



Changes in the Area of the Hamoun Wetlands and Their Role in Dust Storm Occurrences in the Sistan Plain

Fatemeh Dargahian ¹ , Yosef Mousivand ², Katayoun Cheraghi ³

1. Corresponding Author, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: dargahian@rifr-ac.ir, Fatemeh.dargahian@gmail.com
2. Department of Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Kharazmi, Tehran, Iran. Email: yosefmousivand@gmail.com
3. Department of Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Kharazmi, Tehran, Iran. E-mail: ykcheraghi@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 10 November 2025

Received in revised form: 17 February 2026

Accepted: 19 February 2026

Available online: 16 March 2026

Keywords:

*Fine-grained sediments,
Hamoun water,
Morphological form,
Regional atmospheric
circulation,
Sistan dust.*

ABSTRACT

Objective: The Hamoun lakes of Sistan are among the most unstable ecosystems in Iran. Their most important climatic features are the occurrence of severe floods and severe and widespread droughts. Changes in the area of the Hamoun wetlands water have a very high variability coefficient under the influence of numerous factors. The instability of the water inflow and its low durability make any planning and sustainable development in this region difficult. Changes in the area of the Hamoun wetlands water can double the challenge of dust in the Sistan Plain.

Method: Landsat satellite images and meteorological data were used to investigate the relationship between changes in the water area of the Hamoun wetlands and the number of dust events in the Sistan Plain. Using Landsat 5, 7, 8, and 9 satellite images on the Google Earth Engine platform, taking into account the assumption of accepting a maximum of 20% cloud cover on monthly images, the changes in the cover of Hamoun Lakes in 4 classes of water, soil, vegetation, and water-vegetation mixture were programmed for the statistical period from 1987 to 2023, and the trend of changes in each class was plotted. Using dust phenomenon codes, the number of events, days, and dust storms was extracted. Applying the scatter plots and R^2 statistics, the correlation value of dust events with changes in water area was examined.

Results: The results showed no strong and significant relationship between the number of dusty days in the Sistan Plain and changes in the water area of the Hamoun lakes; the reason was that dusty days could be any day with one to eight dust reports in the Synoptic. The number of events and its relationship with changes in the water area were examined. The results showed a strong and significant negative relationship between changes in the water area and the number of dust events. On the other hand, the drying of the bottom of the Hamoun lakes due to the fine-grained sediments with high volume and the impact of upstream river sediments on their bottom affected the horizontal field of view. The study of the relationship between dust storms and a horizontal field of view of one kilometer and less was explained with a very good coefficient of explanation by the trend of annual changes in the water area of the Hamoun lakes.

Conclusions: According to the results, the three main influential factors in the occurrence of dust storms in the study area were identified as the regional circulation of the atmosphere, the specific topography of the region, and the presence of fine-grained sediments in the Hamoun wetlands area. During the 120-day wind season of Sistan, this route becomes dry, which as a result increases the concentration of particles. Therefore, if it is wet, it can affect the field of view and reduce the concentration and intensity of the dust storm. Based on the findings, the number of dust storms showed a very strong and inverse relationship with the lack of water cover and the drying of the Hamoun lakes' bed. It is suggested that the water rights of the wetlands be provided through diplomacy.

Cite this article: Dargahian, F., Mousivand, Y., & Cheraghi, K. (2026). Changes in the Area of the Hamoun Wetlands and Their Role in Dust Storm Occurrences in the Sistan Plain. *Journal of Environmental Studies*, 51 (4), 453-472. <http://doi.org/10.22059/jes.2026.406010.1008652>



Introduction

The Hamoun lakes of Sistan are the most unstable aquatic ecosystems in Iran. Their most important climatic features are the occurrence of severe floods and severe and widespread droughts. Changes in the water area of the Hamouns lakes have a very high coefficient of variability under the influence of numerous factors. The instability of the water inflow and its low durability make any planning and sustainable development in this region difficult. Changes in the area of the Hamoun lakes water can double the challenge of dust in the Sistan Plain. In order to investigate the relationship between changes in the water area of the Hamoun lakes and the number of dust events in the Sistan Plain, Landsat satellite images and meteorological data were used. Investigating the correlation between dusty days, climatic variables, and the amount of water inflow to the Hamoun wetlands using multivariate regression modeling showed that the water inflow status has a greater effect on dusty days in the region than rainfall and temperature. (Mir and Ziaee, 2024). In some studies, changes in the water area of the wetlands were monitored over a period of time, but a comprehensive study on monthly and annual monitoring of the wetlands' area land covers in the four types of water, soil, vegetation, and water-plant mixture of wetlands over an appropriate statistical period and with a long-term time series duration has not been conducted on all of Hamoun wetlands. Therefore, the main goal of this study is investigating the relationship between the water area of Hamoun lakes and its role in the frequency and intensity of dust storm events, which has not been studied so far.

Method

In order to investigate the changes in the area of Hamoun wetlands and its role in the occurrence of dust storms in the Sistan Plain, satellite images and meteorological data were used. Using Landsat 5, 7, 8, and 9 satellite images on the Google Earth Engine platform, and considering the assumption of accepting a maximum of 20% cloud cover on monthly images, the changes in the land cover of Hamoun lakes were programmed in 4 classes for the statistical period from 1988 to 2023.

To evaluate the classification accuracy of the four classes of water, vegetation, soil or barren, and water-vegetation mixture, a random sampling method was used in Google Earth Engine. For this purpose, several years were selected, and for each representative wet and dry year (Figure 2), 25 random points were selected for each class (total 100 points) to ensure a balanced distribution of classes. Then, the sample points extracted for each class were labeled using Landsat color images of the same year and visual interpretation of the reference points with reality. Given the lack of access to ground data and the condition of the area, this approach was adopted as a scientifically valid method. After preparing and marking the reference points, two modes were considered for evaluation, including cumulative mode, in which all points from all years were combined to show the overall accuracy of the method over the entire time period, and the year-to-year method, which examines the changes in accuracy under different conditions. The classification method was obtained with an overall accuracy of 76.1% and a kappa coefficient of 69%, which is suitable for analyzing changes in Hamoun wetlands. In this study, considering the status of marsh and wetland water bodies, etc. (natural water bodies), and the nature of their water level changes (usually occurring in different seasons), partly covered with vegetation cover or even sand dunes, or there may be a mixture of water and plant cover (such as reeds), in addition to identifying water bodies, the algorithm was designed in such a way that classes related to vegetation, soil and sand dunes, as well as the mixed water and plant part, were also extracted and the trend of changes in each class was drawn. Using dust phenomenon codes, the number of events, days and dust storms was extracted. Applying scatter plots and R^2 statistics, the correlation between dust events and changes in water area was examined and analyzed.

Results

The study of the trend of land cover changes showed that during the study period, the area of soil class had a significant upward trend, and these changes have continued with a steep slope since 1999. During the study period, 3112 square kilometers have been added to the area of the land cover class. However, the area of water cover class had a significant and decreasing trend. During the period under study, 1527 square kilometers of the area of the water cover class has been reduced. The largest area of this cover class in four consecutive years from 1990 to 1993 was more than 60 percent of the total area of the Hamoun lakes. In 2001 and 2023, it completely dried up.

The study of the trend of vegetation cover changes in the study period showed that the area of this class had a decreasing trend, in such a way that 107 square kilometers of this class has been reduced. An examination of the trend of changes in the mixed water and plant cover class showed that the area of this class had a decreasing trend. During the study period, the area of the mixed water and plant cover class was reduced by 567 square kilometers.

In this study, in addition to examining the relationship between the number of dusty days and the area of water in Hamoun lakes, unlike other studies, the relationship between the number of storms and the number of dust events with changes in the area of Hamoun lakes in all months of the year and in the period of 120-day winds in Sistan has been emphasized. The result of examining the correlation between dust events and changes in water area showed no strong significant relationship, and the R^2 value explained only 20% of the changes in dust parameters by water changes, and 80% of it was related to the other factors. Changes in water area and its relationship with dust were examined in the period of 120-day winds in Sistan. The results showed a strong and significant negative relationship between changes in water area and the number of dust storms, so that the changes in water area explain 69% of the changes in the occurrence of dust storms. Increased drying of the Hamoun wetlands exposed more dust sources to the strong erosive winds of the Sistan Plain, thereby expanding the area affected by wind erosion. Consequently, a strong and significant inverse relationship was observed between the frequency of dust storms (visibility <1 km) and the decline in wetland water area. Considering the situation of the region and the constant wind and the presence of a large volume of fine-grained materials in the bed of Hamoun lakes, dust storms showed a better relationship with the degree of drying of the water cover of the lakes and could provide a better criterion for the relationship between the drying of the wetland water and the occurrence of dust in the area of the studied wetlands.

Conclusions

The compatibility of the morphological conditions of the land and air currents caused by the pressure gradient and the presence of fine-grained sediments has led to the formation of dust storms in the study area. When the speed exceeds a certain limit, a number of particles begin to vibrate, and when the wind speed increases, they are torn from the surface and enter the airflow. During the movement of these soil particles by the wind, they sometimes hit the surface of the earth again, which causes many more particles to separate from the soil and join the airflow. In the upstream area of the Hamoun lakes in the estuaries of the incoming rivers, including the Farah River, where fine-grained sediments have accumulated, due to high wind speed, the sediments enter the atmospheric currents and over time hit the dried surface of the Hamoun wetlands again, especially the Bringak and Chang Sorkh Hamouns, leading to an increase in the ascent of particles further in the wind direction. In the summer, because this path is dry, the concentration of particles increases, but in wet conditions, the visibility would increase, and the concentration and intensity of dust storms would reduce. Therefore, as the results of this study show, the number of dust storms demonstrated a very strong and inverse relationship with the lack of water cover and the drying of the Hamoun bed. Providing water rights to the Hamoun wetlands, the right time distribution through appropriate diplomacy using international law rules, and prioritizing and properly managing the water entering the wetlands can reduce the frequency, intensity, and continuity of dust storms.

Author Contributions

Fatemeh. Dargahian: Corresponding author; Conceptualization, methodology, writing—original, draft preparation, writing—review and editing. Yosef. Mousivand: Software, formal analysis visualization.

Katayoun. Cheraghi: Data extraction, Resources. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data will be made available on request.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to all the participants involved in this study. Ethical considerations.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

There are no funders to report for this article.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



University of Tehran Press

نشریه محیط شناسی

شاپای چاپی: ۸۶۲۰-۱۰۲۵
شاپای الکترونیکی: ۶۹۲۲-۲۳۴۵

دوره ۵۱، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴

Homepage: <http://Jes.ut.ac.ir>

تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و نقش آن در رخداد طوفان‌های گرد و غبار در دشت سیستان

فاطمه درگاهیان^۱، یوسف موسیوند^۲، کتابون چراغی^۳

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: dargahian@rifr-ac.ir

Fatemeh.dargahian@gmail.com

۲. گروه سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: yosefmousivand@gmail.com

۳. گروه سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ykcheraghi@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۵

هدف: تالاب‌های هامون از جمله ناپایدارترین اکوسیستم‌های آبی ایران هستند. مهمترین ویژگی‌های اقلیمی آنها رخداد سیل‌های مهیب و خشکسالی‌های شدید و فراگیر است. تغییرات مساحت آب تالاب‌های هامون تحت تأثیر عوامل متعدد از ضریب تغییرپذیری بسیار بالایی برخوردار است. عدم پایداری آب ورودی و ماندگاری کم آن هرگونه برنامه‌ریزی و توسعه پایدار را در این منطقه با مشکل مواجه می‌کند. تغییرات مساحت بخش آبی تالاب‌های هامون، نقش مهمی بر فراوانی و شدت رخدادها و طوفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان داشته و می‌تواند چالش گرد و غبار در دشت سیستان را دوچندان کند.

