



The challenges of water resource management and ecosystem preservation in the Urmia Lake basin

Houshang Sarvar¹, Manijeh Lalepour², Pooran Karbasi³

1. Assistant professor in Geography and urban planning, University of Maragheh, Iran. (Corresponding Author).

E: h.sarvar1351@gmail.com

2. Assistant professor in Geography and urban planning, University of Maragheh, Iran.

E: m.lalepour@gmail.com

3. PhD in in Geography and urban planning, University of Maragheh, Iran.

ARTICLE INFO

Keywords

Water resources
ecosystem
land use
Urmia Lake basin

ABSTRACT

Lake Urmia, the largest inland lake in Iran, has faced a drought crisis in recent years due to a significant decrease in the lake's water level as a result of climate change, human activities, and the construction of numerous dams in its catchment area. This study uses satellite data to identify the causes of the drying up of Lake Urmia and analyzes the human and natural factors affecting the decrease in the lake's water level. Changes in the ecosystem and area of the lake have been investigated using Sentinel images (2017 and 2023) and the NDVI method. Based on data analysis, it has been determined that construction land, which was about 133,796.09 hectares in 2017, has increased to 188,779.40 hectares at the end of the period, garden land has increased from 5696.88 hectares in 2017 to 6744.38 hectares in 2023, and cropland has increased from 979,333.07 hectares in 2017 to 1380,279.62 hectares in 2023. Also, the amount of water has decreased from 134,726.55 hectares in 2017 to 49,401.57 hectares in 2023. Also, the NDVI maps of the Urmia Lake basin in the period from 2017 to 2023 indicate that the numerical value of this index in 2017 is between 0.810 and 0.018 and for 2023 it is between 0.834 and -0.112, which indicates that due to the increase in garden and agricultural lands, a large volume of water in the Urmia Basin has dried up. On the other hand, due to the exploitation of 39 dams around the Urmia Lake basin, the water entering the lake has decreased sharply. The results show that the drying up and the decline in the health of the Urmia Lake basin ecosystem are due to the following three main factors: unsustainable development of the agricultural sector, the construction of numerous dams around the lake to exploit the water of the basin, and the intensification of climate change along with the occurrence of drought, which are among other factors..

Article History:

Received:

27 FE 2025

Received in revised form:

01 AU 2025

Accepted:

20 AU 2025

Available online:

23 AU 2025

Citation: Sarvar, H., Lalepour, M. & Karbasi, P. (2025). Measuring the impact of individual, interpersonal, and structural factors on the use of urban parks. *Journal of Geography*, 23 (85), 41-55.

 <http://doi.org/10.22034/jiga.2025.2054560.1384>



© The Author (s).

Publisher: Iranian Geographical Association This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Extended Abstract

Introduction

Lake Urmia is one of the largest saltwater lakes in the world, located in the northwest of Iran, and is recognized as a sensitive and unique ecosystem. Unfortunately, this lake has faced serious environmental crises in recent decades. One of the main challenges is the significant decrease in the water level of the lake due to climate change, human activities, and the construction of numerous dams in its watershed. According to recent reports, the water level of Lake Urmia has significantly decreased since the mid-1990s, leading to very adverse effects on biodiversity and marine life. This crisis, in addition to threatening the environment, has also had profound economic and social impacts on local communities. In this context, the main objective of this research is to examine the role of NDVI and analyze its relationship with the health of the Lake Urmia basin ecosystem. By utilizing satellite data, we aim to record changes in NDVI over time and assess its effects on ecosystem health. With the help of this data, it will be possible to identify areas under pressure and formulate policies for the proper management of water resources and the protection of related ecosystems.

Methodology

The importance of assessing ecosystem health, especially in areas with specific environmental conditions, has become one of the key topics in environmental sciences today. In this study, Sentinel satellite images were obtained from the Copernicus Open Access Hub platform. The selected dates included various time periods from 2017 to 2023 to examine changes in land use and vegetation cover over time. Sentinel images were downloaded in different bands, including red (B4), green (B3), blue (B2), and near-infrared (NIR; B8). These bands were essential for calculating NDVI and analysing land use. To ensure high data quality, pre-processing steps included atmospheric corrections and cloud removal. QGIS software and the ENVI remote sensing tool were used for atmospheric corrections and cloud removal. Additionally, geometric corrections were performed in later stages to align the images. One of the effective tools in this regard is the use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI, as a remote sensing index, has significant capabilities in assessing and monitoring vegetation conditions.

Results and Discussion

Through necessary investigations and analyses of land use change maps, it was found that the area of construction land, which was approximately 133,796 hectares in 2017, increased to 188,779 hectares by the end of the period. Additionally, the area of orchards rose from 5,696 hectares in 2017 to 6,744 hectares in 2023. The agricultural land also increased from 979,333 hectares in 2017 to 1,380,279 hectares in 2023. Furthermore, the area of water bodies decreased from 134,726 hectares in 2017 to 49,401 hectares in 2023. The increase in agricultural land in the Urmia Lake basin is one of the most significant changes that has occurred in recent decades and has had multiple impacts on the region's ecosystem. Various factors such as population growth, rising demand for food products, and the desire for diversity in crop cultivation have led agriculture to become one of the main activities of the local population. This change has directly affected water resources, soil quality, and biodiversity in the basin.

Conclusion

The conducted studies indicate that the increase in vegetation cover and the construction of dams in the watershed of this lake are among the effective factors in this trend. The first point to consider is the direct relationship between vegetation cover and water absorption. The increase in vegetation cover, especially in the watershed of the lake, helps in moisture retention in the soil and reduces evaporation. Although this issue can help conserve water resources in the short term, in the long run, the increased vegetation will require more water, and local factors may seek to allocate more water for this purpose. Secondly, the construction of dams for managing water resources and storing water during critical times also affects the natural flow of water to the lake. These dams can be significant in optimizing water consumption, but at the same time, they create natural barriers in the river's path and disrupt the water flow to the lake. As a result, with the reduction of water entering the lake, the water level gradually decreases.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

References

- 1) Achu AL, T. & Reghunath R. (2020). Multi-criteria decision analysis for delineation of groundwater potential zones in a tropical river basin using remote sensing GIS and analytical hierarchy process (AHP). *Groundw Sustainable Dev* 10:100365.
- 2) Bakhshianlamouki, E., Masia, S., Karimi, P., Zaag, P. & Sušnik, J. (2020). A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran, *Science of The Total Environment*, 708, 134874.
- 3) Chaudhari, S., Felfelani, F., Shin, S. & Pokhrel, Y. (2018). Climate and anthropogenic contributions to the desiccation of the second largest saline lake in the twentieth century, *Journal of Hydrology*, 560, 342-353.
- 4) Chavoshi, A. & Danesh-Yazdi, M. (2022). Quantifying the uncertainty of lake-groundwater interaction using the forward uncertainty propagation framework: The case of Lake Urmia, *Journal of Hydrology*, 610, 127878.
- 5) Danesh-Yazdi, M. & Ataie-Ashtiani, B. (2019). Lake Urmia crisis and restoration plan: Planning without appropriate data and model is gambling, *Journal of Hydrology*, 576, 639-651.
- 6) Doratotaj, k., Zare, A. & Pournouri, M. (2022). Comparative Study of Environmental Challenges of Urmia Lake and Aral Lake in order to Protect and Rehabilitate Urmia Lake, *Environmental Energy and Economic Research*, 6(4): S046
<https://doi.org/10.22097/eeer.2022.342347.1250>
- 7) Hadipour, M., Pourebrahim, S., Heidari, H., Nikooy, F., Najah Ahmed, A., Jit Ern., C. (2024). Evaluation of water resource balance in the Urmia Lake Basin: Integrating carrying capacity and water footprint model for sustainable management, *Ecological Indicators*, 166, 112464.
- 8) Hülsmann, S., Sušnik, J., Rinke, K., Langan, S., Dianneke, W., Mooij, W. (2019). Integrated modelling and management of water resources: the ecosystem perspective on the nexus approach, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 40, 14-20.
- 9) Ito, Y., Momii, K. & Nakagawa, K. (2009). Modeling the water budget in a deep caldera lake and its hydrologic assessment: Lake Ikeda, Japan, *Agricultural Water Management*, 96, 35-42.
- 10) Klein, I., Dietz, A., Gessner, U., Galayeva, A., Myrzakhmetov, A. & Kuenze, C. (2014). Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 335-349.
- 11) Lu, D., Luo, L., Pokhrel, Y., Deb, K., Huang, J. & Ran, Y., (2018). Detecting irrigation extent, frequency, and timing in a heterogeneous arid agricultural region using MODIS time series, Landsat imagery, and ancillary data, *Remote Sensing of Environment*, 204, 197-211.
- 12) Memarian Sorkhabi, O. & Kurdpour, I. (2024). Assessing the impact of dams and unsustainable agricultural development on Lake Urmia drying up using multi satellite sensor and deep learning, *Water Resources Management*, 10(195), 195-209.
- 13) Memarian Sorkhabi, O., Asgari, J. & Amiri-Simkooei, A. (2021). Wavelet decomposition and deep learning of altimetry waveform retracking for Lake Urmia water level survey. *Mar Georesour Geotech-nol* 1–1.
- 14) Mirnezami, J., Molle, F. & Talebi Eskandari, S. (2024). Chronicle of a disaster foretold: The politics of restoring Lake Urmia (Iran), *World Development*, 182, , 106713.
- 15) Nabi Bidhendi, G., Pejman, A. & Bidhendi, M. (2010). Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia, *Journal of Great Lakes Research*, 36, 419-424.

