Sari Agriculture Sciences and Natural esources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 16, Issue 2, 2025 p: 162-176

OPEN ACCESS

Research Paper

The Correlation Between the Changing Shadegan Wetland Extent and Dust Emission using Remote Sensing Techniques

Alireza Yousefi Kebriya[1], Mehdi Nadi[2], Ebadat Ghanbari Parmehr[3], and Zhongchang Sun[4]

1- Ph.D., Department of Water Engineering and Agricultural Meteorology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Associate Professor, Department of Water Engineering and Meterology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding Author: mehdi.nadi@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Remote Sensing, Faculty of Surveying Engineering, Noshirvani Babol University of Technology, Babol, Iran
4- International Research Center for Big Data for Sustainable Development Goals, Beijing, China

Received: 11 February, 2025 Revised: 11 April, 2025 Accepted: 20 May, 2025

Extended Abstract

Background: Wetlands are considered highly important natural environments in global ecosystem systems. These biologically rich areas contain abundant biodiversity and are known as the "green lungs" of the Earth. Wetlands, as water-rich environments abundant in aquatic plants and aquatic mammals, are vital habitats in ecosystems. The Shadegan Wetland is one of the most important natural resources in Iran, which holds great significance in conserving biodiversity and providing essential environmental habitats. However, it has faced drought in recent years. Watershed management and wetland conservation are crucial and necessary. Watersheds play a significant role in the supply and distribution of water resources, as well as in maintaining ecosystem balance and controlling floods and droughts. Furthermore, proper watershed management can lead to improved water quality and preservation of biodiversity in wetlands. Considering the importance of the Shadegan Wetland as one of Iran's most vital natural resources, the management of its watershed is highly important and fundamental. Important measures in this regard include the construction of small dams and soil bunds for surface water storage, improved water resource management, reduced excessive consumption, and the cultivation of drought-resistant native plants. These actions not only contribute to the conservation and restoration of the Shadegan Wetland but also improve the environmental conditions of the region and enhance the quality of life for local residents.

Methods: The relationship between changes in the area of the Shadegan Wetland and the prevalence of dust storms was examined in this research. For this purpose, the MODIS satellite was used to monitor dust storm events and the wetland area (2010-2023), and the Sentinel-2 satellite was used to assess the surface area of the Shadegan Wetland (2017-2023) using NDWI and MNDWI indices. The correlation between the wetland surface area and dust storm events (Event-Dust) was investigated in this study. Furthermore, the Air Quality Index (AQI) values for PM2.5 and PM10 pollutants were determined using real data from the Shadegan station, and the number of days with unhealthy air quality (AQI greater than 100) was identified, examining its relationship with the monthly reduction in the surface area of the Shadegan Wetland. Pearson's correlation coefficient (r) was used to examine the relationship between the wetland extent and dust storms, and Kendall's Tau rank correlation test was used to analyze the correlation between the reduction in the wetland areas and the increase in dust storm events.

Results: The analysis of the NDWI index revealed that the Shadegan Wetland reached its minimum extent in the years 2018, 2019, 2021, and 2022. Similarly, the MNDWI index indicated that the smallest wetland area occurred in the years 2018, 2019, 2021, and 2023, with the western, southwestern, and southern parts of the wetland completely disappearing. The dust storm event map showed that more than 20 dust storm events occurred around the Shadegan Wetland in different years. The correlation coefficients between dust storm events and the Shadegan Wetland extent were found to be -0.90, indicating a significant negative correlation. Kendall's Tau rank correlation also demonstrated a significant increase in dust storm events with the reduction in the wetland area. The results obtained from the data analysis indicate that the NDWI index exhibits a lower correlation with dust pollution data (PM2.5 and PM10) than the MNDWI index. The correlation between the number of unhealthy days per month regarding PM10 and PM2.5

Copyright ©2025. Yousefi Kebria et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

pollutants and the NDWI index showed a significant relationship (P-Value = 0.0001), with correlation coefficients greater than -0.77 in most months. This indicates a high correlation between them, where the reduction in the wetland area leads to an increase in the PM2.5 index. Furthermore, considering the correlation between the NDWI index and the number of polluted days per month for PM10 (Pearson's correlation coefficient and a coefficient of determination of 0.71), it can be concluded that the reduction in the wetland area has a stronger impact on the increase in the PM2.5 index and is negatively associated with wetland areas. Moreover, the results of the MNDWI index with the number of polluted days per month for PM2.5 and PM10 indices show that the correlation between the MNDWI index and PM2.5 is better than PM10, with a coefficient of determination (R^2), indicating that 72% of the variations in the number of PM2.5 polluted days can be explained by the wetland area. In other words, the regression equation was able to account for about 72% of the variance in the number of polluted days. The Pearson correlation coefficient (-0.84) also indicates a strong inverse relationship between the number of PM2.5-polluted days and the MNDWI index, meaning that the number of days with particles less than 2.5 microns in size decreases with an increase in the wetland area (an increase in the MNDWI index). Therefore, the analysis results demonstrate that the number of PM2.5 polluted days is significantly influenced by the MNDWI index of the Shadegan Wetland, and PM2.5 dust pollution increases compared to PM10 with the reduction in the wetland area.

Conclusion: The results indicate that the increased area of the Shadegan Wetland may lead to a reduction in air pollution and the number of days polluted by PM2.5 and PM10. These findings emphasize the importance of conserving and restoring wetlands to reduce air pollution and improve the environmental conditions of the region. Increasing the area of the Shadegan Wetland can potentially decrease the number of polluted days and improve the quality of life for residents in the surrounding areas. Additionally, watershed management and the preservation of the Shadegan Wetland are crucial. Watersheds play a vital role in water resource supply and distribution, maintaining ecosystem balance, controlling floods and droughts, and improving water quality. Furthermore, it is essential to preserve wetlands as vital habitats for aquatic animals and plants.

Keywords: Air pollution, MNDWI, PM10 and PM2.5, Sentinel-2, Shrinking Wetland

How to Cite This Article: Yousefi Kebria, A., Nadi, M., Ghanbari Parmehr, E. & Sun, Zh. (2025). The Correlation Between the Changing Shadegan Wetland Extent and Dust Emission using Remote Sensing Techniques. *J Watershed Manage Res,* 16(2), 162-176. DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

مقاله پژوهشی

همبستگی تغییرات سطح آبی تالاب شادگان با شیوع ریزگرد با استفاده از سنجش از دور

علیرضایوسفی کبریا[۱]، مهدی نادی[۲]، عبادت قنبری پرمهر[۳] و ژونگ چانگ سان[۴]

۱- دکتری، گروه مهندسی آب، هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: mehdi.nadi@gmail.com)
۳- استادیار، گروه سنجش از دور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
۴- مرکز تحقیقات بین‌المللی داده‌های بزرگ برای اهداف توسعه پایدار، پکن، چین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳ تاریخ ویرایش:۱۴۰۴/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰
صفحه: ۱۶۲ تا ۱۷۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تالاب‌ها به‌عنوان یکی از محیط‌های طبیعی حائز اهمیت بالا در اکوسیستم محسوب می‌شوند. این مناطق زیستی غنی از گیاهان و موجودات آبزی حاوی تنوع بیولوژیکی فراوانی هستند که از زیستگاه‌های حیاتی در اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌روند. تالاب شادگان یکی از مهم‌ترین تالاب‌های ایران است که اکوسیستم آبی غنی و محیط زیست حیاتی آن اهمیت بسیاری در حفاظت از تنوع زیستی و تأمین منابع آبی دارد. اما متاسفانه در چند سال اخیر با خشکی مواجه شده است. حوضه آبخیز نقش بسیار مهمی در تامین و توزیع منابع آبی تالاب‌ها دارد و به حفظ تعادل اکوسیستم‌ها و کنترل سیلاب و خشک‌سالی کمک می‌کند. همچنین، مدیریت صحیح حوضه آبخیز می‌تواند منجر به بهبود کیفیت آب و حفظ تنوع زیستی در تالاب‌ها شود. در سال‌های اخیر، مسئله شیوع ریزگرد یکی از معضلات اساسی در استان خوزستان بوده است و از طرفی، تالاب‌های این استان به‌دلیل فشار بر منابع آب بالادست نوسانات زیادی را تجربه می‌کنند. لذا، درک ارتباط بین نوسانات سطح این تالاب و شیوع ریزگردها اهمیت زیادی در حفظ منابع طبیعی و همچنین سلامت مردم و توسعه پایدار در منطقه دارد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ارتباط بین تغییرات سطح آبی تالاب شادگان و شیوع گردوغبار بررسی شده است. برای این منظور، از ماهواره مودیس برای رخدادهای گرد و غباری و پایش سطح آبی تالاب (۲۰۱۰-۲۰۲۳) و از ماهواره سنتینل ۲ برای بررسی سطح آبی تالاب شادگان (۲۰۱۷-۲۰۲۳) با استفاده از شاخص‌های NDWI و MNDWI استفاده شد. ارتباط سطح آبی تالاب با رخداد گرد و غباری (Event-Dust) بررسی شد. همچنین، با استفاده از داده‌های واقعی ایستگاه شادگان، مقدار شاخص کیفیت هوا (AQI)، آلاینده‌های PM2.5 و PM10 تعداد روزهای با شاخص ناسالم (شاخص کیفیت هوا بیشتر از ۱۰۰) مشخص شدند و ارتباط آن با سطح آبی تالاب شادگان به‌صورت ماهانه بررسی شد. برای بررسی ارتباط بین وسعت تالاب و طوفان‌های گرد و غبار، از ضریب همبستگی پیرسون (r) و ارتباط بین سطح تالاب‌ها و افزایش پدیده گرد و غبار، از آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال (Kendall's Tau rank correlation test) استفاده شد.

