University of Sistan and Baluchestan

Geography and Development

Print ISSN: 1735 - 0735 Online ISSN: 2676-7791

Homepage: https://gdij.usb.ac.ir

Hydrological Thresholds of Urmia Water Basin

Gholamhasan Jafari[1]✉, Samira Amani[2]

1. Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan. Iran
✉ E-mail: jafarihas@znu.ac.ir
2. M.Sc of Hydro Geomorphology, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran
E-mail:samiraamani@znu.ac.ir

How to Cite: Jafari, GH; Amani, S. (2023). Hydrological Thresholds of Urmia Water Basin. *Geography and Development*, 21 (73), 47-69.

DOI: http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2023.45406.3514

Received:
19 April 2023
Received in revised form:
23 May 2023
Accepted:
4 July 2023
Published online:
1 June 2024

Keywords:
Catastrophe,
Dam,
Catchment,
Precipitation,
Orumieh.

ABSTRACT

Space is a multidimensional, boundless realm in which the relative position of phenomena is reflected. During the last few decades, the water level of Lake Urmia has decreased drastically. Lake Urmia, as a geographical device and a complex system, has been affected by natural and anthropogenic factors, as visible and hidden layers. In order to check the water storage threshold of dams in reducing the water level of Lake Urmia, we first prepared the desired data bank: DEM of the basin, data from climatology stations, discharge of hydrometric stations and dam information. We estimated the linear relationships between altitude and Temperature and precipitation and altitude in SPSS software. Considering climatology stations and dams as output points, we extracted several sub-basins. We estimated the volume of water inflow into the basins without a hydrometric station using Justin's method; We also analyzed the percentage of annual discharge compared to annual precipitation and changes in the water storage volume of dams. The results indicate that the reservoir volume of 46 dams in 12 sub-basins (1628.68 million cubic meters) accounts for about 21% of the total volume of basin runoff; This number was 13% until 1996 and reached 21.8% in 2013. In 1970, with the construction of the Mahabad dam with a reservoir volume of 197.8 million cubic meters, the reservoir volume of the dams exceeded the environmental threshold; it caused the lake's water level to decrease irreversibly. Examining the volume of the dam reservoir according to the volume of water intake and the volume of rainfall in the basins of the dams shows that out of the 41 dams, the reservoirs of 28 dams are built according to the rainfall potential of the basin. The ratio of reservoir volume to rainfall volume of 33 dams has very favorable conditions, and 6 dams have favorable conditions

© the Author(s). **Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction

Space is a multidimensional, boundless realm in which the relative position of phenomena is reflected. As a science, geomorphology examines its landscape and dynamics from a systematic perspective. In this study, using the systemic perspective, the lake was considered a complex geographical system and system, and all natural and anthropogenic factors were considered as layers and hidden as components of a complex system. The water level of Urmia Lake fluctuated between 1275.5 and 1278.5 meters before 1996, but since 1996, the water level has been decreasing, and the pattern of changes in the lake water level has changed (Noorani et al., 2015). The sharp decrease in the water level of the lake in the last few years is caused by various factors, among which drought, dam construction, excessive exploitation of the water resources of the lake basin and the decrease in the amount of input compared to the output flows are the most important of them (Bakhshian et al., 2020; Rahimi Balkanlou et al., 2021; Asli and Hezarani, 2019; Alizadeh Choubari et al., 2016). The fluctuation of the water level of Lake Urmia is the best symbol of the climatic and geomorphological changes

in Iran that have happened in the last few decades. Systematic investigation of the effect of exploited dams in the changing of this geomorphological landform is a challenging task due to the effect of many other parameters in parallel in one spatial dimension. However, it seems reasonable and practical to try to know the factors affecting the changes of the incident in a landform. Based on this, the effort of this article is to investigate the effect of dams on the drying up of Lake Urmia and to discover the hidden layers of this problem.

2. Methods and Material

In order to evaluate the impact of each factor, DEM 12.5 * 12.5 range is first extracted from the site USGS. We extracted watersheds using Arc GIS software. After that, we obtained data from climatological stations (rainfall, temperature, discharge, evaporation, etc.) from Tehran Water Resources Management Organization. We also extracted the information about the dams in use in the Urmia basin from the water resources management site :
(http://daminfo.wrm.ir/fa/dam/stats).
We estimated the linear relationships between altitude and temperature, temperature and rainfall, rainfall and altitude, rainfall and discharge in Excel software as basin. Based on the climatological station and the dam, we extracted watersheds in Arc GIS software. We estimated the volume of incoming water to basins without hydrometric stations by Justin. The percentage of annual discharge relative to annual precipitation will also be obtained with climatological station data, and the trend of temperature and precipitation changes with precipitation data. In addition, changes in water storage volume by dam; and statistical analyzes of isolated generous, (coefficient of variation of rainfall and dam storage volume relative to basin precipitation volume) are studied.

3. Results and Discussion

The geometry of Pythagorean geometry is not enough to analyze geomorphological systems and Euclidean geometry should be used, meaning that the amount of water the dams have allocated may be equal or even the amount of water that prevents the lake from entering the dam is less than the other dams. The same dam is in a position to alter the chemical properties of lake water and to play a more signicant role in lake status. Judging the Quaternary Lakes and their drying up is not a good idea for the changes in precipitation and temperature. While in some basins, catastrophic factors may halt water flow into the lake and cause the lake to dry out, today all changes are being investigated with climate change. The expansion of Lake Urmia is in latitude rather than in latitude. Such expansion has caused the water received from different parts to differ in quantity and chemical properties (salinity). The lake receives most of the water from the southern basins, which originate in Kurdistan; in the eastern part of the lake, the Sabalan-derived Rivers play an essential role in the lake's drainage. The waters that originate from Sabalan and pass through the salt dome of Khaje are saline, while the southern and western rivers of the lake have fresh water. The potential difference between freshwater, and freshwater coupled with the pumping of water pressure into the lake by rivers, causes the water to rotate. With the construction of the Alavian Dam in 1995 on Sufi Tea south of Lake Urmia, a sudden shock has reduced the amount of fresh water imported, and the lake level responded and declined with fresh water reduction since 1996.

4. Results and Discussion

The difference between the cumulative frequency of the reservoir volume of the dams and the total volume of annual rainfall indicates that with the increase of the reservoir volume of the dam, a large volume of precipitation is blocked in the dams and prevents the increase of the lake water level. The results indicate that the reservoir volume of 46 dams in 12 sub-basins (1628.68 million cubic meters) accounts for about 21% of the total volume of basin runoff; this number was 13% until 1996 and reached 21.8% in 2013. In 1970, with the construction of the Mahabad dam with a reservoir volume of 197.8 million cubic meters, the reservoir volume of the dams exceeded the environmental threshold; it caused the lake's water level to decrease irreversibly. Examining the volume of the dam reservoir according to the volume of water intake and the volume of rainfall in the basins of the dams shows that out of the 41 dams, the reservoirs of 28 dams are built according to the rainfall potential of the basin. The ratio of reservoir volume to rainfall volume of 33 dams has very favorable conditions, and six dams have favorable conditions.

Keywords: Catastrophe,Dam,Catchment,Precipitation, Orumieh.

5. References

AghaKouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A.,... & Hasanzadeh, E (2015). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: call for action. Journal of Great Lakes Research, 41(1), 307-311. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.12.007 https://www.researchgate.net/publication/270344970_Aral_Sea_syndrome_desiccates_Lake_Urmia_Call_for_action

Alipour, S (2006). Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia salt lake, Iran. Saline systems, 2, 1-19. https://doi.org/10.1186/1746-1448-2-9 https://link.springer.com/article/10.1186/1746-1448-2-9

Alizadeh-Choobari, O., Ahmadi-Givi, F., Mirzaei, N., & Owlad, E (2016). Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. International Journal of Climatology, 36(13), 4276-4286. https://doi.org/10.1002/joc.4630 https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.4630

Aslı, U. L. K. E., & Hezerani, A. B (2019). Analysis of Basin drought for URMIA Lake in Iran with Standardized Precipitation Index method SPI. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(2), 167-176. https://doi.org/10.7212/zkufbd.v9i2.1224 https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen/article/805572

Bakhshianlamouki, E., Masia, S., Karimi, P., Vander 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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134874 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719348661

Birsan, M. V., Molnar, P., Burlando, P., & Pfaundler, M (2005). Streamflow trends in Switzerland. Journal of hydrology, 314(1-4), 312-329. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.008 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169405002970

Xua,b, Diandian, W. Lyonb, Steve , Maoa, Jingqiao , Daia, Huichao , Jarsjö Jerker (2020). Impacts of multi-purpose reservoir construction, land-use change and climate change on runoff characteristics in the Poyang Lake basin, China.Journal of Hydrology, 29. 1-16 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581820301683?via%3Dihub

Faramarzi, N (2012). Agricultural water use in Lake Urmia basin, Iran: an approach to adaptive policies and transition to sustainable irrigation water use. Department of Earth Sciences [master thesis]. [Uppsala (Sweden)]: Uppsala University. No. https://www.ulrp.ir/en/agricultural-water-use-in-urmia-lake-basin-iran/

Guo, H., Hu, Q., Zhang, Q., & Feng, S (2012). Effects of the three gorges dam on Yangtze River flow and river interaction with Poyang Lake, China: 2003–2008. Journal of Hydrology, 416, 19-27. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169411008122

Graf, W. L (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. Geomorphology, 79(3-4), 336-360. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.022 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06002571

