌ای که در وضعیت فعال و کاملاً فعال قرار دارند، اقدامات لازم جهت تثبیت آن‌ها در این شهرستان ضرورت دارد.

استناد: درودی، هادی؛ خسروشاهی، محمد؛ و شهابی، معصومه (۱۴۰۳). بررسی عناصر اقلیمی موثر بر فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و تحلیل حساسیت آن با استفاده از شاخص لنکستر (منطقه مورد مطالعه؛ ایرانشهر، استان سیستان‌وبلوچستان). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۱ (۳)، ۱-۲۰.
https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.3.2

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

مقدمه

طوفان‌های شدید که باعث ایجاد گرد و غبار و حرکت ماسه‌های روان می‌شوند، همواره مناطق مختلفی از کره زمین و کشورهای منطقه و ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند (جبالی و همکاران، ۱۳۹۲). از مهمترین فرایندهای طبیعی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و فراخشک فرسایش بادی است (عرب‌عامری و حلبیان، ۱۳۹۶). تپه‌های ماسه‌ای از مهمترین رخساره‌های فرسایش بادی محسوب می‌شوند (پورمند و همکاران، ۱۳۹۴). تپه‌های ماسه‌ای در قلمرو فرایند بادی از پویاترین عارضه‌های ژئومورفیک سطح زمین به‌شمار می‌روند که از یک سو متاثر از ویژگی‌های سرعت، جهت و فراوانی باد واز سوی دیگر متاثر از ویژگی‌های سطح زمین و مواد رسوبی هستند (عباس‌نژاد و ذهاب نوری، ۱۳۹۱). تشکیل تپه‌های ماسه‌ای به دلیل روابط متقابل بین رژیم بادی و فرایند رسوب‌گذاری است (دونگ[1] و همکاران، ۲۰۱۳). تپه‌های ماسه‌ای واقع در مناطق بیابانی کره زمین متاثر از عوامل مختلف بویژه عوامل اقلیمی بطور مداوم در حال حرکت و جابجایی هستند و بر اثر این جابجایی‌ها رخساره‌های مناطق بیابانی توسعه و تحول پیدا می‌کنند. اما به طور کلی جهت حرکت ماسه‌ها، میزان حرکت و مورفولوژی تپه‌ها در طول زمان یکسان نبوده است بلکه در دوره‌های خشک گسترش یافته‌اند. اما در دوره‌های مرطوب، این تپه‌ها غیر فعال شده و از وسعت میدان‌های ماسه‌ای کاسته شده است (شریفی، ۱۳۹۸).

تحقیقات و مطالعات نشان داده است در دهه‌های اخیر پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی باعث افزایش دما وکاهش بارندگی و در نتیجه خشکسالی‌های مکرر شده است (اشکنازی[2] و همکاران، ۲۰۱۲). بروز پدیده خشکسالی در سال‌های اخیر در منطقه بلوچستان به‌دلیل کاهش بارندگی‌ها، افزایش دما و افت سطح آب‌های زیرزمینی روند بیشتر و شدیدتری داشته‌است (درودی و همکاران، ۱۴۰۰). به همین دلیل ادامه خشکسالی و همچنین حرکت شن‌ها و ماسه‌های روان در منطقه بلوچستان وارد مرحله حادتری گردیده و در حال تبدیل شدن به یک فاجعه است. با توجه به آثار مخرب بهداشتی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طوفان گرد و غبار و حرکت ماسه‌های روان در منطقه‌ی تحت نفوذ خود می‌توان این بحران را به مثابه‌ی یک تهدید بالقوه برای امنیت زیست‌محیطی و ملی در منطقه تلقی کرد. به‌طور کلی فرسایش بادی و حرکت تپه‌های ماسه‌ای باعث پیامدهای نامطلوب و مخرب محیط زیستی می‌شود، لذا شناسایی عوامل مهم و موثر بر حرکت ماسه‌ها و پیش‌بینی وضعیت آن‌ها در آینده جهت کنترل عوارض ناشی از فرسایش بادی ضروری است. می‌توان مهم‌ترین ویژگی تپه‌های ماسه‌ای را پویایی و حرکت آن‌ها دانست که این تپه‌ها را به کانون بحران تبدیل کرده و برای مراکز شهری، جاده‌ها، روستاها و تاسیسات مشکل آفرین گردیده است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹). حرکت تپه‌های ماسه‌ای تحت تاثیر عوامل اقلیمی و محیطی می‌باشد.

اراضی تپه ماسه‌ای با بیش از ۴/۶ میلیون هکتار بخش زیادی از خاک ایران را به‌خود اختصاص داده‌اند (۲/۵ درصد سطح کل کشور)، در این میان استان سیستان و بلوچستان با حدود ۸۱۳۰۰۰ هکتار اراضی تپه ماسه‌ای (۱۸ درصد) بعد از استان کرمان با بیش از ۱۲۰۰۰۰۰ هکتار اراضی تپه ماسه‌ای (۲۶ درصد) بیشترین سطح اراضی تپه ماسه‌ای را در کشور دارا می‌باشد (عباسی و همکاران، ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر در استان سیستان و بلوچستان، میزان بارندگی‌ها کاهش یافته و میانگین بارندگی سالانه روند نزولی به خود گرفته است و میانگین دما روند صعودی داشته و افزایش یافته است (درودی و همکاران، ۱۴۰۰) که خود باعث خشکی بیشتر و افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه باعث تحرک‌پذیری بیشتر تپه‌های ماسه‌ای می‌گردد. ازآنجاکه پدیده حرکت ماسه‌های روان به‌عنوان یکی از فرآیندهای مهم تخریب سرزمین و یک چالش جدی در ایران به‌شمار می‌رود و عوامل اقلیمی نیز در این پدیده نقش بسزایی دارند؛ ازاین رو بررسی و شناخت این عوامل از جنبه تأثیر آنها بر بروز و تشدید تحرک پذیری ماسه‌های روان برای جلوگیری از تشدید بحران‌های زیست‌محیطی در آینده یک ضرورت انکار ناپذیراست. آگاهی از وضعیت تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند ما را در حفاظت از آنها یاری دهد. لذا، هدف از این تحقیق بررسی رژیم باد و نیز شرایط اقلیمی

[1] - Dong

[2] - Ashkenazy

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

و تاثیر آن بر میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای براساس شاخص لنکستر و پیش‌بینی حرکت آن‌ها در آینده در شهرستان ایرانشهر واقع در استان سیستان‌وبلوچستان می‌باشد.

پیشینه پژوهش

۱. پیشینه تجربی

مطالعات حرکت تپه‌های ماسه‌ای، پایه و اساس شناخت فرایندهای بادی و مقادیر انتقال ماسه را فراهم می‌کند. بگنولد[1] (۱۹۴۱)، اولین مطالعات را در خصوص حرکت تپه‌های ماسه‌ای انجام داد. در سال‌های اخیر نیز تحقیقات بسیاری در زمینه شناخت فرایندهای تپه‌های ماسه‌ای صورت پذیرفته که در برگیرنده مطالعه بادها و حرکت ماسه‌ها در تپه‌های مختلف بوده و پیشرفت‌های مهمی نیز حاصل شده است (احمدی‌بیرگانی، ۱۳۸۷). اختصاصی و همکاران (۱۳۹۰) وضعیت حرکت و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای ارگ اشکذر را بررسی نمودند. آن‌ها برای اندازه‌گیری سرعت جابجایی و میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای از شاخص لنکستر و چپیل استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه در کلاس کاملاً فعال قرار می‌گیرد. راهی و همکاران (a۱۴۰۱) به‌منظور کاهش خسارات ناشی از طوفان‌های گرد وغبار به شناسایی تپه‌های ماسه‌ای و عوامل تاثیرگذار بر آن پرداختند. براساس نتایج ایشان رابطه مستقیمی بین درصد فراوانی بادهای بیشتر از سرعت آستانه فرسایش با افزایش فعالیت تپه‌های ماسه‌ای وجود دارد. همچنین به عقیده جوآنا[2] و همکاران (۲۰۰۸)، عوامل اقلیمی نقش اصلی در کنترل مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای بر عهده دارند. بررسی متغیرهای آب‌وهوایی موثر بر تحرک تپه‌های ماسه‌ای نزدیک به رودخانه گرند فالز در منطقه ناواهوو در جنوب‌غربی ایالات متحده آمریکا نشان داد از میان متغیرهای اقلیمی مختلف در خشکسالی‌های طولانی‌مدت، قدرت باد موثرترین پارامتر بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان می‌باشد (بوگل[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

اثرات تغییر آب‌وهوا بر تحرک و ثبات تپه‌های ماسه‌ای ساحلی در شمال‌شرق برزیل توسط تسوآ[4] در سال ۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه مدلی ارائه گردید که همزیستی تپه‌های ماسه‌ای فعال و تثبیت شده در امتداد سواحل برزیل را نشان می‌دهد. در مطالعات بررسی تغییر رطوبت تالاب میقان و ارتباط آن با شاخص‌های خشکسالی، نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی تالاب در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۶ به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و نکته دارای اهمیت، روند کاهشی قابل توجه محتوای رطوبتی تالاب میقان نشانه تشدید پدیده بیابان‌زایی و گردوغبار خواهد بود (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۸). در همین راستا نیز راهداری و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی توان حمل ماسه‌ای در سه دهه گذشته در ارگ خارطوران واقع در شمال‌شرقی ایران نشان دادند که بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ در حمل ماسه افزایش شدیدی رخ داده است که می‌تواند ناشی از تغییر سرعت باد در منطقه باشد. زندی‌فر و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای که در بویین‌زهرا استان قزوین انجام شد، نتیجه گرفتند چنانچه سرعت باد و تبخیر و تعرق بنا به عللی چون تغییر کاربری و یا تغییرات اقلیمی افزایش پیدا کند وضعیت تپه‌ها از حالت غیرفعال به فعال تغییر خواهد کرد و باعث نامساعدتر شدن و افزایش فعالیت فرسایش بادی در منطقه می‌شود. یوسفی‌مبرهن و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به بررسی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بر اساس شاخص لنکستر در استان سمنان پرداختند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص لنکستر نشان داد شهرستان دامغان با بالاترین شاخص دارای پتانسیل فعالیت رسوبات بادی به‌صورت کاملاً فعال بوده است. همچنین در تحقیق ایشان به پیش بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان در ایستگاه‌های منتخب نیز پرداخته شد، نتایج ایشان نشان داد حساسیت تحرک‌پذیری ماسه نسبت به تغییرات افزایش ناشی از باران بیشتر از سرعت باد و نسبت به تغییرات کاهش ناشی از بارندگی کمتر از سرعت باد می‌باشد.