- 16) Nhu, V.H. Mohammadi, A., Shahabi, H., Shirzadi, A., Al-Ansari, N., Ahmad, B.B. & Nguyen, H. (2020). Monitoring and assessment of water level fluctuations of the Lake Urmia and its environmental consequences using multitemporal landsat 7 etm + images. *Int J Envi- ron Res Public Health* 17(12):4210.
- 17) Schulz, S., Darehshouri, S., Hassanzadeh, E., Tajrishy, M. & Schüth, C. (2020). Climate change or irrigated agriculture – what drives the water level decline of Lake Urmia? *Scientific Reports*, 10(1), 236.
- 18) Sima, S. & Tajrishy, M. (2013). Using satellite data to extract volume–area–elevation relationships for Urmia Lake, Iran, *Journal of Great Lakes Research*, 39, 90-99.
- 19) Sima, S., Hoseinpour, O. & Torabi Haghighi, A. (2024). Quantifying the massive depletion of heat storage capacity of Lake Urmia, *Journal of Hydrology* July. 638, 131582.
- 20) Swiąder, M., Lin, D., Szewrański, S., Kazak, J.K., Iha, K., van Hoof, J., Belčáková, I. & Altiok, S. (2020). The application of ecological footprint and biocapacity for environmental carrying capacity assessment: A new approach for European cities. *Environ. Sci. Policy* 105, 56–74.
- 21) teimouri, R.; Karbasi, P. (2024). Analyzing the Contribution of Urban Land Uses to the Formation of Urban Heat Islands in Urmia City. *Urban Sci*, 8, 208.
- 22) Tourian, M.J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S.H. & Sneeuw, N. (2015). A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran, *Remote Sensing of Environment*, 156, 349-360.
- 23) Wang, Y., Wang, H., Zhang, J., Liu, G., Fang, Z. & Wang, D., (2023). Exploring interactions in water-related ecosystem services nexus in Loess Plateau. *J. Environ. Manage.* 336, 117550.
- 24) Mirdarsoltany, A.; Dariane, A.B.; Ghasemi, M.; Farhoodi, S.; Asadi, R.; Moghaddam, A. (2024). Linking Land Use Change and Hydrological Responses: The Role of Agriculture in the Decline of Urmia Lake. *Hydrology*, 11, 209.



چالش های مدیریت منابع آبی و حفظ اکوسیستم در حوضه دریاچه ارومیه

هوشنگ سرور^۱، منیژه لاله پور^۲، پوران کرباسی^۳

۱. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه مراغه، ایران. (نویسنده مسئول). E: h.sarvar1351@gmail.com

۲. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه مراغه، ایران.

۳. دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، مدرس دانشگاه، دانشگاه مراغه، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:

منابع آبی
اکوسیستم
کاربری اراضی
حوضه دریاچه ارومیه

دریاچه ارومیه، بزرگترین دریاچه داخلی ایران، در سال های اخیر به علت کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه در نتیجه تغییرات اقلیمی، فعالیت های انسانی و احداث سدهای متعدد در حوضه آبریز آن با بحران خشکی روبرو شده است. این تحقیق به منظور شناسایی علل خشک شدن دریاچه ارومیه، از داده های ماهواره ای استفاده کرده و به تحلیل عوامل انسانی و طبیعی تأثیرگذار بر کاهش سطح آب دریاچه می پردازد. تغییرات اکوسیستم و مساحت دریاچه با بهره گیری از تصاویر سنتینل (۲۰۱۷ و ۲۰۲۳) و روش NDVI مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تجزیه و تحلیل داده ها مشخص شده است که اراضی ساخت و ساز که در سال ۲۰۱۷ حدود ۱۳۳۷۹۶/۰۹ هکتار بوده، در پایان دوره به ۱۸۸۷۷۹/۴۰ هکتار، اراضی باغی و زراعی از ۹۸۵۰۲۹/۹۵ هکتار در سال ۲۰۱۷ به ۱۳۸۷۰۲۴ هکتار در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. همچنین میزان آب از ۱۳۴۷۲۶/۵۵ هکتار در سال ۲۰۱۷ به ۴۹۴۰۱/۵۷ هکتار در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. همچنین نقشه های NDVI حوضه دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ بیانگر این است، مقدار عددی این شاخص در سال ۲۰۱۷ بین ۰/۸۱۰ تا ۰/۱۸ و برای سال ۲۰۲۳ مقدار عددی بین ۰/۸۳۴ تا ۰/۱۱۲- را نشان می دهد که به علت افزایش اراضی باغی و زراعی، حجم وسیعی از آب حوضه ارومیه خشک شده است. از سوی دیگر در اطراف حوضه دریاچه ارومیه به دلیل بهره برداری از ۳۹ سد، آب ورودی دریاچه به شدت کاهش یافته است. نتایج نشان می دهد خشک شدن و کاهش سلامت اکوسیستم حوضه دریاچه ارومیه ناشی از سه عامل اصلی زیر است: توسعه ناپایدار بخش کشاورزی، ساخت سدهای متعدد در اطراف دریاچه برای بهره برداری از آب حوضه و تشدید تغییرات اقلیمی به همراه وقوع خشکسالی، که از جمله عوامل دیگر به شمار می روند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۲/۰۹

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۴/۲۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۵/۲۹

تاریخ چاپ:

۱۴۰۴/۰۶/۰۱

استناد: سرور، هوشنگ؛ لاله پور، منیژه و کرباسی، پوران. (۱۴۰۴). چالش های مدیریت منابع آبی و حفظ اکوسیستم در حوضه دریاچه ارومیه، نشریه جغرافیا، (۸۵)، ۲۳، ۴۱-۵۵.

<http://doi.org/10.22034/jiga.2025.2054560.1384>



مقدمه و پیشینه

دریاچه ارومیه یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های آب شور در جهان است که در شمال غربی ایران واقع شده و به‌عنوان یک اکوسیستم حساس و منحصر به فرد شناخته می‌شود. متأسفانه، این دریاچه در دهه‌های اخیر با بحران‌های جدی زیست‌محیطی مواجه شده است. یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها، کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه در نتیجه تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و احداث سد‌های متعدد در حوضه آبریز آن می‌باشد. طبق گزارشات اخیر، سطح آب دریاچه ارومیه از اواسط دهه ۱۹۹۰ به شدت کاهش یافته و این موضوع نتایج بسیار نامطلوبی در زمینه تنوع زیستی و حیات دریایی داشته است (Memarian Sorkhabi et al., 2021, Nhu et al., 2020). این بحران علاوه بر تهدید محیط زیست، تأثیرات اقتصادی و اجتماعی عمیقی بر جوامع محلی نیز داشته است (Memarian Sorkhabi et al., 2024). همچنین باتوجه به تغییرات شدید اقلیمی، خشک‌سالی‌های مکرر، تغییر در الگوهای بارش و مصرف بی‌رویه آب، این بحران به یک تهدید جدی تبدیل شده است.

با افزایش شمار سد‌ها در حوضه دریاچه ارومیه، حجم بالایی از آب‌های ورودی به دریاچه مسدود شده و این موضوع خود به کاهش آب دریاچه و چالش‌های زیست‌محیطی دامن زده است (Achu AL et al., 2020). سدهایی که به‌منظور تأمین آب کشاورزی و صنعتی ساخته شده‌اند، در کنار تغییرات اقلیمی، به کم‌آبی و افزایش شوری آب دریاچه منجر شده‌اند. این شرایط نه تنها بر کیفیت آب تأثیر منفی گذاشته بلکه بر روی تنوع زیستی و سلامت اکوسیستم‌های وابسته به دریاچه نیز اثرات وخیمی داشته است. وجود گیاهان متنوع در حوضه ارومیه به‌عنوان یک عاملی برای تغییرات اکوسیستم عمل می‌کند و کاهش سطح آب بر روی پوشش گیاهی و تنوع آن تأثیر مستقیم می‌گذارد (Doratotaj et al., 2020; Hadipour et al., 2024). در این شرایط، پایش مداوم و دقیق وضعیت سلامت اکوسیستم ضرورت دارد تا بتوان به‌موقع اقداماتی برای حفظ و احیای آن انجام داد. به ویژه در حوضه دریاچه ارومیه، نیاز به پایش کیفیت و مقدار پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی اکوسیستم، بیش از پیش حس می‌شود.

شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) یکی از ابزارهای قوی برای پایش پوشش گیاهی است. NDVI با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، به ما این امکان را می‌دهد که تغییرات در پوشش گیاهی را به‌طور مؤثری بررسی کنیم. این شاخص به‌خصوص در تحقیقات زیست‌محیطی و کشاورزی به کار می‌رود و توانسته است به‌عنوان یک متغیر قوی در پایش‌بینی تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر روی اکوسیستم‌ها به کار رود (Wang, et al., 2023, Teimouri, 2024 et al., 2019).

پژوهش‌های انجام‌شده در سال‌های اخیر بر اهمیت NDVI در تحلیل تغییرات پوشش گیاهی تأکید کرده‌اند و یافته‌ها نشان داده‌اند که کاهش NDVI می‌تواند به‌عنوان یک شاخص پیش‌نگر برای شناسایی مناطق در خطر خشکسالی و نابودی اکوسیستم‌ها عمل کند (Chavoshi et al., 2022; Ito et al., 2009). به‌ویژه در حوضه دریاچه ارومیه، تحلیل‌های NDVI می‌تواند به ما کمک کند تا اثرات تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی را بر سلامت اکوسیستم‌های منطقه شناسایی کنیم (Sima et al., 2024).

تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که بین NDVI و کمیت و کیفیت آب دریاچه ارومیه همبستگی مثبتی وجود دارد. به‌عبارتی، تغییرات در NDVI می‌توانند تحت تأثیر تغییرات کمیت و کیفیت آب و به‌ویژه کاهش آب دریاچه و افزایش شوری قرار بگیرند (Swiader, et al., 2020). این موضوع نشان‌دهنده آن است که پایش NDVI می‌تواند ابزاری کارآمد برای ارزیابی سلامت اکوسیستم‌های آبی و خشکی باشد.

سرانه مصرف آب بالا در کشاورزی و شغل‌های مرتبط با آن در حوضه دریاچه ارومیه باعث شده که این منطقه به شدت تحت فشار قرار گیرد. تخلیه مداوم منابع آبی و بی‌توجهی به اکوسیستم‌های طبیعی، فشار بیشتری بر این اکوسیستم استثنائی وارد می‌کند (Sima et al., 2013: 93). یکی از مشکلات عمده، عدم تعادل در چرخه آب در اکوسیستم است که به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد. تغییرات در کاربری زمین و احداث زیرساخت‌های مختلف منجر به کاهش مناطق مستعد رشد گیاهی شده و تنوع زیستی حوضه را تهدید می‌کنند (Danesh-Yazdi, et al., 2019). به

همین دلیل، نیاز به پایش مداوم و جامع این اکوسیستم بیش از پیش احساس می شود. استفاده از NDVI به عنوان یک شاخص سنجش از دور، می تواند ابزاری مؤثر برای شناسایی و تحلیل روندها و تغییرات در این اکوسیستم باشد.

در این راستا، هدف اصلی این تحقیق بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش NDVI و تحلیل رابطه آن با سلامت اکوسیستم حوضه دریاچه ارومیه است. با استفاده از داده های ماهواره ای، سعی داریم تا تغییرات NDVI را در طول زمان ثبت کرده و تأثیرات آن را بر روی سلامت اکوسیستم بررسی کنیم. به کمک این داده ها، امکان شناسایی مناطق تحت فشار و سیاست گذاری برای مدیریت صحیح منابع آب و حفاظت از اکوسیستم های مرتبط فراهم خواهد شد. افزون بر این، در حال حاضر، سیاست گذاران و مدیران منابع آب نیاز به اطلاعات دقیق و به روز دارند تا بتوانند تصمیمات مقتضی برای حفظ این اکوسیستم اتخاذ کنند. به همین خاطر، یک مطالعه جامع می تواند نتایج قابل توجهی به دست دهد که به طرح ریزی آینده در زمینه مدیریت منابع آبی و احیای اکوسیستم های اطراف دریاچه ارومیه کمک نماید.

مبانی نظری

مدیریت و به کارگیری منابع آب در الگوهای مختلف کشاورزی و صنعتی، یکی از چالش های اصلی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می آید. حوضه دریاچه ارومیه نیز به عنوان یکی از مناطق حساس در این راستا با مسائلی چون کاهش آب و تغییرات اکوسیستمی ناشی از فعالیت های انسانی مواجه است. در سال های اخیر، احداث سدهای متعدد در اطراف دریاچه تأثیرات قابل توجهی بر روی وضعیت آبی و زیست محیطی این منطقه داشته است. احداث سدها به ویژه به منظور تأمین آب برای کشاورزی و توسعه مناطق مسکونی (Hülsmann et al., 2019: 16) آغاز شده و این مسأله به خودی خود موجب تغییر در الگوهای طبیعی جریان های آب و کاهش آب ورودی به دریاچه ارومیه گردیده است. این سدها در بسیاری از موارد نتوانسته اند به اهداف خود در تأمین آب پایدار و بهبود شرایط اقتصادی منطقه دست یابند و در عوض به کاهش سطح آب دریاچه منجر شده اند. (Chaudhari et al., 2018: 199).

نتایج بررسی های متعدد نشان می دهد که به طور خاص، تبخیر بالای آب دریاچه و فقدان بارش کافی به همراه مصرف بیش از حد آب، عامل اصلی خشک شدن دریاچه ارومیه است. بر اساس تحقیقی که توسط دورتاجی و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام شد، کاهش سطح آب دریاچه در طی دهه های گذشته به طور مستقیم به فعالیت های سدسازی و عدم مدیریت صحیح منابع آب مرتبط است. (Doratotaj et al., 2022: 110) مهم در کاهش آب در حوضه مطرح است. با به وجود آمدن باغات، استفاده بیش از حد از منابع آبی برای آبیاری باغات، فشار بیشتری به منابع آبی منطقه وارد کرده است (Tourian et al, 2015: 350). در بسیاری از موارد، کشاورزان به دلیل فقدان یک سیستم مدیریت جامع منابع آب، به روش های غیر پایدار و مصرف بالای آب روی آورده اند که در نتیجه آن، سطح آب زیرزمینی نیز به شدت کاهش یافته است (Nabi et al., 2010: 421).

از طرف دیگر، فقدان یک سیستم مدیریت منابع آبی مؤثر در این منطقه عاملی است که باعث تشدید بحران آب دریاچه ارومیه گردیده است. به دلیل نبود سیاست های مدون و برنامه های مؤثر در مدیریت منابع آبی، کشاورزی به شکل غیرپایداری در این منطقه ادامه دارد و بدون در نظر گرفتن ظرفیت های آب زیرزمینی و سطحی، اقدام به کشت محصولات آبی می شود (Bakhshianlamouk et al., 2020). برای مقابله با مشکلات ناشی از احداث سدها و توسعه باغات در حوضه دریاچه ارومیه، نیاز به راهکارهای مؤقتی امدادی و بلندمدت احساس می شود. یکی از راهکارها می تواند طراحی و اجرای یک سیستم مدیریت منابع آب یکپارچه باشد که به مناطق

مختلف کشاورزی، باغات و آبریز پروری اولویت دهد (Klein et al, 2014: 340). بنابراین می‌توان با شناسایی و اولویت دادن به بخش‌هایی از حوضه که نیازمند آب بیشتری هستند، منابع آب موجود را به طرز مؤثری توزیع کرد. همچنین به منظور مدیریت منابع آب بهینه شامل آموزش و آگاه‌سازی کشاورزان درباره شیوه‌های آبیاری بهینه و استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری است (Mirnezami et al., 2024: 210). همچنین می‌توان با ایجاد همکاری میان کشاورزان، نهادهای دولتی و پژوهشگاه‌های مرتبط، به تبادل اطلاعات و تجارب در زمینه مدیریت پایدار منابع آب پرداخت. نهایتاً، به منظور دستیابی به یک نظام مدیریت منابع آب پایدار در حوضه دریاچه ارومیه، نیاز به توسعه برنامه‌ریزی جامع و همکاری‌های بین‌بخشی احساس می‌شود. تنها با این رویکرد می‌توان به بهبود شرایط آبی و حفظ اکوسیستم دریاچه ارومیه امیدوار بود.

روش تحقیق

ارزیابی پویایی اکوسیستم‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که با چالش‌هایی مانند کاهش بارش، افزایش تبخیر، بهره‌برداری ناپایدار از منابع آب و توسعه انسانی مواجه هستند، از اهمیت بالایی در مدیریت پایدار منابع طبیعی برخوردار است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های داخلی ایران، طی دهه‌های اخیر با افت شدید تراز آبی، تغییرات پوشش گیاهی و گسترش اراضی کشاورزی مواجه بوده است. در این پژوهش، به‌منظور پایش تغییرات کاربری اراضی و وضعیت پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳، از داده‌های سنجنش‌ازدور استفاده شد.