Hassanzadeh, E., Zarghami, M., & Hassanzadeh, Y (2012). Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. Water Resources Management, 26, 129-145. https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8 https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-011-9909-8

Hesami, A., & Amini, A (2016). Changes in irrigated land and agricultural water use in the Lake Urmia basin. Lake and Reservoir Management, 32(3), 288-296. https://doi.org/10.1080/10402381.2016.1211202 https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10402381.2016.1211202

http://daminfo.wrm.ir/fa/dam/stats

http://earthexplorer.usgs.gov

Jalili, S., Hamidi, S. A., & Namdar Ghanbari, R (2016). Climate variability and anthropogenic effects on Lake Urmia water level fluctuations, northwestern Iran. Hydrological sciences journal, 61(10), 1759-1769.
https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1036757
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667.2015.1036757

Kadioglu, M., Sen, Z., and Batur, M (1997). The great test soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change, Ann Geophysicae 15, 1489-1497, Springer Verlag.
https://doi.org/10.1007/s00585-997-1489-9
https://angeo.copernicus.org/articles/15/1489/1997/

Kamran, K. V., & Khorrami, B (2018). Change detection and prediction of Urmia Lake and its surrounding environment during the past 60 years applying geobased remote sensing analysis. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42(3/W4), 519-525.
https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-519-2018
https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W4/519/2018/

Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., ... & Aghakouchak, A (2019). Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. Journal of hydrology, 569, 203-217.
https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.004
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216941830934X

Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., García-Ruiz, J. M., & Cuadrat, J. M (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology, 386(1-4), 13-26.
https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.001
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410000028

Mardi, A. H., Khaghani, A., MacDonald, A. B., Nguyen, P., Karimi, N., Heidary, P, ... & Sorooshian, A (2018). The Lake Urmia environmental disaster in Iran: A look at aerosol pollution. Science of the Total Environment, 633, 42-49.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.148
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718309082
20.1001.1.23833254.1395.3.7.8.4 https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_5288_00.html?lang=en

Mehrian, M. R., Hernandez, R. P., Yavari, A. R., Faryadi, S., & Salehi, E (2016). Investigating the causality of changes in the landscape pattern of Lake Urmia basin, Iran using remote sensing and time series analysis. Environmental monitoring and assessment, 188, 1-13.
https://doi.org/10.1007/s10661-016-5456-3
https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5456-3

Salimi, J., Maknoon, R., & Meijerink, S (2019). Designing institutions for watershed management: A case study of the Urmia Lake Restoration National Committee. Water Alternatives 12(2): 609-635.
https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/volume-12/v12issue2/495-a12-2-2/file

Emami , S, Choopan, Y, Parsa J (2019). Dam Seepage Prediction Using RBF and GFF Models of Artificial Neural Network; Case Study: Boukan Shahid Kazemi's Dam, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 7(3), 15-32. Magiran.com/p2061195.
https://civiljournal.semnan.ac.ir/article_3016.html

Vahed, S. Z., Forouhandeh, H., Hassanzadeh, S., Klenk, H. P., Hejazi, M. A., & Hejazi, M. S (2011). Isolation and characterization of halophilic bacteria from Urmia Lake in Iran. Microbiology-New York, 80(6), 834.
DOI: 10.1134/S0026261711060191
https://www.academia.edu/download/45969876/Isolation_and_characterization_of_haloph20160526-19862-1hd6s5b.pdf

Yan, Y., Yang, Z., Liu, Q., & Sun, T (2010). Assessing effects of dam operation on flow regimes in the lower Yellow River. Procedia Environmental Sciences, 2, 507-516.
https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.055
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029610000885
Yu, G., & Shen, H (2010). Lake water changes in response to climate change in northern China: Simulations and uncertainty analysis. Quaternary International, 212(1), 44-56.
https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.07.020
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618209002377
Zeinoddini , M, Tofighi , MA, Vafaee, F (2009). Journal of Great Lakes Research, 35 , 13-22
https://www.ulrp.ir/wp-content/uploads/2019/04/node_1397.pdf
Somayeh Emami , Yahya Choopan, Javad Parsa (2019). Dam Seepage Prediction Using RBF and GFF Models of Artificial Neural Network; Case Study: Boukan Shahid Kazemi's Dam, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 7(3), 15-32. magiran.com/p2061195.
10.22075/JRCE.2018.13986.1254 http://civiljournal.semnan.ac.ir/article_3016.html
Vahed, S. Z., Forouhandeh, H., Hassanzadeh, S., Klenk, H. P., Hejazi, M. A., & Hejazi, M. S (2011). Isolation and characterization of halophilic bacteria from Urmia Lake in Iran. Microbiology-New York, 80(6), 834.
DOI: 10.1134/S0026261711060191
https://www.academia.edu/download/45969876/Isolation_and_characterization_of_haloph20160526-19862-1hd6s5b.pdf
Yahyazadeh, M., Eimanifar, A., Camargo, W. N., Soltani, M., & Mohebbi, F (2007). The use of oxolinic acid to enrich Artemia urmiana from Urmia Lake, Iran.
https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AV20120138409
Yan, Y., Yang, Z., Liu, Q., & Sun, T (2010). Assessing effects of dam operation on flow regimes in the lower Yellow River. Procedia Environmental Sciences, 2, 507-516.
https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.055
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029610000885
Yu, G., & Shen, H (2010). Lake water changes in response to climate change in northern China: Simulations and uncertainty analysis. Quaternary International, 212(1), 44-56.
https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.07.020
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618209002377
Zeinoddini, M., Bakhtiari, A., & Ehteshami, M (2015). Long-term affects from damming and water level manipulation on flow and salinity regimes in Lake Urmia, Iran. Water and Environment Journal, 29(1), 71-87.
https://doi.org/10.1111/wej.12087
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/wej.12087

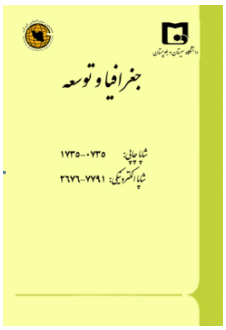
جغرافیا و توسعه
شاپا چاپی: ۰۷۳۵-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۱-۲۶۷۶
https://gdij.usb.ac.ir
دانشگاه سیستان و بلوچستان

آستانه‌های هیدرولوژیک حوضهٔ آبی ارومیه

دکتر غلامحسن جعفری[1*]، سمیرا امانی[2]

مقاله پژوهشی

جغرافیا وتوسعه، شمارهٔ ۷۳، زمستان ۱۴۰۲
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳
صفحات: ۶۹-۴۷



واژه‌های کلیدی:
کاتاستروف، سد، حوضه آبریز، بارش، ارومیه.

چکیده

فضا، قلمرو چندبُعدی و بی‌حدومرزی است که موقعیت نسبی پدیده‌ها در آن منعکس می‌شود. در طی چند دههٔ اخیر سطح آب دریاچهٔ ارومیه به‌عنوان یک دستگاه جغرافیایی و سیستم پیچیده متأثر از برخی از عوامل طبیعی و انسانی، به‌شدت کاهش پیدا کرده است. درجهت بررسی آستانهٔ ذخیرهٔ آب سدها در کاهش تراز آب دریاچهٔ ارومیه، ابتدا بانک داده‌های مورد نظر تهیه شد: (DEM حوضه، داده‌های ایستگاه‌های کلیماتولوژی، دبی ایستگاه‌های هیدرومتری و اطلاعات سدها). روابط خطی بین ارتفاع و دما و بارش و ارتفاع در نرم‌افزار SPSS برآورد شد، با درنظرگرفتن ایستگاه‌های کلیماتولوژی و سدها به‌عنوان نقطهٔ خروجی، زیرحوضه‌های متعددی استخراج شد و حجم ورودی آب به داخل حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری، با استفاده از روش جاستین برآورد شد. همچنین درصد دبی سالانه نسبت‌به بارش سالانه و تغییرات حجم ذخیرهٔ آب سدها تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج دال بر این است که حجم مخزن ۴۶ سد در ۱۲ زیرحوضه (۱۶۲۸/۶۸ میلیون مترمکعب) حدود ۲۱ درصد از حجم کل رواناب حوضه را به خود اختصاص داده‌اند، این عدد تا سال ۱۹۹۶ سدها ۱۳ درصد بوده و در سال ۲۰۱۳ به ۲۱/۸ درصد رسیده است. در سال ۱۹۷۰ با ساخت سد مهاباد با حجم مخزن ۱۹۷/۸ میلیون مترمکعب، حجم مخزن سدها از آستانهٔ محیطی گذشته و کاهش تراز آب دریاچه، غیرقابل‌بازگشت به گذشته شده است. بررسی حجم مخزن سد باتوجه به حجم آبگیری و حجم بارش حوضه‌ای سدها بیان‌کنندهٔ این است که از مجموع ۴۱ سد، مخزن ۲۸ سد متناسب با پتانسیل بارشی حوضه ساخته شده است. نسبت حجم مخزن به حجم بارش ۳۳ سد، شرایط خیلی مطلوب و ۶ سد، شرایط مطلوب دارند.