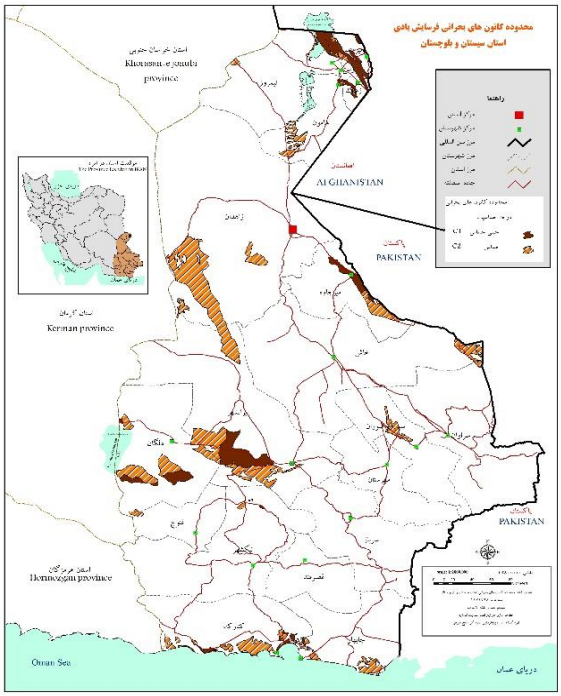
[1] - Bagnold
[2] - Johanna
[3] - Bogle
[4] - Tsoar

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

روش شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

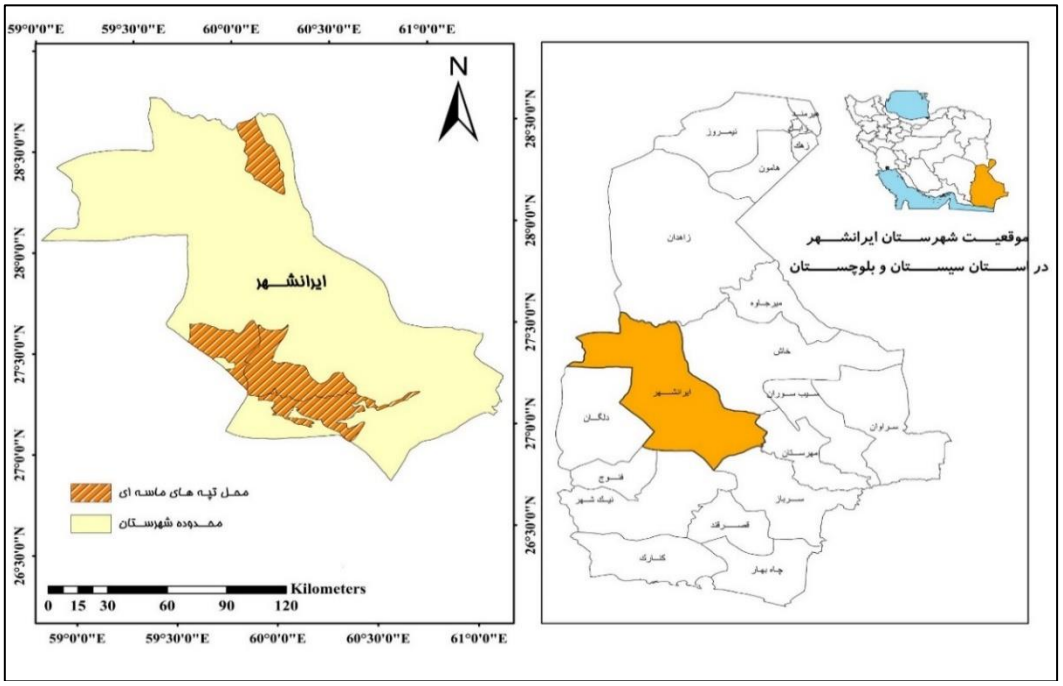
شهرستان ایرانشهر در ناحیه بلوچستان مرکزی بین طول‌های ۵۸ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی واقع شده‌است (شکل ۲). این منطقه با توجه به عرض جغرافیایی کم دارای زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم و خشک است. میانگین بارندگی سالیانه در منطقه ایرانشهر ۱۰۳/۳ میلیمتر می‌باشد. متوسط درجه حرارت منطقه نیز ۲۷ درجه سانتیگراد می‌باشد. میانگین دمای حداکثر ۳۴/۱ و میانگین دمای حداقل ۱۹/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. گرمترین ماه‌های سال تیر و مرداد و سردترین آنها دی و بهمن می‌باشد. اقلیم منطقه براساس نقشه بیوکلیماتیک ایران و طبق روش آمبرژه بیابانی گرم شدید و متوسط تعداد روزهای خشک و بی‌باران منطقه در دوره آماری فوق‌الذکر ۳۴۲ روز در سال می‌باشد. منطقه تولید ریزگرد در شهرستان ایرانشهر در قسمت‌های پست حوزه آبریز جازموریان قرار گرفته است. این منطقه در قسمت‌های مرتفع‌تر بصورت تپه ماسه‌ای و در قسمت‌های پست‌تر با خاک‌های آبرفتی با بافت ریز می‌باشد که حساسیت آن‌ها به فرسایش زیاد است. مادامیکه بارندگی در منطقه مناسب باشد پوشش گیاهی یکساله و چندساله در منطقه مستقر شده اما در سال‌های کم‌آب وخشک پوشش گیاهی کم، رطوبت خاک کم و حساسیت خاک به فرسایش زیاد می‌شود و با افزایش شدت باد ذرات ریز خاک همراه با باد از خاک جدا شده و به‌صورت گرد و غبار در منطقه بروز می‌نماید. این پدیده در برخی مناطق با اراضی نسبتاً شور به‌صورت خاک سست، ناپایدار و پف کرده بروز نموده که با کوچکترین عبور مرور یا دخالتی پایداری خود را از دست داده و در صورت وزش باد، آماده جابجایی هستند. خاک‌های منطقه معمولاً در مناطق آبرفتی دارای سله نازکی است که در برخی مناطق که مسیر بادهای فصلی منطقه است شدیداً فرسایش یافته و در پای گیاهان چند ساله که معمولاً از نوع ترات، گز، اسکنبیل و اشورگ و ... می‌باشد تجمع یافته‌است. بخشی از منطقه مورد نظر در حاشیه هامون جازموریان می‌باشد که معمولاً مدتی از سال را (در سال‌های پر باران) آبگیری می‌نماید ولی به‌علت دمای بالای منطقه، آب سریعاً تبخیر شده و سله‌های بزرگ و عمیقی در منطقه ایجاد می‌نماید. تجمع نمک در سطح خاک منطقه نمای سفید رنگی را به منطقه می‌دهد.



شکل ۱. محدوده کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در استان سیستان و بلوچستان (مأخذ: اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سیستان و بلوچستان)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]



شکل ۲. نقشه محل مورد مطالعه

۲. داده‌ها و روش کار

در پژوهش حاضر، داده‌های هواشناسی به‌منظور تحلیل زمانی مربوط به ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ از اداره کل هواشناسی استان سیستان‌وبلوچستان اخذ گردید. این داده‌ها شامل مقایر میانگین ماهیانه بارندگی، دما، سرعت باد (روزانه و ساعتی)، رطوبت نسبی و داده های نسبی مربوط به میدان دید افقی می‌باشند.

۲-۱. روش تجزیه و تحلیل و به‌کارگیری مدل

الف- محاسبه درصد فراوانی طبقات مختلف سرعت باد

با در نظر گرفتن سرعت آستانه فرسایش بادی برای تپه‌های ماسه‌ای (۶ m/s)، تعداد بادهای با سرعت کمتر از ۶، ۷ m/s تا ۱۱، ۱۱ تا ۱۵، ۱۵ تا ۲۰، بیشتر از ۲۰ m/s و همچنین تعداد کل بادهای با سرعت بیشتر از ۶ m/s محاسبه شد (رابطه ۱).

$$Fws_i = \frac{fi}{n} \times 100$$ ۱) رابطه

Fwsi: درصد فراوانی بادها و Fi: فراوانی بادها در طبقه سرعت مورد نظر است. n: نشان‌دهنده تعداد کل بادها

با تقسیم اعداد به‌دست آمده برای هر طبقه بر تعداد کل بادها در مقیاس زمانی مورد مطالعه، درصد فراوانی طبقات مختلف سرعت باد برای مقیاس زمانی محاسبه گردید.

ب- شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI[1])

رابطه شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI) اولین بار توسط مک‌تاینش و همکاران (۲۰۰۸) طراحی شد. ابتدا داده‌های ساعتی ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک از قبیل زمان و تاریخ دیده‌بانی، جهت و سرعت باد، میدان دید از اداره کل هواشناسی استان اخذ گردید. سپس با بررسی دوره مشترک آماری ایستگاه ایرانشهر، بازه‌ی زمانی مشترک جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها انتخاب شد. تعداد روزهای توأم با گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده مطالعاتی در میدان دیدهای مختلف (کمتر از ۲۰۰ متر، بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۱۰۰۰ متر) به‌منظور محاسبه نمایه SDS[2]، MDS [3]و LDE[1] اندازه‌گیری شد. برای مطالعه

[1] - Dust Storm Index
[2] - Sever Dust Storm
[3] - Moderate Dust Storm

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

فرکانس و شدت پدیده گرد و غبار از روش شاخص طوفان گردوغبار DSI استفاده می‌شود. مقادیر سه نمایه بالا بر اساس کدهای گزارش شده از محل ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مورد مطالعه براساس تعاریف زیر استخراج و محاسبه گردید (رابطه ۲).

SDS = روزهای طوفانی با گردوغبار شدی‌د، دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر

MDS = روزهای طوفانی با گرد و غبار متوسط، دید افقی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر

LDE = روزهای با گردوغبار محلی، دید افقی بیشتر از ۱۰۰۰ متر

در نهایت برای محاسبه شاخص DSI از رابطه زیر استفاده گردید.

$$DSI = \sum_{i=1}^{n}[(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)]_i$$ رابطه ۲)

DSI = شاخص طوفان گردوغبار در n ایستگاه که در آنها رویداد گردوغبار در یک بازه زمانی مشخص ضبط و مشاهده شده است.

ج- بررسی تحرک‌پذیری ماسه‌های روان و متغیرهای اقلیمی

به‌منظور بررسی اثرات باد و بارندگی بر تحرک ماسه‌های روان و گردوغبار ناشی از آن‌ها از روش جهانی لنکستر استفاده گردید. لنکستر (۱۹۹۸) به‌منظور تعیین فعالیت تپه‌های ماسه‌ای، با در نظر گرفتن ۳ عامل محیطی، رابطه زیر را ارائه نمود (رابطه ۳).

$$M = \frac{W}{\frac{P}{PE}} = (W \times PE)/P$$ رابطه ۳)

در این رابطه، هریک از پارامترها عبارتند از:

M: میزان فعالیت رسوبات باد مانند تپه‌های ماسه‌ای، W: درصد فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از سرعت آستانه فرسایش برحسب m/s در ارتفاع ۱۰ متری، P: میانگین بارندگی سالیانه بر حسب میلیمتر بر سال، PE: تبخیروتعرق پتانسیل سالانه برحسب میلیمتر بر سال. در این روش، با توجه به مقادیر محاسبه شده در رابطه بالا، شاخص حرکت تپه‌های ماسه‌ای (M) محاسبه و با توجه به جدول ۱ میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای تعیین گردید.