• داده‌های ماهواره‌ای و انتخاب تصاویر

برای دستیابی به داده‌های مورد نیاز، تصاویر Sentinel-2 از پلتفرم Copernicus Open Access Hub دریافت گردید. باندهای طیفی مورد استفاده شامل قرمز (B4: 665 nm)، سبز (B3: 560 nm)، آبی (B2: 490 nm) و مادون قرمز نزدیک (B8: 842 nm) بودند که بیشترین کارایی را در تحلیل پوشش گیاهی و تفکیک کاربری اراضی دارند.

• مراحل پیش‌پردازش تصاویر

به‌منظور افزایش کیفیت داده‌ها و کاهش خطاها، مجموعه‌ای از پردازش‌های اولیه صورت گرفت:

تصحیح رادیومتریکی و اتمسفری با استفاده از الگوریتم Sen2Cor؛

تصحیح هندسی و هم‌ترازی تصاویر در سیستم مختصات UTM Zone 38N؛

برش مکانی (Clipping) تصاویر مطابق مرز حوضه آبریز؛

محاسبات شاخص‌ها در محیط ENVI و QGIS انجام گرفت و نتایج به‌صورت سری زمانی مورد تحلیل قرار گرفتند.

• طبقه‌بندی کاربری اراضی

نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده (Supervised Classification) تولید شدند. برای افزایش دقت، الگوریتم Random Forest (RF) انتخاب شد. کلاس‌های نهایی شامل اراضی باغی و زراعی، اراضی ساخت و ساز، اراضی بایر، آب بودند.

• تحلیل تغییرات زمانی

پس از تولید نقشه‌های سالانه، روند تغییرات پوشش گیاهی و منابع آب طی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ بررسی گردید. برای این منظور:

از تحلیل سری زمانی NDVI برای پایش وضعیت گیاهان استفاده شد. NDVI به عنوان یک شاخص سنجش از دور، توانایی قابل توجهی در ارزیابی و پایش وضعیت گیاهی دارد.

شاخص NDVI به میزان و وضعیت پوشش گیاهی حساسیت دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید. مقادیر این شاخص بین ۱ و -۱ قرار دارد.

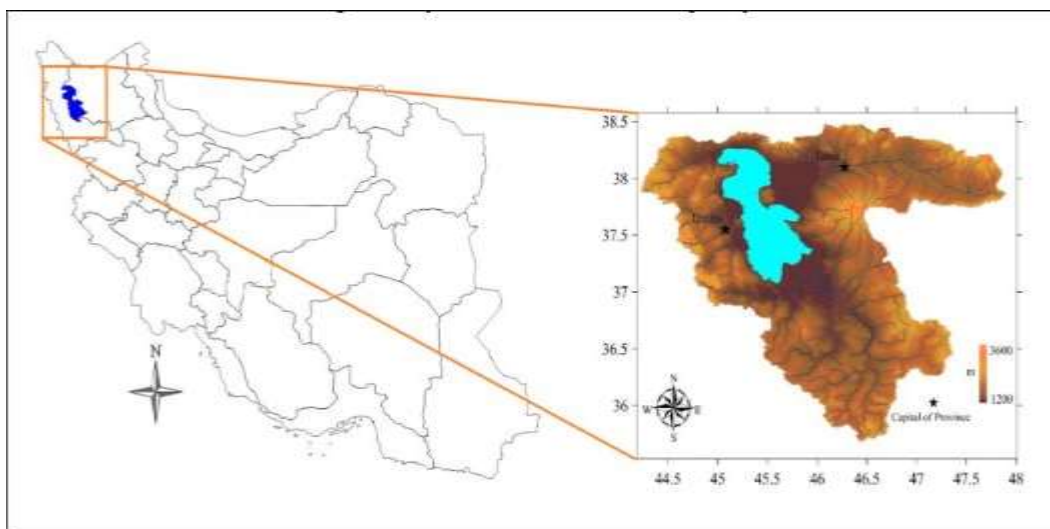
$$\text{NDVI} = \frac{p4 - p3}{p4 + p3} \quad \text{رابطه :}$$

در رابطه فوق، p3 قابلیت انتشار باند قرمز و p4 قابلیت انتشار باندمادون قرمز نزدیک است. مقدار NDVI با تغییرات در پوشش گیاهی متناسب است، به گونه‌ای که NDVI بالاتر نشان‌دهنده پوشش گیاهی بیشتر و NDVI پایین‌تر نشان‌دهنده پوشش گیاهی کمتر یا خشکی است (Tucker, 2016: 563). تصاویر پس از پردازش در محیط نرم‌افزاری Google Earth Engine ت تحلیل و NDVI به صورت پیوسته محاسبه و تولید شد. به منظور تفکیک کاربری‌های مختلف اراضی، از تکنیک‌های یادگیری ماشینی استفاده گردید. مدل Support Vector Machine (SVM) به عنوان الگوریتم‌های اصلی انتخاب شدند. نقاط تعلیمی برای این مدل‌ها با استفاده از داده‌های NDVI به دست آمده و اطلاعات میدانی جمع‌آوری شده از نقاط مطالعاتی صورت گرفت. نتایج به دست آمده از مراحل پردازش به صورت نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه NDVI در نرم‌افزار GIS ترسیم و ارائه گردید.

محدوده مورد مطالعه

دریاچه ارومیه با وسعت تقریبی ۵۰۵۰ کیلومتر مربع، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه شور دنیا به حساب می‌آید. حوضه آبریز آن شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و زنجان می‌باشد. طول دریاچه ارومیه در حدود ۱۴۰ کیلومتر است و عرض متوسط آن حدود ۱۵ کیلومتر می‌باشد. مساحت حوضه آبریز دریاچه ارومیه حدود ۳۷۱۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی قرار دارد. سدهای ساخته شده در اطراف دریاچه ارومیه در حدود ۳۹ سد بزرگ و کوچک بزرگ و کوچک بهره‌برداری شده و ۱۵ سد در حال ساخت می‌باشد که از جمله:

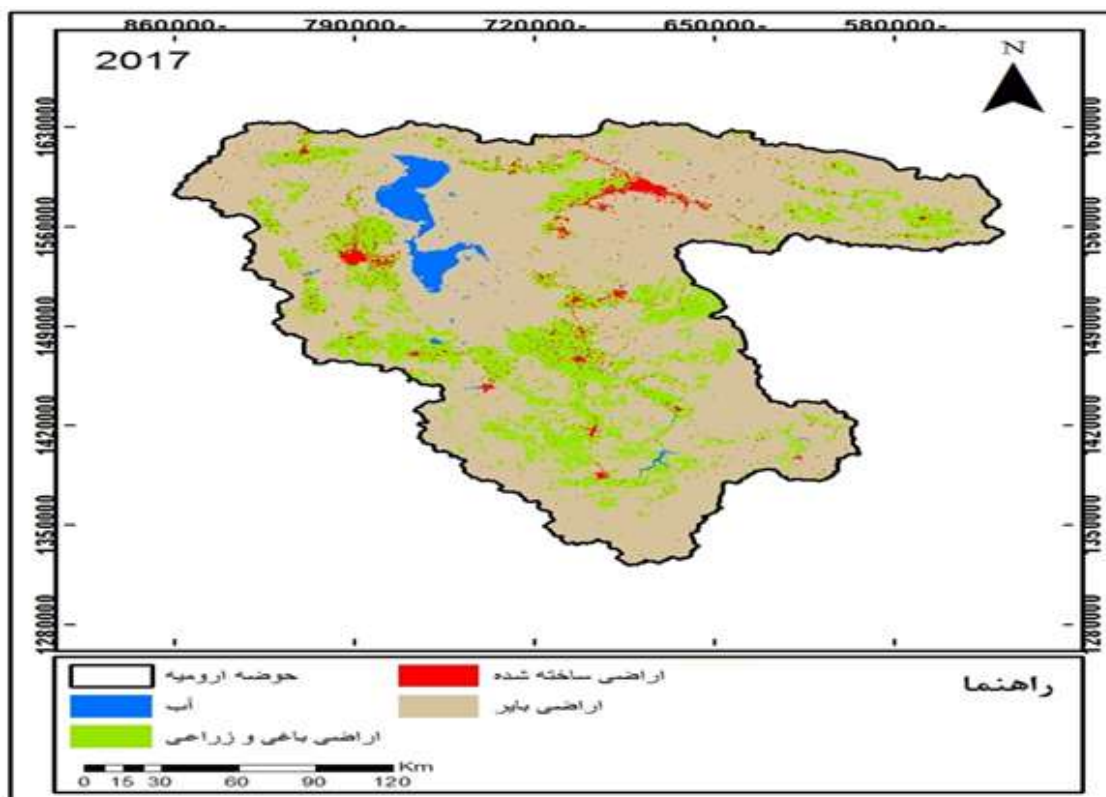
- ❖ سد مهاباد: واقع در رودخانه مهاباد که آب ورودی به دریاچه را تأمین می‌کند.
- ❖ سد بوکان: سد دیگری است که در راستای توسعه کشاورزی و تأمین آب شرب احداث شده است.
- ❖ سد زولا: این سد نیز در حوضه آبریز دریاچه قرار دارد و به تأمین آب رودخانه‌های محلی کمک می‌کند.
- ❖ سد دره زیاد: این سد با هدف کنترل و مدیریت آب در حوضه آبریز ساخته شده است.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه
منبع: (Source: Authors, 2024)