مقدمه

نوسان دریاچهٔ ارومیه به‌عنوان بهترین نماد تغییرات اقلیمی و ژئومورفولوژیکی حادث در کشور ایران در طی چند دههٔ اخیر است. بررسی اثرگذاری سدهای بهره‌برداری‌شده در تحول این لندفرم ژئومورفولوژیکی به‌دلیل اثرگذاری بسیاری از پارامترها دیگر در راستای هم‌دیگر درعین‌حالی که کار بسیار مشکلی است، می‌تواند دید مکانی خوبی به محقق ارائه دهد. تراز آب دریاچهٔ ارومیه تا قبل از ۱۹۹۶ بین ۱۲۷۵/۵ تا ۱۲۷۸/۵ متر در نوسان بوده، اما از سال ۱۹۹۶ به بعد تراز آب سیر نزولی دارد و الگوی تغییرات سطح آب دریاچه تغییر کرده است *(نورانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۴۶)*. کاهش شدید تراز آب دریاچه در چند سال اخیر ناشی از عوامل مختلفی است که در این بین خشکسالی، سدسازی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب حوضهٔ دریاچه و کاهش مقدار ورودی نسبت‌به جریانات خروجی از مهم‌ترین آن‌ها است. (*Alizadeh choobari et al, 2016 :4276; Asli & Hezarani, 2019: 168; رحیمی‌بالکانلو و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۳۱)*

باتوجه به اهمیت آب، مطالعات متعددی در ارتباط با رودخانه‌ها و دریاها در سطح جهانی و ملی انجام شده است که به پاره‌ای از آن‌ها اشاره می‌شود. بیرسان و همکاران (۲۰۰۵) روند تغییرات جریان رودخانه‌ای در سوئیس را بررسی کردند و بین جریان رودخانه با

۱. دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول) jafarihas@znu.ac.ir
۲. کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه زنجان، زنجان،ایران samiraamani@znu.ac.ir

بارندگی و درجه حرارت هوا روابطی را برآورد کردند. همچنین نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که روند افزایشی در رواناب سالانه و جریان حداکثر سالانه بوده و بین روند جریان رودخانه و میانگین ارتفاع حوضه و عمق متوسط خاک همبستگی زیادی مشاهده شد. گراف (۲۰۰۶)، تأثیر سدهای بزرگ را در هیدرولوژی و ژئومورفولوژی پایین‌دست رودخانه‌ها در ایالت متحدهٔ آمریکا موردبررسی قرار داده است و با مقایسه جریان، رودخانه را در زمان قبل و بعد احداث سدها با روش IHA نشان داد که بسیاری از سدهای بزرگ، حداکثر جریان سالانه را تا ۶۷ درصد و در بعضی موارد تا ۹۰ درصد کاهش می‌دهند.

ژوا و همکاران (۲۰۲۰)، تأثیر آب‌وهوا و کاربری‌های اراضی را در جریان رودخانه‌های پر آب دریاچهٔ پویانگ چین موردبررسی قرار دادند و با به‌کارگیری روش ارزیابی آب و خاک نشان دادند که تأثیر آب‌وهوا در جریان سالانه رودخانه مهم‌تر از تأثیر کاربری اراضی است. لورنز- لاکروز و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر منابع آبی موجود در سرچشمهٔ حوضهٔ رودخانهٔ تاگوس در مرکز اسپانیا را با استفاده از دو شاخص بارش استانداردسازی‌شده و بارش و تبخیر و تعرق استانداردسازی‌شده، ارزیابی کردند. این شاخص نشان می‌دهد که خشکسالی از سال ۱۹۷۰ حاکم بوده و در این میان بارش اگرچه تأثیر بسزایی داشته، اما تأثیر دما ناچیز بوده است. یان و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر سدها را بر رژیم جریان پایین‌دست رودخانه ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که پس از سال آبگیری سد، فراوانی دبی کم، در همهٔ دوازده ماه، به‌ویژه فروردین بسیار بیشتر شده است. هیچ جریان متوسط یا زیاد ثبت نشده است. حداقل و حداکثر شدت جریان ۱ روزه، ۳ روزه، ۷ روزه، ۳۰ روزه و ۹۰ روزه در حال کاهش است که میانگین فواصل به‌ترتیب ۰,۳۳۷ و ۰,۴۱۷ است. جریان‌های زیاد قطع شده و همچنین به تعویق افتاده‌اند. ماه آوریل را باید به‌دلیل فراوانی جریان کم و نیاز آبی مهم برای جوانه‌زنی بیشتر گیاهان در پایین‌دست حوضهٔ رودخانهٔ زرد، به‌عنوان دورهٔ بحرانی برای مدیریت منابع آب در نظر گرفت. ها. یو و شن (۲۰۱۰)، به بررسی تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر تغییرات آب دریاچه‌ای در چین شمالی پرداخت و با شبیه‌سازی مدل مونت‌کارلو نشان داد که سطح دریاچه با افزایش بارش، افزایش خواهد یافت. گیو و همکاران (۲۰۱۲)، تأثیر سد جرج سوم[1] را بر جریان رودخانهٔ یانگ با استفاده از تفاضل مقدار آب رودخانه در قبل و بعد از احداث سد (سال ۲۰۰۳) بررسی کردند و به‌این نتیجه رسیدند که سدسازی بر رودخانهٔ یانگ در تخلیهٔ آب و همچنین کاهش سد آب تأثیر گذاشته است که در مکان و فصل‌های مختلف متفاوت است. کامران و خرمی (۲۰۱۸) با شناسایی و پیش‌بینی تغییرات دریاچهٔ ارومیه و محیط اطراف آن در طی ۶۰ سال با به‌کارگیری سیستم سنجش‌ازدور و GIS به این نتیجه رسیدند که بیشترین تغییرات سطح آب که باعث افزایش مناطق ساحلی نمکی شده در قسمت جنوبی دریاچه است و باتوجه به تغییرات در دریاچهٔ ارومیه اگر وضعیت فعلی بدون اقدامات اضطراری ادامه یابد تا سال ۲۰۳۳ دریاچهٔ ارومیه کاملاً ناپدید خواهد شد. بخشیان و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی فاکتورهای مختلف اثرگذار بر دریاچهٔ ارومیه به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل کاهش بارندگی، افزایش دما و دفعات خشکسالی در دههٔ گذشته، آب‌های سطحی کاهش یافته است؛ همچنین مقایسه این پارامترها با یکدیگر نشانگر سهم بالای تغییرات آب‌وهوا و فعالیت‌های انسانی در کاهش سطح آب دریاچهٔ ارومیه است. سدها بدون استثنا آبدهی مناطق

1. Three Gorges Dam

پایین‌دست خود را کاهش می‌دهند، اما اینکه تا چه زمانی حقابه‌های مناطق پایین‌دست را حفظ کنند و تعادل اولیهٔ محیط را برهم نزنند، جای بحث دارد. در حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه، دوازده رودخانهٔ دائمی جریان دارد که به‌طور متوسط سالیانه ۶۰۰۰ میلیون متر مکعب آب به دریاچه وارد می‌کنند. ۵۰ درصد از این حجم آب توسط سیمینه‌رود و زرینه‌رود وارد دریاچه می‌شود(*Alipour,2006:6*). براثر عوامل مختلف محیطی و انسانی (احداث سد)، مقدار آب ورودی به دریاچهٔ ارومیه و تراز آب دریاچه کاهش یافته است. کاهش غیرقابل‌بازگشت به گذشتهٔ دریاچه، به‌عنوان آستانهٔ محیطی و برهم‌خوردن تعادل اولیهٔ محیط در نظر گرفته شده است. تلاش این مقاله درجهت بررسی اثر سدها بر کاهش تراز آب دریاچهٔ ارومیه است.

مبانی نظری تحقیق

تأثیر تغییر بستر و حوضهٔ دریاچه‌ها شاهدی از وضعیت فعالیت‌های زمین‌شناسی و اقلیمی دوران گذشته است (*Kadioglu et al ,1997: 1492*) میزان تبخیر سطحی، ورودی رواناب، درجهٔ حرارت و بارندگی، نقش بسزایی در نوسان سطح آب دریاچه‌ها دارند (*AghaKouchak et al, 2015:308-309; Mardi et al, 2018: 43*)
دریاچهٔ ارومیه دومین دریاچهٔ فوق شور جهان است و به‌لحاظ دارابودن ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی و زیست‌محیطی از اهمیت زیادی برخوردار است که اخیراً تراز آبی آن به‌شدت کاهش یافته است. (*Vahed et al, 2011:835; Hassanzadeh et al, 2012: 129; Jalili et al, 2016:1759; Mehrian et al, 2016: 1*)

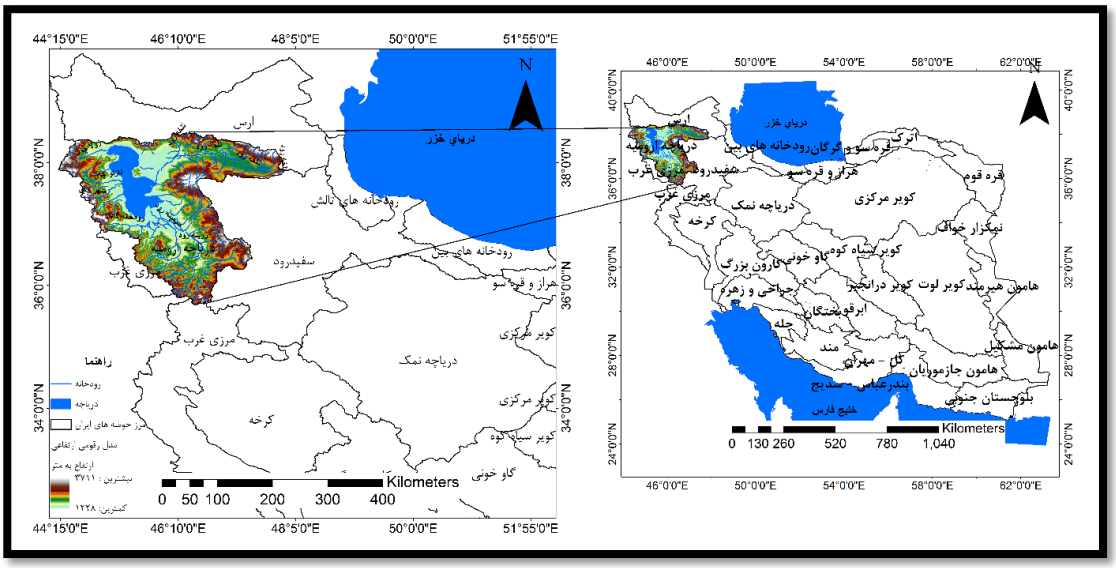
سطح حوضهٔ ارومیه در سه استان آذربایجان غربی (۵۳ درصد) آذربایجان شرقی (۳۷ درصد) و کردستان (۱۰ درصد) توزیع شده است (*Hesami & Amini, 2016: 289*).