روش پژوهش: به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات مساحت آب هامون‌ها و تعداد رخدادها و غبار در دشت سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵، ۷، ۸، و ۹ در بستر پلتفرم گوگل ارث انجین، با در نظر گرفتن پیش فرض پذیرش حداکثر ۲۰ درصد پوشش ابر بر روی تصاویر ماهانه، تغییرات پوشش دریاچه‌های هامون در ۴ طبقه آب، خاک، پوشش گیاهی و مخلوط آب و پوشش گیاهی با دقت کلی ۷۶/۱ درصد و ضریب کاپا ۶۹ درصد برای دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۳ برنامه‌نویسی و روند تغییرات هر طبقه ترسیم شد.

یافته‌ها: در طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۱۱۲ کیلومتر مربع بر مساحت طبقه پوشش خاک افزوده و ۱۵۲۷ کیلومتر مربع از مساحت طبقه آب کاسته شده است. با استفاده از کد پدیده‌های گرد و غبار تعداد رخدادها، روزها و طوفان‌های گرد و غباری استخراج شد. با بررسی همبستگی بین رخدادها و گرد و غبار با تغییرات مساحت آب، مشخص شد ارتباط قوی معنی‌داری بین آنها وجود ندارد؛ و مقدار R^2 تنها ۲۰ درصد تغییرات گرد و غبار توسط تغییرات آب را تبیین می‌کند و ۸۰ درصد آن توسط عوامل دیگر تبیین می‌شود. تغییرات مساحت آب و ارتباط آن با گرد و غبار در محدوده زمانی وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان بررسی شد نتایج نشان داد ارتباط منفی قوی و معنی‌داری بین تغییرات مساحت آب و تعداد طوفان‌های گرد و غبار وجود دارد. به طوری که تغییرات مساحت آب ۶۹ درصد تغییرات رخداد طوفان‌های گرد و غبار را تبیین می‌کند.

نتیجه‌گیری: تعداد رخداد طوفان‌های گرد و غبار با نبودن پوشش آب و خشک شدن بستر هامون‌ها یک رابطه بسیار قوی و معکوس را نشان داده است. تامین حق‌آبه تالاب‌های هامون با توزیع زمانی مناسب از طریق اتخاذ دیپلماسی مناسب با استفاده از قوانین حقوق بین‌الملل و اولویت‌بندی و مدیریت صحیح آب ورودی به تالاب‌ها، می‌تواند از فراوانی، شدت و تداوم طوفان‌های گرد و غبار در دشت سیستان بکاهد.

کلیدواژه‌ها:

آب هامون‌ها،

رسوبات ریزدانه،

فرم مورفولوژی،

گرد و غبار سیستان،

گردش منطقه‌ای جو.

استناد: درگاهیان، فاطمه؛ موسیوند، یوسف؛ و چراغی، کتابون (۱۴۰۴). تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و نقش آن در رخداد طوفان‌های گرد و غبار در دشت سیستان.

نشریه محیط‌شناسی، ۵۱(۴)، ۴۵۳-۴۷۲. <http://doi.org/10.22059/jes.2026.406010.1008652>

© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.



DOI: <http://doi.org/10.22059/jes.2026.406010.1008652>

مقدمه

دریاچه و تالاب بین‌المللی هامون سومین دریاچه بزرگ ایران پس از دریاچه خزر و ارومیه و هفتمین تالاب بین‌المللی جهان است. وسعت آن در زمان پرآبی ۵۶۶۰ کیلومتر مربع است که ۳۸۲۰ کیلومتر مربع متعلق به ایران و بقیه متعلق به افغانستان است. با توجه به وسعت آن استفاده از فناوری‌های جدید به‌ویژه تصاویر ماهواره لندست با قدرت تفکیک بالا برای پایش آن مناسب می‌باشد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد با گذشت زمان تغییرات زیادی در مساحت واقعی آب تالاب‌ها روی داده است (Davidson et al., 2018). در قرن ۲۰ تالاب‌های خشکی ۶۹ الی ۷۵ درصد و تالاب‌های ساحلی ۶۲ الی ۶۳ درصد کاهش وسعت داشته‌اند. میزان مساحت منطقه‌ای از دست رفتن تالاب در آسیا بیشترین بوده است (Hu et al., 2017). مساحت کل تالاب‌ها در چین ۱۰ درصد از تالاب‌های جهانی است این کشور اهمیت اکوسیستم تالاب‌ها را درک کرده و تلاش‌های بسیاری در زمینه حفاظت از تالاب‌ها انجام داده است (Meng et al., 2017). اما از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ در حدود ۲۸۸۳ کیلومتر مربع از تالاب‌ها را به دلیل گسترش شهر از دست داده است (Mao et al., 2020).

با توجه به وسعت بسیار زیاد تالاب، و صرف وقت و هزینه زیاد، روش‌های سنتی پایش تالاب جای خود را به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای داده است؛ پایش تغییرات تالاب‌ها در شرق آفریقا با استفاده از سنجش از دور (Haack, 1996)، بررسی تغییرات زمانی و مکانی تالاب‌های مدیترانه‌ای در شمال منطقه گریس (Papastergiadou et al., 2008)، شناسایی تغییرات تالاب در دشت سانجیانگ چین با استفاده از سنجش از راه دور (Zhang et al., 2009)، بررسی تغییرات در اکوسیستم‌های تالاب در شمال ویرجینیا (Kayastha et al., 2012)، پایش تغییرات تالاب‌های دلتای رودخانه زرد در چین (Chen et al., 2011)، آشکارسازی اتوماتیک تغییرات خط ساحلی تالاب‌های جزء معاهده رامسر در ترکیه (Kuleli et al., 2011)، پایش پویایی بزرگترین تالاب آب شیرین چین (Chen et al., 2014)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه لندست انجام شده است. در ایران نیز از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش تغییرات میزان سطح آب و پوشش گیاهی و بدون پوشش یا مساحت خشک شده تالاب‌ها استفاده شده است. بررسی تغییرات زیست‌محیطی تالاب نیریز بیان‌کننده افزایش ۱۲۹ درصدی مساحت نمک و کاهش ۵۲ درصدی مساحت آب است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). ارزیابی روند تغییرات تالاب ساحلی میانکاله از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ کاهش شدید پهنه آبی را نشان داده است (دشتی و همکاران، ۱۳۹۷). پایش سطح آب تالاب میقان از ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ حاکی از روند کاهشی سطح آب تالاب می‌باشد (خانقلی و همکاران، ۱۳۹۷). پایش تغییرات سطح و کاربری اراضی اطراف دریاچه مهارلو از ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ کاهش سطح آب این دریاچه را نشان داد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸). بررسی ارتباط بین مساحت سطح آب تالاب شادگان و رخداد خشکسالی هیدرولوژی نشان داد که رخداد خشکسالی تا ۵۰ درصد تغییرات مساحت آب تالاب را تبیین کرده است (درگاهیان و همکاران، ۱۳۹۹). پایش تغییرات پهنه آبی دریاچه زریبار ۱۹۸۴-۲۰۱۷ کاهش آب و افزایش نزارهای سطح دریاچه را نشان داد (سلیمانی و همکاران ۱۴۰۱).

طوفان‌های گرد و غبار یکی از مخاطرات مهم محیط‌زیستی است که کشورهای خاورمیانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hamzeh et al., 2023). وقوع پدیده خشکسالی در محدوده تالاب‌ها و هورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای اکوسیستم شکننده‌ای هستند به سرعت، سبب تغییر پوشش سطح زمین می‌شود (Hu et al., 2018). در سال‌های اخیر افزایش دما، کاهش بارش و وقوع خشکسالی‌های مکرر ناشی از افزایش گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، حیات اکوسیستم‌های تالابی و هورها را با خطر جدی مواجه کرده است (پیری و همکاران، ۱۳۹۲). تغییرات سطح آبدار و خشک تالاب گاوخونی در دوره زمانی ۱۳۶۵-۱۳۹۸ نشان داد در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ سطح آبدار تالاب به کمتر از ۱۰ درصد رسیده است (خسروشاهی و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی میزان تاب‌آوری پهنه آبی تالاب‌های هامون نشان داد تالاب هامون «هیرمند» ناپایدارترین شرایط آبی را نسبت به دو تالاب دیگر داشته است (فرتوت و همکاران، ۱۴۰۱). نزدیکی به مناطق وسیع کویری، بادهای ۱۲۰ روزه در سیستان، دوره‌های خشکسالی شدید و کنترل آب‌های ورودی بالادست منجر به خشک شدن دریاچه هامون شده است (Darvishi Bolorani et al., 2022).

پهنه آبی هامون‌ها در مطالعات مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد پایش واقع شده است. رابطه فضایی- زمانی تغییرات آب‌های سطحی و پایداری دریاچه‌های هامون و گودزره از ۱۹۷۲-۲۰۰۴ نشان داد در ۸۰ درصد موارد سطح دریاچه‌ها خشک بوده است

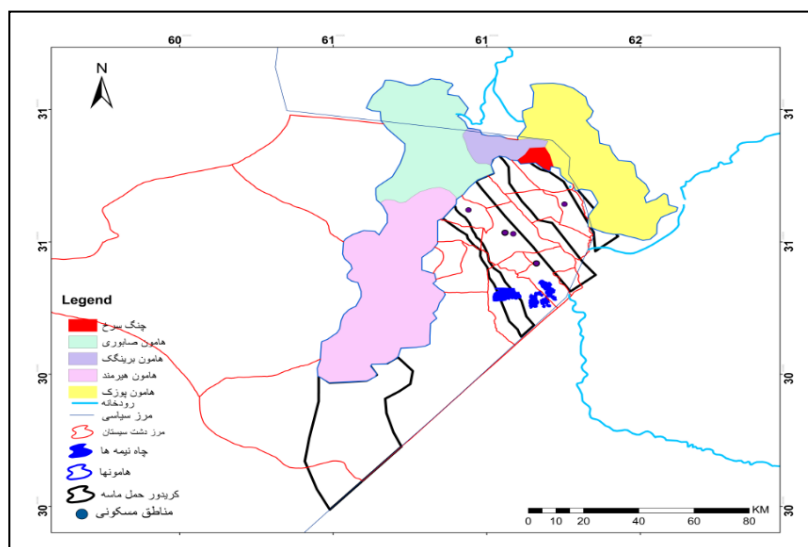
(خسروی، ۱۳۸۹). آشکارسازی تغییرات سطح دریاچه‌ها و تالاب‌ها یکی از راهکارهای دستیابی به مدیریت پایدار است. تالاب‌هایی که در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند به تغییرات بارش در بالادست حوضه مربوط به خود وابسته هستند به طوری که برخی سال‌ها با سیلاب مواجه و از آب لبریز و برخی سال‌ها تا حد خشکی کامل پیش می‌روند و کارکردهای اکوسیستمی خود را از دست داده و به یک آبگیر موقت تبدیل می‌شوند (درگاهیان، ۱۳۹۸).