بحث و یافته‌ها

در این پژوهش، ابتدا تصاویر سنتینل مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۳ در منطقه مورد بررسی جمع‌آوری شد. سپس با توجه به توزیع کاربری‌ها از نظر پوشش و کاربری اراضی در محدوده حوضه دریاچه ارومیه، چهار کلاس کاربری شامل اراضی بایر، اراضی ساخت‌وساز، اراضی باغی و آبی انتخاب گردید. پس از آن، نقشه‌های مربوط به کاربری و پوشش زمین استخراج شد. با انجام بررسی‌ها و تحلیل‌های لازم بر روی نقشه‌های تغییرات کاربری در نرم‌افزار GIS، تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر اساس تصاویر طبقه‌بندی‌شده در سال‌های مختلف مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که اراضی ساخت‌وساز که در سال ۲۰۱۷ حدود ۱۳۳۷۹۶/۰۹ هکتار بوده، در پایان دوره به ۱۸۸۷۷۹/۴۰ هکتار افزایش یافته است. همچنین، اراضی باغی و زراعی از ۹۸۵۰۲۹/۹۵ هکتار در سال ۲۰۱۷ به ۱۳۸۷۰۲۴ هکتار در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. همچنین میزان آب از ۱۳۴۷۲۶/۵۵ هکتار در سال ۲۰۱۷ به ۴۹۴۰۱/۵۷ هکتار در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. (جدول ۱ و ۲). افزایش زمین‌های کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین تغییراتی است که در دهه‌های اخیر وقوع یافته و تأثیرات متعددی بر اکوسیستم منطقه داشته است. عوامل متعددی مانند رشد جمعیت، تقاضای فزاینده برای محصولات غذایی و تنوع‌طلبی در کشت گیاهان زراعی موجب شده تا کشاورزی به یکی از فعالیت‌های اصلی مردم منطقه تبدیل شود. این تغییر به طور مستقیم بر منابع آبی، کیفیت خاک و تنوع زیستی در این حوضه تأثیرگذار بوده است. یکی از تأثیرات عمده افزایش زمین‌های کشاورزی، فشار بر منابع آبی است. با توجه به اینکه حوضه دریاچه ارومیه با مشکلات جدی کمبود آب مواجه است، توسعه زمین‌های کشاورزی موجب برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است. این وضعیت باعث ایجاد تنش‌های آبی و کاهش میزان آب در دسترس برای کشاورزی و سایر استفاده‌ها می‌شود. زمانی که آب‌های زیرزمینی به طور مداوم برداشت می‌شوند، کیفیت آنها نیز کاهش یافته و به نمکی شدن خاک و آب منجر می‌شود، که این خود تأثیرات منفی بر تولید کشاورزی و سلامتی اکوسیستم دارد.

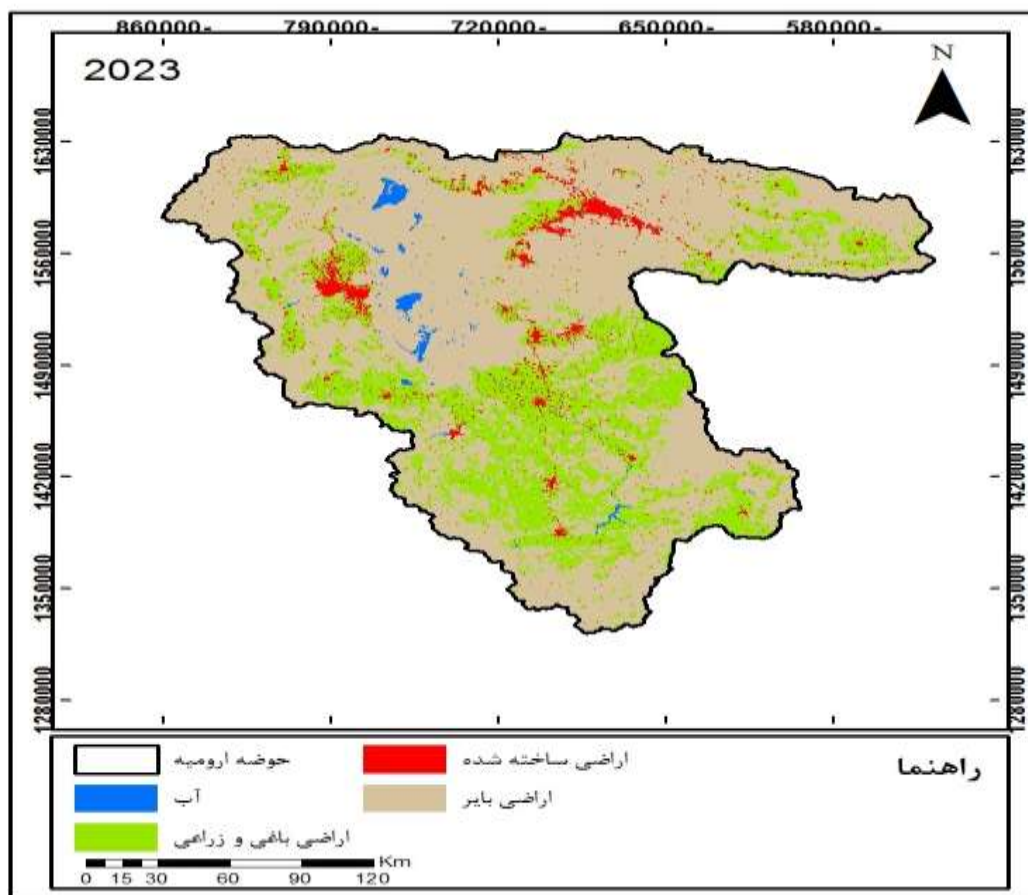


شکل ۲. کاربری ارضی حوضه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۷
منبع: (نگارندگان)

جدول ۱. تغییرات کاربری ارضی حوضه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۷ (به هکتار)

کاربری	بر حسب هکتار ۲۰۱۷	درصد
اراضی باغی و زراعی	۹۸۵۰۲۹/۹۵	۱۹/۰۲
اراضی بایر	۳۹۲۶۱۱۲/۰۰	۷۵/۸۰
اراضی ساخته شده	۱۳۳۷۹۶/۰۹	۲/۵۸
آب	۱۳۴۷۲۶/۵۵	۲/۶۰

منبع: (یافته های تحقیق)



شکل ۳- کاربری ارضی حوضه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۲۳

جدول ۲. تغییرات کاربری ارضی حوضه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۲۳ (به هکتار))

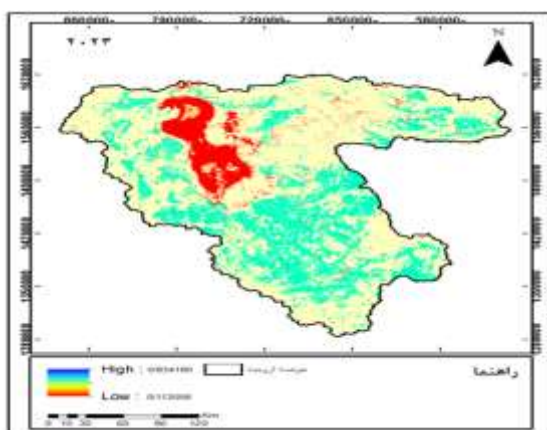
کاربری	بر حسب هکتار ۲۰۲۳	درصد
اراضی باقی و زراعی	۱۳۸۷۰۲۴	۲۶/۷۹
اراضی بایر	۳۵۵۴۴۵۹/۶۲	۶۸/۶۲
اراضی ساخته شده	۱۸۸۷۷۹/۴۰	۳/۶۴
آب	۴۹۴۰۱/۵۷	۰/۹۵

منبع: (Research Findings, 2024)