یافته‌ها: بررسی شاخص NDWI نشان داد که تالاب شادگان در سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به کمترین میزان خود رسید. همچنین، شاخص MNDWI نشان داد که کمترین سطح آبی تالاب در سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳ رخ داد و قسمت‌های غربی، جنوب‌غربی و جنوب تالاب کاملاً از بین رفته‌است. نقشه رویداد گرد و غباری نشان داد که در اطراف تالاب شادگان بیش از ۲۰ رویداد گرد و غباری در سال‌های مختلف اتفاق می‌افتد. ضرایب همبستگی بین رویدادهای گرد و غبار و وسعت تالاب شادگان ۰/۹۰- به‌دست آمد. همبستگی رتبهٔ کندال تاو نیز نشان می‌دهد که با کاهش سطح آبی تالاب شادگان رخدادهای گرد و غباری افزایش معنادار می‌یابد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهند که شاخص NDWI همبستگی کمتری نسبت به شاخص MNDWI با داده‌های آلودگی گرد و غباری (PM2.5 و PM10) نشان می‌دهد. همبستگی تعداد روزهای ناسالم هر ماه از نظر آلاینده‌های PM10 و PM2.5 با شاخص NDWI نشان می‌دهد که ارتباط این دو متغیر معنی‌دار است (P-Value = 0.0001) و ضریب همبستگی این داده‌ها با تعداد روزهای آلوده در ماه از نظر PM2.5 در اکثر ماه‌ها بیشتر از ۰/۷۷- است، که نشان‌دهنده همبستگی بالا بین آن‌ها است. با کاهش سطح آبی تالاب، شاخص PM2.5 افزایش می‌یابد و با توجه به همبستگی شاخص NDWI با تعداد روزهای آلوده در ماه از نظر PM10 (R = -۰/۷۱)، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سطح آبی تالاب تاثیر بیشتری بر افزایش شاخص PM2.5 دارد. همچنین، نتایج شاخص MNDWI با تعداد روزهای آلوده در ماه شاخص‌های PM2.5 و PM10 نشان می‌دهند که ارتباط بین شاخص MNDWI با PM2.5 بهتر از PM10 است، به‌طوری که ضریب تعیین (R^2) نشان می‌دهد که ۷۲٪ از تغییرات در تعداد روزهای آلوده به PM2.5 توسط سطح آبی تالاب توضیح داده می‌شود. به‌عبارت دیگر، معادله رگرسیون توانسته است حدود ۷۲٪ از واریانس تعداد روزهای آلوده را توجیه کند. ضریب همبستگی پیرسون (۰/۸۴-) نیز نشان می‌دهد که ارتباط بین تعداد روزهای آلوده به PM2.5 و شاخص MNDWI بسیار قوی است و این ارتباط به‌صورت معکوس است، یعنی با افزایش سطح آبی تالاب (افزایش شاخص MNDWI)، تعداد روزهای با آلودگی ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون کاهش می‌یابد. بنابراین، نتایج آنالیز نشان می‌دهند که تعداد روزهای آلوده به PM2.5 تأثیر قابل توجهی بر شاخص MNDWI تالاب شادگان دارد و با کاهش سطح آبی تالاب، آلودگی گرد و غباری PM2.5 نسبت به PM10 افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهند که افزایش سطح آبی تالاب شادگان منجربه کاهش آلودگی گرد و غباری منطقه و تعداد روزهای آلوده به PM2.5 و PM10 می‌شود. این یافته‌ها بر اهمیت حفاظت و بازیابی تالاب‌ها به‌منظور کاهش آلودگی هوا و بهبود شرایط زیست‌محیطی منطقه تأکید می‌کنند. افزایش سطح آبی تالاب شادگان به کاهش تعداد روزهای آلوده و بهبود کیفیت زندگی ساکنین مناطق اطراف منجر می‌شود. لذا، هرگونه توسعه مبتنی بر کاهش سطح آبی تالاب شادگان ناپایدار است و در درازمدت سلامت مردم اطراف را با خطر جدی همراه می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، خشکی تالاب، سنتینل-۲، MNDWI، PM10 و PM2.5

مقدمه

در سال‌های اخیر، منابع آب ایران با چالش‌های جدی مواجه شده‌اند که منجربه کاهش شدید ذخایر و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است. خشکی حوضه آبی یکی از مشکلات جدی در مدیریت منابع آبی ایران است (Yousefi *et al.*, 2021)؛ این پدیده توسط تعدادی از عوامل محیطی، اقلیمی، انسانی و طبیعی به‌وجود می‌آید و تشدید می‌شود. عواملی نظیر کاهش بارش‌ها، تغییر اقلیم، عوامل انسانی و تغییر کاربری اراضی، به‌طور جدی بر منابع آبی ایران تأثیر می‌گذارند (Sadeghi nasirabadi *et al.*, 2023). بارش‌های کم و نامتعادل از جمله عوامل اصلی خشک‌شدن حوضه‌های آبی در ایران هستند. این وضعیت موجب کاهش حجم آب در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها می‌شود و در نتیجه آبیاری منابع کشاورزی و تأمین آب آشامیدنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییرات اقلیمی، به‌خصوص افزایش دما، تغییر الگوی بارش و افزایش تبخیر، از دیگر عوامل مؤثر در خشک شدن حوضه آبی هستند. این تغییرات می‌توانند باعث تبخیر بیشتر آب‌ها و کاهش تأمین آب در منابع آبی شوند (Sanikhani, 2022). با کاهش حجم آب در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، رسوبات آلوده و ذرات ریزگردها به‌صورت آزادتر در هوا پراکنده می‌شوند. این وضعیت باعث افزایش آلودگی هوا و کاهش کیفیت آن می‌شود. در شرایط خشکی، حجم آب در رودخانه‌ها و تالاب‌ها کاهش می‌یابد و این موضوع می‌تواند به کاهش تخلیه آلاینده‌ها و ذرات ریزگردها به منابع آبی واقعی منجر شود. این امر در نهایت به افزایش تراکم آلودگی هوا و افزایش تعداد ذرات ریزگردها در محیط منجر می‌شود (Basak *et al.,* 2018). افزایش آلودگی هوا به‌دلیل خشکی حوضه آبی اثرات جانبی جدی اقتصادی و بهداشتی دارد؛ به‌عنوان مثال، ریزگردها با ورود به ریه‌های انسان و حیوانات می‌توانند عوارض جدی بر سلامت آن‌ها داشته باشند و سبب التهاب ریه، آسم، سرطان ریه، عفونت‌های تنفسی و حساسیت‌های پوستی شوند (Fattahi *et al.,* 2015). به‌علاوه، هزینه‌های درمانی و تدابیر بهداشتی از دیگر اثرات اقتصادی و اجتماعی این مسئله هستند. همچنین، خشک‌شدن حوضه آبی ایران سبب کاهش توان تولید کشاورزی، کاهش منابع آبی زیرزمینی، خشک‌شدن تالاب‌ها و رودخانه‌ها، کاهش تولید انرژی هیدروالکتریک، افزایش تبخیر و تبدیل زمین‌ها به خاک‌های نمکی و غیر مناسب برای کشاورزی می‌شود و تأثیراتی عمیق بر روی کیفیت زندگی و محیط زیست دارد (Sharifi Kaliani *et al.,* 2021).

تالاب‌ها به‌عنوان اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد و غنی، نقشی حیاتی در سلامت محیط دارند. این مناطق آبی نه تنها به‌عنوان زیستگاه برای طیف گسترده‌ای از گیاهان و جانوران عمل می‌کنند، بلکه مزایای بی‌شماری را هم برای انسان و هم برای محیط زیست به ارمغان می‌آورند. نقش تالاب‌ها در بهداشت محیط شامل تصفیه آب، کنترل سیل، حفاظت از تنوع زیستی، تنظیم آب و هوا، کاهش آلودگی هوا، تامین آب آشامیدنی و ارزش اقتصادی است (Lorente *et al*., 2021). نقش سنجش از دور در پایش سطح آبی (شاخص NDWI[1] و MNDWI[2]) و ریزگردها شامل جمع‌آوری داده‌های گرد و غبار، پایش تغییرات زمانی و مکانی، پیش‌بینی گرد و غبار، تعیین منابع و مکان‌یابی منشأ گرد و غبار، گسترده‌ترین پوشش ممکن، پایش به‌مدت طولانی، کاهش هزینه و زمان، تحلیل دقیق داده‌ها است؛ در کل، سنجش از دور به‌عنوان یک ابزار مؤثر در پایش و مدیریت منابع آب به‌حساب می‌آید (Yousefi Kebriya *et al*., 2022). مطالعات متعددی نیز در این زمینه صورت گرفته‌اند. خسروشاهی و همکاران (Khosroshahi *et al.,* 2020) در مطالعه‌ای بر روی تالاب گاوخونی با استفاده از تصاویر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸، تغییرات در سطوح آبدار و خشک تالاب را در دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸ بررسی کردند. نتایج آنها نشان دادند که بیشترین سطح آبی تالاب در خلال سال‌های ۱۳۷۲ الی ۱۳۷۳ بود که بالغ بر ۸۹ درصد از سطح آبی تالاب گاوخونی دارای آب بود و پس از آن، روند خشک‌شدن تالاب‌ها ادامه یافت. در سال ۱۳۹۱–۱۳۹۲، سطح آبدار تالاب به کمتر از ۱۰ درصد کاهش یافت و از آن زمان تا سال ۱۳۹۷–۱۳۹۸، کاملاً خشک شد (Khosroshahi *et al*., 2020). در پژوهشی با استفاده از داده‌های لندست ۵، ۷ و ۸ در بازه زمانی ۲۰۲۱–۱۹۹۰ و مدل WRF-Chem در دشت سیستان دریافتند که با خشک‌شدن آب‌ها، انتشار گرد و غبار به‌میزان حدود ٪۴۰ افزایش یافت (Darvishi Boloorani *et al*., 2022). تحقیقات انجام‌شده بر روی رودخانه کارون طی دوره‌های زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ نشان دادند که در دوره پس از گرمایش جهانی (۱۳۷۵–۱۳۹۴) نسبت به دوره قبل از آن (۱۹۹۵–۱۹۸۵)، دبی رودخانه به‌میزان ۱۷۱ متر مکعب در ثانیه کاهش یافت. این در حالی است که گرد و غبار محلی افزایش یافت اما شاخص پوشش‌گیاهی با کاهش ۱۳ درصدی مواجه شد. همچنین، بررسی تغییرات رطوبت خاک در حوضه رودخانه افزایش در شرق و کاهش در غرب حوضه رودخانه کارون و اطراف تالاب شادگان را نشان می‌دهد (Basak *et al*., 2018). در تحقیق دیگری بر روی بستر دریاچه ارومیه، کاهش معنی‌دار سطح آب دریاچه ارومیه از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ مشاهده شد. همچنین، معیار زیست‌محیطی با ضریب اهمیت نسبی ۰/۴۹ و معیار طوفان‌های گرد و غبار نمک با ضریب اهمیت نسبی ۰/۱۷۸۲، مهم‌ترین پیامدهای خشک‌شدن دریاچه ارومیه هستند (Barani *et al*., 2019). مطالعه دیگری به بررسی تغییرات سطح آبی تالاب های ایران و تأثیر آن بر آلودگی هوای شهرهای اطراف در فصول مختلف پرداخت. نتایج حاکی از آن هستند که شهرهای اطراف تالاب‌ها مانند هامون، جازموریان، پریشان و هورالعظیم در اکثر فصول سال تحت تاثیر طوفان گرد و غبار قرار دارند. در مقیاس سالانه، ۲۵ و ۱۵ درصد از تغییرات آلودگی گرد و غبار در شهرهای اطراف تالاب‌های بین‌المللی هامون و پریشان ناشی از کاهش میزان تالاب‌ها از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ است (Ebrahimi-Khusfi *et al*., 2022). در مطالعه‌ای دیگر، رابطه بین خشک‌سالی، بارش، تبخیر، تعرق، گرد و غبار و تأثیر این عوامل بر سلامت انسان در جنوب ایالات متحده بررسی شد. تجزیه و تحلیل‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین تجمع گرد و غبار در بیابان‌های آمریکای شمالی، مناطق محلی و مناطق منطقه ای با تغییرات شاخص SPEI (شاخص تبخیر و تعرق بارش استانداردشده) نشان دادند (Achakulwisut *et al*., 2018). در مطالعه‌ای، تغییرات مساحت خشکیده تالاب شادگان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۷–۱۹۸۸) بررسی کردند. تصاویر ماهواره‌ای برای ماه خرداد سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ پردازش و با روش ماشین‌بردار پشتیبان(SVM) طبقه‌بندی شدند. دقت طبقه‌بندی با شاخص‌های دقت کلی و کاپا محاسبه شد. نتایج نشان دادند که مساحت خشکیده تالاب در طول ۳۰ سال، ۲۲۹۶۰ هکتار