خشک شدن تالاب‌های بین‌المللی هامون و طوفان‌های گرد و غبار ایجاد شده از بستر این تالاب‌ها در دو دهه اخیر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های محیط‌زیستی شرق کشور بوده است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی روند خشک شدن و آبیگری مجدد تالاب هامون در ۱۳۹۸ نشان داد کانون‌های گرد و غبار در سال ۱۳۹۷ با آبیگری هامون صابری، به زیر آب رفته‌اند (راهداری و همکاران، ۱۳۹۸). بررسی رابطه همبستگی روزهای گرد و غباری با متغیرهای اقلیمی و میزان آبیگری تالاب هامون با استفاده از مدلسازی رگرسیون چند متغیره نشان داد وضعیت آبیگری تالاب هامون بر روزهای گرد و غباری در منطقه نسبت به بارندگی و دما بیشتر اثرگذار است (میر و ضیایی، ۱۴۰۳). همان‌طور که در منابع مختلف بررسی شد در برخی از منابع تغییرات مساحت آب تالاب‌ها در یک مقطع زمانی پایش شده است اما یک مطالعه جامع در مورد پایش ماهانه و سالانه پوشش سطح تالاب در ۴ طبقه آب، خاک، پوشش گیاهی و مخلوط آب و گیاه تالاب‌ها در یک دوره آماری مناسب و با طول دوره سری زمانی بلندمدت بر روی مجموع تالاب‌های هامون انجام نشده است. از طرفی هدف اصلی این مطالعه، بررسی ارتباط بین مساحت آب هامون‌ها و نقش آن بر فراوانی و شدت رخدادها و طوفان‌های گرد و غبار است که تا کنون مطالعه نشده است.

روش‌شناسی پژوهش

– منطقه مورد مطالعه

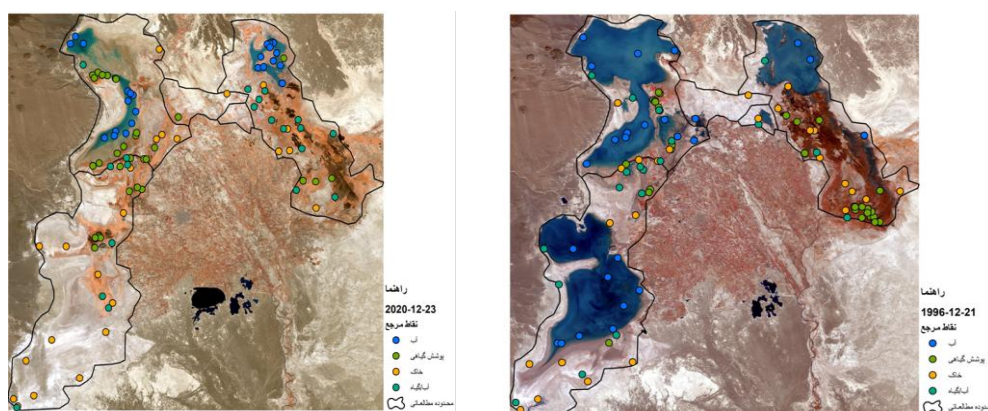
در شکل ۱ موقعیت تالاب‌های هامون در حوضه آبریز هیرمند، شامل تالاب‌های هامون هیرمند، صابوری و هامون پوزک برینگک و چنگ سرخ، نشان داده شده است. در مواقع پرآبی به‌صورت یک پیکره آبی یکپارچه در می‌آید با وجودی که بیشترین مساحت حوضه آبخیز مربوط به هامون‌ها در افغانستان واقع شده است اما به‌ویژه در مواقع پرآبی بیشترین مساحت تالاب‌ها در ایران واقع شده است به طوری که در مواقع پرآبی ۳۸۶۰ کیلومتر مربع در محدوده کشور ایران واقع می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت تالاب‌های هامون در حوضه آبریز هیرمند

– داده‌ها و روش کار

پلتفرم مورد استفاده به منظور پیاده‌سازی طبقه‌بندی خودکار سری زمانی کاربری و پوشش زمین کف هامون‌های سیستان، سامانه گوگل ارث انجین است. این سامانه، تحت وب بوده و توسط گوگل معرفی شده است. وجود تصاویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی و زمانی بالا در این سامانه، فرصت‌های جدیدی را برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین فراهم آورده است که از آن جمله می‌توان به تصاویر ماهواره‌ای لندست و سایر لایه‌های اطلاعاتی اشاره داشت. در این سامانه امکان دسترسی به آرشیو داده‌ها به‌طور کامل فراهم بوده و کاربران می‌توانند بدون نیاز به دانلود و ذخیره، حجم زیادی از داده‌ها، تجزیه و تحلیل‌های تخصصی موردنظر را اعمال نمایند. در این تحقیق از داده‌های لندست ۵، ۷، ۸ و ۹ در پلتفرم گوگل ارث انجین استفاده شد. ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم برای تصاویر از جمله تصاویر لندست ۷ انجام شد. همچنین علاوه بر قرار دادن فیلتر ابرناکی تصاویر، الگوریتم‌های ماسک ابر نیز بر روی همه داده‌ها انجام شده است. سنجنده لندست دارای ۱۲ باند بوده که در محدوده‌های طیف مرئی، مادون قرمز، لبه قرمز و مادون قرمز موج کوتاه تصویربرداری می‌کند و دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر برای انواع باندها می‌باشد. قدرت تفکیک زمانی این ماهواره ۱۶ روز است. یکی از موارد قابل استخراج از این تصاویر، شاخص‌های طیفی است که به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی در جهت بهبود فرآیند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق با توجه به وضعیت بده‌های آبی مردابی و تالابی و غیره (بده‌های آبی طبیعی) با توجه به ماهیت تغییرات سطح آب آنها که معمولاً در فصول مختلف رخ می‌دهد و معمولاً بخش‌هایی از این مناطق دارای پوشش گیاهی می‌شود و یا حتی بخش‌هایی از آن را ماسه‌زار تشکیل می‌دهد و یا ممکن است مخلوطی از پوشش آب و گیاه (مانند نیزار) با هم وجود داشته باشد. علاوه بر آن شناسایی بده‌های آبی الگوریتم به‌نحوی طراحی شده که کلاس‌های مربوط به پوشش گیاهی، خاک و ماسه‌زار و همچنین بخش مخلوط آب و گیاه نیز استخراج شود. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی چهار کلاس آب، پوشش گیاهی، خاک یا بایر و مخلوط آب و گیاه از روش نمونه‌گیری تصادفی در گوگل ارث انجین استفاده شد. برای این کار چند سال انتخاب و برای هر سال نماینده وضعیت پرآب و خشک (شکل ۲)، ۲۵ نقطه تصادفی برای هر کلاس تولید گردید (جمعاً ۱۰۰ نقطه) تا توزیع کلاس‌ها متعادل باشد. سپس نقاط نمونه‌ای که برای هر کلاس استخراج شده بود با استفاده از تصاویر رنگی لندست همان سال و تفسیر بصری نقاط مرجع با واقعیت، برچسب‌گذاری شدند. با توجه به عدم دسترسی به داده‌های زمینی و همچنین وضعیت منطقه، این روش به‌عنوان یک روش علمی استفاده شد. پس از تهیه نقاط مرجع و نشانه‌گذاری آنها، دو حالت برای ارزیابی در نظر گرفته شد: حالت تجمعی، که در آن همه نقاط از همه سال‌ها ترکیب شدند تا دقت کلی روش در کل دوره زمانی را نشان دهند و روش سال به سال، که برای بررسی تغییرات دقت در شرایط مختلف به کار گرفته شد. روش طبقه‌بندی با دقت کلی ۷۶/۱ درصد و ضریب کاپا ۶۹ درصد به‌دست آمد که برای تحلیل تغییرات تالاب‌های هامون مناسب است.



شکل ۲. نقاط نمونه‌گیری برای ۴ کلاس آب، پوشش گیاهی، خاک و مخلوط آب و گیاه در یک سال پرآب (راست) و خشک (چپ)

به منظور استخراج این ۴ کلاس از شاخص‌های طیفی (شکل ۳) به شرح ذیل استفاده شد که عبارتند از:

شاخص NDWI

این شاخص با استفاده از اختلاف باندهای مادون قرمز و سبز اقدام به شناسایی بدنه‌های آبی می‌کند. در این شاخص، پیکسل‌های مربوط به آب دارای مقادیر مثبت و پوشش گیاهی و خاک خشک مقادیر منفی یا نزدیک به صفر هستند (رابطه ۱).

$$\text{NDWI} = (\text{greenBand} - \text{NIRBand}) / (\text{greenBand} + \text{NIRBand}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

شاخص MNDWI

این شاخص نیز با استفاده از اختلاف بین باند مادون قرمز و سبز، اقدام به جداسازی بدنه‌های آبی می‌کند. شاخص تفاضلی نرمال شده آب اصلاح شده یک نسخه بهبود یافته از NDWI است که برای جداسازی بهتر بدنه‌های آبی از زمینه‌های شهری و خاک خشک طراحی شده است. به جای باند فرورسرخ نزدیک (NIR)، از باند فرورسرخ موج کوتاه (SWIR) استفاده می‌کند، زیرا در این باند، هر دو آب و پوشش گیاهی جذب بالایی دارند، اما سطوح شهری و خاک خشک بازتابش بالاتری نشان می‌دهند. این تفاوت، تشخیص آب را دقیق‌تر می‌کند (رابطه ۲).

$$\text{MNDWI} = (\text{Green} - \text{SWIR}_1) / (\text{Green} + \text{SWIR}_1) \quad (\text{رابطه ۲})$$

شاخص WRI

این شاخص با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی، قرمز و سبز، اقدام به جداسازی بدنه‌های آبی می‌کند. نسبت مجموع باندهای مرئی (سبز و قرمز) به مجموع باندهای فرورسرخ (فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ موج کوتاه) در این شاخص برای جداسازی و شناسایی بدنه‌های آبی استفاده می‌شود. منطق آن بر پایه بازتابش بسیار کم آب در بخش‌های فرورسرخ طیف است (رابطه ۳).

$$\text{WRI} = ((\text{greenBand} + \text{redBand}) / (\text{NIRBand} + \text{SWIRBand})) \quad (\text{رابطه ۳})$$

شاخص NDVI

این شاخص با استفاده از اختلاف بین باند مادون قرمز و قرمز، اقدام به جداسازی بدنه‌های آبی می‌کند. مقادیر این شاخص بین ۱- تا ۱+ متغیر است، به طوری که مقادیر بالا (مثبت) نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم و متراکم، و مقادیر پایین یا منفی مربوط به سطوح بدون پوشش گیاهی مانند آب، خاک لخت، برف یا سازه‌های شهری است (رابطه ۴).

$$\text{NDVI} = (\text{NIRBand} - \text{redBand}) / (\text{NIRBand} + \text{redBand}) \quad (\text{رابطه ۴})$$

– الگوریتم‌های استخراج طبقات مختلف**بدنه آبی**

با استفاده از ترکیب شاخص‌های مختلف و تعیین آستانه‌های مناسب محاسبه می‌شود که در آن T1 تا T4 مقادیر آستانه مناسب به دست آمده می‌باشد (رابطه ۵).

$$\text{Water_body} = \text{NDVI} < T1 \ \& \ \text{NDWI} > T2 \ \& \ \text{MNDWI} > T3 \ \& \ \text{WRI} > T4 \quad (\text{رابطه ۵})$$

پوشش گیاهی

از طریق رابطه ۶ محاسبه می‌شود که در آن R1 مقدار آستانه مناسب می‌باشد.

$$\text{Vegetation} = \text{NDVI} > R1 \ \& \ \text{Water_body} < 1 \quad (\text{رابطه ۶})$$

ماسه و خاک

از طریق رابطه ۷ محاسبه می‌شود که در آن I1 و I2 مقادیر آستانه مناسب می‌باشند.

$$\text{Sand_Soil} = \text{NDVI} < I1 \ \& \ \text{NDWI} < I2 \ \& \ \text{Water_body} < 1 \ \& \ < 1 \quad (\text{رابطه ۷})$$