جدول ۱. مقادیر شاخص حرکت ماسه‌ای لنکستر (M)

مقدار عددی شاخص حرکت ماسه	میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای
M کمتر از ۵۰	غیرفعال
۵۰<M<۱۰۰	فعال فقط در نوک تپه
۱۰۰<M<۲۰۰	فعال
۲۰۰<M	کاملاً فعال

د- شاخص خشکی یونپ[2]

برای مشخص نمودن وضعیت خشکی ایستگاه مورد مطالعه، ضریب خشکی سالانه به کمک شاخص خشکی برنامه محیط زیست سازمان ملل با نام مخفف (UNEP) که برای سنجش ضریب خشکی آب‌وهوا ارائه شده است، محاسبه گردید. شاخص پیشنهادی یونپ برای بررسی آب‌وهوایی کاربرد گسترده دارد و به‌صورت مستقیم بر پایه میانگین مجموع بارندگی سالانه نسبت به میانگین دمای هوا می‌باشد. از آنجاییکه دمای هوا تعیین کننده تبخیروتعرق پتانسیل است، بنابراین رابطه یونپ (رابطه ۴) بر مبنای میانگین مجموع بارندگی سالانه نسبت به میانگین تبخیر وتعرق بیان شده است.

$$AI = \frac{P}{PET}$$ رابطه ۴)

[1] - Local Dust Event

[2] - United Nations Environment Program

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

در این معادله AI شاخص خشکی یونپ، PET: تبخیر و تعرق پتانسیل به میلیمتر، P، میانگین بارندگی به میلیمتر می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل در این معادله به روش اصلاح شده تورنث وایت و با توجه به عرض جغرافیایی ایستگاه هواشناسی در مقیاس ماهانه و سپس سالانه محاسبه گردید. شرایط آب‌وهوایی براساس شاخص خشکی یونپ از فراخشک تا مرطوب و بسیار مرطوب طبقه‌بندی می‌گردد (جدول۲).

جدول۲. طبقه‌بندی اقلیمی براساس شاخص خشکی یونپ

رده	خطر بیابان زایی		شاخص خشکی یونپ	تیپ اقلیمی
E	Extremely Arid	بیابان واقعی	AI<۰/۰۵	فراخشک
A	Arid	بسیار شدید	۰/۰۵<AI<۰/۲	خشک
S	Semi Arid	شدید	۰/۲<AI<۰/۵	نیمه‌خشک
D	Dry Sub Humid	متوسط	۰/۵<AI<۰/۶۵	خشک نیمه‌مرطوب
M	Sub Humid	کم	۰/۶۵<AI<۰/۷۵	نیمه‌مرطوب
H	Wet Humid	ندارد	۰/۷۵<AI	مرطوب و بسیار مرطوب

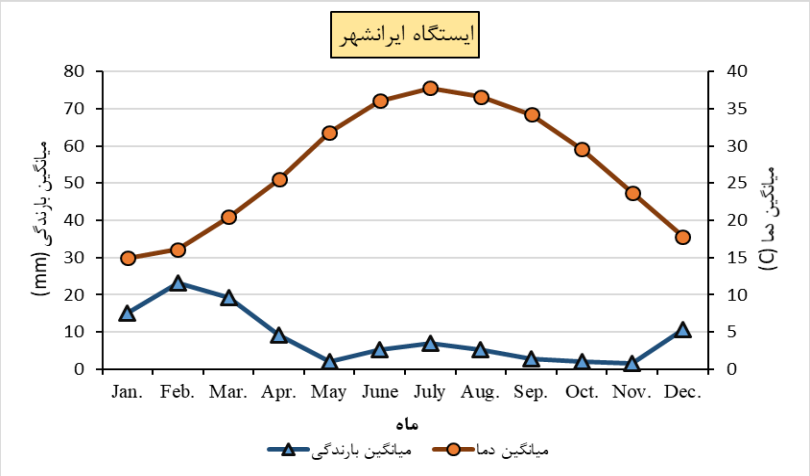
(منبع: طاووسی، ۱۳۹۷)

ه ـ پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان

آنالیز حساسیت روشی برای تغییر دادن ورودی‌های یک مدل آماری به‌صورت سازمان‌یافته (سیستماتیک) است که بتوان تاثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش‌بینی کرد که به‌منظور بررسی اثر احتمالی تغییر عناصر اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان و تشدید پدیده گردوغبار، پس از محاسبه میزان فعالیت رسوبات بادی استفاده می‌گردد. استفاده از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تاثیر پارامترها بر خروجی مدل مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به این موضوع و از آنجا که برخی از عناصر اقلیمی شاخص مانند بارش، باد و تبخیر در میزان تحرک ماسه‌های روان تاثیر به‌سزایی دارند از این رو متغیرهای مورد نظر در دامنه‌ای معقول تغییر داده می‌شوند و اثر این تغییرات در خروجی مدل یعنی میزان حرکت ماسه محاسبه می‌شود.

یافته‌های پژوهش

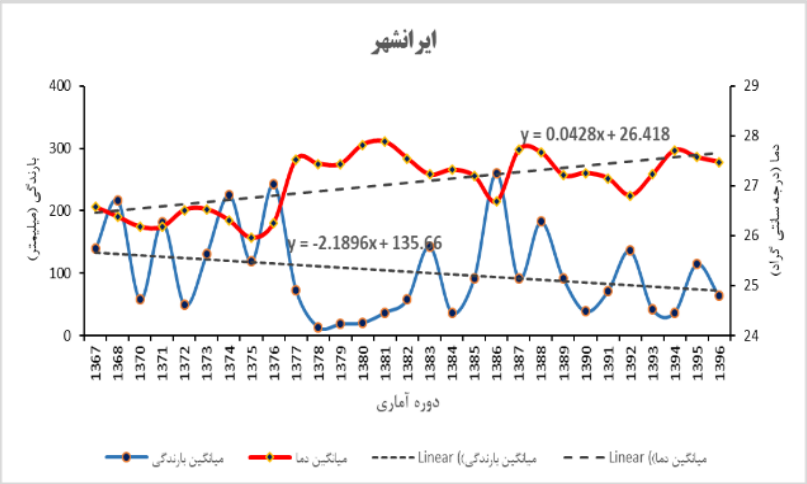
شکل ۳، نمودار آمبروترمیک ایستگاه ایرانشهر با استفاده از آمار بارندگی و دمای ۳۰ ساله تهیه گردید. منحنی دما و بارندگی در هیچ جایی همدیگر را قطع نمی‌کنند به عبارتی دوره‌های خشک در ایستگاه ایرانشهر در کل سال ادامه دارد. شکل ۴ نمودار تغیرات بارندگی و دما را در طول دوره آماری نشان می‌دهد. براساس این نمودار افزایش دما با شیب مثبت و کاهش بارندگی با روند منفی مشاهده می‌شود که نشان دهنده افزایش دمای منطقه طی گذر زمان و کاهش میزان بارندگی‌ها می‌باشد که این امر می‌تواند احتمال بروز تغییر اقلیم را در این شهرستان تقویت نماید.



شکل۳. نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

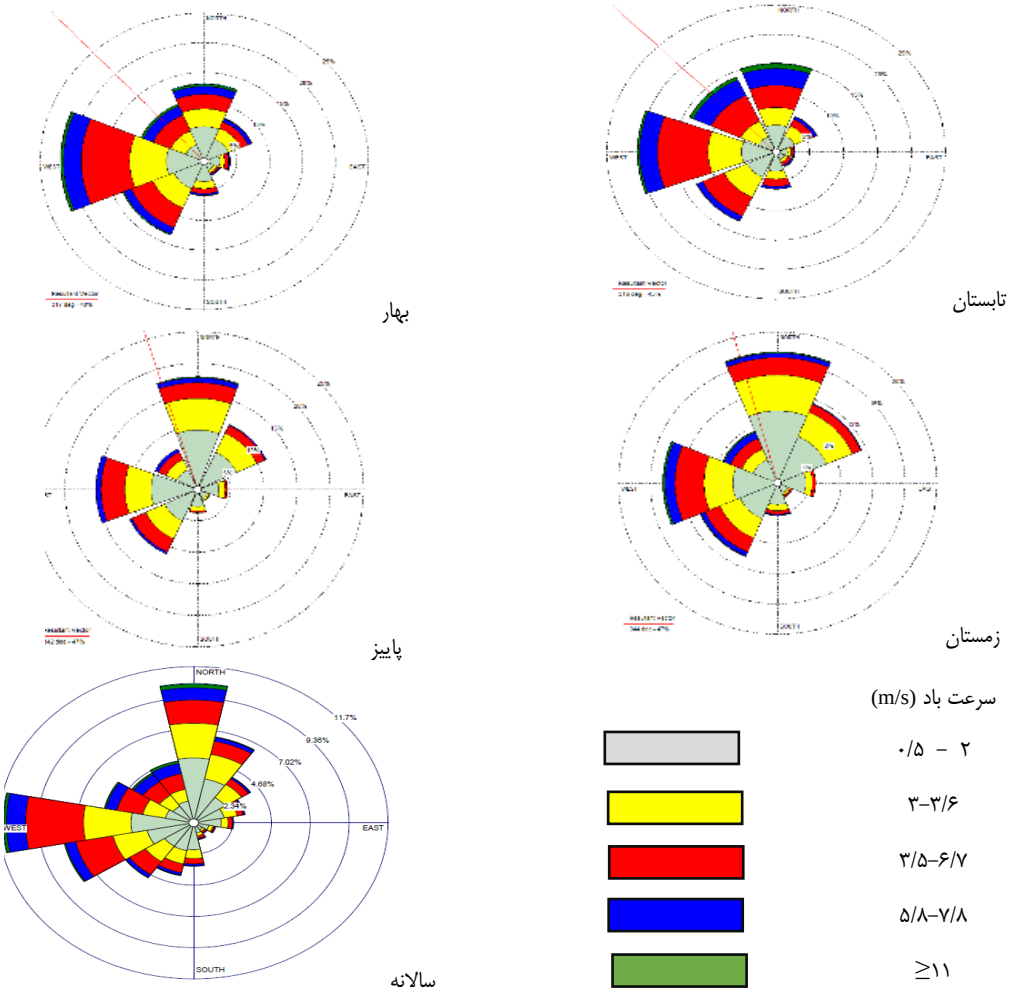
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]



شکل٤. نمودار تغییرات بارندگی و دما در دروه آماری ایستگاه ایرانشهر

۱. بررسی رژیم باد و طوفان‌های گرد و غبار

با توجه به داده‌های سرعت باد سه ساعته داده‌های هواشناسی و با استفاده از نرم افزار WR plot اقدام به بررسی رژیم باد و تهیه گلبادهای ایستگاه مورد مطالعه گردید که نتایج آن در ذیل ارائه می‌گردد. بادهای فرساینده درایستگاه ایرانشهر بیشتر از قسمت غرب و شمال وزیده می‌شود. سرعت و فراوانی باد در فصول بهار و تابستان نسبت به پاییز و زمستان بیشتر می‌باشد.