تراز آب دریاچهٔ ارومیه با مختصات جغرافیایی ۴′ ۳۷° تا ۱۷′ ۳۸° شمالی و ۴۵° تا ۴۶° شرقی، تا سال ۱۹۹۰ بین ۱۲۷۵/۵ تا ۱۲۷۸/۵ متر متغیر بوده است (تعادل اولیه)، اما از سال ۱۹۹۰ به بعد به‌طور تدریجی فروکش کرده است (*Faramarzi, 2012: 5; Alipour, 2006: 5; Zeinoddini, 2009: 13*).

معرفی محدودهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه در شمال‌غرب ایران با وسعتی در حدود ۵۱۸۰۰ کیلومترمربع بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵° ۴۰′ تا ۳۸° ۲۹′ شمالی و طول جغرافیایی ۴۴° ۴′ تا ۴۷° ۵۳′ شرقی واقع شده است. این حوضه در زمرهٔ حوضه‌آبریز درجهٔ ۱ به‌شمار می‌رود که از قسمت شمال‌شرق با حوضه‌آبریز سفیدرود از جنوب به حوضهٔ رودخانه و قزل‌اوزن و از غرب یا حوضه‌آبریز زاب و بخش‌هایی از مرز ایران با عراق و ترکیه همسایه است (*قاجارنیا و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۷*).

رودخانه‌های مهم حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه در آذربایجان غربی شامل: سیمینه‌رود، زرینه‌رود، مهابادچای، گدارچای، باراندوزچای، نازلوچای، روضه‌چای، زولاچای و شهرچای است و دیگر رودخانه‌ها ازجمله، آجی‌چای، لیلان‌چای، آذرشهرچای، قلعه‌چای، صوفی‌چای و مردوق‌چای است (*قادرپور و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۳۰*).



شکل ۱: موقعیت حوضه‌آبریز ارومیه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

مواد و روش‌ها

برای بررسی هیدرولوژیکی حوضهٔ ارومیه، ابتدا کل حوضه به زیرحوضه‌های مستقلی تقسیم شد. برای اینکار پس از تعیین حدود حوضهٔ ارومیه، ابتدا DEM حوضه با قدرت تفکیک ۱۲ متر، از سایت http://earthexplorer.usgs.gov استخراج شد و با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و با قراردادن مصب رودخانه‌ها در نزدیکی دریاچهٔ ارومیه، به‌عنوان نقاط خروجی، زیرحوضه‌های حوضه استخراج شد؛ با استناد به آن‌ها، ۸۳ درصد از سطح حوضه در غالب ۳۱ زیرحوضهٔ مستقل، تفکیک شد. وسعت زیرحوضه‌های شناسایی‌شده بین ۲۲/۴۷ (زیرحوضه ۱۷) تا ۱۱۴۶۹/۵۳ (زیرحوضه ۱۲) کیلومترمربع متفاوت است. شرط لازم برای بررسی هیدرولوژیکی، داده‌های هیدرومتری است. دبی مورد نیاز ۱۲ زیرحوضه از ۳۱ زیرحوضه،از داده‌های ۳۰ساله ۲۴ ایستگاه هیدرومتری متعلق به سازمان مدیریت منابع آب تهران جمع‌آوری شد. برای برآورد دبی زیرحوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری، از روش جاستین استفاده شد. برای آگاهی از تأثیرات سدهای در حال بهره‌برداری در حوضه، داده‌هایی مثل حجم سد، تاریخ احداث و نام رودخانه از سایت مدیریت منابع آب http://daminfo.wrm.ir/fa/dam/stats استخراج شد. براساس محل سدها، ۴۴ حوضه استخراج شد.

داده‌های دما و بارش مورد نیاز از پایگاه داده‌های اسفزاری (تنها پایگاه ملی داده‌های دما و بارش) استخراج شد. برای برآورد متوسط دما و بارش زیرحوضه‌ها در Excel بین دما و بارش به‌عنوان متغیرهای وابسته با ارتفاع، روابط رگرسیونی برآورد شد (روابط ۱ و ۲). با استفاده از روابط به‌دست‌آمده و لایهٔ رقومی ارتفاع کل حوضه، در محیط Arc GIS، لایه‌های هم‌دما و هم‌بارش ترسیم شد. براساس نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دما، حجم بارش سالانه و متوسط دمای‌سالانه زیرحوضه‌ها برآورد و تجزیه‌وتحلیل شد.

رابطهٔ (۱) دما $R^2=0.73$ $Y= -0.0011X+13.413$

رابطهٔ (۲) بارش $R^2=0.78$ $Y=0.6386X- 444.5$

در روش جاستین استفاده از خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌ها ضروری است. برای زیرحوضه‌هایی که علاوه‌بر خصوصیات فیزیکی داده‌های هیدرومتری نیز داشتند، ضریب جاستین (k) برآورد شد. برای برآورد ضریب k به داده‌های زیر نیاز است:

- مساحت حوضه، A (کیلومتر مربع)- حداکثر ارتفاع حوضه، Hmax (کیلومتر) - حداقل ارتفاع حوضه، Hmin (کیلومتر)- R ارتفاع رواناب-حجم آبدهی سالانه، W (میلیون متر مکعب)-متوسط بارش حوضه، p (سانتی‌متر)،- متوسط دمای حوضه، T(سانتی‌گراد).

با استفاده از روابط (۳ تا ۷)، ضریب k زیرحوضه مربوطه برآورد شد *(علیزاده، ۱۴۰۰: ۳۷۵)*.

رابطهٔ (۳) $S = \frac{(Hmax-Hmin)}{\sqrt{A}}$

رابطهٔ (۴) $R = \frac{w}{A}$

رابطهٔ (۵) $R=\frac{K\ (s)^{0.155}\ (p)^2}{(1.8T+32)}$

رابطهٔ (۶) $K = \frac{R(1.8T + 32)}{S^{0.155}\ P^2}$

رابطهٔ (۷) $w = A.R$

با داشتن ضریب جاستین، باتوجه به همجوای زیرحوضه‌ها، حجم آبدهی سالانه و در صورت لزوم دبی متوسط زیرحوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری برآورد شد؛ بعد از استخراج DEM هر زیرحوضه و اِعمال رابطهٔ (۲)، در جدول لایهٔ اطلاعاتی با ضرب تعداد پیکسل‌های هم‌بارش در مساحت هر پیکسل، مساحت پیکسل‌های هم‌ارزش بر حسب مترمربع (a) محاسبه شد؛ با ضرب ارزش پیکسل (بارش) برحسب میلی‌متر (p) در مساحت پیکس‌های هم‌ارزش محاسبه شده مرحلهٔ قبلی و تقسیم مجموع اعداد حاصل بر مساحت کل زیرحوضه به مترمربع (A) بارش وزنی ($\bar{p}$) هر زیرحوضه برآورد شد (رابطهٔ ۸).

رابطهٔ (۸) $\bar{p}=\frac{\sum a*p}{A}$

از ضرب مساحت کل حوضهٔ آبریز به مترمربع (A) در بارش وزنی ($\bar{p}$) برآورد شده برای هر زیرحوضه، حجم بارش (V_p) برآورد شد (رابطهٔ ۹).