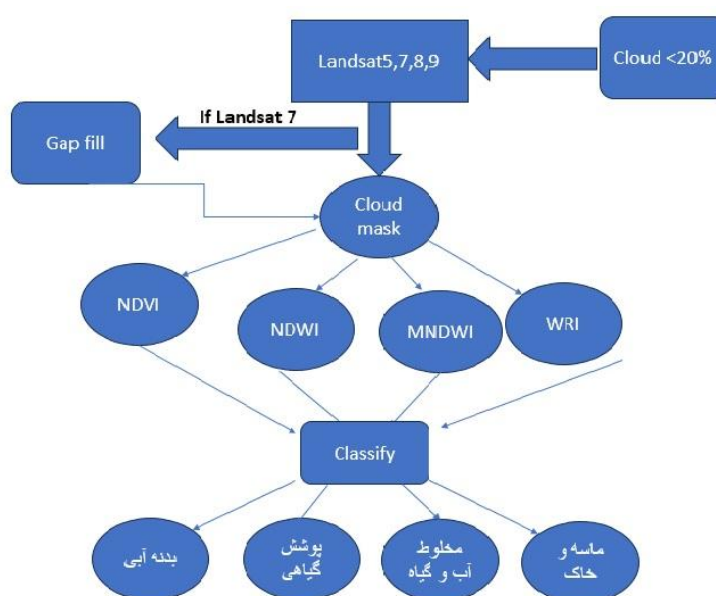
مخلوط آب و گیاه

از طریق رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

رابطه ۸)

$$\text{Mix_pix} = \text{water_body} < 1 \& \text{ sand_soil} < 1 \& < 1$$

در ادامه برای ارزیابی بهتر نتایج سری زمانی همه کلاس‌های مربوطه ترسیم و با استفاده از مساحت کل منطقه و همچنین مساحت‌های به‌دست آمده از کلاس‌های مختلف، درصد هر محصول از کل مساحت نیز محاسبه شده است. با استفاده از کد پدیده‌های گرد و غبار تعداد روزهای گرد و غباری، تعداد رخداد‌های گرد و غبار که هر سه ساعت یک‌بار کد می‌شوند و طوفان‌های گرد و غبار که در آن میدان دید افقی کمتر از یک کیلومتر و سرعت باد بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت است؛ در ایستگاه سینوپتیک زابل که دارای دوره آماری مورد نیاز بود، استخراج شد. مقدار همبستگی (r) به روش پیرسون بین تغییرات مساحت آب و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار، تعداد طوفان‌های گرد و غبار و تعداد رخداد‌های گرد و غبار محاسبه و آماره R^2 برای مقدار تبیین رخداد‌های گرد و غبار با تغییرات مساحت آب بررسی و تحلیل شد.

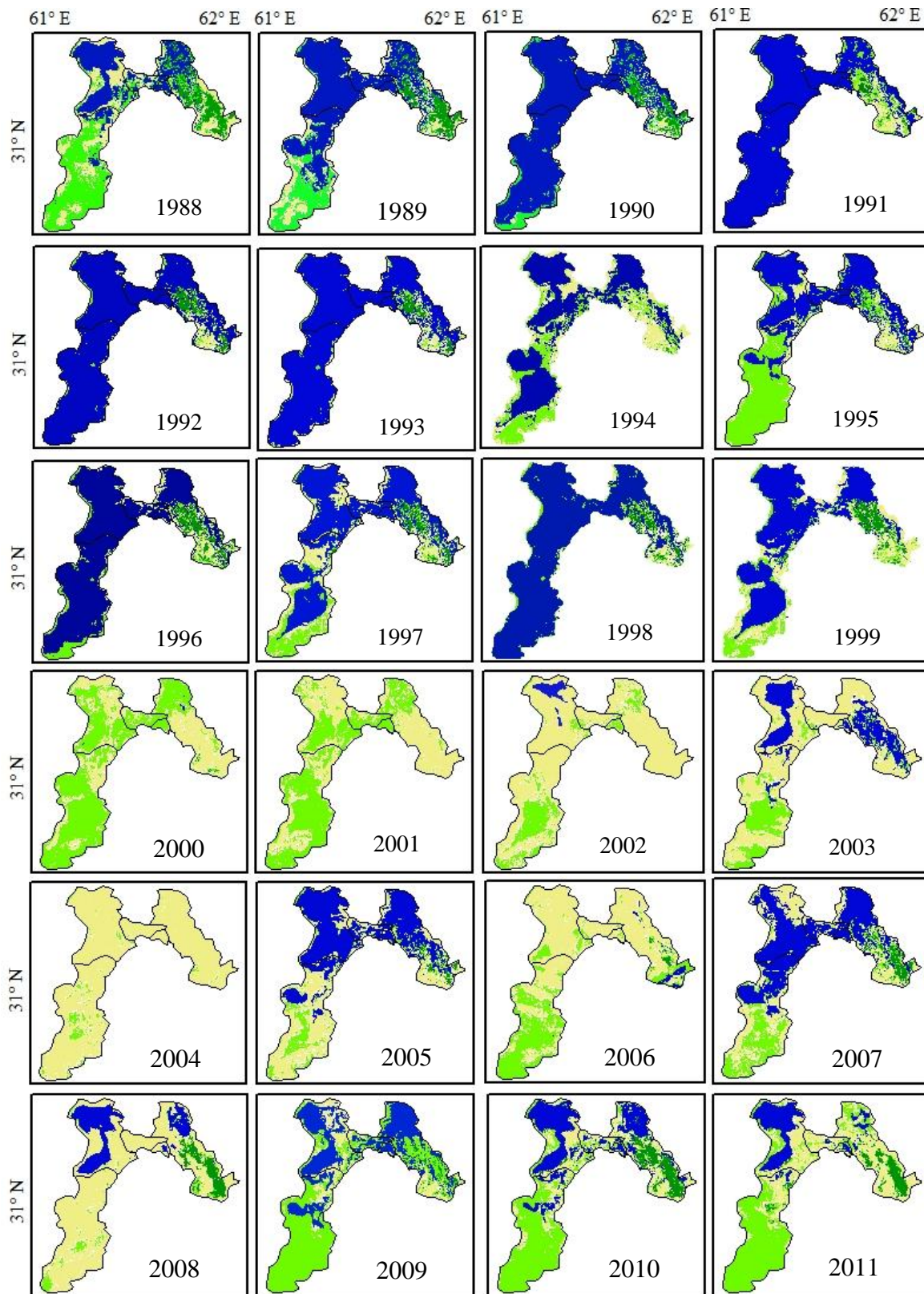


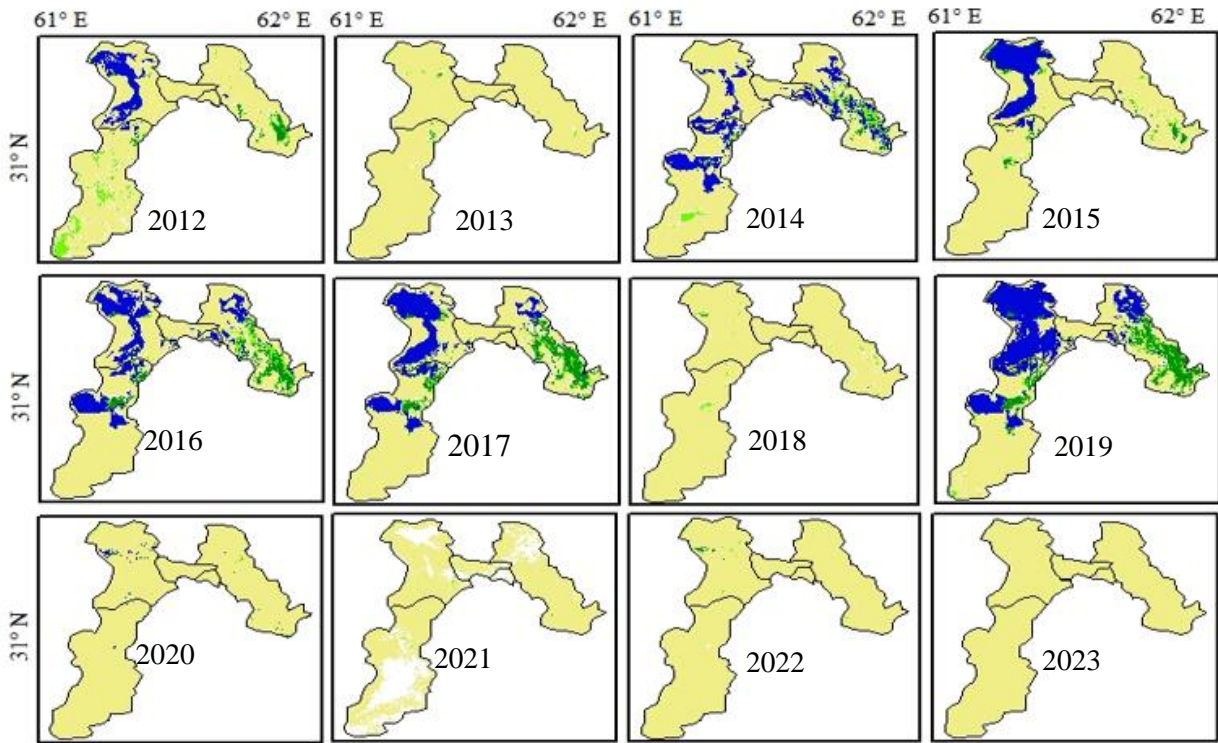
شکل ۳. الگوریتم استخراج مساحت طبقات پوششی تالاب‌های هامون از تصاویر لندست