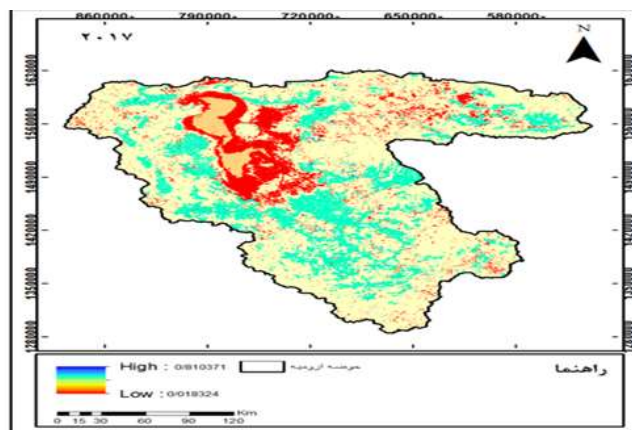
همچنین، براساس نتایج بدست آمده افزایش زمین‌های کشاورزی همچنین می‌تواند به تغییر در نوع و کیفیت خاک منجر شود. کاربرد گسترده کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات برای افزایش تولید می‌تواند به تخریب ساختار خاک و کاهش تنوع میکروبی آن بینجامد. در بلندمدت، این روند می‌تواند به کاهش حاصل‌خیزی زمین‌ها و در نتیجه کاهش توان تولید محصولات زراعی منجر شود. به علاوه، استفاده ناپایدار از منابع طبیعی می‌تواند منجر به فرسایش خاک و کاهش مناطق زراعی در آینده گردد. از سوی دیگر، تغییر در الگوهای کشاورزی و گسترش باغات ممکن است به تغییر در الگوی کشت منجر شود. باغات محصولات آب‌بر مانند سیب و هلو

می‌تواند به کاهش منابع آبی و همچنین آسیب به اکوسیستم‌ها منجر شود. در حالی که، توسعه کشاورزی پایدار و انتخاب گیاهان کم‌آب بر می‌تواند به کاهش فشار بر منابع آبی کمک کند و کیفیت محیط زیست را بهبود بخشد. نقشه های NDVI حوضه دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ بیانگر این است، مقدار عددی این شاخص در سال ۲۰۱۷ بین ۰/۸۱۰ تا ۰/۰۱۸ و نتایج NDVI محاسبه شده برای سال ۲۰۲۳ مقدار عددی بین ۰/۸۳۴ تا ۰/۱۱۲- را نشان می‌دهد که به علت افزایش اراضی باغی و زراعی، حجم وسیعی از آب حوضه ارومیه خشک شده است.

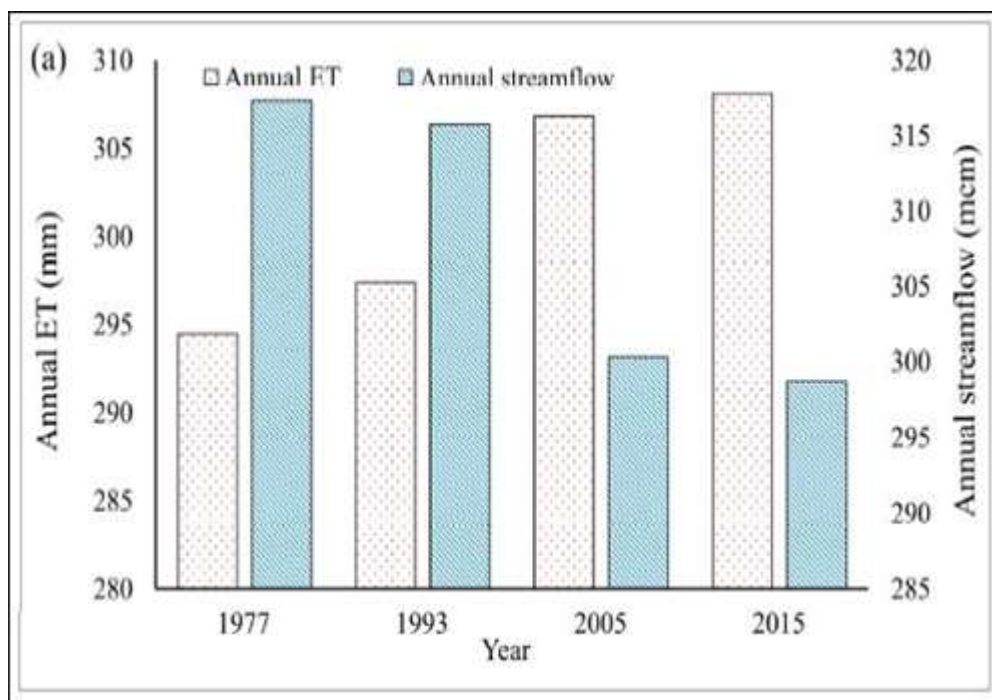
افزایش مقدار NDVI در یک حوضه معمولاً نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی و بهبود وضعیت زیست‌محیطی است. اما در برخی موارد خاص، این افزایش می‌تواند عواقب ناخواسته‌ای به همراه داشته باشد، همچون خشک شدن منابع آبی نظیر دریاچه‌ها. در صورت افزایش NDVI و تقاضای بیشتر برای آب، دریاچه‌ها به عنوان بخش مهمی از اکوسیستم ممکن است با چالش‌هایی مواجه شوند. مصرف بیشتر آب توسط پوشش گیاهی می‌تواند موجب کاهش سطح آب دریاچه‌ها و حتی خشک شدن آنها شود. این موضوع نه تنها بر تنوع زیستی اثرگذار است، بلکه می‌تواند به کاهش کیفیت و کمیت آب منجر شود. بر اساس مطالعه اخیر Mirdarsoltany و همکاران (۲۰۲۴)، میانگین سالانه بارش در حوضه دریاچه ارومیه در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ حدود ۱۴,۹۶۲ میلیون متر مکعب، معادل ۲۸۶,۵ میلی‌متر در سال، گزارش شده است، در حالی که مطالعات پیشین برای دهه ۱۹۹۰-۲۰۰۰ این مقدار را حدود ۱۸,۵۰۰ میلیون متر مکعب در سال (۳۵۰ میلی‌متر در سال) برآورد کرده‌اند. شکل ۶ میانگین سالانه تبخیر و تعرق (ET) و جریان سطحی ۱۹۷۷، ۱۹۹۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. نتایج بیانگر افزایش تبخیر و تعرق از ۲۹۵ میلی‌متر در سال ۱۹۷۷ به ۳۰۸ میلی‌متر در سال ۲۰۱۵ است. در نتیجه، جریان سطحی از ۳۱۷ میلیون مترمکعب در سال ۱۹۷۷ به ۳۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۵ کاهش یافته است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که میزان تبخیر نسبت به دوره‌های قبل افزایش قابل توجهی داشته است. این مقایسه نشان می‌دهد که کاهش بارش و افزایش تبخیر نقش کلیدی در افت سطح آب دریاچه داشته است.



شکل ۵. بارش حوضه
منبع: (نگارندگان)



شکل ۴. بارش حوضه
منبع: (نگارندگان)



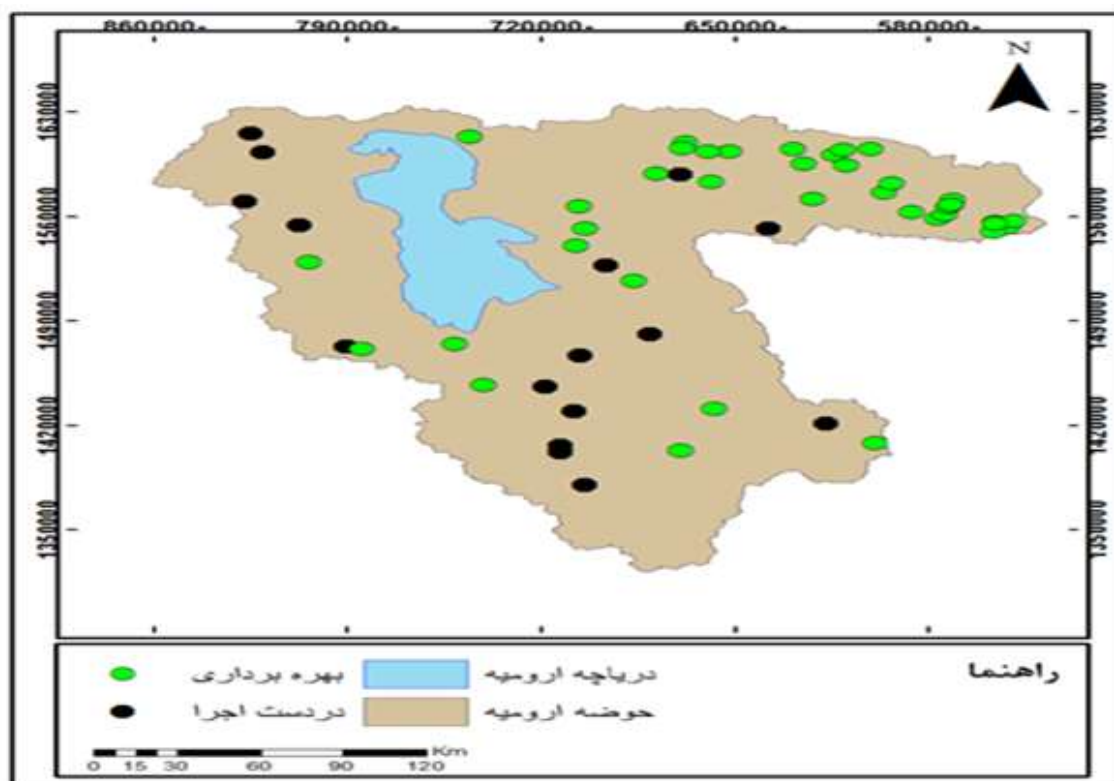
شکل ۶ میزان تبخیر و جریان سطحی
منبع: (Mirdarsoltany et al, 2024).