شکل ۵. گلباد فصلی و سالانه ایرانشهر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

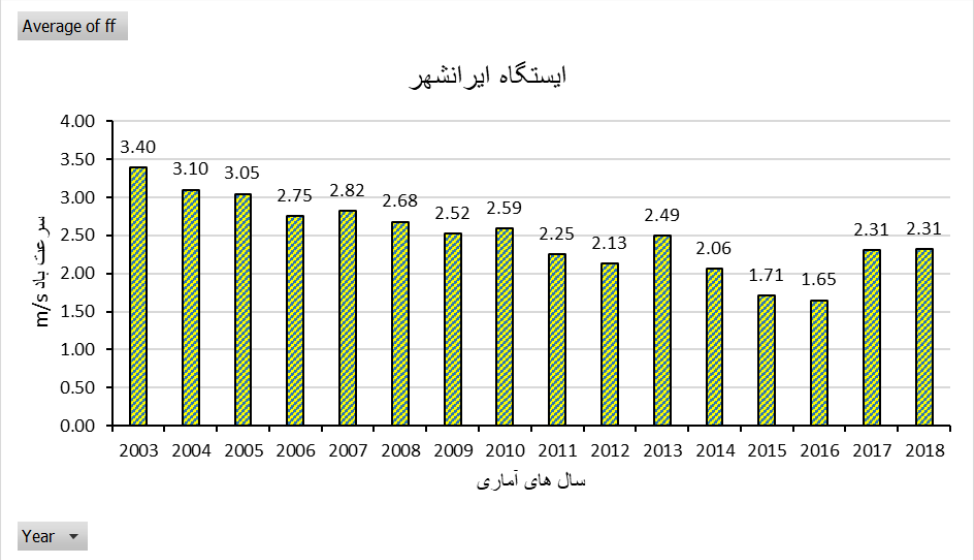
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

جدول ۳، فراوانی سرعت باد را در طبقات مختلف و میانگین ماهانه سرعت باد را نشان می‌دهد. طبق جدول زیر بیشترین درصد باد با سرعت‌های بالا مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست معادل ماه‌های خرداد، تیر و مرداد ماه می‌باشد. لذا با توجه به اثرات سوء باد، که باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق از سطح خاک و گیاهان می‌گردد. همچنین، باعث ایجاد گرد و خاک و در نتیجه افزایش بروز آفات و بیماری‌هایی مانند کنه در خرما و سایر محصولات زراعی و باغی می شود و همچنین باعث کاهش کیفیت محصولات می‌گردد، و با توجه به اینکه این بادها بیشتر در فصل‌های تابستان و بهار می‌وزند یعنی فصل کشت خرما، که کشت غالب مردم منطقه است و نسبت به بادهای شدید حساس است، لذا در هنگام احداث بادشکن برای مزارع و باغات باید این نکته را درنظر گرفت و جهت بادشکن‌های احداث شده در جهت عمود بر بادهای غالب منطقه باشد که از سرعت و خسارت‌زایی بیشتری برخوردارند یعنی جهت غربی و شمالی احداث گردد.

جدول۳. فراوانی باد در طبقات مختلف سرعت و درصد بادهای با سرعت بیشتر از ٦ متر برثانیه در ایستگاه ایرانشهر (دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۳)

ماه	<٦	٦-۱۰	۱۱-۱۵	۱٦-۲۰	>۲۰	%>٦	میانگین سرعت باد (m/s)
Jan	۳۸۵۹	۱۰۱	۶	۰	۰	۲/۷۰	۱/۹۷
Feb	۳۴۱۴	۱۷۹	۱۶	۱	۰	۵/۴۳	۲/۲۱
Mar	۳۶۲۹	۲۳۵	۱۳	۲	۰	۶/۴۴	۲/۳۴
Apr	۳۲۹۰	۲۹۴	۱۳	۲	۰	۸/۵۹	۲/۵۸
May	۳۳۳۵	۳۵۷	۲۱	۴	۰	۱۰/۲۸	۲/۸۶
Jun	۳۱۱۶	۴۵۶	۲۲	۵	۰	۱۳/۴۲	۳/۱۶
Jul	۳۱۷۹	۵۱۵	۲۴	۱	۱	۱۴/۵۴	۳/۲۴
Aug	۳۲۰۹	۴۸۱	۲۸	۱	۰	۱۳/۷۱	۳/۰۲
Sep	۳۳۲۲	۲۶۴	۱۳	۱	۰	۷/۷۲	۲/۶۳
Oct	۳۶۰۱	۱۱۵	۳	۱	۰	۳/۲۰	۲/۱۳
Nov	۳۵۲۸	۶۹	۳	۰	۰	۲	۱/۹۷
Dec	۳۶۳۵	۸۳	۲	۰	۰	۲/۲۸	۱/۹۱

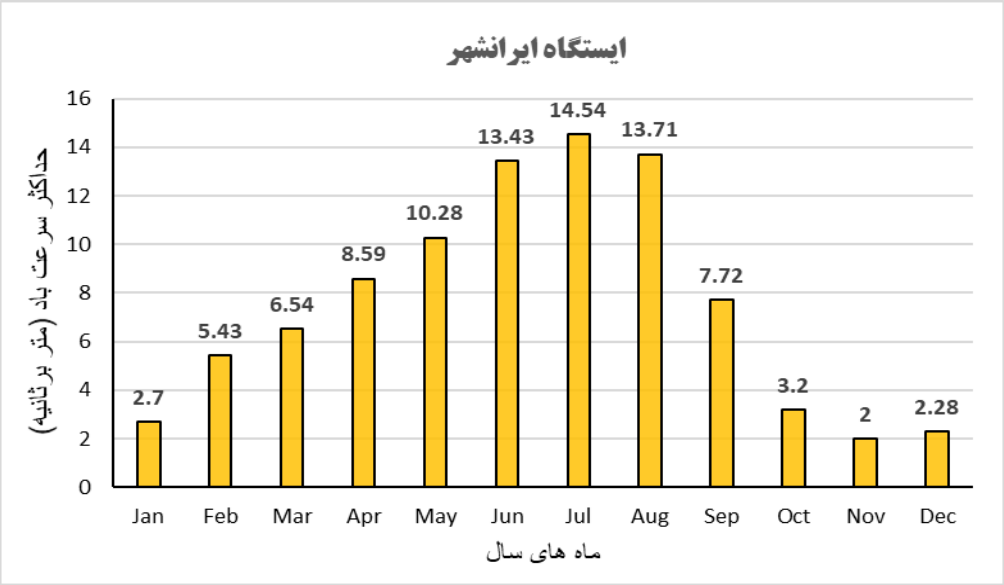
سرعت متوسط سالانه باد در ایستگاه ایرانشهر در شکل ۶ در دوره آماری نشان داده‌شده‌است. دامنه تغییرات سالانه حداکثر از۳/۴۰ تا۱/۶۵ متر بر ثانیه متغیر است. در شکل ۷ نیز تغییرات حداکثر سرعت باد ماهانه نشان داده‌شده‌است. بیشترین سرعت باد در ماه جولای وزیده می‌شود. کمترین سرعت باد مربوط به ماه نوامبر می‌باشد.



شکل ٦. تغییرات متوسط سرعت باد سالانه در ایستگاه ایرانشهر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]



شکل ۷. تغییرات حداکثر سرعت باد ماهانه در ایستگاه ایرانشهر

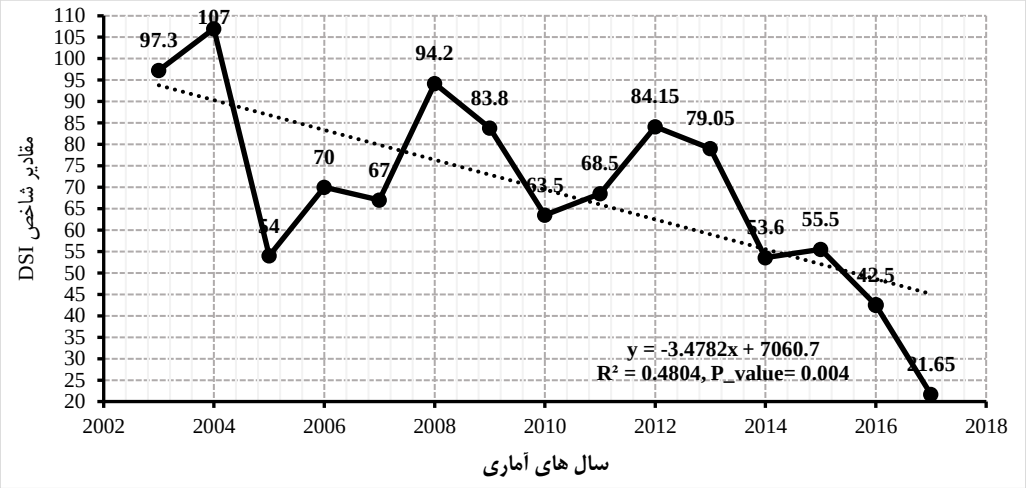
با استفاده از داده‌های مربوط به باد و افق دید ایستگاه ایرانشهر مقادیر شاخص DSI سالانه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر DSI از سال ۲۰۱۵ با گذشت زمان کاهش داشته‌است و در حدود اطمینان ۹۹ درصد اطمینان، تغییرات معنی‌داری (P =۰/۰۴، R =۰/۳۶) را نشان می‌دهد (شکل ۸). این شاخص در سال ۲۰۰۴ بالاترین میزان و در سال ۲۰۱۷ کمترین مقدار را داشته است.

با توجه به نتایج گلبادهای فصلی ایستگاه ایرانشهر بادهای غالب و فرساینده از سمت غرب و شمال وزیده می‌شود. نکته مهم و قابل ذکر وجود تالاب جازموریان در قسمت غرب شهرستان ایرانشهر می‌باشد که در سال‌های اخیر با توجه به خشکسالی‌های پی در پی، برداشت بی‌رویه آب از رودهای ورودی به تالاب و خشک شدن تالاب جازموریان سبب بروز طوفان‌های گردوخاک و غبار شده‌است. عمده مناطق دارای تپه‌های ماسه‌ای در منطقه، در اطراف هامون جازموریان در قسمت شمال هامون جازموریان و در قسمت جنوب هامون جازموریان قرار دارند. تپه‌های ماسه‌ای جازموریان از نظر وسعت رتبه دوم کشور را دارند و درامتداد شمال و جنوب دریاچه نمکی جازموریان قرار دارند. یک قسمت در جنوب دریاچه فصلی بین ایرانشهر و قلعه گنج و قسمت کوچکتر در شمالغربی دریاچه خشک شده به نام تپه شنی رودبار در استان کرمان قرار دارد (عباسی و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهش انجام شده توسط لطفی نصب و خسروشاهی (۱۳۹۹) در تالاب جازموریان، ایشان بستر خشکیده تالاب را یکی از عوامل افزایش گردوغبار معرفی نموده‌اند. در مطالعه دیگری راشکی و همکاران (۲۰۱۳) به رابطه معکوس مقدار بارندگی سالانه و تعداد روزهای گرد و غباری در منطقه سیستان پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند باران از طریق افزایش رطوبت خاک و تقویت پوشش گیاهی باعث کاهش فرسایش می‌شود بنابراین اگرچه پوشش گیاهی در سال‌های اخیر بر اثر خشکیدگی تالاب کمتر شده‌است اما کم و زیاد شدن فعالیت ماسه‌ها و وجود پوشش گیاهی بین تپه‌های ماسه‌ای بیشتر ناشی از رطوبت حاصل از بارندگی بوده تا افت سطح آب‌های زیرزمینی. از طرفی همخوانی نوسان‌های بین‌سالی پوشش و باران و همچنین تحرک‌پذیری ماسه‌ها نشانگر وابستگی کمتر فعالیت تپه‌های ماسه‌ای این منطقه به پوشش پایا است بلکه بیشتر وابسته به پوشش باران‌های سالانه است. نتایج بدست آمده از محاسبات شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI) در ایستگاه ایرانشهر نشان‌داد که در طول دوره آماری روند کاهشی داشته و مقادیر این شاخص کمتر شده است زیرا شدت کاهش طوفان‌های محلی در مقابل افزایش طوفان‌های فرامحلی بیشتر بوده است از این رو شاخص DSI روند کاهشی را نشان می‌دهد که دلیل این امر می‌تواند افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و باغی در سالیان اخیر و همچنین افزایش فعالیت‌های حفاظت خاک مانند مالچ پاشی‌ها و فعالیت‌های تثبیت ماسه‌های روان در منطقه غرب شهرستان ایرانشهر طی سال‌های اخیر باشد که با نتایج راهی و همکاران (۱۴۰۱a و b) مطابقت دارد. همسو با تحقیق حاضر، مطالعه اصغری‌پوده و همکاران (۱۳۹۴) در استان خوزستان نشان داد که مقادیر شاخص DSI برای استان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