یافته‌های پژوهش

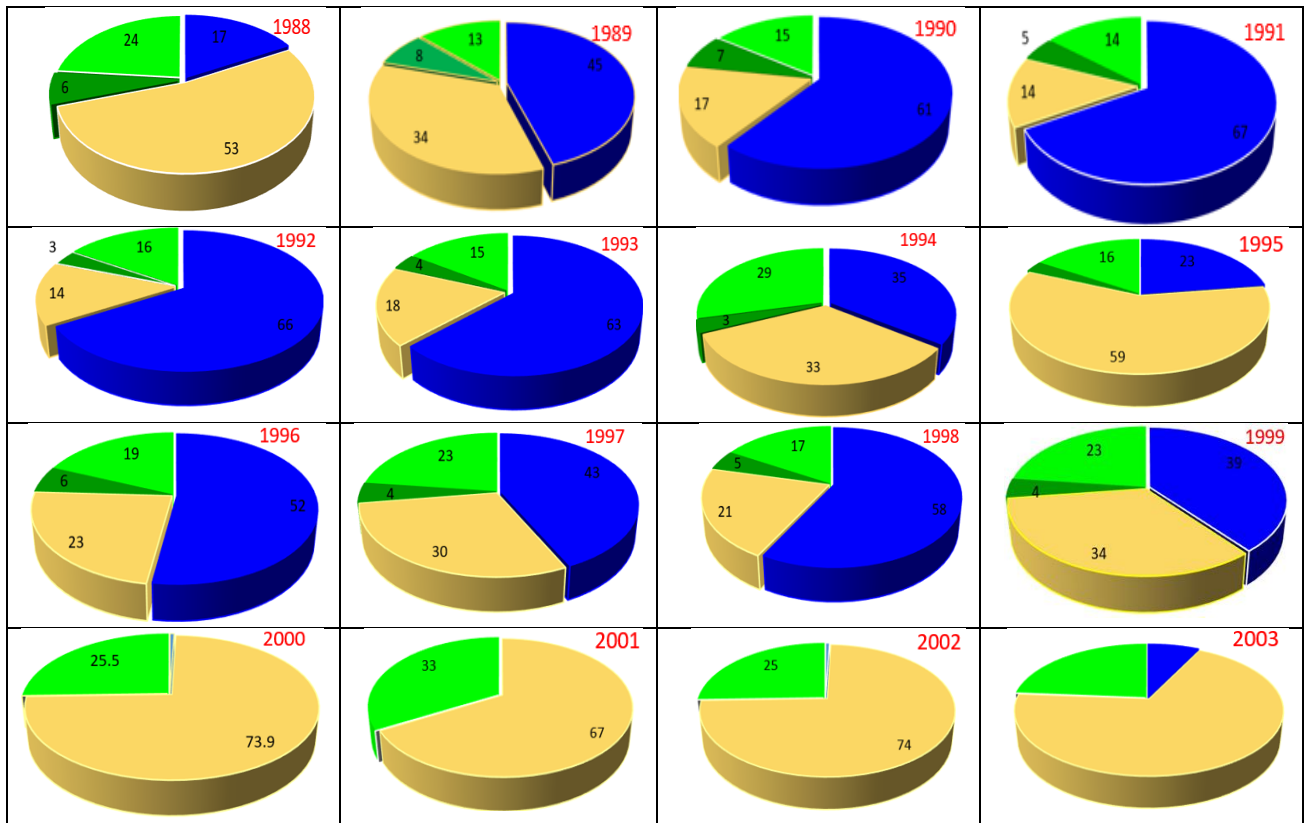
– روند تغییرات مساحت طبقات پوششی تالاب

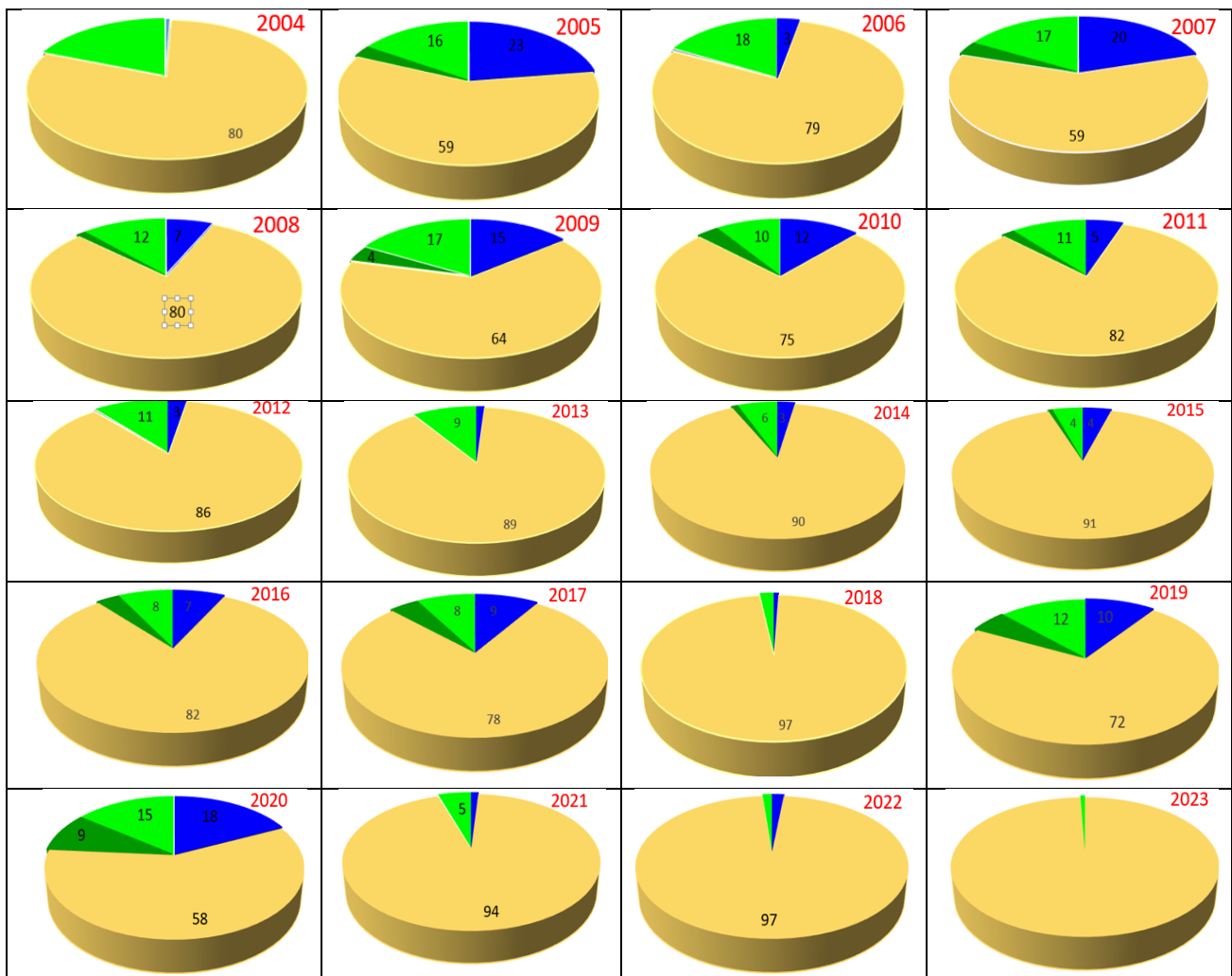
با در نظر گرفتن پیش فرض پذیرش حداکثر ۲۰ درصد پوشش ابر بر روی تصاویر ماهانه لندست ۵، ۷، ۸ و ۹ پوشش کف هامون‌ها به چهار طبقه پوشش آب، خاک، پوشش گیاهی و مخلوط آب و گیاه تقسیم شد. این تصاویر برای پرآب‌ترین ماه سال در هامون‌ها و از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۲۳ بررسی شده است. تصاویر برخی از ماه‌ها که درصد پوشش ابر بیش از ۲۰ درصد بود حذف شد. در شکل ۴ طبقه آب به رنگ آبی، طبقه خاک به رنگ بژ و طبقه پوشش گیاهی، سبز پررنگ و طبقه مخلوط آب و گیاه سبز کم رنگ نشان داده شده است. در تصاویر مربوط به دهه اول، طبقه آب از وسعت قابل توجهی برخوردار است. در دهه آخر مساحت طبقه خاک و به عبارتی پتانسیل ذرات گرد و غبار بیشتر است. به منظور درک بهتر از تغییرات لایه‌های پوششی مساحت طبقات به درصد محاسبه و در شکل ۵ نشان داده شده است.





شکل ۴. پهنه‌بندی طبقات پوششی هامون‌ها ۱۹۸۸-۲۰۲۳

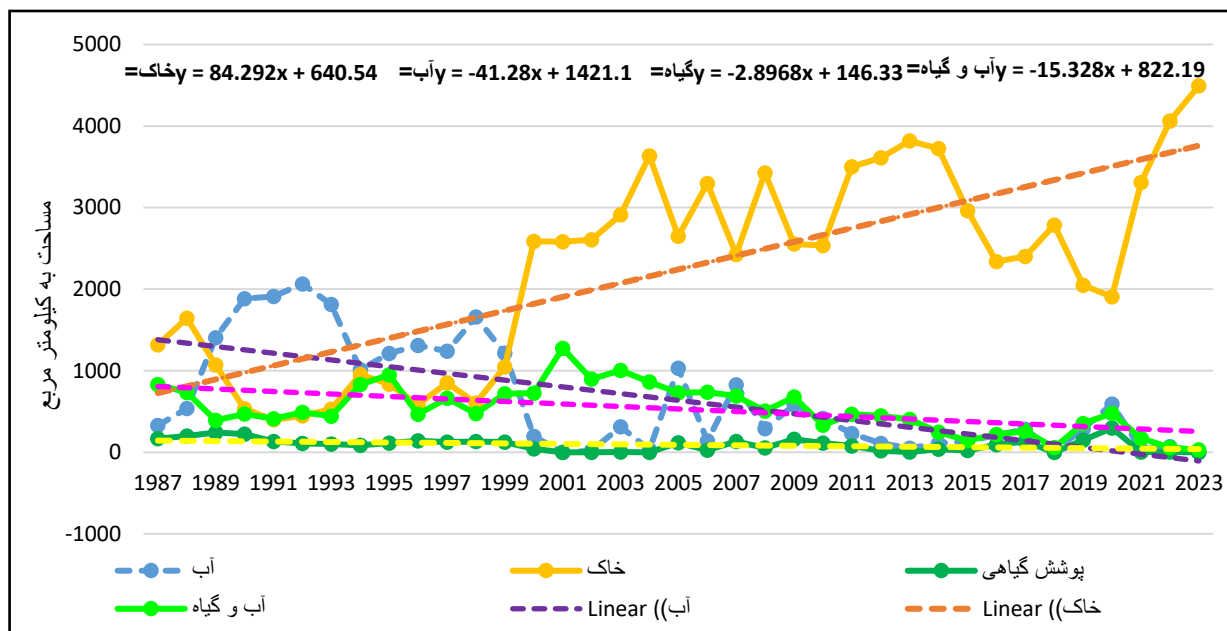




شکل ۵. درصد مساحت طبقات پوششی هامون‌ها ۱۹۸۸-۲۰۲۳

بررسی روند تغییرات پوشش خاک در شکل ۶ نشان داد در طول دوره آماری مورد مطالعه، مساحت این طبقه روند افزایشی و معنی‌داری داشته و از سال ۱۹۹۹ این تغییرات با شیب تندی ادامه داشته است. در طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۱۱۲ کیلومتر مربع بر مساحت طبقه پوشش خاک افزوده شده است. کمترین مساحت این طبقه پوششی در سال ۱۹۹۱ در حدود ۱۴ درصد بوده است و بیشترین مساحت آن در سال ۲۰۲۳ بوده که ۹۹ درصد را به خود اختصاص داده است. بررسی روند تغییرات پوشش آب در شکل ۶ نشان داد در طول دوره آماری مورد مطالعه، مساحت این طبقه روند کاهشی و معنی‌داری داشته است. در طول دوره مورد مطالعه ۱۵۲۷ کیلومتر مربع از مساحت طبقه پوشش آب کاسته شده است. بیشترین مساحت این طبقه پوششی در چهار سال متوالی از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳ بیش از ۶۰ درصد کل مساحت هامون‌ها بوده است. در سال ۲۰۰۱ و سال ۲۰۲۳ به طور کامل خشک شده است و در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ شرایط بسیار کم آب تا حد یک درصد و کمتر را داشته است. بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی در شکل ۶ نشان داد در طول دوره آماری مورد مطالعه، مساحت این طبقه روند کاهشی داشته است. در طول دوره مورد مطالعه ۱۰۷ کیلومتر مربع از مساحت طبقه پوشش گیاهی کاسته شده است. بیشترین مساحت این طبقه پوششی در سال‌هایی بود که مساحت آب هامون‌ها زیاد بود. در سال ۲۰۲۰ بیشترین مساحت این طبقه ۹ درصد کل مساحت تالاب‌ها بود. در بسیاری از سال‌ها پوشش گیاهی به‌طور کامل وجود نداشت و در سال‌هایی که طبقه پوششی خاک مساحت زیادی را به خود اختصاص داده و بالای ۹۰ درصد را شامل شده بود طبقه پوشش گیاهی محو شده و وجود نداشت. بررسی روند تغییرات طبقه پوششی مخلوط آب و گیاه در شکل ۶ نشان داد در طول دوره آماری مورد

مطالعه، مساحت این طبقه روند کاهشی داشته است. در طول دوره مورد مطالعه ۵۶۷ کیلومتر مربع از مساحت طبقه پوششی مخلوط آب و گیاه کاسته شده است. بیشترین مساحت این طبقه پوششی در سال ۲۰۰۱ در حدود ۳۳ درصد کل مساحت تالابها بوده است. کمترین مساحت این طبقه پوششی در سال ۲۰۲۳ کمتر از یک درصد بوده است.