[1] . Normalized Difference Water Index
[2] . Modified Normalized Difference Water Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

افزایش یافت. این افزایش باعث انتشار گرد و غبارهای تالابی شده است که می‌تواند بر شهرهای اطراف و حتی استان‌های همجوار تاثیر منفی بگذارد (Dargahian *et al*., 2021). در پژوهشی، تأثیر طوفان‌های گرد و غبار بر تغییرات پوشش‌گیاهی تالاب شادگان بررسی گردید. با استفاده از آمار باد ایستگاه هواشناسی اهواز، نمودارهای گلباد و گل‌طوفان تهیه و تغییرات پوشش‌گیاهی تالاب با شاخص تعدیل‌شده خاک–پوشش‌گیاهی (SAVI) از تصاویر ماهواره‌ای MODIS بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱ تحلیل شدند. نتایج نشان دادند که بادهای غالب از شمال‌غرب تا غرب می‌وزند. همبستگی میان تعداد روزهای گرد و غباری و پوشش‌گیاهی با ضریب تبیین ۰/۴۷ و همبستگی بین غلظت گردوغبار و پوشش‌گیاهی با ضریب تبیین ۰/۵۸ بودند، که نشان‌دهنده تأثیر گرد و غبار بر پوشش‌گیاهی است. بیشترین همبستگی بین غلظت گرد و غبار یک‌ماه قبل و شاخص SAVI با ضریب ۰/۹۹ مشاهده شد. این نتایج بر اهمیت مدیریت پوشش‌گیاهی تالاب شادگان تأکید و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را برای مدیریت بهینه منابع طبیعی توصیه می‌کنند (Bayat *et al*., 2021).

تالاب شادگان یکی از مهم‌ترین تالاب‌های ایران است که در استان خوزستان واقع شده است. این تالاب در سال‌های اخیر با پدیده خشک‌سالی و کاهش شدید سطح آبی روبرو بوده است. مطالعات زیادی بر روی تالاب شادگان صورت گرفته‌اند. مطالعات قبلی بیشتر به پایش سطح آبی تالاب شادگان پرداختند و تاثیر مستقیم آن بر شیوع آلودگی گرد و غباری را بررسی نکردند. شناسایی منابع آلودگی هوا در مناطق مجاور تالاب عمدتاً بر منابع خارجی ذرات معلق متمرکز بوده است (Hajivand Paydari *et al*., 2022) و بررسی نقش منابع داخلی مانند گرد و غبار همچنان یک حوزه تحقیقاتی محدود است. این مطالعه به روشن‌سازی ارتباط بین عوامل محیطی، فعالیت‌های انسانی، خشک‌شدن منابع آبی و پخش ذرات ریز معلق با استفاده از سنجش از دور و محصولات ماهواره‌ای، سنتینل و مودیس می‌پردازد. این مطالعه با بررسی تغییرات سطح آبی تالاب شادگان و ارتباط آن در انتشار گرد و غبار و آلودگی هوا به‌دنبال تکمیل یافته‌های قبلی محققین است. در این پژوهش، با استفاده محصولات پایش ریزگرد و سطوح آبی ماهواره‌های سنتینل۲ و مودیس و داده‌های واقعی غلظت هوا به بررسی تغییرات سطح تالاب شادگان و نوسانات گرد و غبار پرداخته شد. در این راستا، ابتدا به بررسی روند تغییرات سطح آبی تالاب شادگان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته می‌شود. در ادامه ارتباط کاهش سطح آبی تالاب و افزایش گرد و غبار با استفاده از شاخص‌های مختلف بررسی و در نهایت به نقش خشک‌شدن تالاب شادگان در شیوع ریزگرد در منطقه پرداخته شده است.

روش انجام پژوهش

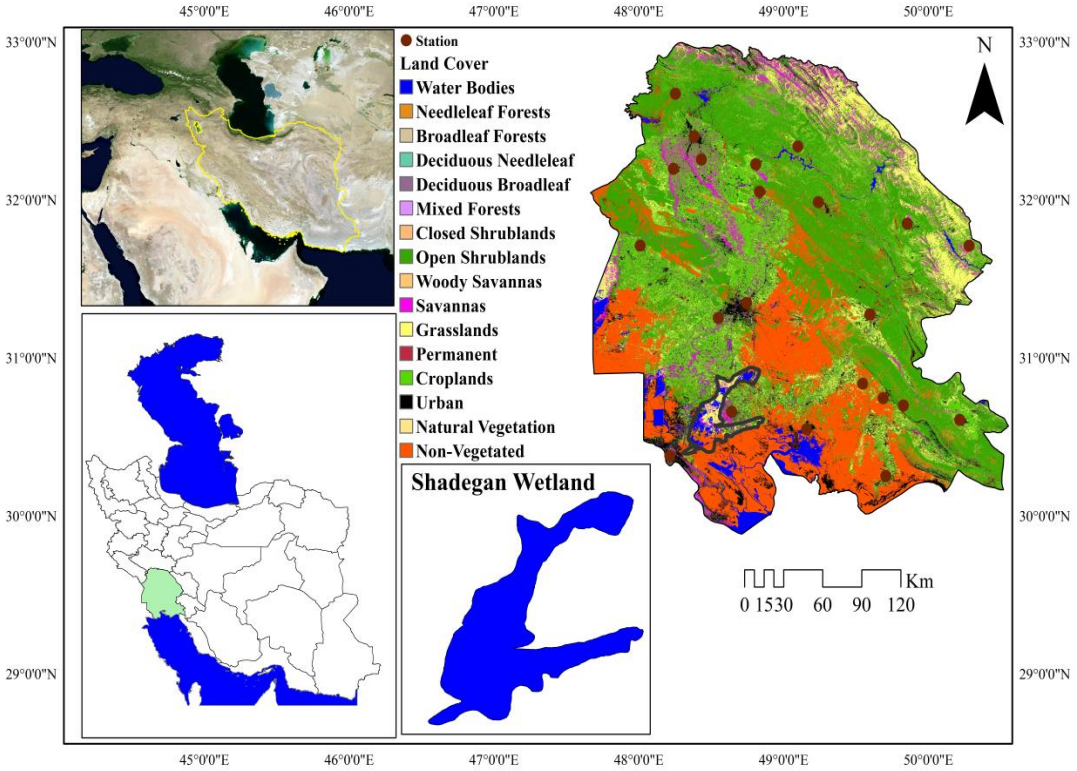
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در این تحقیق تالاب شادگان در استان خوزستان است که موقعیت آن در شکل ۱ آورده شده است. تالاب شادگان با موقعیت جغرافیایی بین ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی و ۴۸ تا ۴۹ درجه شرقی در جنوب‌غربی ایران واقع شده است و در ارتفاع ۵ متری از سطح دریا قرار دارد. مساحت حوضه آبخیز این تالاب ۲۴۳۱۰ کیلومتر مربع و مساحت اکولوژیکی آن ۵۳۷۷ کیلومتر مربع هستند. سطح آب شیرین تالاب معادل ۱۵۰۵ کیلومتر مربع است که دارای تنوع زیستی غنی از جمله گونه‌های مختلف پرندگان، ماهی‌ها و گیاهان است. با این‌حال، با چالش‌هایی مانند خشک‌سالی، آلودگی، شهرنشینی و فعالیت‌های نفتی مواجه است که منجر به کاهش سطح آبی و خشک‌شدن بخش قابل توجهی از آن شده است (Dargahian *et al*., 2022).