رابطهٔ (۹) $p = \frac{A * P}{1000}$

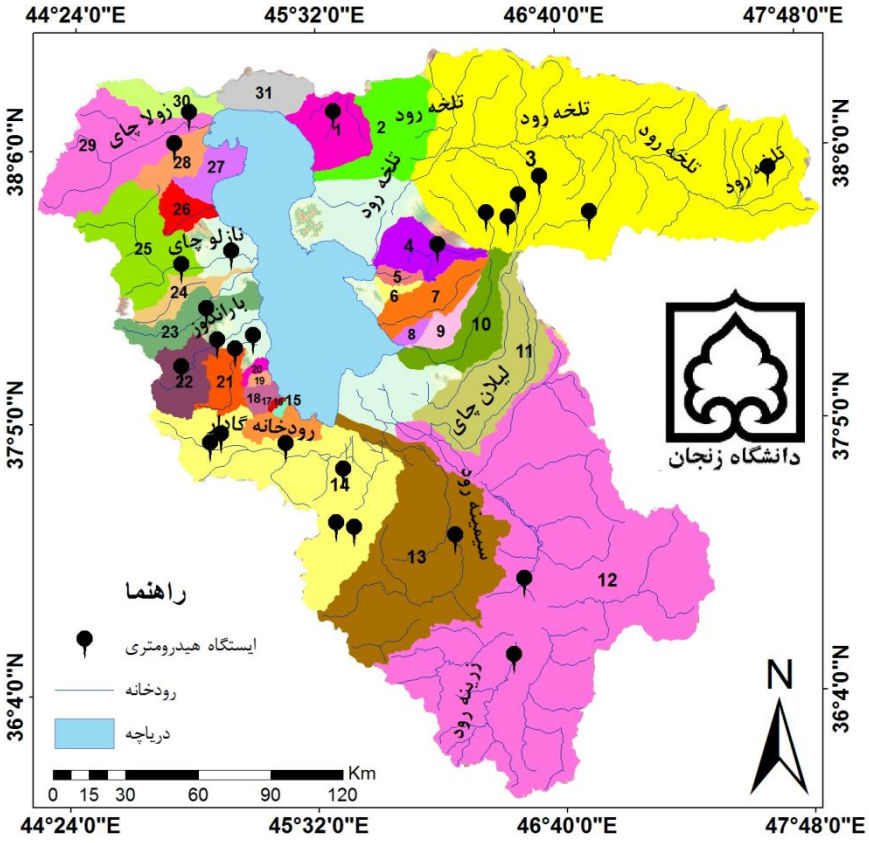
در مرحلهٔ بعد از تقسیم حجم آبدهی سالانه (W) بر حجم بارش سالانه (Vp)، ضریب رواناب (Rc) برآورد شد (رابطهٔ ۱۰).

رابطهٔ (۱۰) $Rc = \frac{w}{vp}100$

که حجم بارش (Vp) به مترمکعب، مساحت (A) به مترمربع و بارش (p) به میلی‌متر، ضریب رواناب (R_c) به درصد، حجم آبدهی سالانه (W) به مترمکعب و حجم بارش Vp به مترمکعب است.

یافته‌های تحقیق

از وسعت ۵۱۸۰۰ کیلومترمربعی حوضه، باتوجه به شبکهٔ آبراهه‌ای موجود، ۴۳۱۷۳ کیلومترمربع آن (۸۳ درصد از کل مساحت حوضهٔ ارومیه) در غالب ۳۱ زیرحوضه تفکیک شد که درشکل ۲ با شماره مشخص و معرفی شده است.



شکل ۲: زیرحوضه‌های موردمطالعه و موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های هیدرومتری

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

در بررسی‌های هیدرولوژیکی برآورد ضریب رواناب و حجم آبدهی هر حوضهٔ آبریز امری ضروری است. ضریب رواناب زیرحوضه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری، با کمک داده‌های دبی آب سازمان مدیریت منابع‌آب تهران برآورد شد و در زیرحوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری، به‌کمک دبی آب برآوردشده از روابط تجربی (جاستین) محاسبه شد. برای این منظور ابتدا مقدار ضریب جاستین (K) دوازده زیرحوضه دارای ایستگاه هیدرومتری، با استفاده از روابط (۳تا ۷)، برآورد شد (جدول ۱). محاسبهٔ ضریب K مراحل طولانی دارد و نمی‌توان مراحل آن را برای همهٔ زیرحوضه‌ها در متن مقاله تکرار کرد؛ برای نمونه مراحل برآورد ضریب جاستین زیرحوضه شمارهٔ ۱ با ایستگاه هیدرومتری دریان، ارائه شده است (ضریب جاستین این حوضه ۰/۸۲۵ برآورد شد) (جدول ۱) و حجم آبدهی سالانه و دبی متوسط زیرحوضه شمارهٔ ۲ که فاقد ایستگاه هیدرومتری است به کمک ضریب k حوضه شمارهٔ ۱ برآورد شد.

جدول ۱: مشخصات فیزیولوژیکی زیرحوضه‌های شمارهٔ یک و دو

ایستگاه	مساحت (KM^2)	مساحت (M^2)	بیشترین ارتفاع (M)	کمترین ارتفاع (kM)	دما (C)	بارش (CM)	دبی (M^3)
دریان	۳۶/۴۲۲	۳۶۴۲۲۱۷۶	۲/۹۷۵	۱/۶۴۵	۵/۴۸	۴۹/۰۵۹	۰/۴۳۳
۲	۱۱۴۹/۶۱	۱۱۴۹۶۱۰۷۳۷	۳ / ۰۵۵	۱ /۲۴۳	۱۰/۳۴	۳۴ /۲۴	؟

باتوجه به جدول ۱، ضریب k به شرح زیر برآورد شد:

$$S = \frac{(2/975-1/645)}{\sqrt{36/422}} = 0/22km \qquad R = \frac{0.433*86400*365.25}{36422176} * 100 = 37/51cm$$

$$K = \frac{37/51(1/8 * 5/48 + 32)}{0/22^{0.155} * 49/059^2} = 0/825$$

باتوجه به مقدار ضریب k محاسبه‌شده برای حوضهٔ دریان (۰/۸۲۵) آبدهی زیرحوضهٔ شمارهٔ ۲ که در مجاورت آن قرار گرفته، به این شرح است.

$$S = \frac{(3/055 - 1/243)}{\sqrt{1149/61}} = 0.0534km \qquad R = \frac{0/8251\ (00534)^{0.155}\ (7/14)^2}{(1.8*9/7+32)} / 100 = 0.12136m$$

$$W = 1149610737 * 0/12136 = 139517090/7 m^3$$

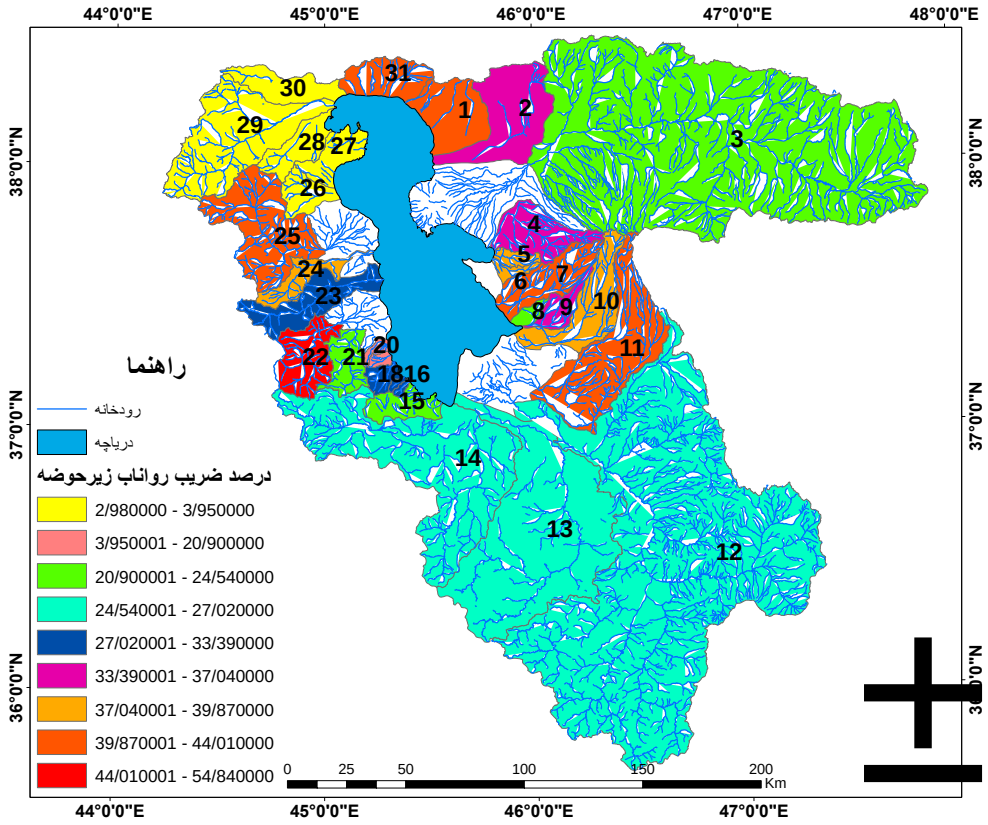
با کمک ضرایب جاستین ۱۲ زیرحوضه دارای ایستگاه هیدرومتری، براساس اصل هم‌جواری، حجم آبدهی سالانه ۱۸ زیرحوضه فاقد ایستگاه هیدرومتری برآورد شد (جدول ۲). باتوجه به جدول ۲ حجم آبدهی سالانهٔ دریاچهٔ ارومیه از زیرحوضه‌های تفکیک‌شده ۴۱۰۰ میلیون مترمکعب است. بیشترین حجم آبدهی سالانه به‌ترتیب مربوط به رودخانه‌های نازلوچای در غرب دریاچه (زیرحوضهٔ شمارهٔ ۲۵)، لیلان چای در جنوب دریاچه (زیرحوضهٔ شمارهٔ ۱۱)، گادار در جنوب دریاچه (زیرحوضهٔ شمارهٔ ۱۴)، سیمینه‌رود در جنوب دریاچه (زیرحوضهٔ شمارهٔ ۱۳)، تلخه‌رود در شرق دریاچه (زیرحوضهٔ شمارهٔ ۳) و زرینه‌رود در جنوب دریاچه (زیرحوضهٔ شمارهٔ ۱۲) است.