شکل ۶. روند تغییرات مساحت لایه‌های پوششی هامون‌های سیستان

ارتباط بین گرد و غبار و مساحت آب هامون‌ها

مقدار همبستگی بین تغییرات مساحت پوشش آب و سایر پارامترها (تعداد طوفان، تعداد روز، تعداد رخداد گرد و غبار) با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و مقدار آماره R^2 همراه با آزمون معناداری، برای کل ماه‌های سال انجام شد. همبستگی بین تغییرات مساحت پوشش آب و تعداد روزهای گرد و غباری، همبستگی منفی ضعیف و معنادار است. همبستگی بین تغییرات مساحت پوشش آب و تعداد طوفان گرد و غبار همبستگی منفی متوسط و معنادار است. همبستگی بین تغییرات مساحت پوشش آب و تعداد رخداد گرد و غبار همبستگی منفی متوسط و معنادار است. بیشترین همبستگی مربوط به تعداد رخداد گرد و غبار است پس از آن تعداد طوفان و سپس تعداد روزهای گرد و غبار است. تمامی مقادیر p-value کوچکتر از ۰/۰۵ هستند، بنابراین همه روابط از نظر آماری معنادار می‌باشند. معناداری نشان می‌دهد که این روابط تصادفی نبوده و قابل تعمیم به جامعه آماری هستند. بالاترین مقدار R^2 مربوط به تعداد رخداد گرد و غبار است یعنی تغییرات در رخدادهای گرد و غبار تا حدود ۲۱ درصد با تغییرات مساحت آب مرتبط است. هر سه پارامتر قدرت تبیین نسبتاً ضعیفی دارند. حدود ۸۰ درصد از تغییرات توسط عوامل دیگری غیر از تغییرات مساحت آب تبیین می‌شود.

جدول ۱. ارتباط بین گرد و غبار و مساحت آب هامون‌ها

پارامتر	(r)	p-value	($\alpha=0/05$)	(R2)	%R ²
تعداد روز	-۰/۳۶۶	۰/۰۲۸	*	۰/۱۳۴	% ۱۳/۴
تعداد طوفان	-۰/۴۵۴	۰/۰۰۵	*	۰/۲۰۶	% ۲۰/۶
تعداد رخداد	-۰/۴۵۷	۰/۰۰۵	*	۰/۲۰۹	% ۲۰/۹

همبستگی بین تغییرات مساحت پوشش آب و تعداد روزهای گرد و غباری در محدوده زمانی وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان،

همبستگی منفی متوسط معناداری است. همبستگی بین تغییرات مساحت پوشش آب و تعداد طوفان گرد و غبار همبستگی منفی بسیار قوی ($r = -0/831$) و p -value بسیار کوچک ($0/000001$) باطمینان آماری بسیار بالا را نشان می‌دهد در این رابطه مقدار $R^2 = 0/690$ یعنی ۶۹ درصد از تغییرات تعداد طوفان توسط تغییر آب تبیین می‌شود. همبستگی بین تغییرات مساحت پوشش آب و تعداد روزهای گرد و غباری همبستگی منفی قوی ($r = -0/751$) p -value بسیار کوچک ($< 0/000001$) با اطمینان آماری بسیار بالا را نشان می‌دهد. $R^2 = 0/564$ یعنی ۵۶/۴ درصد از تغییرات کل رخدادهای گرد و غبار توسط تغییرات مساحت آب تبیین می‌شود.

جدول ۲. ارتباط بین گرد و غبار و مساحت آب هامون‌ها در محدوده زمانی وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان

پارامتر	(r)	p-value	($\alpha=0/05$)	(R ²)	%R ²
تعداد روز	-۰/۵۲۴	۰/۰۰۰۰۰۱	*	۰/۲۷۵	% ۲۷/۵
تعداد طوفان	-۰/۸۳۱	۰/۰۰۰۲۶	*	۰/۶۹۰	% ۶۹/۰
تعداد رخداد	-۰/۴۵۷	۰/۰۰۰۰۰۱	*	۰/۵۶۴	% ۵۶/۴

در مواردی که سرعت باد زیاد باشد به دلیل حاکمیت سیستم باد گپ در منطقه و هم‌نواپی آن در مواردی که آب نباشد و یا کم باشد با خشکی کف هامون‌ها و حجم زیاد ذرات ریزدانه مستعد تولید گرد و غبار، شرایط رخداد طوفان گرد و غبار فراهم است. سرعت بالای باد در بالادست هامون‌ها منجر به خیزش ماسه‌های روان و برخورد آنها به کف خشک هامون‌ها به‌ویژه هامون برینگگ و چنگ سرخ شده و طوفان‌های گرد و غباری با میدان دید پایین را موجب می‌شوند. همبستگی پایین رخداد گرد و غبار و مساحت آب هامون‌ها می‌تواند دلایل مختلف داشته باشند چرا که عواملی مانند تغییرات فشار و وزش باد می‌تواند سهم مهمی در تبیین رخداد گرد و غبار داشته باشد از طرفی گاهی وجود آب در هامون‌ها با وجود باد می‌تواند به‌عنوان یک سطح صاف و صیقلی عمل کند و بر سرعت باد در منطقه هامون‌ها به‌ویژه هامون هیرمند و صابوری در شرایط پر آبی کمک کند و منجر به افزایش گرد و غبار در محدوده زابل و مناطق اطراف شود.

بحث

خشک شدن تالاب‌ها در ایران به دلیل تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های بی‌رویه انسانی باعث افزایش تولید گرد و غبار شده است (Dolatkordestani et al 2020; Mohammadi et al 2024). خشک شدن تالاب‌ها پیامد دو چالش بزرگ تغییر اقلیم و تغییرات مدیریت منابع آب و به منظور تغییر کاربری اراضی طبیعی به کشاورزی و تامین غذا برای بشر می‌باشد. از طرفی خشک شدن تالاب‌ها روند رخداد تغییر اقلیم را سرعت می‌بخشد به‌طوری که خشک شدن تالاب‌های هامون و از بین رفتن پوشش گیاهی این منطقه منجر به افزایش دمای محیط شده است (Zolfaghari et al., 2024). روند تغییرات و همگنی متغیرهای اقلیمی دما و بارش طی سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۲۰ نشان داد محدوده تالاب‌ها خشک‌تر شده و تغییرات، تاثیر زیادی بر خدمات اکوسیستمی منطقه سیستان داشته است (کرمی و همکاران، ۱۴۰۳) این در حالی است که تالاب‌ها برای تعادل اکولوژیکی، حمایت از تنوع‌زیستی و رفاه انسان ضروری هستند و به‌دلیل تغییرات آب‌وهوایی و فشارهای ناشی از انسان، مانند مدیریت ناپایدار زمین و برداشت بیش از حد تشدید می‌شوند (Ostad-Ali-Askari, 2024). به منظور بررسی تغییرات لایه‌های پوششی تالاب از پلتفرم گوگل ارث انجین استفاده می‌شود و کاربرد زیادی برای تهیه سری‌های زمانی و پایش مناطقی دارد که اطلاعات کمی در مورد وضعیت گذشته آن در دسترس است (Yousefi, et al., 2022). در این تحقیق با استفاده از سیستم ابری موتور گوگل ارث و محاسبه مساحت لایه‌های پوششی آن در چهار طبقه؛ مساحت طبقه پوششی خاک روند افزایشی و معنی‌داری داشته و از سال ۱۹۹۹ این تغییرات با شیب تندی روبه‌رو بوده است. در طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۱۱۲ کیلومتر مربع بر مساحت طبقه پوشش خاک افزوده و مساحت طبقه آب روند کاهشی و معنی‌داری داشته است و ۱۵۲۷ کیلومتر مربع از مساحت آن کاسته شده است. بیشترین مساحت این طبقه پوششی در چهار سال متوالی از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳ بیش از ۶۰ درصد کل مساحت هامون‌ها بوده و در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۲۳ به‌طور کامل خشک شده است. در طول دوره مورد مطالعه ۱۰۷ کیلومتر مربع از مساحت طبقه پوشش گیاهی

کاسته شده است. در بسیاری از سال‌ها پوشش گیاهی به طور کامل وجود نداشته و در سال‌هایی که طبقه پوششی خاک مساحت زیادی را به خود اختصاص داده و بالای ۹۰ درصد را شامل شده طبقه پوشش گیاهی محو شده است. روند تغییرات طبقه پوششی مخلوط آب و گیاه کاهشی بوده و در طول دوره مورد مطالعه ۵۶۷ کیلومتر مربع از مساحت این طبقه کاسته شده است.

خشک شدن تالاب‌ها با توجه به پتانسیل مواد ریزدانه‌ای که طی سالیان طولانی در بستر آنها جمع شده و با توجه به این که آنها در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع در مسیر بادهای منطقه‌ای بزرگ مقیاس قرار دارند، منجر به طوفان‌های گرد و غباری می‌شوند. طوفان‌های گرد و غباری ناشی از خشک شدن تالاب هورالعظیم در جنوب غرب ایران، (Adib et al., 2018) خشکیدگی بدنه‌های آبی در حوضه دجله و فرات و نقش آن در تولید غبار (Aghasi et al., 2020)، طوفان‌های گرد و غباری ناشی از خشک شدن تالاب‌های جنوب شرق ایران (خاشی و همکاران، ۱۴۰۱؛ ابراهیمی خوسفی و همکاران، ۱۴۰۲) از این جمله هستند. طوفان‌های گرد و غباری در غرب ایران به دلیل خشک شدن بدنه‌های آبی در کشور عراق (Maleki et al., 2021) نقش دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران و تولید گرد و غبار شور (Hamzeh et al., 2023) خشکیدگی تالاب جازموریان همراه با وجود باد و ویژگی‌های خاک در این مناطق به تولید طوفان‌های گرد و غبار کمک کرده است (Jabalbarezi et al., 2023). استراتژی‌ها و سیاست‌های کاربری زمین، سرعت باد، بارندگی، پوشش گیاهی، درجه شیب، فاصله از رودخانه‌ها و بافت خاک تأثیر زیادی بر حساسیت زمین به‌عنوان منبع طوفان گرد و غبار دارند (Naghbi et al., 2024). تالاب‌ها، اگرچه تنها حدود ۱ درصد از مساحت زمین را تشکیل می‌دهند اما نقش آنها به‌عنوان کانون‌های انتشار گرد و غبار مهم برجسته است (Al Zubi et al., 2024). تالاب‌ها در سراسر جهان به دلیل فشارهای توسعه و تغییرات آب‌وهوایی در معرض تهدید هستند (Amindin et al., 2024). خشکسالی‌های اخیر در منطقه سیستان، حیات تالاب هامون را به خطر انداخته است (داورپناه و همکاران، ۱۴۰۲). تالاب‌های هامون در مناطق جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند و آب ورودی به آنها ناشی از نزولات جوی در ارتفاعات بالادست حوزه‌های آبخیز است. در این راستا، هرگونه تغییرات طبیعی و مدیریت انسانی در بالادست می‌تواند منجر به تغییرات پوشش آب هامون‌های هیرمند شود (درگاهیان و همکاران، ۱۴۰۳). آب هامون‌ها از سیلاب‌های بالادست تامین شده و بررسی تولید گرد و غبار ناشی از سیل تاییدی بر نقش سیلاب در ایجاد منابع گرد و غبار هستند (مهرابی، ۱۴۰۴). در این پژوهش ارتباط بین تغییرات سطح آب هامون‌های سیستان با روزهای همراه با گرد و غبار، تعداد رخداد گرد و غبار و طوفان‌های گرد و غباری از ۱۳۸۸ تا سال ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات مساحت آب هامون‌ها با روزهای همراه با گرد و غبار ارتباط معنی‌داری ندارد و با نتایج بررسی نیاز آبی تالاب هامون صابوری جهت کاهش اثرات گرد و غبار در زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای همخوانی دارد؛ بررسی روزهای گرد و غبار ماهیانه شهر زابل و پوشش سطح آب ماهیانه در تالاب، نشان داد که هیچ نوع همبستگی بین دو پارامتر یاد شده وجود ندارد و پوشش تالاب هامون صابوری اثری بر میزان گرد و غبار شهر زابل نمی‌گذارد (خاشی و همکاران، ۱۴۰۱). در این تحقیق علاوه بر بررسی ارتباط بین تعداد روزهای گرد و غبار با مساحت آب هامون‌ها برخلاف سایر مطالعات بر ارتباط بین تعداد طوفان‌ها و تعداد رخدادهای گرد و غبار با تغییرات مساحت هامون‌ها در کل ماه‌های سال و در محدوده زمانی وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان تاکید شده است. همبستگی بین رخدادهای گرد و غبار با تغییرات مساحت آب نشان داد ارتباط قوی معنی‌داری بین آنها وجود ندارد؛ و مقدار R^2 تنها ۲۰ درصد تغییرات پارامترهای گرد و غبار توسط تغییرات آب را تبیین می‌کند و ۸۰ درصد آن توسط عوامل دیگر تبیین می‌شود. تغییرات مساحت آب و ارتباط آن با گرد و غبار در محدوده زمانی وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان نشان داد ارتباط منفی قوی و معنی‌داری بین تغییرات مساحت آب و تعداد طوفان‌های گرد و غبار وجود دارد. به‌طوری که تغییرات مساحت آب، ۶۹ درصد تغییرات رخداد طوفان‌های گرد و غبار را تبیین می‌نماید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سه فاکتور اساسی در رخداد طوفان گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه عبارتند از وجود گردش منطقه‌ای جو بر اثر گرادیان فشار بین دو مرکز فشار متفاوت که بادی با سرعت زیاد را ناشی شده است، وجود توپوگرافی خاص منطقه که منجر به ایجاد باد گپ در منطقه شده است و وجود رسوبات ریزدانه ناشی از حمل رسوبات رودخانه به مناطق پایاب آب و منطقه تالاب‌های هامون که منطقه خروجی حوضه