داده‌های مورد استفاده

پوشش مربوط به سطح آبی تالاب و پایش گرد و غبار در استان خوزستان به‌وسیله دو نوع تصویر ماهواره‌ای، یعنی MODIS از سال ۲۰۲۳–۲۰۱۰ و SENTINEL-2 از سال ۲۰۲۳–۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا، با استفاده از این تصاویر، سطح آبی تالاب پایش شد و شاخص‌های MNDWI و NDWI استخراج شدند. سپس، با بهره‌گیری از ماهواره‌های MODIS و SENTINEL-5، گردوغبار مورد بررسی قرار گرفت، شاخص‌های AOD و AAI و تعداد رخداد گرد و غبار از این ماهواره‌ها استخراج شدند و ارتباط آن‌ها با سطح آبی تالاب‌ها مشخص شد. تمامی این مراحل با استفاده از کدنویسی در سامانه گوگل‌ارث انجین انجام شد. همچنین، برای بررسی گرد و غبار، از داده‌های واقعی آلاینده‌های PM10 و PM2.5 از ایستگاه آلودگی‌سنجی شادگان در استان خوزستان از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ استفاده شد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]



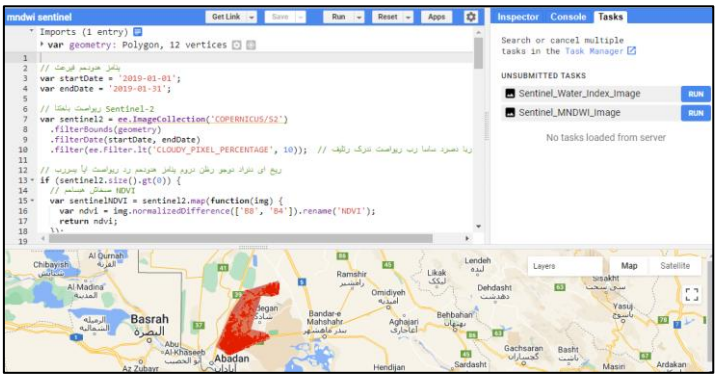
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی تالاب شادگان و ایستگاه الودگی‌سنج شادگان (تصاویر True color Modis 2023)
Figure 1. Geographical location of the Shadegan Wetland and the Shadegan Pollution Monitoring Station

کدنویسی گوگل ارث انجین

گوگل‌ارث انجین یک سرویس ابری است که توسط گوگل ارائه می‌شود و به انجام تحلیل‌های مکانی بر روی داده‌های ماهواره‌ای و زمینی کمک می‌کند. این ابزار برای تحلیل و استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های جغرافیایی و زمینی، مدل‌های اقلیمی و سایر داده‌های مکانی قدرتمند استفاده می‌شود (NOAA, 2020). گوگل‌ارث انجین به‌عنوان یک پلتفرم تحلیل مکانی جامع، امکانات بسیاری را برای برنامه‌نویسان و محققان مرتبط با محیط زیست، منابع طبیعی، اقلیم و دیگر حوزه‌های مرتبط فراهم می‌کند. کدنویسی در گوگل‌ارث انجین با استفاده از زبان برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت انجام می‌شود و سبب می‌شود تا توابع، الگوریتم‌ها و فرایندهای مورد نیاز را بر روی داده‌های موجود در گوگل‌ارث انجین پیاده‌سازی کرد و تحلیل‌های مختلفی را انجام داد. در این پژوهش، با استفاده از کدنویسی در سامانه گوگل‌ارث انجین، شاخص‌های NDWI و MNDWI ماهواره‌های MODIS و SENTINEL-2 استخراج و تصاویر تالاب شادگان استخراج شدند. همچنین، شاخص‌های AOD و AAI به‌ترتیب از ماهواره‌های MODIS و SENTINEL-5 استخراج و تعداد وقوع گرد و غبار[1] با استفاده از ماهواره MODIS استخراج شدند. این سامانه در شکل ۲ نشان داده شده است.

[1] Dust Events

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]



شکل ۲-کدنویسی و فراخوانی تصاویر از گوگل‌ارث اتجین
Figure 2. Coding and calling images from the Google Earth Engine

تصاویر ماهواره‌ای

ماهواره‌های MODIS و Sentinel-2 برای پایش و مطالعات مختلف محیط زیستی و اقلیمی استفاده می‌شوند. ماهواره MODIS توسط سازمان ملی اقیانوسی و اتمسفری ایالات متحده آمریکا (NOAA) و ناسا (NASA) به‌منظور پایش زمین، اقلیم و محیط زیست طراحی شده است. این ماهواره تصاویر با وضوح متوسطی را در طول موج‌های مختلف به‌دست می‌آورد. MODIS اطلاعاتی را در باره سطح آبی، دما، برف و یخ، گیاهان، گرد و غبار، اقیانوس‌ها و غیره فراهم می‌کند (NASA, 2015). ماهواره Sentinel-2 نیز یک سامانه ماهواره‌ای اروپایی است که برای پایش محیط زیست و منابع طبیعی زمین به‌کار می‌رود. این ماهواره تصاویر با وضوح بالا را در باندهای مختلف ارائه می‌دهد. Sentinel-2 اطلاعاتی را در باره تغییرات سطح زمین، کشاورزی، جنگل، آب‌های سطحی و سایر منابع طبیعی فراهم می‌کند (Lorente *et al*., 2021).

برای تشخیص مناطق آبی در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای از شاخص MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) استفاده می‌شود. این شاخص از اختلاف بین باندهای سبز (Green) و میانه (Mid-Infrared) استفاده می‌کند، به‌عنوان یک شاخص برای تفکیک آب از سایر اشیاء مانند خاک و گیاهان استفاده می‌شود و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. در این رابطه، Green بیانگر شدت نور در باند سبز تصویر است و Mid-Infrared شدت نور در باند ممیز (Mid-Infrared) تصویر را نشان می‌دهد. این شاخص معمولاً مقادیر مثبت را برای آب و مقادیر منفی را برای سایر اشیاء نظیر خاک و گیاهان تولید می‌کند. به‌عبارت دیگر، مناطق آبی در تصویر با مقادیر مثبت MNDWI نشان داده می‌شوند، در حالی‌که سایر اشیاء با مقادیر منفی نشان داده می‌شوند (Gautama *et al*., 2015). همچنین، برای محاسبه تغییرات در سطح آبی حوضه آبریز، از شاخص تفاوت نرمال‌شده آب (NDWI) به‌عنوان فرمولی برای تغییرات فضایی و زمانی سطح حوضه آبریز در بازه زمانی مشخص‌شده استفاده می‌شود، که به‌صورت رابطه‌ی ۲ است (Xu, 2006). در این رابطه، Green باند سبز و در محدوده‌ی ۵۲۵-۶۰۲ نانومتر و NIR مادون قرمز نزدیک با طول‌موج ۷۵۰-۹۰۰ نانومتر هستند و حد آستانه‌ی آب برای شاخص NDWI بیشتر از ۰/۳ در نظر گرفته می‌شود (Gautama *et al*., 2015). تصاویر ماهواره‌ای مودیس با دوره زمانی ۲ روزه و تفکیک ۵۰۰ متری انتخاب‌شده مورد استفاده قرار گرفتند. برای تفکیک و حذف تصاویر دارای بیش از ۱۰ درصد پوشش ابر، از فیلتر ابر با آستانه ۱۰ درصد استفاده شد. سپس، برای تصاویر متعدد، سطوح خشک و مرطوب در نظر گرفته شدند و با استفاده از شاخص NDWI آستانه بالاتر از ۰/۳ محاسبه گردید. در نهایت، میانگین ماهانه و سالانه کاهش وسعت تالاب برای تالاب‌های فوق محاسبه شد. تمامی این مراحل با استفاده از کدنویسی جاوا اسکریپت در محیط گوگل‌ارث انجین انجام شدند.

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های ماهواره مودیس (MODIS) به بررسی ارتباط بین کاهش وسعت آب سطحی تالاب‌ها و افزایش طوفان‌های گرد و غبار پرداخته شد. از آنجایی که داده‌های بلندمدت و واقعی از وقایع گرد و غبار در دسترس نبودند، برای برقراری ارتباط با کاهش وسعت تالاب‌ها، از ماهواره مودیس و سیستم Earth Engine برای محاسبه تعداد وقایع گرد و غباری که در استان خوزستان در این دوره رخ داد، استفاده شد. همچنین، شایان ذکر است که فقط وقایعی در نظر گرفته شده‌اند که منشأ آن‌ها داخل استان بوده‌اند و از مرزهای استانی و کشورهای همسایه سرچشمه نگرفته‌اند، که در اینجا به‌عنوان رویدادهای گرد و غبار نامیده می‌شوند. برای بررسی ارتباط بین کاهش وسعت تالاب و تعداد رویدادهای گرد و غبار، از آزمون فرض همبستگی پیرسون، نمودار رگرسیون و آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال تاو (Kendall tau Rank Correlation) استفاده شد.

$$\mathrm{MNDWI} = \frac{(\mathrm{Green}-\mathrm{Mid}-\mathrm{Infrared})}{(\mathrm{Green}+\mathrm{Mid}-\mathrm{Infrared})} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$\mathrm{NDWI} = \frac{(\mathrm{Green}-\mathrm{NIR})}{(\mathrm{Green}-\mathrm{NIR})} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

شاخص کیفیت هوا (AQI)

شاخص کیفیت هوا (AQI) به‌صورت روزانه و حتی ساعتی اندازه‌گیری می‌شود و غلظت هر آلاینده هوا را ارزیابی می‌کند. غلظت هر آلاینده اندازه‌گیری و با استفاده از مقیاس یا شاخص استاندارد، به یک عدد از صفر تا ۵۰۰ تبدیل می‌شود. شاخص کیفیت هوا یک اندازه‌گیری نسبی است، به این معنی که مقادیر پایین‌تر نشان‌دهنده‌ی کیفیت هوای بهتر و نگرانی کمتر برای

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

سلامتی هستند، در حالی‌که مقادیر بالاتر بیانگر کیفیت هوای ضعیف‌تر و افزایش خطرات سلامتی هستند (Yousefi Kebriya & Nadi, 2023). شاخص کیفیت هوا با استفاده از شاخص عمق اپتیکی آئروسل (AOD) تعیین می‌شود که جذب و پراکندگی نور توسط ذرات معلق (آئروسل) در جو را اندازه‌گیری می‌کند. AOD یک شاخص کمی است که برحسب تعداد مولکول ذرات معلق هوا در هر کیلومتر مکعب از جو اندازه‌گیری می‌شود (NOAA, 2020). در این پژوهش، از تعداد روزهای آلوده در هر ماه استفاده شد که باتوجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که هر شاخص بالاتر از ۱۰۰ آلوده است و ناسالم است.