خوزستان با گذشت زمان کاهش داشته است و نتایج حاصل از تغییرات شاخص DSI در ایستگاه‌های مختلف در استان خوزستان بیانگر اختلال در روند شاخص‌ها حتی در ایستگاه های نزدیک به یکدیگر است. این امر عمدتاً به‌دلیل روند توسعه طرح‌های حفاظت خاک در منطقه بوده است که حجم عمده‌ای از زمین‌های بایر را زیرکشت برده و یا تحت طرح‌های آبخیزداری و یا به سطوح انسان ساخت مبدل کرده است.

در ایستگاه شهرستان ایرانشهر در ماه‌های تیر و مرداد به‌علت بروز پدیده مونسون و بارندگی‌های فصلی تغییرات آب و هوایی شدیداً بروز می‌نماید به‌طوریکه قبل از بارندگی وقوع طوفان شدید گردوغبار با کاهش دید بعضاً کمتر از ۲۰ متر رخ می‌دهد که خود سبب بروز مشکلات عدیده‌ای در شهرستان شده‌است.



شکل ۸. روند مقادیر مجموع سالانه شاخص DSI در ایستگاه ایرانشهر

۲. شاخص تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای

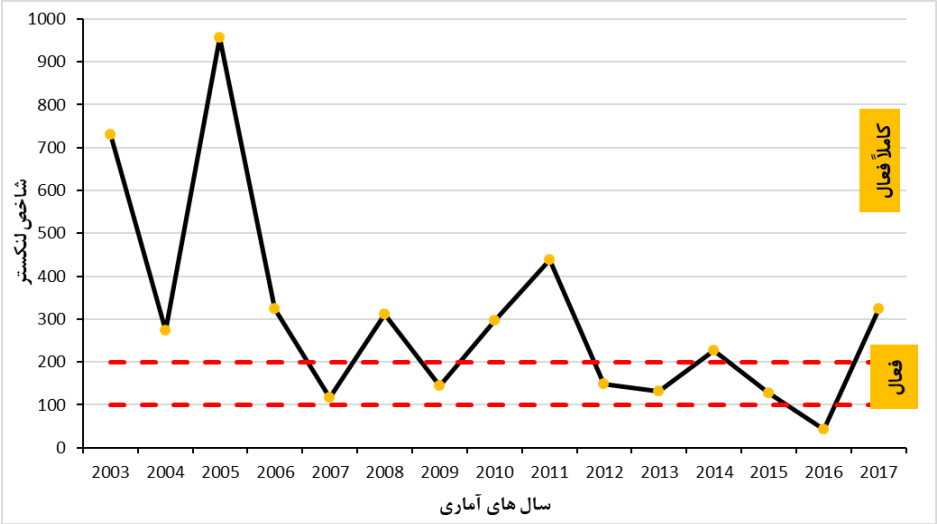
نتایج مدل لنکستر که از رابطه شماره ۳ استخراج شده است در جدول ۴ و شکل ۹ برای ایستگاه ایرانشهر ارائه شده‌است. براساس نتایج جدول ۴ در همه سال‌های مورد مطالعه به‌جز سال ۲۰۱۶ تپه‌های ماسه‌ای دارای فعالیت بوده‌است. شکل ۸ پراکندگی نقاط شاخص لنکستر را در نمودار و وضعیت تپه‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهد که برآیند نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق و سرعت باد می‌باشد. در همین رابطه نیز عباسی و همکاران (۲۰۱۹) تحرک پذیری نقاط مختلف کشور را با استفاده از شاخص لنکستر بررسی نموده‌اند ایشان منطقه ایرانشهر را کاملا فعال عنوان نموده‌اند و علت آن را تبخیر و تعرق بالای منطقه ذکرکرده‌اند و در ادامه عنوان نموده اند که مشاهدات عرصه‌ای نشان داده که تپه‌ها به‌علت فراوانی کم بادهای با سرعت حد آستانه انتقال و به‌دلیل پوشش گیاهی موجود غیرفعال است. ایشان بارندگی های مونسونی فصل تابستان منطقه را که باعث بهبود استقرار گیاهان و درنتیجه بهبود پوشش گیاهی منطقه شده است از عوامل اصلی این نتیجه گیری می‌دانند.

جدول ٤. محاسبه شاخص تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در ایستگاه ایرانشهر (دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۳)

سال	P (بارندگی)	PET (تبخیر و تعرق)	W (باد)	M (شاخص لنکستر)	تفسیر
۲۰۰۳	۵۷/۸	۳۰۲۴	۱۳/۹۴	۷۲۹/۲۳	کاملاً فعال
۲۰۰۴	۱۴۳	۳۰۴۱	۱۲/۸۴	۲۷۳/۱۰	کاملاً فعال
۲۰۰۵	۳۶/۳	۳۰۳۲/۹	۱۱/۴۴	۹۵۵/۶۹	کاملاً فعال
۲۰۰۶	۹۱/۵	۳۰۶۷/۸	۹/۶۹	۳۲۴/۹۴	کاملاً فعال
۲۰۰۷	۲۶۰/۶	۲۷۳۳	۱۱/۱۳	۱۱۶/۷۳	فعال
۲۰۰۸	۹۱/۱	۳۲۳۷/۱	۸/۷۷	۳۱۱/۵۳	کاملاً فعال
۲۰۰۹	۱۸۲/۶	۳۲۱۵/۸	۸/۲۵	۱۴۵/۳۵	فعال
۲۰۱۰	۹۲	۲۹۹۰/۲	۹/۱۴	۲۷۹/۱۹	کاملاً فعال

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

سال	P (بارندگی)	PET (تبخیر و تعرق)	W (باد)	M (شاخص لنکستر)	تفسیر
۲۰۱۱	۳۸/۵	۳۱۳۶/۸	۵/۳۸	۴۳۸/۰۷	کاملاً فعال
۲۰۱۲	۷۰/۵	۲۸۷۶/۶	۳/۶۳	۱۴۸/۱۲	فعال
۲۰۱۳	۱۳۶/۲	۲۸۸۵	۶/۲۰	۱۳۱/۳۰	فعال
۲۰۱۴	۴۲/۸	۳۰۷۶/۶	۳/۱۵	۲۲۶/۴۸	کاملاً فعال
۲۰۱۵	۳۶/۶	۳۱۸۸/۲	۱/۴۷	۱۲۸/۲۸	فعال
۲۰۱۶	۱۱۴/۶	۳۱۹۰/۲	۱/۵۴	۴۲/۹۰	غیر فعال
۲۰۱۷	۶۳/۳	۳۰۴۴/۷	۶/۷۵	۳۲۴/۵۱	کاملاً فعال



شکل ۹. روند تغییرات شاخص لنکستر در دوره آماری ایستگاه ایرانشهر

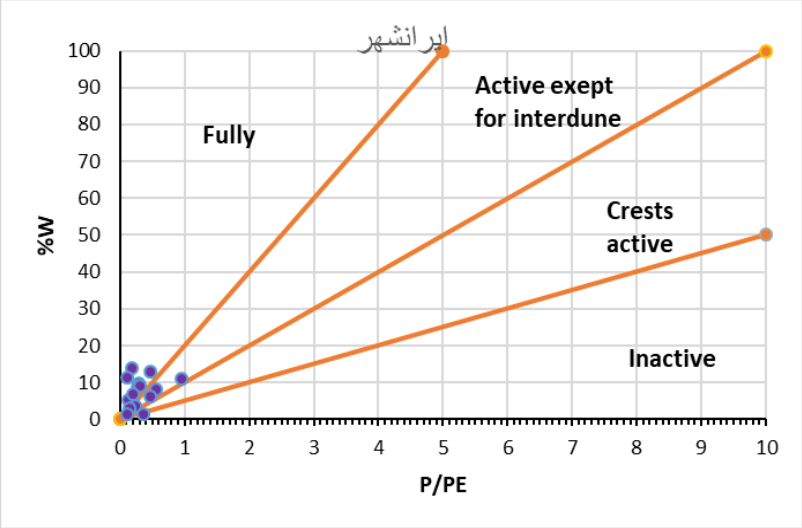
شکل ۱۲ تا ۱۴ رابطه بین شاخص لنکستر با عوامل اقلیمی موثر بر آن را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها هرچقدر عدد شاخص خشکی بیشتر باشد (نشان دهنده دوره‌های مرطوب‌تر) شاخص تحرک پذیری ماسه‌های روان (لنکستر) کمتر خواهد بود و تپه‌ها غیرفعال خواهند شد (شکل۱۲). همچنین اثر بارندگی نیز بر تحرک تپه‌های ماسه‌ای مشابه شاخص خشکی می‌باشد، افزایش مقادیر بارندگی سبب کاهش تحرک و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای شده است (شکل۱۳). اثر درصد بادهای فرساینده بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در شکل ۱۴ نشان داده شده‌است. هر چقدر درصد بادهای فرساینده بیشتر باشد فعالیت تپه‌ها نیز بیشتر خواهد بود.