بزرگ هیرمند در ایران و افغانستان است. بنابراین هم‌نواپی شرایط مورفولوژی زمین و جریانات هوای ناشی از گرادیان فشار و وجود رسوبات ریزدانه منجر به ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه شده است. زمانی که این سرعت از حد خاصی عبور نماید تعدادی از ذرات شروع به ارتعاش نموده و هنگامی که سرعت باد بیشتر شود، از سطح زمین کنده شده و وارد جریان هوا می‌شوند. در جریان جابه‌جایی ذرات خاک توسط باد، گاهی مجدداً به سطح زمین برخورد نموده و این موضوع باعث می‌شود که ذرات به مراتب بیشتری از خاک جدا شده و به جریان هوا بپیوندند. در منطقه بالادست هامون‌ها در مصب رودهای ورودی از جمله فراه رود که رسوبات ریزدانه تجمع پیدا کرده‌اند به علت سرعت زیاد باد، رسوبات وارد جریانات جوی شده و با طی فاصله مجدداً به سطح خشکیده هامون‌ها به‌ویژه هامون‌های برینگک و چنگ سرخ برخورد کرده و منجر به افزایش صعود ذرات بیشتر در مسیر باد می‌شود در فصل تابستان چون این مسیر خشک است بر غلظت ذرات می‌افزاید اما اگر مرطوب باشد می‌تواند بر روی میدان دید موثر باشد و از غلظت و شدت طوفان گرد و غبار بکاهد. از این‌رو همان‌طور که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تعداد رخداد طوفان‌های گرد و غبار با نبودن پوشش آب و خشک شدن بستر هامون‌ها یک رابطه بسیار قوی و معکوس را نشان داده است. تامین حق‌آبه تالاب‌های هامون با توزیع زمانی مناسب از طریق اتخاذ دیپلماسی مناسب با استفاده از قوانین حقوق بین‌الملل، و اولویت‌بندی و مدیریت صحیح آب ورودی به تالاب‌ها، می‌تواند از فراوانی، شدت و تداوم طوفان‌های گرد و غبار در دشت سیستان بکاهد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

مشارکت نویسندگان

فاطمه درگاهیان: نویسنده مسئول؛ مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، نگارش نسخه اصلی، تهیه پیش‌نویس نگارش، بررسی و ویرایش. یوسف موسیوند: نرم‌افزار، تصویرسازی. کتایون چراغی: استخراج داده‌ها، منابع. همه نویسندگان نسخه منتشر شده مقاله را خوانده و با انتشار آن موافقت کرده‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

برای این مقاله، حمایت مالی از نهاد یا سازمانی دریافت نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از همه شرکت‌کنندگان در این مطالعه ابراز می‌کنند.

منابع

- ابراهیمی خوسفی، محسن (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهناهای آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۲۱(۱۷)، ۱۳۹-۱۶۵.
- پیری، حلیمه؛ و انصاری، حسین (۱۳۹۲). بررسی خشکسالی دشت سیستان و تأثیر آن بر تالاب بین‌المللی هامون. *فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب*، ۵(۱)، ۶۳-۷۴.
- خاشی، کامران؛ اژدری مقدم و هاشمی‌منفرد، سید آرمان (۱۴۰۱). بررسی نیاز آبی تالاب هامون صابوری جهت کاهش اثرات گرد و غبار در زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *مجله اکوهیدرولوژی*، ۹(۴)، ۷۶۱-۷۷۰.

- خانقلی، الهه؛ نادری، مرتضی؛ هادی پور، مهرداد و عالی پوراردی، مهدی (۱۳۹۷). برآورد حداقل نیاز آبی محیط زیستی تالاب کویری میقان. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، ۱۰ (۳)، ۹۱-۱۰۲.
- خسروشاهی، محمد؛ ابراهیمی خوسفی، زهره؛ گوهردوست، آزاده؛ لطفی نسب اصل، سکینه؛ درگاهیان، فاطمه و کاشی زنوزی، لیلا (۱۳۹۹). پایش تغییرات سطح تالاب گاوخونی و ارتباط آن با پدیده گرد و غبار و حرکت تپه‌های ماسه‌ای پیرامون آن. مجله مدیریت بیابان، ۱۵، ۱۳۹-۱۶۰.
- خسروی، محمود (۱۳۸۹). تحلیل زمانی و مکانی پایدار دریاچه‌های هامون. مجله تحقیقات منابع آب، ۶ (۳)، ۶۸-۷۹.
- داورپناه، مجتبی؛ احمدپور برازجانی، محمود؛ شهریاری، مجید؛ غفاری مقدم، زهرا؛ و میرشکاری، سمیه (۱۴۰۲). برآورد خسارات اقتصادی اثرات گرد و غبار بر ذی‌نفعان تالاب هامون. مطالعات علوم محیط زیست، ۸ (۴)، ۷۵۴۱-۷۵۵۶.
- درگاهیان، فاطمه (۱۳۹۸). زهاب نیشکر در تالاب شادگان: تهدید یا فرصت؟ مجله طبیعت ایران، ۴ (۳)، ۹-۷.
- درگاهیان، فاطمه؛ خسرو شاهی، محمد؛ و لطفی نسب اصل، سکینه (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات مساحت آب تالاب شادگان و ارتباط آن با خشکسالی هیدرولوژی و زه آب نیشکر. محیط شناسی، ۴۶ (۲)، ۲۷۵-۲۹۳.
- درگاهیان، فاطمه؛ موسیوند، یوسف؛ و رضوی‌زاده، سمانه (۱۴۰۳). پایش برف در بالادست حوضه و ارتباط آن با تغییرات مساحت آب هامون‌ها با استفاده از سنجنش از دور. مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۱۸ (۶۴)، ۹۰-۱۰۲.
- دشتی، سلماز؛ سبزیبایی، غلامرضا؛ جعفرزاده، کاوه؛ و بزم‌آرا بلشتی، مزگان (۱۳۹۷). ارزیابی روند تغییرات تالاب ساحلی میانکاله با رویکرد آمایش سرزمین. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، ۱۰ (۴)، ۲۰-۵.
- راهداری، وحید؛ و ملکی، سعیده (۱۳۹۸). بررسی تغییرات آبیگری تالاب هامون در طی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۸ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. کنفرانس بین‌المللی گرد و غبار در جنوب غرب آسیا، زابل.
- رحیمی، محمد؛ شکوهی رازی، کامیار؛ و ذوالفقاری، علی اصغر (۱۳۹۹). بررسی روند متغیرهای آب و هواشناختی حوضه هیرمند و تاثیر آن بر تخریب زمین در دشت سیستان. پژوهش‌های آب و خاک، ۲۷ (۳)، ۲۱۳-۲۲۸.
- رفیعی، یوسف؛ ملک محمدی، بهرام؛ آبکار، علی اکبر؛ یآوری، احمدرضا؛ رضانی مهریان؛ مجید؛ و ظهراپی، حمید (۱۳۹۰). بررسی تغییرات زیست محیطی تالاب‌ها و مناطق حفاظت شده با استفاده از تصاویر چند زمانه سنجنده TM مطالعه موردی: تالاب نیریز. مجله محیط شناسی، ۳۷ (۵۷)، ۶۵-۷۶.
- سلیمانی، کریم؛ درویشی، شادمان؛ و شکریان، فاطمه (۱۴۰۱). ارزیابی صحت روش‌های سنجنش از دور در استخراج و پایش تغییرات پهنه آبی دریاچه زریبار. اکوهیدرولوژی، ۹ (۳)، ۵۰۵-۵۱۶.
- فروت عنایت؛ محمد؛ محمدپور، کورش؛ عبداللهی، علی اصغر؛ و جدی، بیتا (۱۴۰۱). بررسی میزان تاب‌آوری پهنه آبی تالاب‌های هامون با استفاده از تصاویر سنجنده GEE در MODIS. مجله نیوار، ۴۶ (۱۱۸-۱۱۹)، ۱۳۰-۱۴۳.
- کاظمی، محسن؛ فیض‌نیا، سادات؛ خسروی، حسن؛ ناجی، صادق؛ و مصباح، حمید (۱۳۹۸). بررسی تغییرات سطح دریاچه مهارلو و کاربری اراضی حاشیه آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. مهندسی و مدیریت آب‌خیز، ۴ (۱۱)، ۱۱۳۹-۱۱۳۰.
- کرمی، رقیه؛ راهداری، عبدالعلی؛ و ملکی، سعیده (۱۴۰۳). ارزیابی آسیب‌پذیری خدمات اکوسیستمی تالاب بین‌المللی هامون در برابر تغییرات اقلیمی. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۵ (۱۷)، ۸۹-۱۰۶.
- مهرابی، علی (۱۴۰۴). بررسی تولید گرد و غبار ناشی از سیل: تحلیل «GEE» با داده‌های «OLI» و «Sentinel-1» مطالعه موردی: سیل انار-رفسنجان. مجله جغرافیا و توسعه، ۲۳ (۷۸)، ۱۵۷-۱۷۴.
- میر، محدثه؛ و ضیایی، سامان (۱۴۰۳). بررسی رابطه همبستگی روزهای گرد و غباری با متغیرهای اقلیمی و میزان آبیگری تالاب هامون با استفاده از مدل‌سازی رگرسیون چند متغیره. مطالعات علوم محیط‌زیست، ۹ (۳)، ۹۱۶۹-۹۱۸۰.