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که سدهای احداث‌شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نقش مهمی در تغییر الگوی ورودی آب ایفا کرده‌اند. بر اساس گزارش Schulz و همکاران (۲۰۲۰)، حجم مخازن سدهای فعال در این حوضه در حدود ۲/۲ کیلومتر مکعب (معادل دو میلیارد و دویست میلیون متر مکعب) برآورد می‌شود. این حجم قابل توجه است و عملاً سبب کاهش مستقیم بخشی از جریان‌های سطحی و رودخانه‌ای ورودی به دریاچه شده و در نتیجه، سهم سدها در تشدید روند خشکی دریاچه قابل انکار نیست. با این حال، باید توجه داشت که کاهش بیش از ۹۰ درصدی سطح و حجم آب دریاچه در مقایسه با گذشته تنها با ذخیره‌سازی پشت سدها قابل توضیح نیست. اما تاب‌آوری دریاچه را تا حد زیادی تضعیف کرده و آن را در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر ساخته است و سایر عوامل همچون تغییر اقلیم، کاهش بارندگی، افزایش تبخیر و توسعه کشاورزی آبی سهم بیشتری در بحران کنونی دارند.

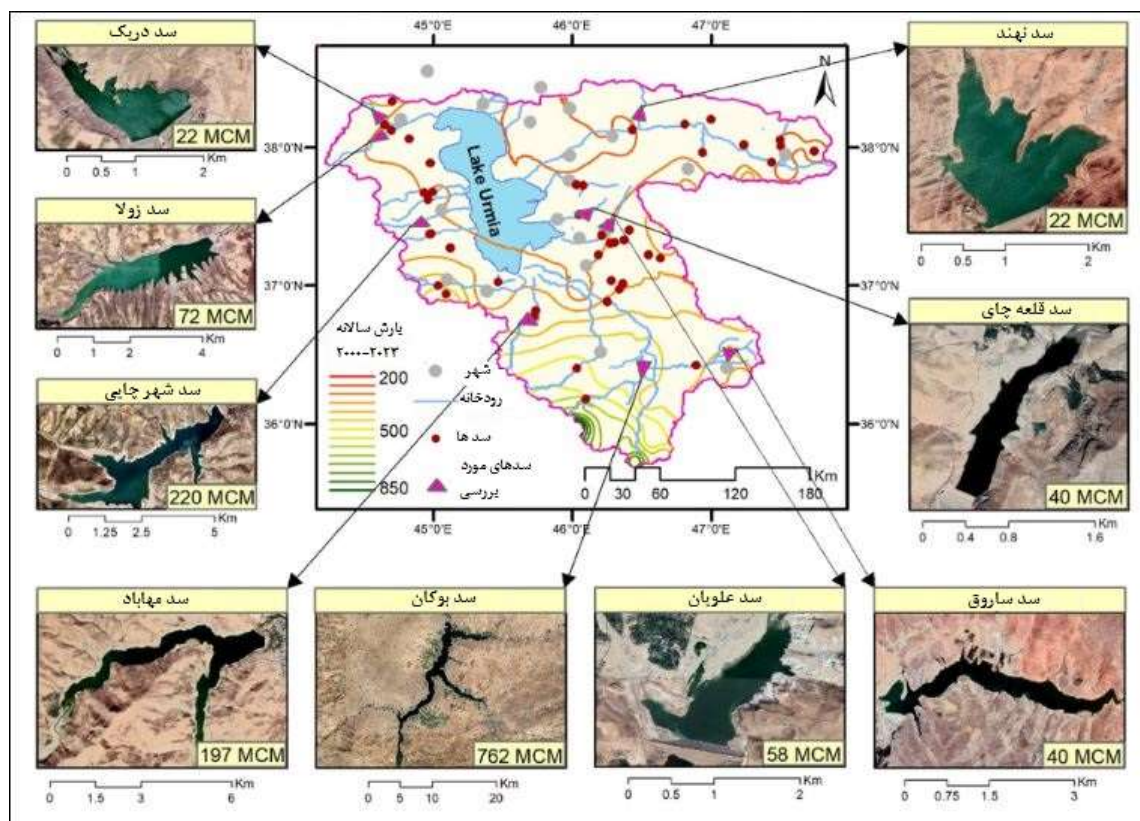
به عبارتی عوامل همچون کاهش قابل توجه بارندگی و آب رودخانه‌ها، به ویژه در ماه‌های گرم‌تر، چالش‌های جدی برای کشاورزان در تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری ایجاد کرده است. به همین دلیل، ساخت سد بر روی رودخانه‌های اصلی به منظور ذخیره آب در فصول پر باران، به عنوان تنها راه حل اتخاذ شده، توسط تصمیم‌گیرندگان بود که نقش بسزایی در کاهش سطح آب دریاچه دارد. تحلیل داده‌های به دست آمده از عداد سدهای فعال و در حال ساخت است که شامل ۳۹ سد فعال در حوضه و ۱۵ سد در حال ساخت می‌باشد (شکل ۴). زایش سدها در حوضه دریاچه ارومیه به عنوان یکی از اقدامات مهم در مدیریت منابع آبی، تأثیرات متعددی بر اکوسیستم و شرایط زیست‌محیطی این منطقه داشته است.

این سدها به منظور کنترل و هدایت آب‌های سطحی، ذخیره‌سازی آب و تأمین نیازهای کشاورزی و صنعتی ساخته شده‌اند، اما اثرات آن‌ها به طور کلی پیچیده و چندجانبه است. یکی از تأثیرات مثبت سدها، کنترل سیلاب‌ها و بهبود مدیریت منابع آبی است. با ذخیره‌سازی آب در پشت سدها، امکان تأمین آب در فصل‌های خشک و همچنین استفاده بهینه از آب در دوره‌های کم‌آبی افزایش می‌یابد. این امر در کوتاه‌مدت می‌تواند به افزایش تولیدات کشاورزی و بهبود معیشت ساکنان منطقه کمک کند. با این حال، افزایش سدها و ذخیره‌سازی آب در آن‌ها مشکلاتی را نیز به همراه دارد. یکی از این مشکلات، کاهش جریان طبیعی آب به دریاچه ارومیه است. هنگامی که آب به جای جریان آزادانه به سمت دریاچه و تغذیه آن، در پشت سدها ذخیره می‌شود، سطح آب دریاچه به شدت کاهش می‌یابد. این وضعیت می‌تواند باعث تغییر در اکوسیستم‌های آبی و خشکی

بیشتر دریاچه گردد، که خود به نوبه خود بر تنوع زیستی آن تأثیر منفی می‌گذارد. علاوه بر این، سدها ممکن است به تغییرات در الگوی رسوب‌گذاری و ترکیب خاک در حوضه منجر شوند. با جلوگیری از جریان طبیعی رسوبات به دریاچه، مقادیر کمی از مواد مغذی به آن وارد می‌شود که می‌تواند به کاهش کیفیت آب و اکوسیستم دریاچه منجر شود. کاهش رسوبات همچنین می‌تواند تأثیرات منفی بر روی حیات آبیان و دیگر موجودات زنده در دریاچه داشته باشد.



شکل ۷. سدهای بهره‌برداری شده و در حال اجرا تا سال ۲۰۲۳
منبع. (نگارندگان)



شکل ۸. نمونه ای از سدھا

نتیجہ گیری

دریاچہ ارومیہ، یکی از بزرگترین دریاچہہای داخلی ایران و مهمترین منبع آبی در شمال غرب کشور، در سالہای اخیر با بحران کاهش سطح آب و خشک شدن مواجه شدہ است. بررسیہای انجام شدہ نشان می دہد کہ افزایش پوشش گیاهی و احداث سدھا در حوضہ آبخیز این دریاچہ از جملہ عوامل مؤثر در این روند ہستند. اولین نکتہای کہ باید بہ آن توجہ کرد، رابطہ مستقیم میان پوشش گیاهی و جذب آب است. افزایش پوشش گیاهی بہویژہ در حوضہ آبخیز دریاچہ، بہ جذب رطوبت خاک و کاهش تبخیر کمک می کند. ہرچند کہ این مسألہ در کوتاہمدت می تواند بہ حفظ منابع آب کمک کند، اما در درازمدت، افزایش سطح گیاهان نیاز بیشتری بہ آب دارد و عوامل محلی ممکن است بہ دنبال تخصیص آب بیشتری برای این ہدف باشد. دوماً، احداث سدھا بہ منظور مدیریت منابع آبی و ذخیرہ آب در مواقع بحرانی نیز در کاهش جریان طبیعی آب بہ دریاچہ مؤثر است. این سدھا می توانند بہ لحاظ بہینہسازی مصرف آب قابل توجہ باشند، اما در عین حال، موانع طبیعی در مسیر رودخانہہا ایجاد می کنند و جریان آب بہ دریاچہ را مختل می سازند. در نتیجہ، با کاهش ورود آب بہ دریاچہ، سطح آب بہ طور تدریجی کاهش می یابد.