جدول ۱- شاخص‌های مختلف کیفیت هوا

Table 1. Air quality index Basic Pollution

Levels of Concern	Values of Index AAI	Values of Index AOD	Values of Index AQI
Good	<0	<0.1	0-50
Moderate	0-0.5	0.1-0.3	51-100
Unhealthy	0.5-2	0.3-0.5	101-200
Very Unhealthy	2-5	0.5-1	201-300
Hazardous	5 <	1 <	300 <

شاخص‌های ارزیابی

برای بررسی ارتباط بین وسعت تالاب و طوفان‌های گرد و غبار، از ضریب همبستگی پیرسون (r) استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین بازه ۱- و ۱ قرار می‌گیرد. مقدار r برابر با ۱ نشان‌دهنده یک رابطه خطی مستقیم کامل بین دو متغیر است، به این معنی که اگر یک متغیر افزایش (کاهش) یابد، دیگری نیز همزمان افزایش (کاهش) می‌یابد (Nadi & Yousefi Kebriya, 2024). در این معادله، x و y متغیرهایی هستند که همبستگی آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد و n تعداد جفت داده‌هایی است که مقایسه می‌شوند (Yousefi Kebriya *et al*., 2025). برای ارزیابی ارتباط بین کاهش تالاب‌ها و افزایش پدیده گرد و غبار، از آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال (Kendall's Tau rank correlation test) استفاده شد. این آزمون براساس رتبه‌بندی دو متغیر استوار است و وابسته به تابع توزیع احتمال داده‌ها نیست.

ابتدا برای داده‌های مربوط به دو متغیر مورد نظر، جفت‌هایی تشکیل می‌شوند. مقدار تاو کندال برابر است با تفاضل تعداد جفت‌هایی که اختلاف رتبه‌ی مثبت دارند و تعداد جفت‌هایی که اختلاف رتبه‌ی منفی دارند. بر اساس توزیع تاو کندال (توزیع تقریبی برای تاو کندال)، مقدار P محاسبه می‌شود، که P ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن است. اگر مقدار تاو کندال به ۱ نزدیک باشد، نشان‌دهنده‌ی همبستگی مثبت است، در حالی‌که مقداری نزدیک به ۱- حاکی از همبستگی منفی است. مقداری نزدیک به صفر بیانگر فقدان همبستگی است. با توجه به محدودیت داده‌ها در مورد ارتباط بین کاهش تالاب‌ها و وقوع پدیده گرد و غبار، آزمون تاو کندال مناسب در نظر گرفته شده است (Kim *et al*., 2014)، که n نشان‌دهنده‌ی حجم نمونه، n_c نشان‌دهنده‌ی تعداد جفت‌های هم‌جهت و n_d نشان‌دهنده‌ی تعداد جفت‌های ناهمسو است. di تفاوت در رتبه‌بندی برای هر شیء i است. این مقدار برای هر شیء i در مجموعه {n.....,۱,۲} وجود دارد.

$$\tau = \frac{n_c - n_d}{\frac{1}{2}n(n-1)}$$ رابطه (۳)

$$P = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n(n^2-1)}$$ رابطه (۴)

در این پژوهش، با استفاده تصاویر ماهواره‌ای MODIS و SENTINEL-2 ابتدا به پایش سطح آبی تالاب شادگان استان خوزستان در طی دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۲۳ پرداخته شد. سپس ارتباط نوسانات سطح آبی تالاب با تعداد وقایع گرد و غباری که توسط ماهواره مودیس استخراج شد مورد بررسی قرارگرفت. در این پژوهش، علاوه‌بر رویدادهای ریزگردی با استفاده از داده‌های ماهانه واقعی، شاخص آلودگی گرد و غباری (AQI) در ایستگاه آلودگی‌سنجی شادگان بر اساس آلاینده‌های PM10 و PM2.5 طی دوره شش‌ساله (۲۰۱۷-۲۰۲۳) به‌صورت ماهانه تعیین شد. در نهایت، با استفاده از شاخص AOD، گرد و غبار اطراف تالاب شادگان در دوره‌ی آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی‌که داده‌های بلندمدت و واقعی از وقایع گرد و غبار در دسترس نبودند، برای برقراری ارتباط با کاهش وسعت تالاب‌ها، از ماهواره مودیس و سیستم Earth Engine برای محاسبه تعداد وقایع گرد و غباری که در استان خوزستان در این دوره رخ داد، استفاده شد. (توجه شود که فقط وقایعی در نظر گرفته شده‌اند که منشأ آن‌ها داخل استان بوده‌اند و از مرزهای استانی و کشورهای همسایه سرچشمه نگرفته‌اند، که در اینجا به‌عنوان رویدادهای گرد و غبار نامیده می‌شوند). برای بررسی ارتباط بین کاهش وسعت تالاب و تعداد رویدادهای گرد و غبار، از آزمون فرض همبستگی پیرسون، نمودار رگرسیون و آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال تاو استفاده شد.

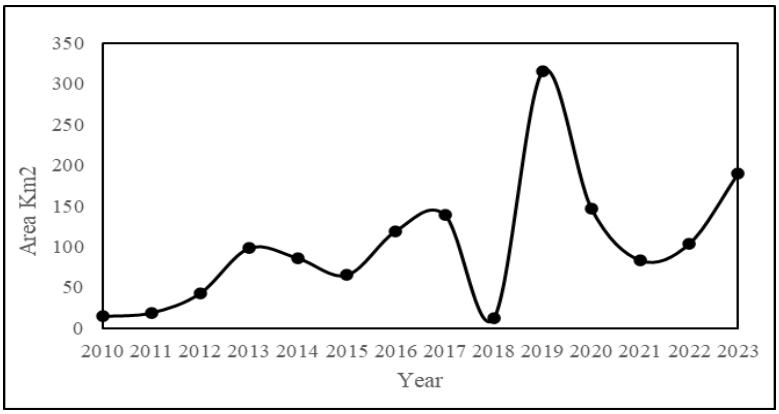
نتایج و بحث

ارزیابی سطح آبی تالاب

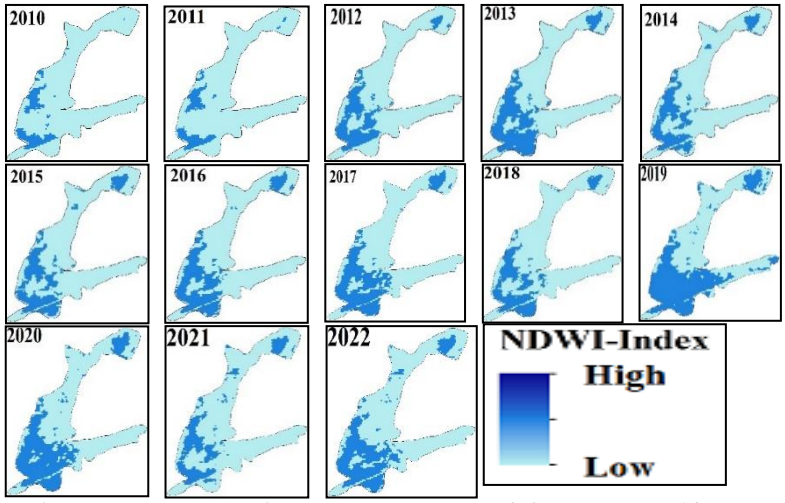
با شاخص NDWI ماهواره مودیس، سطح آبی تالاب شادگان به‌صورت سالانه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ به‌دست آمد که در نمودار شکل ۳ قابل مشاهده است. تصاویر سطح تالاب نیز طی سال‌های مختلف در شکل ۴ آورده شده‌اند. بر این اساس، در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، و ۲۰۱۸ تالاب خشک‌ترین حالت خود را طی ۱۳ سال گذشته داشت، به‌طوری‌که کمتر از ۵ درصد از وسعت اولیه خود را تشکیل داد. وسعت تالاب شادگان در دوره ۲۰۱۰-۲۰۲۲ نوسان داشت، در سال ۲۰۱۹ به حداکثر رسید و سپس با شیب بالایی کاهش یافت به‌طوری که در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به کمترین میزان خود در ۵ سال اخیر رسید. با توجه به شکل ۴، بیشتر خشکی تالاب در جهت شمالی و شرقی تالاب مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۸ شاخه شرقی و شمالی تالاب شادگان کاملا خشک شد و در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ نیز قسمت‌های شمال‌شرقی و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

جنوب‌شرقی تالاب خشک شدند. باتوجه به شاخص NDWI که بین ۰/۳۵ تا ۰/۱- قرار دارد نشان می‌دهد که در تمامی این سال‌ها تالاب خشکی بالایی داشت و میزان آب در سال ۲۰۲۳ در مرکز تالاب شادگان کاهش چشمگیری داشت.بیشتر آب تالاب در سمت جنوب و ناحیه غربی آن استقرار یافته است که علت آن دبی ورودی از جهت غربی به تالاب است و در سایر جهات تالاب با مشکل خشکی مواجه است، که یکی از علت‌های آلودگی گرد و غباری جنوب و جنوب‌شرق خوزستان است.



شکل ۳- تغییرات سطح آبی تالاب شادگان در دوره ۱۴ ساله با شاخص NDWI ماهواره مودیس
Figure 3. Changes in the area of the Shadagan Wetland during the 14-year period using the MODIS satellite NDWI index

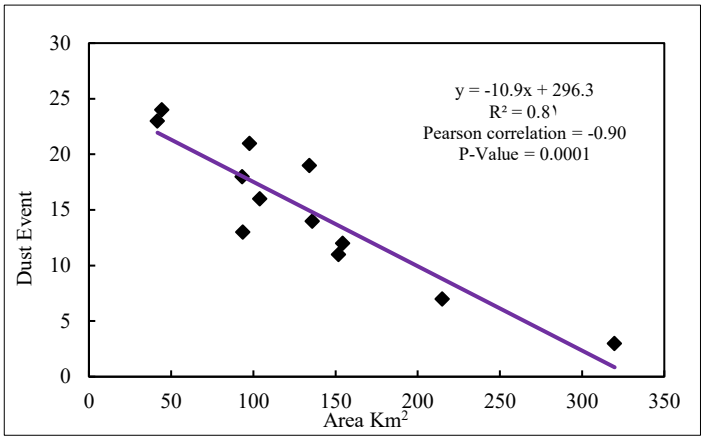


شکل ۴- تصاویر ماهواره‌ای مودیس شاخص NDWI تالاب شادگان در دوره ۱۳ ساله
Figure 4. MODIS Satellite Images of the NDWI Index for the Shadegan Wetland over a 13-Year Period

رابطه بین کاهش وسعت تالاب و افزایش گرد و غبار

بر اساس شکل ۵، همبستگی منفی بسیار قوی و معناداری بین کاهش سطح آبی تالاب و تعداد رویدادهای ریزگردی سالانه وجود دارد و این مدل خطی ساده می‌تواند تقریباً ۸۱ درصد از تغییرات را توجیه کند. به‌طور خاص، ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰/۹- نشان می‌دهد که دو متغیر همبستگی منفی و معناداری دارند. همچنین، مقدار P-Value برابر با ۰.۰۰۰۱ به‌دست آمد که بر معنی‌داری قوی بین این متغیر دلالت دارد. همچنین، نتایج آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال تاو (Kendall Tau rank correlation) همبستگی منفی معناداری بین دو متغیر را نشان می‌دهد که بیانگر آن است که با کاهش یک متغیر، دیگری افزایش می‌یابد. همچنین، با توجه به مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵ این همبستگی معنادار است (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهند که خشک‌شدن تالاب شادگان تأثیر زیادی بر افزایش گرد و غبار در استان خوزستان دارد، که این موضوع به‌وضوح در نتایج مشهود است. همچنین، با توجه به وسعت بالای تالاب شادگان، خشک‌شدن کامل این تالاب خطرناک است و خسارت زیادی به استان وارد می‌کند. باتوجه به نتایج، مدیریت و کاهش آسیب به تالاب می‌توانند سبب کاهش گرد و غبار در استان شوند.