با استفاده از حجم آبدهی سالانه و حجم بارش، ضریب رواناب (روابط ۹ و ۱۰) زیرحوضه‌ها برآورد شد؛ برای مثال حجم بارش و ضریب رواناب زیرحوضه شمارهٔ ۲، با مساحت (A) ۱۱۴۹/۶۱ کیلومترمربع، بارش (p) ۳۴۲/۴۱۳میلی‌متر و حجم دبی‌سالانه (W) ۱۳۹۵۱۷۰۹۰/۷ مترمکعب ۳۹۳/۶۴ میلیون‌مترمکعب برآورد شد:

$$vp = \frac{1149610737 * 342/413}{1000} * 100 = 393641661/3$$

$$Rc = \frac{\frac{139517090}{7}}{\frac{393641661}{3}} * 100 = \frac{35}{442}$$

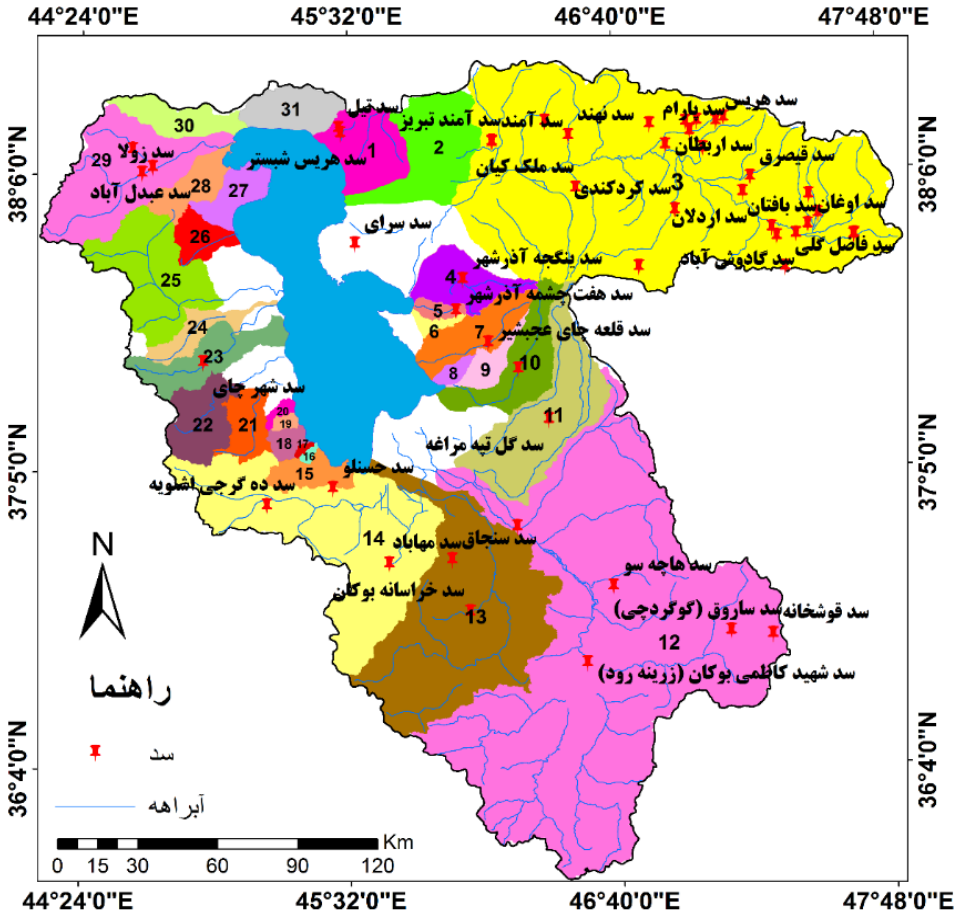
برای هرکدام از ۳۱ زیرحوضه دریاچهٔ ارومیه حجم آبدهی و ضریب رواناب محاسبه شد. درصد ضریب رواناب زیرحوضه‌ها از ۲/۹ درصد تا ۵۴ درصد متغیر بود؛ کمترین ضریب رواناب به زیرحوضهٔ ۳۰ و بیشترین آن به زیرحوضهٔ ۲۲ تعلق داشته است. درصد ضریب رواناب ۳۱ زیرحوضه به ۹ دسته طبقه‌بندی شد (شکل ۳)؛ ضریب رواناب زیرحوضه‌های حوضهٔ آبریز ارومیه در درجهٔ اول به وسعت زیرحوضه‌ها بستگی داشته است؛ زیرا تلفات آب در حوضه‌های کم‌وسعت در مقایسه با زیرحوضه‌های وسیع، کمتر و ضریب رواناب بیشتری برآورد شده است.



شکل ۳: درصد ضریب رواناب زیرحوضه‌ها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

در بین بردارهای مختلف اثرگذار بر آب دریافتی دریاچهٔ ارومیه، بردار مربوط به سد، بیش از همه توجه محققان را به خود جلب کرده است (*Khazaei et al, 2019: 204; Salimi et al, 2019: 614; Emami et al, 2019: 15*). در حوضهٔ ارومیه ۴۶ سد در ۳۱ زیرحوضه در حال بهره‌برداری است (شکل ۴). تمرکز بیشتر سدهای احداث‌شده در قسمت شمال شرقی (رودخانهٔ تلخه‌رود، زیرحوضهٔ شمارهٔ ۳ با درصد ضریب رواناب ۲۳/۶۳) جنوب شرق (رودخانهٔ زرینه‌رود زیرحوضهٔ شمارهٔ ۱۲ با درصد ضریب رواناب ۲۶/۴۷) و جنوب (رودخانهٔ سیمینه‌رود و گادار چای زیرحوضهٔ شمارهٔ ۱۳ و ۱۴ با درصد ضریب رواناب ۲۶/۰۶، ۲۷/۰۲) است.



شکل ۴: زیرحوضه‌های موردمطالعه و محل قرارگیری سدها

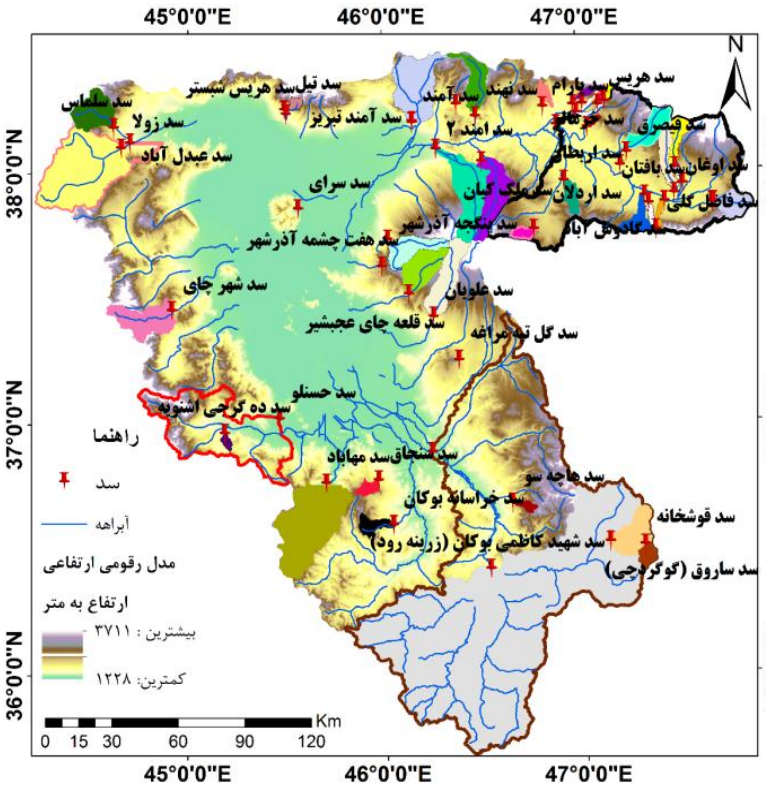
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

برای بررسی اثرگذاری سدها بر آب رسیده به دریاچهٔ ارومیه، بیش از هر چیز لازم است حجم بارش و رواناب حوضه‌های دارای سد برآورد شود تا مشخص شود چه کسری از حجم بارش را مخزن سد باید به خود اختصاص دهد تا پر شود؛ پیش‌فرض این تحلیل بر این اصل استوار است که خروجی سد در زمان بارندگی و بین بارندگی در طی سال صفر باشد و بارش فقط یک بار در سال سد را پر کند. درصورتی‌که این‌گونه نیست و همیشه در زمان آبگیری سد، تخلیه نیز انجام می‌شود. میزان آبدهی سالانه و حجم بارش هرکدام از زیرحوضه‌ها نسبت‌به سدهایی که درونشان قرار گرفته‌اند، سنجیده شد و میزان درصدی از حجم بارش و آبدهی سالانه که هرکدام از سدها به خود اختصاص داده‌اند، برآورد شد. در ۳۱ زیرحوضهٔ داخلی ترسیم‌شده، حجم مخزن سد نسبت‌به حجم بارش رواناب بالادست حوضه مقایسه و تحلیل شد. اگر حداکثر حجم آبی که می‌تواند در پشت مخزن سد باقی بماند، ۲۰ درصد از حجم آبدهی حوضه در نظر گرفته شود *(آوجی، ۱۳۹۵)*؛ حجم مخزن سدهای سفیدان عتیق (۰/۰۳۷ درصد)، خرمالو (۰/۰۲۷ درصد)، باروق هریس (۰/۰۱۲ درصد)، حسن جان کوه (۰/۰۲۹ درصد)، آمند ۲ (۰/۰۲۱ درصد)، قوری چای میاندوآب (۴/۲ ۰/۰)، قوشخانه (۰/۰۰۷) و ده گرجی اشنویه (۰/۰۸)

نسبت‌به حجم بارش دریافتی بسیار ناچیز است و از شرایط خیلی مناسبی برخوردارند (جدول ۳).