از سوی دیگر، دلایل اقتصادی نیز در این موضوع تأثیر گذارند. بسیاری از مناطق حوضہ ارومیہ بہ منظور تأمین معیشت از طریق کشاورزی بہ تأمین منابع آبی وابستہ ہستند. بنابراین، با افزایش پوشش گیاهی و احداث سدھا، سهم بیشتری از آب بہ سمت مصارف کشاورزی ہدایت می شود. این اقدامھا نہتنہا باعث کاهش ورود آب بہ دریاچہ ارومیہ می شود، بلکہ باعث افزایش تبخیر از سطح زمین نیز می گردد. علاوہ بر این، تغییرات اقلیمی و افزایش دما از دیگر عوامل بحرانی در روند خشک شدن دریاچہ ارومیہ بہ شمار می آیند. زمانی کہ پوشش گیاهی و ایجاد سدھا با این تغییرات ہمراہ می شوند، نتیجہ می تواند منجر بہ افزایش آسیب پذیری منابع آبی و بیابانی شدن حوضہ آبخیز شود.

لذا بہ منظور حفاظت از دریاچہ ارومیہ، باید یک رویکرد جامع و یکپارچہ بہ کار گرفتہ شود کہ شامل مدیریت معقول منابع آب، محدود کردن فعالیتہای کشاورزی در مناطق حساس و توجہ بہ حفظ تعادل در طبیعت باشد. کاهش ابعاد پروژہہای سدسازی، بہویژہ در حوضہ آبخیز دریاچہ، و همچنین ترویج روشہای پایدار کشاورزی می تواند بہ احیای این دریاچہ و ذخیرہ منابع آبی کمک نماید. در نہایت، حفظ و افزایش سطح آب

دریاچه ارومیه نیازمند همکاری میان نهادهای دولتی، محلی و غیر دولتی، به‌ویژه در زمینه تدوین برنامه‌های پایدار برای زیست‌بوم‌های اطراف و مدیریت منابع آبی است تا از آسیب‌های بیشتر جلوگیری شود و نسل‌های آینده نیز از این میراث طبیعی بهره‌مند گردند.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

سه‌م نویسنده‌گان

نویسنده‌گان در انجام این پژوهش سه‌م برابر دارند.

تضاد منافع

نویسنده‌گان اعلام می‌دارند، هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، از مسئولین انتشار مقاله قدردانی می‌شود.

منابع

- 1) Achu AL, T. & Reghunath R. (2020). Multi-criteria decision analysis for delineation of groundwater potential zones in a tropical river basin using remote sensing GIS and analytical hierarchy process (AHP). *Groundw Sustainable Dev* 10:100365.
- 2) Bakhshianlamouki, E., Masia, S., Karimi, P., Zaag, P. & Sušnik, J. (2020). A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran, *Science of The Total Environment*, 708, 134874.
- 3) Chaudhari, S., Felfelani, F., Shin, S. & Pokhrel, Y. (2018). Climate and anthropogenic contributions to the desiccation of the second largest saline lake in the twentieth century, *Journal of Hydrology*, 560, 342-353.
- 4) Chavoshi, A. & Danesh-Yazdi, M. (2022). Quantifying the uncertainty of lake-groundwater interaction using the forward uncertainty propagation framework: The case of Lake Urmia, *Journal of Hydrology*, 610, 127878.
- 5) Danesh-Yazdi, M. & Ataie-Ashtiani, B. (2019). Lake Urmia crisis and restoration plan: Planning without appropriate data and model is gambling, *Journal of Hydrology*, 576, 639-651.
- 6) Doratotaj, k., Zare, A. & Pournouri, M. (2022). Comparative Study of Environmental Challenges of Urmia Lake and Aral Lake in order to Protect and Rehabilitate Urmia Lake, *Environmental Energy and Economic Research*, 6(4): S046
<https://doi.org/10.22097/eeer.2022.342347.1250>
- 7) Hadipour, M., Pourebrahim, S., Heidari, H., Nikooy, F., Najah Ahmed, A., Jit Ern., C. (2024). Evaluation of water resource balance in the Urmia Lake Basin: Integrating carrying capacity and water footprint model for sustainable management, *Ecological Indicators*, 166, 112464.
- 8) Hülsmann, S., Sušnik, J., Rinke, K., Langan, S., Dianneke, W., Mooij, W. (2019). Integrated modelling and management of water resources: the ecosystem perspective on the nexus approach, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 40, 14-20.
- 9) Ito, Y., Momii, K. & Nakagawa, K. (2009). Modeling the water budget in a deep caldera lake and its hydrologic assessment: Lake Ikeda, Japan, *Agricultural Water Management*, 96, 35-42.
- 10) Klein, I., Dietz, A., Gessner, U., Galayeva, A., Myrzakhmetov, A. & Kuenze, C. (2014). Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 335-349.
- 11) Lu, D., Luo, L., Pokhrel, Y., Deb, K., Huang, J. & Ran, Y., (2018). Detecting irrigation extent, frequency, and timing in a heterogeneous arid agricultural region using MODIS time series, Landsat imagery, and ancillary data, *Remote Sensing of Environment*, 204, 197-211.

- 12) Memarian Sorkhabi, O. & Kurdpour, I. (2024). Assessing the impact of dams and unsustainable agricultural development on Lake Urmia drying up using multi satellite sensor and deep learning, *Water Resources Management*, 10(195), 195-209.
- 13) Memarian Sorkhabi, O., Asgari, J. & Amiri-Simkooei, A. (2021). Wavelet decomposition and deep learning of altimetry waveform retracking for Lake Urmia water level survey. *Mar Georesour Geotech-nol* 1–1.
- 14) Mirnezami, J., Molle, F. & Talebi Eskandari, S. (2024). Chronicle of a disaster foretold: The politics of restoring Lake Urmia (Iran), *World Development*, 182, , 106713.
- 15) Nabi Bidhendi, G., Pejman, A. & Bidhendi, M. (2010). Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia, *Journal of Great Lakes Research*, 36, 419-424.
- 16) Nhu, V.H. Mohammadi, A., Shahabi, H., Shirzadi, A., Al-Ansari, N., Ahmad, B.B. & Nguyen, H. (2020). Monitoring and assessment of water level fluctuations of the Lake Urmia and its environmental consequences using multitemporal landsat 7 etm + images. *Int J Environ Res Public Health* 17(12):4210.
- 17) Schulz, S., Darehshouri, S., Hassanzadeh, E., Tajrishy, M. & Schüth, C. (2020). Climate change or irrigated agriculture – what drives the water level decline of Lake Urmia? *Scientific Reports*, 10(1), 236.
- 18) Sima, S. & Tajrishy, M. (2013). Using satellite data to extract volume–area–elevation relationships for Urmia Lake, Iran, *Journal of Great Lakes Research*, 39, 90-99.
- 19) Sima, S., Hoseinpour, O. & Torabi Haghighi, A. (2024). Quantifying the massive depletion of heat storage capacity of Lake Urmia, *Journal of Hydrology* July. 638, 131582.
- 20) Swiąder, M., Lin, D., Szewrański, S., Kazak, J.K., Iha, K., van Hoof, J., Bel'čakov'a, I. & Altiok, S. (2020). The application of ecological footprint and biocapacity for environmental carrying capacity assessment: A new approach for European cities. *Environ. Sci. Policy* 105, 56–74.
- 21) Teimouri, R.; Karbasi, P. (2024). Analyzing the Contribution of Urban Land Uses to the Formation of Urban Heat Islands in Urmia City. *Urban Sci*, 8, 208.
- 22) Tourian, M.J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S.H. & Sneeuw, N. (2015). A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran, *Remote Sensing of Environment*, 156, 349-360.
- 23) Wang, Y., Wang, H., Zhang, J., Liu, G., Fang, Z. & Wang, D., (2023). Exploring interactions in water-related ecosystem services nexus in Loess Plateau. *J. Environ. Manage.* 336, 117550.
- 24) Mirdarsoltany, A.; Dariane, A.B.; Ghasemi, M.; Farhoodi, S.; Asadi, R.; Moghaddam, A. (2024). Linking Land Use Change and Hydrological Responses: The Role of Agriculture in the Decline of Urmia Lake. *Hydrology*, 11, 209.