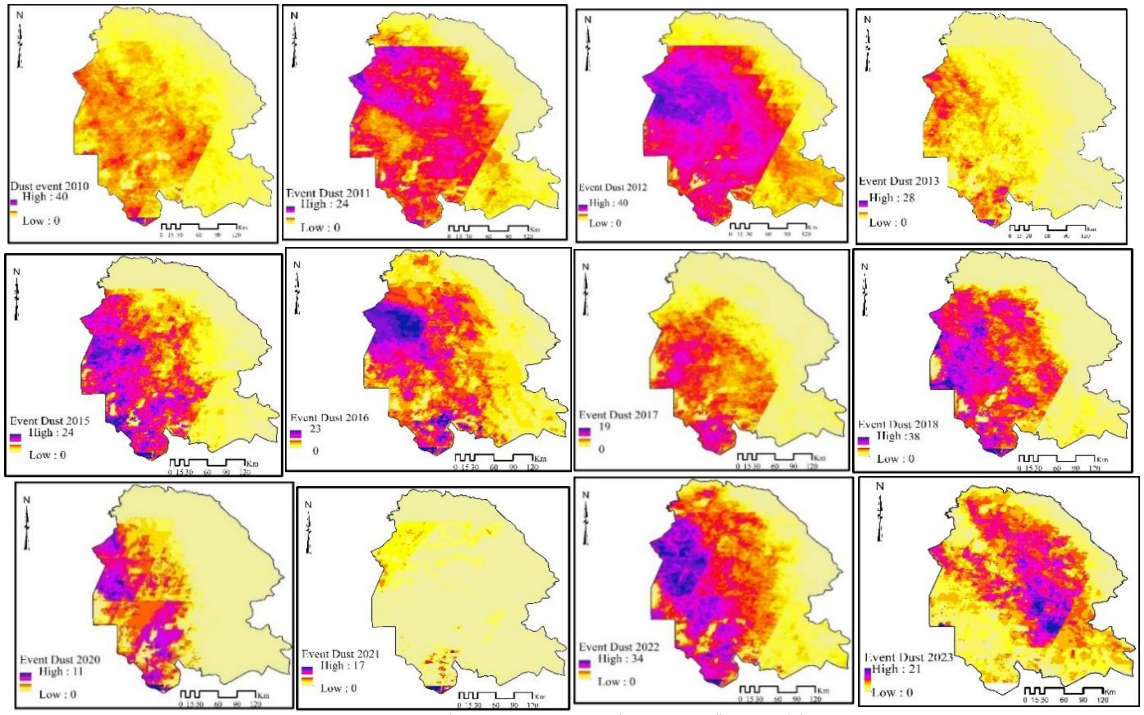
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]



شکل ۵- نمودار تحلیل رگرسیون رویداد گرد و غبار AOD و سطح آبی تالاب شادگان
Figure 5. The Regression Analysis Plot of the Dust Event AOD and the Shadegan Wetland's Surface Area

جدول ۲- نتایج شاخص کندال تاو
Table 2. Kendall's Tau Results

Kendall tau Rank Correlation	Value
Kendall tau	-0.72
2-sided p-value	0.001
Score	-48
Var (Score)	212.6
Denominator	66



شکل ۶- پراکندگی رویدادهای گرد و غبار در استان خوزستان
Figure 6. Distribution of dust events in Khuzestan Province

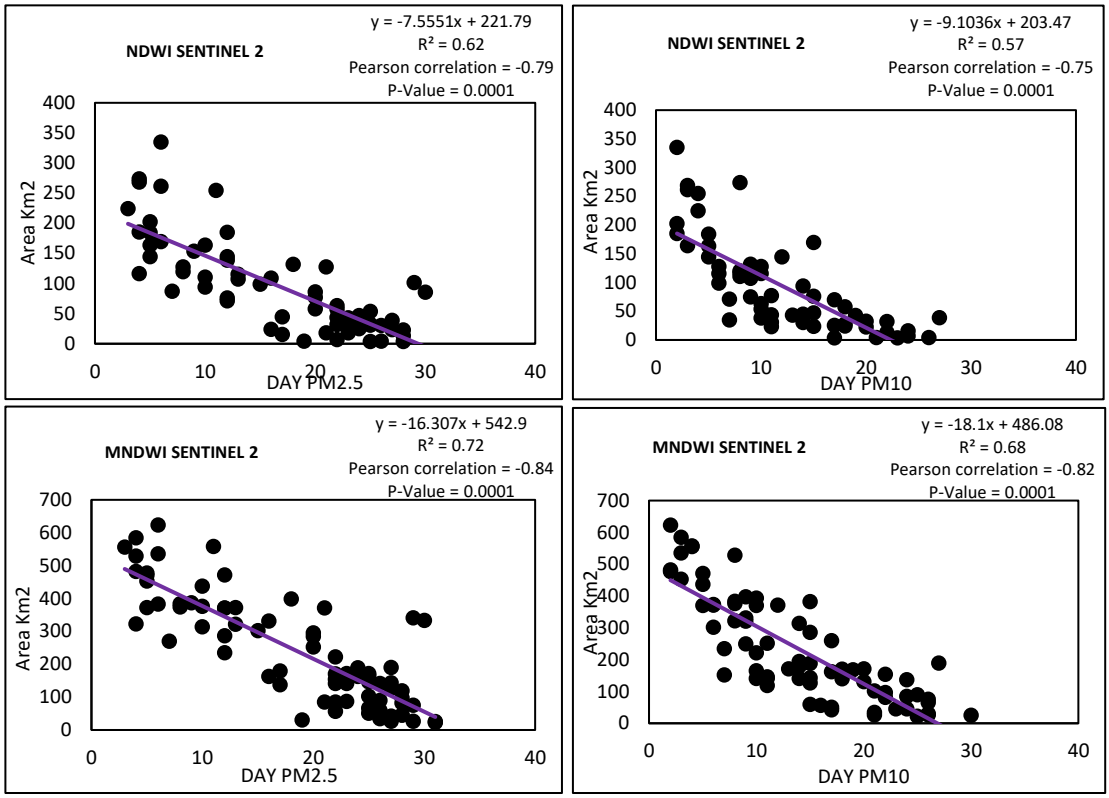
ارتباط بین تعداد روزهای آلوده با کاهش سطح آبی تالاب شادگان

در این پژوهش، علاوه بر رویدادهای ریزگردی با استفاده از داده‌های ماهانه واقعی، شاخص آلودگی گرد و غباری (AQI) در ایستگاه آلودگی‌سنجی شادگان بر اساس آلاینده‌های PM10

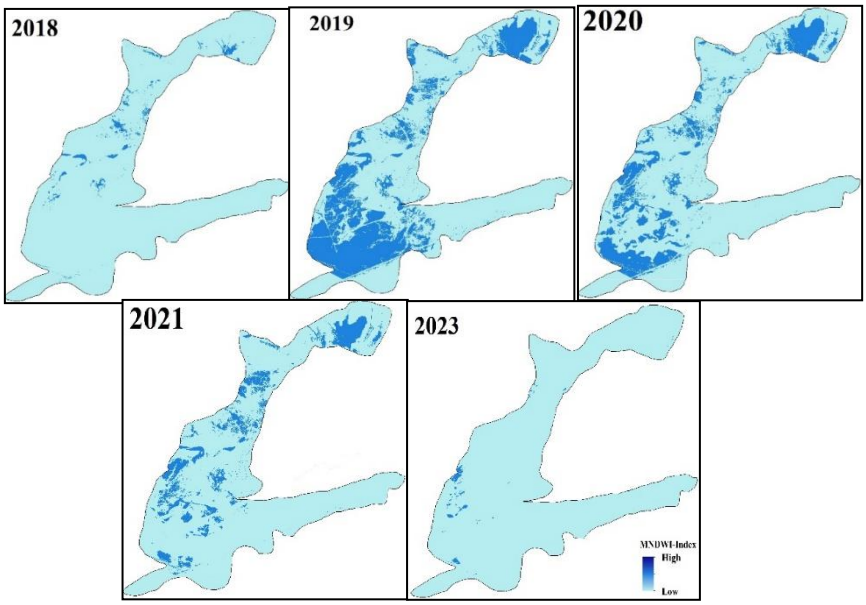
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