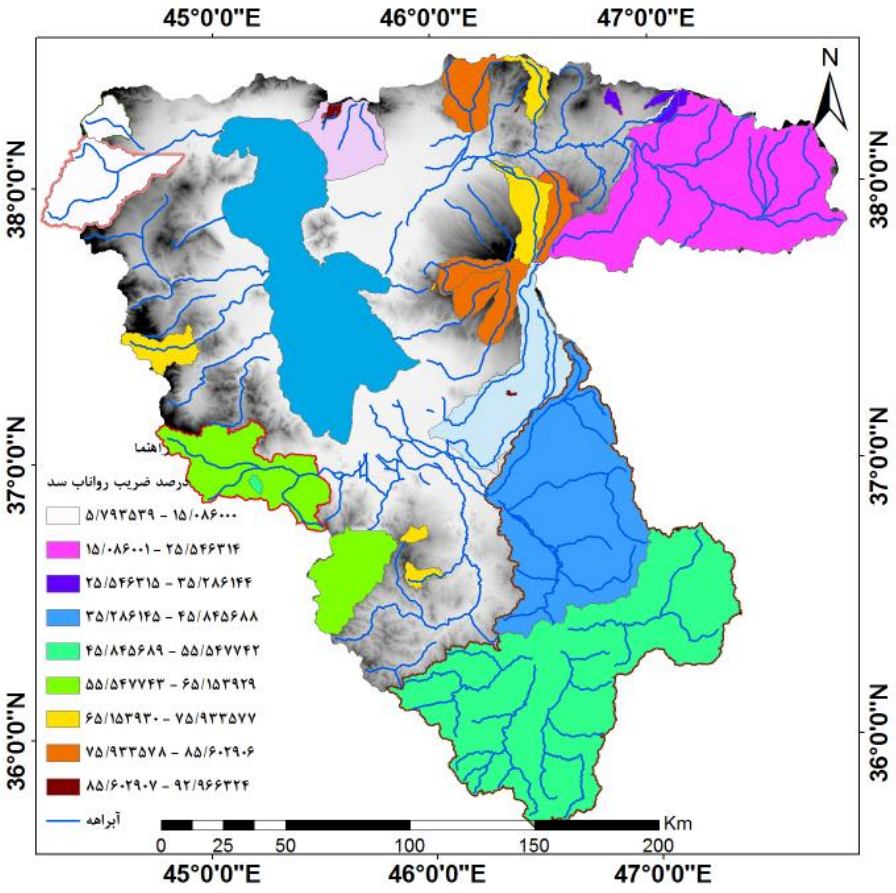
براین‌اساس به‌ترتیب حجم مخزن سدهای شهرچای، علویان، زولا، شهید کاظمی بوکان، حسنلو، سلماس، قلعه‌چای عجب‌شیر، مهاباد، نسبت‌به حجم آبدهی زیرحوضه‌های مرتبط با سد، بیشتر از حجم آبدهی حوضه است. این موضوع می‌تواند بیان‌کنندهٔ تسلط دو وضعیت متفاوت در این گونه حوضه‌ها باشد: ۱- باتوجه به ضریب تبیین ارتفاع با بارش حوضه (۰/۳۷) بارش از عوامل دیگری غیر از ارتفاع متأثر باشد و مقدار واقعی بارش برآورد نشده باشد و ۲- در آبدهی رودخانه‌ها، حوضهٔ آبریز حقیقی اثرگذارتر از حوضهٔ آبریز مجازی باشد. درهرحال باتوجه به شرایط یکسان مفروض برای برآورد آبدهی رودخانه‌ها، باید پذیرفت که اینگونه سدها نسبت‌به بقیه، انطباق هیدرولوژی مناسبی ندارند. درمجموع از بین ۴۶ سد احداث‌شده، ۷ سد ازنظر حجم آبگیری مخزن سد نسبت‌به حجم آبدهی حوضه‌ای که سد در آن‌ها واقع‌شده، شرایط نامطلوبی دارند. با یک نگاه کلی‌تر می‌توان حجم آب ناشی از بارش را جایگزین حجم آب ناشی از رواناب حوضه کرد. مطابق با محاسبات انجام‌شده، نسبت حجم مخزن سدهای زولا، شهرچای، علویان، سلماس، قلعه‌چای عجب‌شیر، شهید کاظمی بوکان و مهاباد بیشتر از حجم آبدهی زیرحوضه‌ها است. حجم مخزن سد شهرچای (سال احداث ۱۳۸۳)، سد علویان (سال احداث ۱۳۷۴) و قلعه‌چای عجب‌شیر (سال احداث ۱۳۸۷) نه‌تنها نسبت‌به حجم آبدهی زیرحوضه‌ها، بلکه در ارتباط با حجم بارشی که حوضه دریافت می‌کند نیز بیشتر بوده و احداث این سدها منجر به برهم‌خوردن تعادل محیطی و مقدار رواناب رسیده به دریاچه شده است.



شکل ۵: حوضهٔ سدهای مورد استفاده در حوضهٔ آبریز ارومیه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

علاوه‌بر بررسی حوضه‌ای سدها، محل خود سد نیز به‌عنوان نقطهٔ خروجی حوضه در نظر گرفته و ۴۶ زیرحوضه تفکیک‌شد (شکل۵). حجم آبدهی حوضه‌های سد با استفاده از روش جاستین نسبت‌به حوضه‌ای که در آن واقع شده، برآورد شد (جدول ۴). ضریب رواناب سد تیل ۹۷/۹۲، سد سفیدان عتیق ۷۸/۷۰، سد هریس شبستر ۷۷/۲۸، سد قوشخانه ۷۲/۳۵ درصد، برآورد شد. سدهای خرمالو ۱۲/۸۶، اربطان ۹/۹۸، منیق خاکی ۱۴/۲۱، مقصودلو ۱۳/۴۹، پارام ۱۵/۰۸، هریس ۱۴/۱۰، سدینگجه هریس ۱۴/۹۳، باروق هریس ۱۵/۲۹، کردکندی ۱۳/۵۵، چوغان ۱۱/۵۵، عبدل‌آباد ۵/۷۹، سلماس ۷/۰۹ درصد در بین زیرحوضه‌های سدی، بهترین شرایط را به‌خود اختصاص داده‌اند (شکل ۶).



شکل ۶: درصد ضریب رواناب زیرحوضه‌های سدها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۴: آبدهی سالانه، حجم بارش و ضریب رواناب سدهای حوضهٔ آبریز ارومیه به روش جاستین