شکل ۱۰. نمای تپه‌های ماسه‌ای در اطراف شهرستان ایرانشهر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

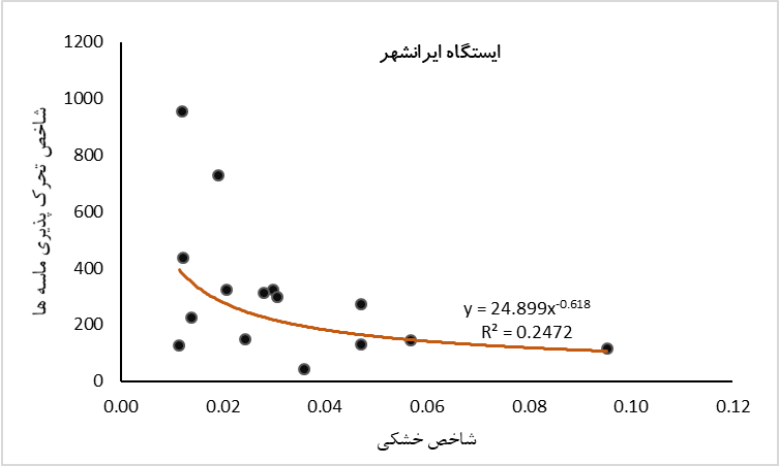
با محاسبه شاخص لنکستر، میزان فعالیت بالقوه تپه‌های ماسه‌ای از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ بررسی گردید. نتایج محاسبات شاخص لنکستر در ایستگاه ایرانشهر نشان‌داد در طول سال‌های مورد مطالعه ۶۰ درصد از فعالیت تپه‌ها به‌صورت کاملاً فعال، ۳۳ درصد به‌صورت فعال و فقط ۷ درصد غیرفعال مشاهده‌شد که عدد مربوط به شاخص لنکستر کمترین مقدار در دوره آماری ۴۲/۹۰ محاسبه گردید، که این امر در سال ۲۰۱۶ رخ داده‌است. در این سال مجموع بارندگی سالانه ایستگاه ایرانشهر برابر با ۱۱۵ میلیمتر گزارش شده‌است که حدود ۱۰ درصد بیشتر از میانگین سالانه بوده‌است و براساس نتایج درودی (۱۴۰۰) شاخص خشکسالی این شهرستان در سال ۲۰۱۶ در کلاس نرمال قرار داشته‌است که این امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش تحرک تپه‌های ماسه‌ای در این سال باشد که نقش پررنگ بارندگی را در این موضوع مشخص می‌نماید. برطبق نتایج به‌دست آمده از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ مقدار شاخص لنکستر رو به کاهش داشته و وضعیت تپه‌ها در حالت فعال قرار گرفته‌اند اگرچه این وضعیت نیز برای منطقه مورد مطالعه بحرانی است لیکن، نسبت به شرایط کاملاً فعال اوضاع کمی مطلوب‌تر است. این موضوع ممکن است مربوط به فعالیت‌ها و اقدامات مدیریتی (از قبیل نهال‌کاری، جنگل‌کاری، تثبیت ماسه‌های روان از طریق مالچ‌پاشی، مدیریت چرا و قرق) باشد. هر چند که این فعالیت‌ها با توجه به گستره پهنه‌های ماسه‌ای و بادهای فرساینده بسیار ناچیز است اما می‌تواند اثر حداقلی روی کلاس فعالیت‌های تپه‌های ماسه‌ای دارا بوده باشد. این نتایج لزوم افزایش هر چه بیشتر چنین اقدامات اجرایی را در حیطه احیای پوشش گیاهی و مدیریت پهنه‌های ماسه‌ای را آشکار می‌سازد. در همین رابطه عباسی و همکاران (۲۰۱۹) به نقش مثبت بارانهای مونسونی و در نتیجه بهبود استقرار پوشش گیاهی در کاهش فعالیت تپه‌های ماسه‌ای اشاره داشته‌اند. راشکی و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتیجه گرفتند باران از طریق افزایش رطوبت خاک و تقویت پوشش گیاهی باعث کاهش فرسایش و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای می‌شود. نتایج آنالیز همبستگی تحرک‌پذیری ماسه با سایر عوامل اقلیمی نشان داد بارندگی، شاخص خشکی و باد تاثیر معنی‌داری بر فعالیت حرکت تپه‌های ماسه‌ای در دوره مطالعاتی داشته است. بارندگی باعث افزایش رطوبت خاک و وزن و چسبندگی و استحکام بیشتر ذرات خاک و همچنین باعث بهبود پوشش گیاهی می‌گردد که همگی در کاهش فرسایش خاک موثرند. بالعکس باد باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق، کاهش استقرار پوشش گیاهی و افزایش میزان فرسایش می‌گردد. نتایج راهی و همکاران (۱۴۰۱) نیز به همبستگی بارندگی و شاخص خشکی اشاره شده‌است. ایشان نیز نتیجه گرفتند بیشترین تحرک‌پذیری ماسه مربوط به سالی است که کمترین مقدار بارندگی مشاهده شده‌است. نتایج مطالعات یوسفی‌مبرهن همکاران (۱۴۰۰) نیز بیانگر اثر مثبت بارندگی بر کاهش فعالیت‌های تپه‌های ماسه‌ای در اثر افزایش آن بوده است که با نتایج این تحقیق همسو می باشد. از طرفی با بررسی شاخص خشکی و ارتباط آن با فعالیت تپه‌های ماسه‌ای نتیجه مشخص گردید که شاخص خشکی تاثیر مستقیمی بر تحرک و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای دارد. در تحقیق نعیمی و همکاران (۱۴۰۰) نیز ارتباط معنی‌دار بین شاخص خشکی و تحرک تپه‌های ماسه‌ای عنوان شده است که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.



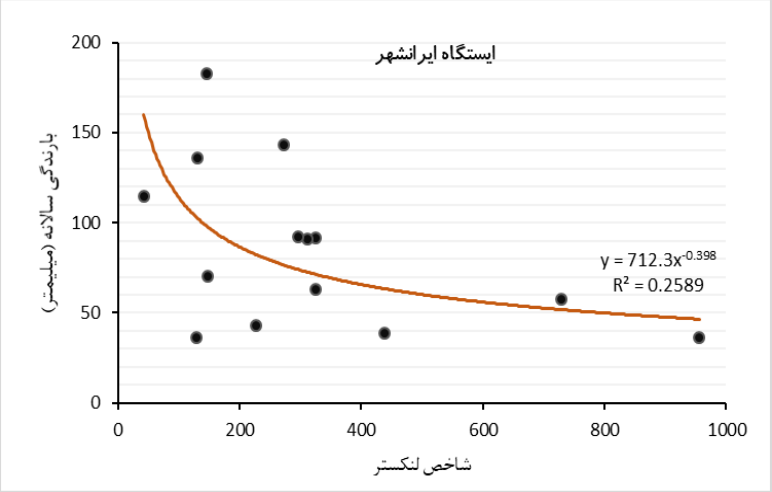
شکل ۱۱. نمودار تعیین میزان تحرک‌پذیری ماسه‌ها در ایستگاه ایرانشهر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

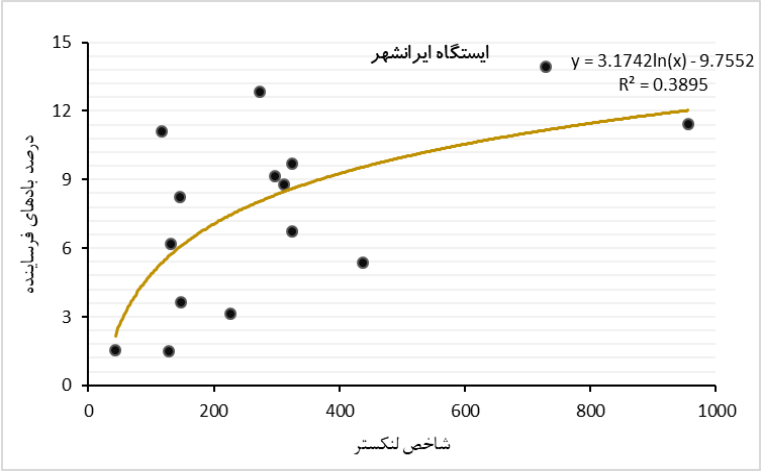
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]



شکل ۱۲. رابطه بین شاخص خشکی و شاخص لنکستر در ایستگاه ایرانشهر



شکل ۱۳. رابطه بین شاخص لنکستر و بارندگی سالانه ایستگاه ایرانشهر



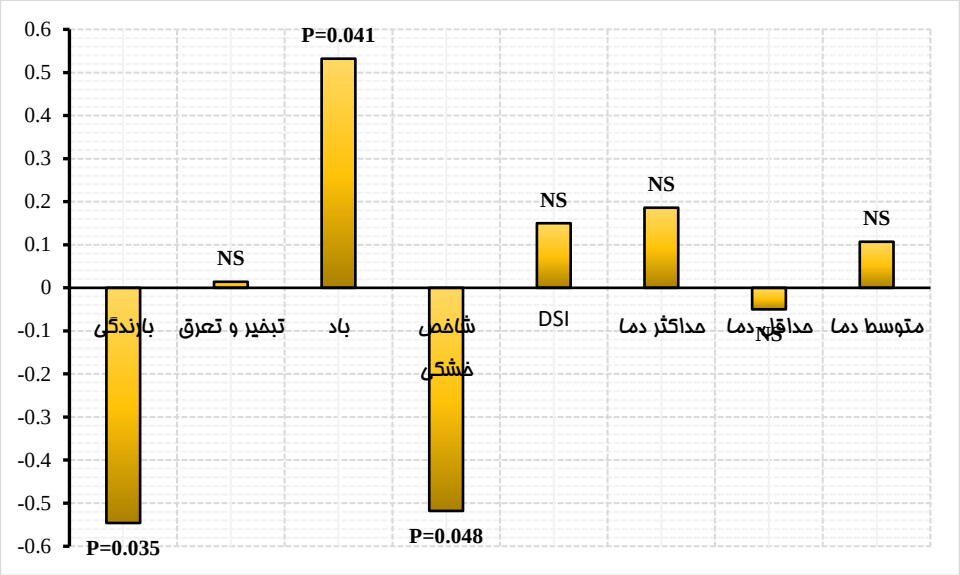
شکل ۱٤. رابطه شاخص لنکستر و درصد بادهای فرساینده ایستگاه ایرانشهر

در تحلیل جداگانه ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و شاخص لنکستر نیز نقش موثر و کلیدی بارندگی بر تغییرپذیری و حرکت تپه‌های ماسه‌ای به اثبات رسید. مقدار همبستگی بین این دو متغیر برابر با ۰/۵۴۶- و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شده است. ضمن اینکه بادهای با سرعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه نیز با همبستگی ۰/۴۱ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار گردید.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

همچنین عدد شاخص خشکی نیز در ایستگاه ایرانشهر دارای همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده‌است. سایر عوامل نظیر تبخیر و تعرق، حداکثر دما، حداقل دما، میانگین دما و شاخص DSI همبستگی با شاخص لنکستر نشان ندادند (شکل ۱۵).