References

- Adib, A., Oulapour, M., & Chatroze, A. (2018). Effects of wind velocity and soil characteristics on dust storm generation in HOR-al-Azim Wetland, Southwest Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 333-347. <https://doi.org/10.22124/cjes.2018.3202>
- Aghasi, B., Jalalian, A., Khademi, H., Toomanian, N., & Besalatpour, A. A. (2020). Dust production crisis following the recent droughts in the eastern part of the Zayandeh Rud River Basin. In *Standing up to Climate Change: Creating Prospects for a Sustainable Future in Rural Iran* (pp. 239-261). Cham: Springer International Publishing
- Amindin, A., Siamian, N., Dereimi, Z. N., Clague, J. J., Blaschke, T., & Pourghasemi, H. R. (2024). Long-term analysis of international wetlands in Iran: Monitoring surface water area and water balance. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 126, 103637. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103637>
- Al Zubi, R., Gill, T. E., Lee, J. A., Ardon-Dryer, K., & Kandakji, T. (2024). Spatiotemporal analysis of sand and dust emission point sources detected from satellite imagery in Syria, Jordan, and Iraq. *Science of the Total Environment*, 175157. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175157>
- Chen, J., Wang, S. Y., & Mao, Z. P. (2011). Monitoring wetland changes in Yellow River Delta by remote sensing during 1976–2008. *Progress in Geography*, 30(5), 585-592.
- Chen, L., Jin, Z., Michishita, R., Cai, J., Yue, T., Chen, B., & Xu, B. (2014). Dynamic monitoring of wetland cover changes using time-series remote sensing imagery. *Ecological Informatics*, 24, 17-26.
- Dargahian, F., Khosroshahi, M., & Lotfinasabasl, S. (2020). Investigating the Trend of Changes in Water Area of Shadegan Wetland and its Relation to Drought Occurrence Hydrology and Sugarcane Drainage Water (Jarahi Watershed). *Journal of Environmental Studies*, 46(2), 275-293. <https://doi.org/0.22059/jes.2021.307028.1008052> [In Persian]
- Dargahian, F., Mousivand, Y., & Razavizadeh, S. (2024). Snow monitoring in the upper reaches of the basin and its relationship with the changes in the water area of Hamoun using remote sensing. *jwmseir*, 18 (64): 8. URL: <http://jwmsei.ir/article-1-1105-fa.html> [In Persian]
- Dargahian, F. (2019). The sugar cane drainage; a threat or an opportunity for the Shadegan Wetland? *Iran Nature*, 4(3), 7-9. [In Persian]
- Dashti, S., Sabzghabaei, G. R., Jafarzadeh, K., & Bazmara Baleshti, M. (2019). Changes Detection Assessment of Miankaleh Coastal wetland by Landuse Planning Approach. *Wetland Ecobiology*; 10 (4):5-20. <http://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-728-fa.html> [In Persian]
- Darvishi Bolorani, A., Najafi, M., Soleimani, M., Papi, R., & Torabi, O. (2022). Influence of Hamoun Lakes' dry conditions on dust emission and radiative forcing over Sistan plain, Iran. *Atmospheric Research*. 272, 106152.
- Davidson, N. C., & Finlayson, C. M. (2019). Updating global coastal wetland areas presented in Davidson and Finlayson (2018). *Marine and Freshwater Research*, 70(8), 1195-1200.
- Dolatkordestani, M., Nosrati, K., Maddah, S., & Tiefenbacher, J. P. (2022). Identification of dust sources in a dust hot-spot area in Iran using multi-spectral Sentinel 2 data and deep learning artificial intelligence machine. *Geocarto International*, 37(25), 10950-10969.
- Davarpanah, M., Ahmadpour, M., SHahriari, M., Ghafarimoghaddam, Z., & Mirshekari, S. (2024). Estimating the economic damages of the effects of dust on the beneficiaries of Hamoun Wetland. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4), 7541-7556. <https://doi.org/10.22034/jess.2023.379822.1946> [In Persian]
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Nafarzadegan, A. R., & Dargahian, F. (2021). Predicting the number of dusty days around the desert wetlands in southeastern Iran using feature selection and machine learning techniques. *Ecological Indicators*, 125, 107499 [In Persian]
- Fartoot Enayat, M., Mohammadpour, K., Abdollahi, A. A., & Jeddi, B. (2022). Investigating the Level of Stability of the Water Zone of Hamoun Wetlands Using Sensor Images GEE in MODIS. *Nivar*, 46(118-119), 130-143. <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.383507.1236> [In Persian]
- Haack, B. (1996). Monitoring wetland changes with remote sensing: an East African example. *Environmental Management*, 20(3), 411-419.
- Hamzeh, N. H., Abadi, A. R. S., Kaskaoutis, D. G., Mirzaei, E., Shukurov, K. A., Sotiropoulou, R. E. P., & Tagaris, E. (2023). The importance of wind simulations over dried lake beds for dust emissions in the Middle East. *Atmosphere*, 15(1), 24.
- Hu, F., Ducea, M. N., Liu, S., & Chapman, J. B. (2017). Quantifying crustal thickness in continental collisional belts: Global perspective and a geologic application. *Scientific reports*, 7(1), 7058.
- Hu, X., Wang, T., & Li, C. (2018). Analysis of the impact of drought on land cover changes in fragile ecosystems of arid and semi-arid wetlands. *Journal of Arid Environments*, 155, 45–55.
- Jabalbarezi, B., Zehtabian, G., Khosravi, H., Barkhori, S., & Nosrati, K. (2023). Assessing land sensitivity to determine areas prone to wind erosion and dust production using the ILSWE Model. *Desert*, 28(2), 263-278.
- Karami, R., Rahdari, A., & Maleki, S. (2025). Vulnerability Assessment of Ecosystem Services of Hamoun International Wetland to Climate Change. *Climate Change Research*, 5(17), 89-106. <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.429125.1186> [In Persian]
- Kayastha, N., Thomas, V., Galbraith, J., & Banskota, A. (2012). Monitoring wetland change using inter-annual landsat time-series data. *Wetlands*, 32(6), 1149-1162.

- Kazemi, M., Feiznia, S., Khosravi, H., Naji, S. & Mesbah, H. (2019). The study of Maharlu Lake area and its marginal land use changes using Landsat images. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 1130-1139. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.102413.1057> [In Persian]
- Khanqli, A., Naderi, M., Hadipour, M., & Alipour, M. (2018). An investigation on the water requirement of Mighan desert wetland. *Wetland Ecology*, 10 (3): 91-102. URL: <http://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-717-fa.html> [In Persian]
- Khashi, K., Azhdary Moghaddam, M. & Hashemi Monfared, A. (2022). Water Demand Investigation in Sabouri Hamoon Wetland to Reduce Dust Propagation in Zabol City Using Satellite Images. *Iranian journal of Ecohydrology*, 9(4), 761-770. <https://doi.org/10.22059/ije.2023.351438.1699> [In Persian]
- Khosravi, M. (2010). Temporal and Spatial Analysis of the Stability of the Hamoon Lakes. *Iran-Water Resources Research*, 6(3), 68-79. [In Persian]
- Khosroshahi, M., Ebrahimi Khusfi, Z., Gohardoust, A., Lotfi Nasab Asl, S., Dargahian, F. & Kashi Zenouzi, L. (2020). Monitoring the Physical Surface Changes of the Gavkhoni Wetland and Its Relation with Dust and Its Surrounding Sand Dunes Activity. *Desert Management*, 15, 139-160. [In Persian]
- Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., & Dihkan, M. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering*, 38(10), 1141-1149.
- Naghibi, A., Hashemi, H., Zhao, P., Brogaard, S., Eklund, L., Hassan, H. H., & Mansourian, A. (2024). Spatiotemporal variability of dust storm source susceptibility during wet and dry periods: The Tigris-Euphrates River Basin. *Atmospheric pollution research*, 15(1), 101953.
- Maleki, S., Miri, A., Rahdari, V., & Dragovich, D. (2021). A method to select sites for sand and dust storm source mitigation: case study in the Sistan region of southeast Iran. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(12), 2192-2213.
- Mao, D., Wang, Z., Du, B., Li, L., Tian, Y., Jia, M., Wang, Y. (2020). National wetland mapping in China: A new product resulting from object-based and hierarchical classification of Landsat 8 OLI images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 11-25.
- Mehrabi, A. (2025). Investigating Flood-Induced Dust Generation: A GEE Analysis with OLI & Sentinel-1 Data (Amar-Rafsanjan Flood case study). *Geography and Development*, 23(78), 157-174. <https://doi.org/10.22111/gdij.2024.47784.3610> [In Persian]
- Meng, W., He, M., Hu, B., Mo, X., Li, H., Liu, B., & Wang, Z. (2017). Change trends of the wetland in the Sanjiang Plain, Northeast China from 1995 to 2015. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189 (11), 567.
- Mir, M., & Ziaee, S. (2024). Investigating the correlation between dusty days and climatic variables and water intake of Hamoun lagoon using multivariate regression modeling. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(3), 9180-9169. <https://doi.org/10.22034/jess.2023.427974.2185> [In Persian]
- Mohammadi, Z., Rahimi, D., Najafi, M. R., & Zakeri Nejad, R. (2024). The impact of environmental degradation and climate change on dust in Khuzestan province, Iran. *Natural Hazards*, 120(5), 4329-4348.
- Ostad-Ali-Askari, K. (2024). Assessment of Dust Event By RS, GIS, MODIS and Statistical Methods Among Satellite Images. GIS, MODIS and Statistical Methods among Satellite Images (May 12, 2024).
- Papastergiadou, E. S., Retalis, A., Apostolakis, A., & Georgiadis, T. (2008). Environmental monitoring of spatio-temporal changes using remote sensing and GIS in a Mediterranean wetland of Northern Greece. *Water Resources Management*, 22(5), 579-594.
- Piri, H., Ansari, H. (2013). Study of drought in Sistan Plain and its impact on Hamoun international wetland. *Wetland Ecology*; 5 (1):63-74. URL: <http://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-49-fa.html> [In Persian]
- Rafii, Y., Malekmohammadi, B., Abkar, A., Yavari, A., Ramezani Mehrian, M. & Zohrabi, H. (2011). Environmental Change Detection of Wetlands and Protected Areas Using Multi Temporal Images of TM Sensor (Case Study: Neyriz Wetland, Iran). *Journal of Environmental Studies*, 37(57), 1-12. [In Persian]
- Rahdari, V., & Maleki, M. (2019). Investigation of change in water intake of Hamouns using satellite data from 2011 to 2019. In *Proceedings of the International Conference on Dust in Southwest Asia*. Zabol, Iran. [In Persian]
- Rahimi, M., Shokouhi Razi, K. & Zolfaghari, A. A. (2020). Investigation of Hydrometric Variables in Helmand Basin and its Impact on Land degradation in Sistan Plain. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(3), 213-228. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.16535.3189> [In Persian]
- Solaimani, K., Darvishi, S., & Shokrian, F. (2022). Accuracy assessment of remote sensing methods for extraction and monitoring of Zrebar Lake, Iran. *Iranian journal of Ecohydrology*, 9(3), 505-516. <https://doi.org/10.22059/ije.2023.342056.1632> [In Persian]
- Yousefi, E., Sayadi, M., & Chamenhpour, E. (2022). Google Earth Engine platform to calculate the hydrometeorology and hydrological water balance of wetlands in arid areas and predict future changes. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 9(1), 52-68. <https://doi.org/10.22126/arww.2022.7033.1228>
- Zhang, S., Na, X., Kong, B., Wang, Z., Jiang, H., Yu, H., & Dale, P. (2009). Identifying wetland change in China's Sanjiang Plain using remote sensing. *Wetlands*, 29(1), 302-313.
- Zolfaghari, F., Khosravi, H., & Khalighi Sigaroudi, S. (2024). Air Temperature Modeling Based on Land Surface Factors by the Cubist Method (Case Study of Hamoun International Wetland). *Advances in Meteorology*, 2024(1), 6466936. <https://doi.org/10.1155/2024/6466936>