و PM2.5 طی دوره شش‌ساله (۲۰۱۷-۲۰۲۳) به‌صورت ماهانه تعیین گردید. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهند که شاخص NDWI همبستگی کمتری نسبت به شاخص MNDWI با داده‌های آلودگی گرد و غباری (PM2.5 و PM10) نشان می‌دهد. همبستگی داده‌های PM10 و PM2.5 با شاخص NDWI نشان می‌دهد که ارتباط این دو متغیر معنی دار است (P-Value = 0.0001) و ضرایب همبستگی این داده‌ها با تعداد روزهای آلوده در ماه از نظر PM2.5 به‌ترتیب با ۰/۷۷- و ۰/۷ هستند، که نشان‌دهنده همبستگی بالا بین آن‌ها است به‌طوری‌که باکاهش سطح آبی تالاب، شاخص PM2.5 افزایش می‌یابد. باتوجه به همبستگی شاخص NDWI با تعداد روزهای آلوده در ماه از نظر PM10 (ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین به‌ترتیب ۰/۷۱- و ۵۷)، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سطح آبی تالاب تاثیر بیشتری بر افزایش شاخص PM2.5 دارد و با شیب منفی‌تری با سطح آبی تالاب‌ها در ارتباط است. همچنین نتایج شاخص MNDWI با تعداد روزهای آلوده در ماه شاخص‌های PM2.5 و PM10 نشان می‌دهند که ارتباط بین شاخص MNDWI با PM2.5 بهتر از PM10 است، به‌طوری‌که ضریب تعیین (R^2) نشان می‌دهد که ۷۲٪ از تغییرات در تعداد روزهای آلوده به PM2.5 توسط سطح آبی تالاب توضیح داده می‌شود. به‌عبارت دیگر، معادله رگرسیون توانسته است حدود ۷۲٪ از واریانس تعداد روزهای آلوده را توجیه کند. ضریب همبستگی پیرسون (۰/۸۴-) نیز نشان می‌دهد که ارتباط بین تعداد روزهای آلوده به PM2.5 و شاخص MNDWI بسیار قوی است و این ارتباط به‌صورت معکوس است، یعنی با افزایش سطح آبی تالاب (افزایش شاخص MNDWI)، تعداد روزهای با آلودگی ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون کاهش می‌یابد که در نمودار شکل ۷ مشاهده می‌شود. بنا بر این، نتایج آنالیز نشان می‌دهند که تعداد روزهای آلوده به PM2.5 تأثیر قابل توجهی بر شاخص MNDWI تالاب شادگان دارد و با کاهش سطح آبی تالاب، آلودگی گرد و غباری PM2.5 نسبت به PM10 افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که افزایش سطح آبی تالاب شادگان ممکن است منجر به کاهش آلودگی هوای منطقه و تعداد روزهای آلوده به PM2.5 و PM10 شود، که این امر می‌تواند به اتخاذ تصمیمات مناسب در زمینه‌ی مدیریت محیط زیست و کاهش آلودگی هوا کمک کند. همچنین، تصاویر سالانه شاخص MNDWI تالاب شادگان نشان می‌دهند که در پنج سال اخیر به‌خصوص سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۱۸، سطح آبی تالاب به کمترین میزان خود رسیده است به‌طوری که شاخه غربی، جنوب‌غربی و بخش مرکزی تالاب کاملا خشک شده است و سایر مناطق تالاب نیز با مشکل خشکی همراه هستند که در شکل ۸ قابل مشاهده است. در شکل ۶ نقشه رویداد گرد و غباری مشاهده می‌شود. این می‌تواند به‌دلیل کاهش سطح آب رودخانه‌ها و منابع آبی که به تالاب واردمی‌شوند، و همچنین استفاده بیش از حد از منابع آب برای کشاورزی و آبیاری، یا ساخت سدها، و تنظیمات آبی باشد. به علاوه، تغییرات در محیط زیست اطراف تالاب، مانند تغییرات کاربری اراضی، تخریب زیستگاه‌های طبیعی و افزایش تعداد سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های انسانی، می‌توانند به تغییر در جریان آب و کاهش آب تالاب منجر شوند. تغییرات آب و هوایی مانند خشک‌سالی‌ها و الگوی بارش‌های نامناسب می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی بر حجم آب تالاب داشته باشند. این تغییرات آب و هوا می‌توانند به‌دلیل تغییر در الگوی بادها، تغییر در الگوی جریان‌های هوا و تغییر در الگوی بارش‌ها رخ دهند، که باعث کاهش سطح آبی تالاب‌ها شده، سبب افزایش گرد و غبار می‌شود (Ebrahimi-Khusfi *et al*.,2022). لذا، این نتایج نشان می‌دهند که عوامل موثر بر آلودگی گرد و غبار استان خوزستان علاوه‌بر منشا خارجی، منشا داخلی نیز دارند. خشکی تالاب شادگان و کاهش سطح آبی آن می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی کیفیت هوای منطقه را تحت تاثیر قرار دهند و منجربه افزایش غلظت ذرات معلق، به خصوص PM2.5 شوند. افزایش PM2.5 می‌تواند اثرات مخربی بر سلامت انسان داشته باشد و منجربه بیماری‌های تنفسی، قلبی و عروقی و حتی مرگ شود. احیای تالاب شادگان از طریق افزایش ورودی آب، کنترل رسوبات و کاشت مجدد پوشش‌گیاهی می‌تواند به بهبود کیفیت هوا و کاهش انتشار گرد و غبار کمک کند. همچنین، لازم است که تالاب‌ها به‌عنوان بخش‌های مهمی از اکوسیستم در نظر گرفته شوند، در سیاست‌های زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای مورد توجه قرار گیرند و برنامه‌های جامعی برای احیای تالاب شادگان با مشارکت جوامع محلی و ذینفعان مختلف باید تدوین و اجرا شوند. ارتقای آگاهی عمومی در مورد اهمیت تالاب‌ها و خطرات ناشی از خشکی آن‌ها می‌تواند به جلب حمایت برای اقدامات حفاظتی و احیایی کمک کند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]



شکل ۷- بررسی ارتباط بین روزهای آلوده گرد و غباری ماهانه (PM2.5 – PM10) و سطح آبی تالاب شادگان
Figure 7. Analysis of the relationship between monthly dusty polluted days (PM2.5 – PM10) and the Shadegan Wetland area



شکل ۸- تصاویر ماهواره‌ای شاخص MNDWI سنتینل ۲ تالاب شادگان
Figure 8. Sentinel-2 satellite MNDWI images of the Shadgan Wetland

پژوهش‌های متعددی در زمینه آلودگی گرد و غبار در استان خوزستان انجام شده‌اند. کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2021) از داده‌های ژرفای نوری پراکنش ذرات (AOD) از ماهواره MODIS برای ارزیابی تغییرات گرد و غبار در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ استفاده کردند. استان‌های غربی ایران، به‌ویژه خوزستان، به‌طور قابل‌توجهی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

تحت تأثیر طوفان‌های گرد و غبار ان قرار دارند. تحلیل نشان داد که در خوزستان، مقادیر سالانه AOD به‌طور متناوب افزایش یافتند و در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به حداکثر مقدار خود رسیدند و سپس کاهش یافتند. غلامزاده لیداری و همکاران (Gholamzade Ledari *et al.,* 2022) به بررسی جزئیات طوفان گرد و غبار جبهه‌ای که در تاریخ ۱۸ فوریه ۲۰۱۷ در استان خوزستان، ایران رخ داد، پرداختند. یافته‌های آن‌ها بر این تأکید دارند که منابع اصلی گرد و غبار در استان خوزستان خارجی هستند. اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در خوزستان بر تحلیل طوفان‌های گرد و غبار تمرکز داشته‌اند. بیشتر پژوهش‌ها آلودگی گرد و غبار در استان را به منابع خارج از مرزهای ایران نسبت داده‌اند و به بررسی نقش تالاب‌های شادگان پرداخته نشده است. بنا بر این، پژوهش حاضر به بررسی نقش خشک‌شدن تالاب شادگان در تشدید رویدادهای گرد و غبار و افزایش تعداد روزهای آلوده در ماه‌های مختلف می‌پردازد، که شکاف پژوهش‌های انجام شده را پوشش می‌دهد. همچنین، از دو ماهواره سنتینل ۲ و مودیس و شاخص‌های MNDWI و NDWI و از داده‌های واقعی PM2.5 و PM10 استفاده کرده است و به‌صورت ماهانه به بررسی ارتباط بین آن‌ها پرداخته است که در سایر پژوهش‌ها آورده نشده است. همچنین، پیشنهاد می‌شود که به‌منظور بررسی دقیق تغییرات سطح آبی تالاب شادگان، بررسی تغییرات الگوی بارش‌ها، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در اطراف تالاب، بررسی تأثیر تغییرات آب و هوا بر حجم آب تالاب، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و اقلیمی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور و مطالعات میدانی صورت گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

تالاب شادگان مانند یک تصفیه‌کننده طبیعی هوا عمل می‌کند و خشک‌شدن تالاب‌ها می‌تواند تأثیرات جدی بر روی محیط زیست و آبزیان داشته باشد. با کاهش سطح آب، گیاهان و جانوران متناسب با این محیط زندگی خود را از دست می‌دهند و تعادل زیستی تالاب به‌خطر می‌افتد. علاوه بر این، خشک‌شدن تالاب‌ها می‌تواند منجربه افزایش آلودگی ریزگرد شود. در این پژوهش، ارتباط تغییرات سطح آبی تالاب شادگان و شیوع گرد و غبار با استفاده از تحلیل تصاویر مودیس و سنتینل ۲ بررسی شد. همچنین، جهت ارتباط بین تعداد روزهای ناسالم از نظر شاخص PM2.5 و PM10 برای هر ماه با سطح آبی تالاب از ضریب همبستگی پیرسون (r) و برای ارتباط بین کاهش تالاب‌ها و افزایش پدیده گرد و غبار، از آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال (Kendall's Tau rank correlation test) استفاده شد. نتایج شاخص MNDWI و NDWI نشان دادند که کمترین سطح آبی تالاب در سال ۲۰۱۸ اتفاق افتاد، که کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع بود و در همین سال نیز تعداد وقایع گرد و غباری در اطراف تالاب شادگان به بیش از ۲۰ واقعه رسید. مطالعه حاضر نشان می‌دهد که ارتباط قوی بین کاهش سطح آبی تالاب و تشدید گرد و غبار وجود دارد به‌طوری که ضریب همبستگی پیرسون بین رویدادهای گرد و غبار و وسعت تالاب شادگان ۰/۹۰- است. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که شاخص NDWI نسبت به MNDWI همبستگی کمتری با آلودگی گرد و غباری (PM2.5 و PM10) دارد. همچنین، همبستگی بین تعداد روزهای ناسالم در هر ماه با شاخص NDWI نشان می‌دهد که این دو متغیر ارتباط معنی‌داری دارند و با کاهش سطح آبی تالاب، تعداد روزهای آلوده به PM2.5 افزایش می‌یابد. به علاوه، مشخص شد که شاخص MNDWI بیشترین ارتباط را با آلودگی PM2.5 دارد و حدود ۷۲٪ از تغییرات در تعداد روزهای آلوده به PM2.5 توسط تغییرات سطح آبی تالاب توجیه می‌شود. ارتباط بین تعداد روزهای آلوده به PM2.5 و شاخص MNDWI معکوس و معنادار است، به این معنی که با افزایش سطح آبی تالاب، تعداد روزهای آلوده به PM2.5 کاهش می‌یابد. بنا بر این، افزایش سطح آبی تالاب می‌تواند به کاهش آلودگی هوا و بهبود شرایط زیست‌محیطی منطقه منجر شود. بر این اساس، مدیریت صحیح تالاب، رعایت حقابه و شیوه‌های حفاظت از تالاب می‌تواند به گسترش مناطق تالاب و کاهش آلودگی گرد و غبار در استان کمک قابل توجهی کند. همچنین، کاشت گیاهان بومی و درختان مقاوم به خشکی می‌تواند به حفظ تالاب و کاهش گرد و غبار کمک کند. این تحقیق می‌تواند به تدابیر مناسب برای مدیریت منابع آبی و محیطی، کاهش آلودگی و حفظ منابع آبی کمک کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که عدم حفاظت و کاهش سطح تالاب‌ها به‌طور قطع منجر به تبدیل شدن تالاب‌ها به منابع گرد و غبار می‌شود.