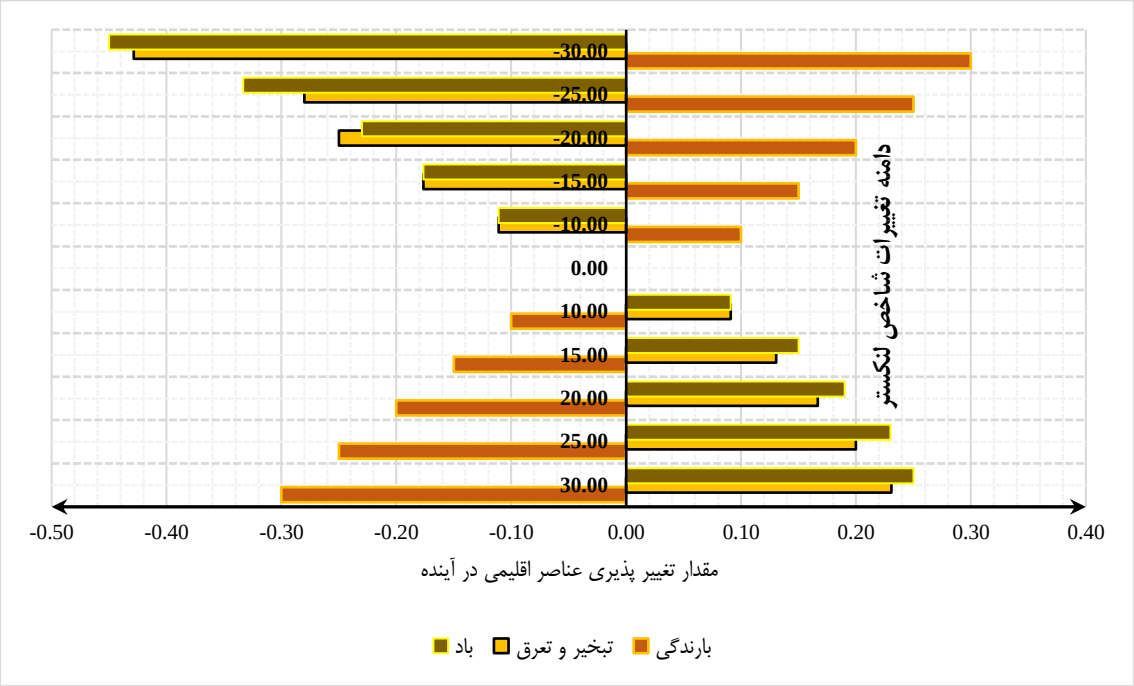


شکل ۱۵. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی اسپیرمن بین پارامترهای اقلیمی و شاخص لنکستر در ایستگاه ایرانشهر

مقدار حساسیت شاخص لنکستر در برابر تغییرات عوامل اقیمی در دامنه مثبت ۳۰ و منفی ۳۰ درصد برای ایستگاه ایرانشهر مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۶). نتایج حاصل از تحلیل آزمون حساسیت نشان داد که شاخص تحرک‌پذیری ماسه‌های روان نسبت به تغییرات ناشی از باد رابطه همبستگی مثبت و نسبت به تغییرات ناشی از باران رابطه منفی دارد. به‌طوریکه اگر مقدار بارندگی از ۹۷/۱۶ میلیمتر به مقدار ۳۰ درصد کاهش یابد و به ۶۸/۰۱ میلیمتر برسد شاخص لنکستر از عدد ۲۳۷/۱ به ۳۳۸/۷۲ خواهد رسید و افزایش ۳۰ درصدی را نشان می‌دهد. بالعکس اگر میزان بارندگی ۳۰ افزایش داشته باشد و به ۱۲۶/۳ میلیمتر برسد شاخص لنکستر حدود ۳۰ درصد کاهش داشته به ۱۸۲/۳۹ می‌رسد و از تحرک رسوبات بادی کاسته می‌شود. به‌طور کلی دامنه تغییرات شاخص لنکستر در محدوده۳۰+ و ۳۰–، تغییرات درصد فراوانی بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه خیلی نزدیک به تغییرات تبخیروتعرق پتانسیل در همین محدوده بوده‌است. به‌طوریکه با کاهش ۱۰ درصد هریک از عناصر اقلیمی مقدار شاخص لنکستر حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. ضمن اینکه اگر این تغییر به میزان ۳۰ درصد افزایش یابد ممکن است وضعیت تپه‌ها را از غیرفعال به فعال یا کاملاً فعال تغییر دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]



شکل ۱۶. پیش‌بینی وضعیت آینده تحرک تپه‌های ماسه‌ای شهرستان ایرانشهر در اثر تغییر عوامل اقیمی

براساس آزمون تحلیل حساسیت نیز مشخص گردید تحرک‌پذیری ماسه نسبت به تغییرات افزایش یا کاهش ناشی از سایر پارامترهای اقلیمی حساس است، به‌طوریکه با افزایش ۳۰ درصد در میزان بارندگی می‌تواند وضعیت تپه‌ها را از کاملاً فعال به فعال تغییر دهد. نتایج مشابهی در تحقیق یوسفی‌مبرهن و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای استان سمنان مشاهده گردید. تعریف چنین سناریوهایی جهت پیش‌بینی میزان تحرک تپه‌های ماسه‌ای در اثر تغییر عوامل اقلیمی می‌تواند کمک به‌سزایی جهت تعیین و اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی مناسب جهت کنترل و کاهش خسارات به منطقه مورد نظر قرار گیرد. البته ضروری است داده‌های اقلیمی با دوره آماری مناسب جهت بررسی و تحلیل موجود باشد تا نتایج مطمئن‌تری ارائه شود. البته نکته حائز اهمیت و مغفول در بیشتر مطالعات، نقش پوشش گیاهی در تثبیت تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد، به‌طوریکه تپه های ماسه‌ای تثبیت شده می‌توانند وضعیت تثبیت خود را حفظ کنند، حتی اگر قدرت باد به مقادیری افزایش یابد که معمولاً از جوانه‌زدن گیاهان و رشد آنها در ماسه‌های متحرک جلوگیری می‌کند (یژاق[1] و همکاران، ۲۰۰۹). به‌طور کلی عواملی نظیر بارندگی، سرعت باد به‌عنوان فاکتورهای اقلیمی و پوشش گیاهی و دخالت‌های انسان در محیط زیست به‌عنوان عوامل غیراقلیمی تاثیر بسزایی در فعالیت تپه‌های ماسه‌ای خواهند داشت که در مطالعات آینده نیاز به بررسی بیشتر و دقیق‌تر دارد.

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی فعالیت تپه های ماسه ای با توجه به عوامل اقلیمی و رژیم باد در شهرستان ایرانشهر تعریف شده است. زیرا طوفان های گرد و غبار و حرکت تپه های شنی مشکلات اقتصادی، معیشتی و بهداشتی بسیاری را در مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد کرده است. به طور جدی باعث مهاجرت مردم در بسیاری از مناطق شده است، این موضوع خود یک معضل اجتماعی محسوب می شود. با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی، کاهش چشمگیر بارندگی، افزایش دما و وقوع خشکسالی های متوالی و شدید در شهرستان ایرانشهر در سال های اخیر، وضعیت تحرک تپه های ماسه ای بدتر شده و ساکنان این مناطق را به طور جدی تهدید می کند. این احتمال وجود دارد که در سال های آینده روستاهای مجاور این مناطق خالی از سکنه شده و به شهرهای دیگر مهاجرت کنند که مشکلات زیادی را به همراه خواهد داشت. بنابراین انجام فعالیت های مرمتی برای تثبیت ماسه

[1] - Yizhaq

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

ها اعم از بیولوژیکی و غیر بیولوژیکی مانند مالچ پاشی در مناطقی که محدودیت های زیست محیطی ندارند بسیار توصیه می شود. متولیان امر بویژه اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سیستان و بلوچستان جهت انجام طرح ها و پروژه های اجرایی لازم برنامه ریزی و اقدام نمایند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعه حاضر با هدف بررسی وضعیت فعالیت تپه‌های ماسه‌ای با در نظر گرفتن عوامل اقلیمی و رژیم باد در شهرستان ایرانشهر تعریف گردید، زیرا بخش وسیعی از شهرستان ایرانشهر و مناطق اطراف را تپه‌های ماسه‌ای دربرگرفته است. حتی در برخی مناطق جاده‌های ارتباطی، خانه‌های روستایی، زمین‌های زراعی، باغات و قنات‌ها را تحت تاثیر قرار داده است و باعث مشکلات عدیده‌ای اعم از اقتصادی، معیشتی، بهداشت و سلامت شده است، تا آنجا که ممکن است در برخی از مناطق باعث مهاجرت افراد گردد که این موضوع خود یک معضل اجتماعی تلقی می‌شود. با توجه به رخداد تغییر اقلیم، کاهش معنی‌دار بارندگی، افزایش دما و وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی و شدید در سال‌های اخیر در شهرستان ایرانشهر، وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ای علی‌رغم پوشش گیاهی نسبتا مناسب آن، به‌علت افزایش دما و کاهش بارندگی‌ها و همچنین افزایش بادهای شدید و تبخیر و تعرق بسیار بالای منطقه به‌دلیل میانگین دمای بالای سالانه در حالت فعال و کاملا فعال قرار دارند. درصورت ادامه روند افزایش دما و کاهش بارندگی همانطور که در متن مقاله اشاره شد میزان تحرک‌پذیری به‌میزان زیادی افزایش خواهد یافت لذا باید از اکنون آینده‌نگری‌های لازم صورت پذیرد و فعالیت‌های احیایی جهت تثبیت ماسه‌های روان، اعم از بیولوژیک و غیربیولوژیک، نظیر مالچ‌پاشی در مناطقی که محدودیت زیست‌محیطی نداشته باشد مد نظر قرار گیرد و باید متولیان امر بالاخص اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان سیستان‌وبلوچستان جهت انجام اقدامات اجرایی لازم برنامه‌ریزی و اقدام نمایند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در جمع‌آوری داده‌ها، تهیه گزارش پژوهش و تحلیل داده‌ها مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر حامی مالی ندارد.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

ابراهیمی خوسفی، زهره؛ خسروشاهی، محمد؛ نعیمی، مریم؛ و زندی فر، سمیرا (۱۳۹۸). ارزیابی و پایش تغییرات رطوبت تالاب میقان با استفاده از تکنیک دورسنجی و ارتباط آن با شاخص های خشک سالی هواشناسی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*، ۱۰ (۲)، ۱-۱۴.

احمدی‌بیرگانی، حسام (۱۳۸۷). شبیه‌سازی حرکت تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از روش‌های تجربی و عددی. *پایان نامه کارشناسی ارشد*. دانشگاه تهران.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

اختصاصی، محمدرضا؛ مرادی، نجمه؛ و رستمی، فاطمه (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات روزهای طوفانی گردوخاک با استفاده از شاخص های دید افقی HV و بارندگی استاندارد SPI مطالعه موردی: محدوده شهر اصفهان. *هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*.

اصغری‌پوده، زهرا؛ شفیعی‌زاده، محمد؛ فاخران، سیما؛ و گیلانی، علیرضا (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه بندی تغییرات مکانی-زمانی طوفان های گرد و غبار با استفاده از شاخص DSI در استان خوزستان. *دومین همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی*.

پورمند، سکینه؛ غلامعلی زاده آهنگر، احمد؛ و دهواری، عبدالحمید (۱۳۹۴). بررسی توان جابجایی ماسه توسط باد در دشت شیله سیستان. *نشریه آب و خاک*، ۲۹(۱)، ۱۳۹-۱۵۰.

جبالی، عاطفه؛ جعفری، رضا؛ و خواجه‌الدین، سید جمال‌الدین (۱۳۹۲). پایش تغییرات تپه های ماسه ای تالاب بین المللی گاوخونی با استفاده از تصاویر ماهواره ای. *سنجش از دور و GIS ایران*، ۵(۳)، ۳۳-۴۵

درودی، هادی (۱۳۹۹). پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر تشدید پدیده گردوغبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی) در استان سیستان و بلوچستان. *گزارش نهایی طرح تحقیقاتی*. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.

درودی، هادی؛ خسروشاهی، محمد؛ و شهابی، معصومه (۱۴۰۰). بررسی تغییرات روند خشکسالی و عوامل اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۰(۳۲)، ۱۵-۲۰.

راهی، غلامرضا؛ بحرینی، فاطمه؛ خسروشاهی، محمد؛ و بیابانی، لیلا (۱۴۰۱). تاثیر خشکسالی بر فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار (مطالعه موردی استان بوشهر). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹(۱)، ۳۱-۵۱.

راهی، غلامرضا؛ بحرینی، فاطمه؛ خسروشاهی، محمد؛ و بیابانی، لیلا (۱۴۰۱). پایش و پیش‌بینی عوامل اقلیمی موثر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از شاخص لنکستر (مطالعهٔ موردی: دیر، استان بوشهر). *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۱(۳۶)، ۴۱-۵۴.

زندی‌فر، سمیرا؛ خسروشاهی، محمد؛ ابراهیمی خوسفی، زهره، و نعیمی، مریم (۱۳۹۹). پیش‌بینی وضعیت تحرک‌پذیری ماسه‌های روان در آینده بر اساس آزمون تحلیل حساسیت (مطالعه‌ی موردی: شهرستان منجیل). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۰(۳۹)، ۱۸-۳۵.

شریفی، محمد (۱۳۹۸). قبض وبسط ریگزارهای ایران نمونه مطالعه: ریگ زرین در ایران مرکزی.*جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۰ (۱)، ۱۲۷-۱۵۰.

طاووسی، تقی (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران. *اطلاعات جغرافیایی*، ۲۷ (۱۰۵)، ۸۵-۹۶.

عباس نژاد، احمد؛ ذهاب نوری، سمیه (۱۳۹۱). شناسایی اشکال فرسایش بادی دشت رفسنجان. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۲، ۱۲۷-۱۴۴.

عرب‌عامری، علیرضا؛ و حلبیان، امیرحسین (۱۳۹۶). آنالیز مؤلفه‌های مورفومتری نبکاها و معرفی مناسب‌ترین نوع آن برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از الگوریتم ELECTRE (مطالعهٔ موردی: ریگ چاه جام). *جغرافیا وبرنامه ریزی محیطی*، ۲۸ (۲)، ۹۳-۱۰۸.

لطفی نصب، سکینه؛ و خسروشاهی، محمد (۱۳۹۹). پایش فرایند خشک شدن تالاب جازموریان و نقش آن در پدیده‌های گرد و غبار. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع.

موسوی، حجت؛ ولی، عباس؛ و معیری، مسعود (۱۳۸۹). تأثیر مؤلفه های مورفومتری برخان بر میزان جابه جایی آن (مطالعه موردی: ریگ چاه جام). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۱ (۲)، ۱۰۱-۱۱۸.

نعیمی، مریم؛ زندی‌فر، سمیرا؛ خسروشاهی، محمد؛ عشوری، پروانه؛ و عباسی، حمیدرضا (۱۴۰۰). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در شهرستان سبزوار. *مدیریت بیابان*، ۹(۲)، ۱-۱۸.

یوسفی مبرهن، ابراهیم؛ قدرتی، منصور؛ و خسروشاهی، محمد (۱۴۰۰). پایش و پیش بینی عوامل اقلیمی موثر بر تحرک پذیری تپه های ماسه ای استان سمنان. *حفاظت منابع آب و خاک*، ۱۰(۴)، ۱۲۷-۱۴۱.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

References

Abbasi, H. R., Opp, C., Groll, M., Rohipour, H., & Gohardoust, A. (2019). Assessment of the distribution and activity of dunes in Iran based on mobility indices and ground data. *Aeolian Research*, 41, 539–555.

Abbasnejad, A., Zahab Nouri, S. (2012). Identifying wind erosion patterns in the Rafsanjan Plain. *Quantitative Geomorphology Research*, 2, 127-144. (In Persian)

Ahmadi-Birgani, H. (2008). *Simulation of sand dune movement using experimental and numerical methods*. Master's thesis. University of Tehran. (In Persian)

Arab-Ameri, A.R., and Halabian, A.H. (2017). Analysis of the morphometric components of the Nabkas and identification of the most suitable type for stabilizing quicksands using the ELECTRE algorithm (Case study: Chah-e-Jam sand). *Geography and Environmental Planning*, 28 (2), 93-108. (In Persian)

Asghari-Poodeh, Z., Shafiizadeh, M., Fakhran, S., and Gilani, A.R. (2015). Evaluation and zoning of spatial-temporal changes in dust storms using the DSI index in Khuzestan Province. *Second National Conference on Climate Change and Sustainable Development Engineering of Agriculture and Natural Resources*. (In Persian)

Ashkenazy, Y., Yizhaq, H., & Tsoar, H. (2012). Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian deserts. *Climate Change*. 112, 901-923.

Bagnold, R. A (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen & CD. LTD. London. p 265.

Bogle, R., Redsteer, M. H., & Vogel, J. (2015). Field measurement and analysis of climatic factors affecting dune mobility near Grand Falls on the Navajo Nation, southwestern United States. *Journal of Geomorphology*, 228, 41-51.

Daroudi, E. (2020). Monitoring of climatic factors affecting the intensification of dust and moving sand phenomena (wind erosion) in Sistan and Baluchestan Province. Final report of the research project. *Forest and Rangeland Research Institute*. (In Persian)

Daroudi, E., Khosrowshahi, M., and Shahabi, M. (2022). Study of changes in drought trends and climatic factors in Sistan and Baluchestan Province. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(32), 15-20. (In Persian)

Dong, Z., Qian, G., Lv, P., & HU, G. (2013). Investigation of the sand sea with the tallest dunes on Earth: China's Badain Jaran Sand Sea. *Earth-Science Reviews*. 120, 20–39.

Ebrahimi Khosfi, Z., Khosrowshahi, M., Naeimi, M., and Zandifar, S. (2019). Evaluation and monitoring of moisture changes in Meeqan wetland using remote sensing techniques and its relationship with meteorological drought indices. *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources (Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences*), 10 (2), 1-14. (In Persian)

Jabali, A., Jafari, R., and Khajeh-eddin, S.J. (2013). Monitoring changes in sand dunes of the Gavkhoni International Wetland using satellite images. *Remote Sensing and GIS Iran*, 5(3), 33-45. (In Persian)

Johanna, C. S., Hamish, A. M., & David, T. N. (2008). Meteorological controls on sand transport and dune morphology in a polardesert: Victoria Valley, Antarctica. *Journal Earth Surface,* 33, 1875–1891.

Khesesani, M.R., Moradi, N., and Rostami, F. (2011). Investigation of the trend of dust storm days using HV horizontal visibility indices and SPI standard precipitation. Case study: Isfahan city area. *7th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran*. (In Persian)

Lancaster, N. (1998). Development of linear dunes in the southwestern Kalahari, southern Africa. *Journal Arid Environment,* 14, 233– 244.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]

Lotfi-Nabs, S., and Khosrowshahi, M. (2019). Monitoring the drying process of Jazmurian wetland and its role in dust phenomena. *Final report of the research project of the Forest and Rangeland Research Institute*. (In Persian)

McTainsh, G. H., Leys, J. F., Tews, E. K., & Strong, C. L. (2008). Dust Storm Index to Dust Concentration: Developing a New Measure of Wind Erosion for National and State-Scale Monitoring. Final Report to Natural Heritage Trust, Dept of Agriculture, *Fisheries and Forestry, Canberra,* ACT. 27 p.

Mousavi, H., Vali, A., and Moeiri, M. (2010). The effect of the morphometric components of the Barkhan on its displacement rate (Case study: Chah-e-Jam sand). *Geography and Environmental Planning*, 21 (2), 101-118. (In Persian)

Naeimi, M., Zandifar, S., Khosrowshahi, M., Ashuri, P., & Abbasi, H.R. (2022). Investigating the impact of climate change on the mobility of sand dunes in Sabzevar County. *Desert Management*, 9(2), 1-18. (In Persian)

Pourmand, S., Gholamalizadeh Ahangar, A., and Dehvari, A.H. (2015). Investigation of the sand transport capacity by wind in the Shileh Plain of Sistan. *Journal of Water and Soil*, 29(1), 139-150. (In Persian)

Rahdari, M. R., & Rodríguez-Seijo, A. (2021). Monitoring Sand Drift Potential and Sand Dune Mobility over the Last Three Decades (Khartouran Erg, Sabzevar, NE Iran). Journal sustainability13 (9050), 1-16. Available at: https://doi.org/10.3390/su13169050

Rahi, G., Bahrini, F., Khosrowshahi, M., and Bayabani, L. (2014). The effect of drought on the frequency of dust phenomena (a case study of Bushehr Province). *Soil and Water Conservation Research*, 29(1), 31-51. (In Persian)

Rahi, G.R., Bahrini, F., Khosrowshahi, M., & Bayabani, L. (2023). Monitoring and forecasting climatic factors affecting sand dune mobility using the Lancaster index (Case study: Deir, Bushehr province). *Desert Ecosystem Engineering*, 11(36), 41-54. (In Persian)

Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S., & Kahn, R. A. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463–464, 552-564

Sharifi, M. (2019). Reclamation and expansion of Iranian sand dunes: a case study: Golden Sand in Central Iran. *Geography and Environmental Planning*, 30(1), 127-150. (In Persian)

Tavousi, T. (2018). Study of the trend of rainfall changes and UNEP aridity index in the climatic zones of western and northwestern Iran. *Geographical Information*, 27(105), 85-96. (In Persian)

Tsoar, H. (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physical Journals*, 357, 50-56.

Yizhaq, H., Ashkenazy, Y., & Tsoar, H. (2009). Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach. *Journal of geophysical research*, 114, 149-165.

Yousefi Mobarhan, A., Ghamati, M., & Khosrowshahi, M. (2022). Monitoring and forecasting climatic factors affecting the mobility of sand dunes in Semnan Province. *Soil and Water Resources Conservation*, 10(4), 127-141. (In Persian)

Zandifar, S., Khosrushahi, M., Ebrahimi Khosfi, Z., and Naeimi, M. (2019). Predicting the mobility status of quicksand in the future based on sensitivity analysis test (case study: Manjil County). *Geographical Studies of Arid Regions*, 10(39), 18-35. (In Persian)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-16]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.3.2]