References

Achakulwisut, L., Mickley, J., & Annenberg, S.C. (2018). Drought sensitivity of fine dust in the US Southwest: Implications for air quality and public health under future climate change. *Environmental Research Letters*, 13(5), 1-12.

Al-Dousari, A., Ramadan, A., Al-Qattan, A., Al-Ateeqi, S., Dashti, H., Ahmed, M., Al-Dousari, N., Al-Hashash, N., & Othman, A. (2020). Cost and effect of native vegetation change on aeolian sand, dust, microclimate and sustainable energy in Kuwait. *Journal of Taibah University for Science*. 14(1), 628–639. DOI:10.1080/16583655.2020.1761662.

Ballut-Dajud, G., Sandoval Herazo, L., Fernández-Lambert, G., Marín-Muñiz, J., López Méndez, M., & Betanzo-Torres, E. (2022). Factors Affecting Wetland Loss: A Review. *Land*, 11(3), 434-451. DOI: 10.3390/land11030434

Barani Pesyan, V., Porakrami, M., Fotouhi Mehrbani, B., & Porakrami, S. (2019). The Investigation of Lake Urmia Drying Trend and Its Important Consequence on the Surrounding Settlements. *Journal of Rural Research*, 8(3), 438-453. http://dx.doi.org/10.22059/JRUR.2017.63473

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

Basak, A., Arabi Moghadam, H., Hejazizadeh, Z., & Toolabinejad, M. (2018). The effects of water transfer projects of Karun tributaries in creating or intensifying dust centers in Khuzestan using Gis & Rs technologies. *Jornal of Geography*, 16(56), 20-35.

Bayat, R., Iranmanesh, F., & Kazemi, R. (2021). Investigation of dust storms effect on vegetation cover of Shadegan wetland. *Environment and Water Engineering*, 7(10), 1-13. DOI: 10.22034/jewe.2020.246746.1414

Caballero, P., Román, A., Tovar-Sánchez, A., & Navarro, G. (2022). Water quality monitoring with Sentinel-2 and Landsat-8 satellites during the 2021 volcanic eruption in La Palma (Canary Islands). *Science of The Total Environment*, 822: 1532-1549. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153433

Dargahian, F., Heydarnejad, S., & Nateghi, S. (2022). Investigating the effective factors on water area changes in Shadegan Wetland using remote sensing technique and factor analysis. *Environmental Sciences*, 20(1), 237-250. DOI: 10.52547/ENVS.2021.1017

Dargahian, F., Khosroshahi, M., & Lotfinasabasl, S. (2021). Potential dangers of drought in Shadegan wetland and Identify areas affected by dust from it. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazarts*, 8(2), 1-14. DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.1

Darvishi Boloorani, A., Papi, R., Soleimani, M., Karami, L., Amiri, F. & Neysani Samany, N. (2021). Water bodies changes in Tigris and Euphrates basin has impacted dust storms phenomena. *Invited Research*, 50; 55-70. DOI: 10.1016/j.aeolia.2021.100698

Dastigerdi, M., Nadi, M., Raeini-Sarjaz, M., & Kiapasha, Kh. (2024).Trend analysis of MODIS NDVI time series and its relationship to temperature and precipitation in Northeastern of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment,* 196, 346 (2024). https://doi.org/10.1007/s10661-024-12463-y

Ebrahimi-Khusfi, Z., Nafarzadegan, A., Ebrahimi-Khusfi, M., & Zandifar, S. (2022). Monitoring the water surface of wetlands in Iran and their relationship with air pollution in nearby cities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(448), 251-265. DOI: 10.1007/s10661-022-10144-2.

Fattahi, M., Assari, H., Sadeghi, H., & Asgharpoor, H. (2015). An Empirical Analysis of the Relationship between Air Pollution and Public Health Expenditures: A Dynamic Panel Data Approach. *Journal of Economic Modeling*, 31(9), 43-60.

Gautama, V. K., Gaurava, P.K., Murugana, P., & Annadurai, M. (2015). Assessment of surface water dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, supervised classification and K-T transformation. *International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering*, 4(2),739-746.

Gholamzade Ledari, D., Hamidi, M., & Shao, Y. (2022). Numerical simulation of the 18 February 2017 frontal dust storm over southwest of Iran using WRF-Chem, satellite imagery, and PM10 concentrations. *Journal of Arid Environments*, 35(14), 104-116. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104637

Hajivand paydari, S., Hajimohammadi, H., & Shojaeezadeh, K. (2022). Prediction and Identification of Dust Centers Using Numerical Models of the Khuzestan Plain Case Study. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*. 10(2), 80-89. DOI: 10.22034/GRD.2022.18111.1528.

Karami, S., Hossein Hamzeh, N., Sabzezari, H., & Alizadeh, M. (2021). Investigation of trend analysis of the number of dust stormy days and aerosol concentration derived from satellite in Khuzestan province by using non-parametric Mann-Kendall test. *Climate Research*, 44(20), 91-103.

Khosroshahi, M., Ebrahimi khusfi, Z., Gohardoust, Z., Lotfi nasab asl, S., Dargahian, F., & Zenouzi, L. (2020). *Desert Management*, 15(8), 139-160. 10.22034/JDMAL.2020.44935

Kim, M., Jung, Y., Jung, D., & Hur, C. (2014). Investigating the Congruence of Crowdsourced Information WithOfficial Government Data:The Case of Pediatric Clinics. *Journal of Medical Internet Research*, 16(2), 20-34. DOI: 10.2196/jmir.3078

Lorente, A., Borsdorff, T., Butz, A., Hasekamp, O., aan de Brugh, J., Schneider, A., Wu, L., Hase, F., Kivi, R., Wunch, D., Pollard, D., Shiomi, K., Deutscher, N., Velazco, V., Roehl, M., Wennberg, P., Warneke, T., & Landgraf, J. (2021). Methane retrieved from TROPOMI: improvement of the data product and validation of the first 2 years of measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(8), 665–684. https://doi.org/10.5194/amt-14-665-2021.

Nadi M, & Shiukhy Soqanloo S. (2020). Comparison of SPI and SPImod in Drought Monitoring of Several Climatic Samples of Iran. *Journal of Watershed Management Research*. *11*(21), 108-118. doi:10.52547/jwmr.11.21.108 [In Persian]

Nadi, M., & Yousefi Kebriya, A. (2024). A Method for Correction of Tropical Rainfall Measuring Mission Satellite Temperature Network in Mazandaran Province. *Iranica Journal of Energy and Environment (IJEE)*, 15(1), 100-110. https://doi.org/10.5829/ijee.2024.15.01.10 [In Persian]

NOAA Research. (2020). NOAA ESRL global monitoring laboratory: SURFRAD aerosol optical depth. https://gml.noaa.gov/grad/surfrad/aod/

Sadeghi nasirabadi, M., khosrojerdi, A., Mousavi Jahromi, M., & Sarai Tabrizi, M. (2023). Evaluation of Meteorological Drought Index and Climate Change Scenario on Flow Rate and Reservoir Volume of Karaj Dam. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(51), 320-339. 10.22125/IWE.2023.169896.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]

Sanikhani, H. (2022). Spatiotemporal Analysis of Precipitation and its Relationship with Teleconnection Patterns (Case study: Urmia Lake basin), *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(49), 347-368. 10.22125/IWE.2022.158532

Sharifi Kaliani, F., Babaei, S., & ZafarSohrabpour, Y. (2021). Study of the effects of dusts on the morphological and physiological traits of some crops. *Journal of Plant Production Research*, 28(3), 205-220. 10.22069/JOPP.2021.18782.2768

Venugopal, K., Halder, P., Susarla, V., & Palanivelu, S. (2022). Experimental Modal Analysis of Radiator Fan Module to Predict its Influence of Structural Characteristics on Vibration and Noise Contribution. *International Journal of Engineering*, 35(8), 1479-1487. DOI: 10.5829/IJE.2022.35.08B.03

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.

Yousefi Kebria, A., Nadi, M., & Jamei, M. (2021). Investigation of Statistical and Geostatistical Methods in Preparing The Rainfall Map of Mazandaran Province. *Journal of Watershed Management Research*. 12(23), 212-223. doi:10.52547/jwmr.12.23.212 [In Persian]

Yousefi Kebriya, A., & Nadi, M. (2024). Examining Air Pollution Continuity in Tehran Province using Markov Chain Model. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 15(2), 201-210. DOI: 10.5829/IJEE.2024.15.02.10

Yousefi Kebriya, A., Nadi, M., & Ghanbari Parmehr, E. (2025). Estimation of ozone and nitrogen dioxide pollutants in Mazandaran Province using sentinel 5 satellite images. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 16(1), 56-66.

Yousefi Kebriya, A., Nadi, M., &Jamei, M. (2022). Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province. *Water and Soil Conservation*, 28(3), 49-70. doi: 10.22069/JWSC.2022.19286.3477

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1286]