سد	AD (Km2)	VD (MCM)	Hmax (Km)	Hmin (Km)	P (Cm)	T (C)	S (Km)	R (Cm)	VQ (MCM)	٪ R	VD/VP%
تیل	۱/۸۵	۰/۰۷	۲/۰۱	۱/۶۵	۶۴/۱۹	۸	۰/۲۷	۵۹/۶۸	۱/۱۱	۹/۷۳	۰/۲۵
هریس شبستر	۳۲/۳۴	۰/۱۵	۲/۹۷	۱/۵۲	۵۰/۸۸	۶/۶	۰/۲۵	۲۹/۳۲	۱۲/۷۴	۷/۲۹	۰/۰۵
آمند تبریز	۱۷۴/۲	۰/۴	۲/۸۶	۱/۳۹	۴۹/۹۳	۸/۶	۰/۴۱	۲۷/۹۴	۳/۵۶	۵/۹۶	۰/۰۸
نهند	۲۰۳/۱	۳۲	۲/۸۵	۱/۵۸	۴۸/۱۳	۶/۱	۰/۰۹	۲۲/۵۸	۴۵/۸۴	۴/۹۲	۰/۶۵
سفیدان عتیق	۲/۴۶	۱۰	۲/۱۳	۱/۷۲	۷۳/۵۸	۸	۰/۲۷	۵۷/۹۱	۱/۴۳	۷۸/۷	۰/۲۰
ملک کیان	۲۷۸/۱۱	۰/۴۵	۳/۷۳	۱/۵۸	۵۳/۴۰	۶/۳	۰/۱۳	۲۲/۹۳	۷۸/۲۱	۵۵/۱	۰/۰۰
خرمالو	۳۸/۹۷	۰/۳۲	۲/۴۸	۱/۵۴	۵۲/۶۵	۸/۱	۰/۱۵	۶/۷۷	۲/۶۴	۱/۶۳	۰/۰۱
اربطان	۴۶۳۸/۵	۲۲	۳/۷۳	۱/۵۱	۵۰/۱۶	۷/۲	۰/۰۳	۵/۰۱	۲۴۲/۱۵	۹/۹۸	۰/۴۴
منیق خاکی	۳۵/۹۳	۰/۴۵	۲/۹۷	۱/۶۰	۵۱/۶۸	۶/۷	۰/۲۳	۷/۳۴	۲/۶۴	۱/۲۱	۰/۰۰
مقصودلو	۱۲/۶۹	۱/۸	۲/۶۳	۱/۷۹	۴۹/۰۲	۶/۸	۰/۲۴	۶/۶۱	۰/۸۴	۱۳/۵	۰/۰۴
پارام	۵۶/۴۲	۴	۳/۰۱	۱/۶۳	۵۷/۸۷	۷/۲	۰/۱۸	۸/۷۳	۴۹/۲	۱۵/۱	۰/۰۸
هریس	۹/۸۲	۰/۴	۳/۰۱	۱/۹۶	۴۵/۳۸	۵/۲	۰/۳۳	۶/۴	۰/۶۳	۱۴/۱	۰/۰۱
سدینگجه ۱ هریس	۲۲/۶۲	۱	۳/۱۳	۲/۰۱	۴۷/۸۷	۳/۹	۰/۲۴	۷/۱۵	۱/۶۲	۱۹/۳	۰/۰۲
باروق هریس	۱۵/۴۵	۰/۱۵	۲/۱۳	۱/۷۱	۶۵/۶۳	۷/۹	۰/۱۱	۱۰/۰۳	۱۵/۵	۱۳	۰/۰۰
کردکندی	۶۷/۸۱	۶/۰۳	۲/۴۸	۱/۶۳	۵۷/۷۱	۷/۶	۰/۱۰	۷/۸۲	۵/۳	۱۳/۵	۰/۱۲
چوغان	۴۳/۳۵	۴/۵	۲/۹۱	۱/۸۶	۴۴/۶۷	۶/۹	۰/۱۶	۵/۱۶	۲/۲۴	۱۱/۵	۰/۰۹
اردلان	۳/۹۶	۲/۸	۱/۷۳	۱/۶۰	۳۴/۸۵	۸/۳	۰/۰۶	۵/۱۹	۰/۲۱	۱۴/۹	۰/۰۶
قیصرق	۱۷۱/۵۱	۳/۲	۳/۰۸	۱/۶۵	۵۰/۸۹	۵/۵	۰/۱۱	۱۳/۴۸	۲۳/۱۲	۲۶/۵	۰/۰۶
تاجیار سراب	۹۸/۲۵	۴/۵	۳/۱۰	۱/۷۴	۴۹/۸۷	۵/۵	۰/۱۴	۱۳/۴۱	۱۳/۱۸	۲۶/۹	۰/۰۹
وانق علیا	۱۲۰/۳۶	۲	۳/۱۰	۱/۶۷	۵۳/۰۶	۵/۹	۰/۱۳	۱۴/۷۸	۱۷/۷۸	۲۵/۸	۰/۰۴
اوغان	۱۴۶/۰۸	۱	۳/۱۰	۱/۶۴	۵۲/۶۷	۶/۶	۰/۱۲	۱۴/۰۱	۲۰/۴۷	۶۱/۳	۰/۰۲
گادوش آباد	۲۷/۷۴	۲/۵	۳/۱۵	۱/۶۱	۵۶۹/۳	۷/۱	۰/۲۹	۱۶/۴۸	۴/۵۲	۳۰/۵	۰/۰۵
ملا یعقوب	۱۴۳/۶۸	۴	۳/۰۸	۱/۷۴	۴۹/۸۹	۵/۷	۰/۱۱	۱۸۶/۲	۱۸۴/۷۴	۲۵/۸	۰/۰۸
باقتان	۴۷/۸۹	۶/۷	۲/۵۵	۱/۶۴	۵۰۱/۰	۷/۱	۰/۰۹	۱۱/۸۴	۱۱/۵۹	۲۳/۷	۰/۱۴
احمدآباد سفلی	۲۹/۹۹	۵/۹	۲/۸۲	۱/۶۵	۵۷/۴۶	۷/۲	۰/۲۱	۱۷/۷۸	۵۵	۳۱	۰/۱۲
فاضل گلی	۰/۷۸	۲/۵	۲/۶۲	۲/۴۱	۴۶/۴۴	۴/۲	۰/۲۴	۱۳/۴۲	/۱۰	۲۸/۹	۰/۰۵
آمند ۲	۴۵۷/۴۵	۰/۲۵	۳/۵۹	۱/۳۷	۵۰/۲۲	۶/۷	۰/۱۰	۲۴/۵۷	۱۱۲/۴۱	۴۸/۹	۰/۰۱
ینگجه آذرشهر	۲۲۰/۷۸	۳	۳/۳۶	۱/۵۰	۴۹/۴۸	۵/۷	۰/۱۳	۲۶/۴۶	۵۸/۴۱	۵۴۷	۱/۱۶
هفت‌چشمه آذرشهر	۳/۱۵	۰/۳	۲/۳۶	۱/۹۲	۴۲/۰۶	۶/۸	۰/۲۴	۲۰/۲۸	۰/۶۴	۴۸/۲	۰/۷۰
قلعه‌چای عجب‌شیر	۲۵۰/۹۵	۴۰	۳/۳۹	۱/۶۱	۴۸/۱۸	۵/۳	۰/۱۱	۲۴/۸۱	۶۲/۳	۵۱/۵	۰/۲۰۹
علویان	۳۱۲/۲۴	۵۷/۷	۳/۴۳	۱/۵۳	۵۱/۸۴	۵/۳	۰/۱۱	۲۸/۸۷	۹	۵۵/۷	۳۴/۹۳
گل‌تپه مراغه	۵/۸۳	۰/۶	۲/۱۳	۱/۷۴	۶۸/۰۷	۷/۹	۰/۱۶	۴۷/۵۷	۲	۶۹/۹	۰/۰۷
هاچه سو	۳۵/۱۲	۰/۸	۲/۶۱	۱/۵۱	۴۹/۲۰	۶/۹	۰/۱۹	۱۵/۵۱	۵/۴۸	۳۵۳	۰/۰۱
سد ساروق	۳۳۰/۳	۳/۱	۳/۳۰	۱/۷۹	۴۹/۸۳	۵/۲	۰/۰۸	۵۴/۶۲	۱۸۰۴/۲	۵۷/۶	۰/۰۴
شهید کاظمی بوکان	۶۹۱۶	۵۱/۸	۳/۳۰	۱/۳۷	۶۹/۸۸	۷/۶	۰/۰۲	۲۲/۰۴	۱۵۲۴/۷	۳۱/۵	۰/۷۳
قوشخانه	۶۳/۲۵	۶۰۵	۳/۰۵	۲/۲۵	۱۰۸/۰۹	۳/۷	۰/۱۰	۷۸/۲۱	۴۹/۴۵	۷۲/۴	۸/۵۹

سد	AD (Km2)	VD (MCM)	Hmax (Km)	Hmin (Km)	P (Cm)	T (C)	S (Km)	R (Cm)	VQ (MCM)	٪R	VD/VP%
قوری چای میاندوآب	۱۱۲۱۳	۰/۱۴	۳/۳۰	۱/۲۹	۶۲/۲۲	۷/۹	۰/۰۲	۱۷۷/۶	۱۸۸/۶۶	۲۷	۰/۰۰۲
خراسان‌بوکان	۸۹/۹۳	۱	۲/۵۶	۱/۴۳	۶۲/۴۹	۸/۴	۰/۱۲	۲۸/۱۱	۲۵/۳	۴۵	۰/۰۵
سنجاق	۵۳/۶۴	۲/۵	۲/۲۹	۱/۵۶	۶۷۳/۳	۸	۰/۱۰	۲۸/۸۳	۰/۱۵	۴۵/۳	۰/۱۲
مهاباد	۸۷۸/۹	۱۹۷/۸	۲/۸	۱/۳۱	۶۳۸	۸/۵	۰/۰۵	۲۲۴	۱۷۷/۹۲	۳۳/۵	۰/۱۳۸
حسنلو	۱۴۱۶	۹۴	۳/۴۷	۱/۲۵	۶۳/۶۴	۸/۵	۰/۰۶	۲۴۷/۱	۳۰/۷	۳۴/۲	۴/۹۳
ده گرجی اشنویه	۲۵/۷۷	۰/۴۵	۲/۰۵	۱/۳۸	۴۹/۸۷	۱۱۰	۰/۱۳	۱۴/۲۱	۳/۷	۲۸/۵	۰/۰۲
شهرچای	۳۲۲/۲	۱۹۹	۳/۶۰	۱/۵۰	۸۳/۹۵	/۷۳	۰/۱۲	۴۰/۷	۱۳۱۱۴/۹	۴۸/۵	۴۴/۱۳
عبدل‌آباد	۱۰۵۹	۰/۵	۳/۱۱	۱/۳۵	۸۳/۸۹	۶/۱	۰/۰۵	۴/۸۶	۵۱/۴۵	۵/۷۹	۰/۰۳۸
سلماس	۲۳۶۳	۲۲	۳/۴۶	۱/۵۴	۸۷/۶۴	۵/۴	۰/۱۳	۶/۲۱	۰/۱۵	۷/۰۹	۲/۶۱۹
زولا	۹۴۹/۵	۴۱/۳	۳/۱۱	۱/۴۶	۸۶/۹۸	۵/۷	۰/۰۵	۵/۳	۵۰/۳	۶/۰۹	۱۰/۱۷

مأخذ: محاسبات نگارنده، ۱۳۹۸

در جدول ۶ حجم آبدهی سالانه و حجم بارش سدها نسبت‌به مخزن سد برآورد شد. براساس مطالعات انجام‌شده که ۲۰ درصد از ضریب رواناب می‌تواند به سدها اختصاص داده شود *(آوجی، ۱۳۹۵: ۱۰۵)*، نسبت‌های جدول ۶ طبقه‌بندی شد. هرچند داده‌های سدهایی که از ۲۰ درصد بالاتر می‌روند نامطلوب است، باتوجه به تفاوت زیاد سدها از این نظر طبقه‌بندی دیگری انجام شد (جدول ۷). در این طبقه‌بندی سدها به ۵ دسته وضعیت بحرانی، خیلی نامساعد، نامساعد، مرزی، مطلوب و خیلی مطلوب تقسیم‌بندی شد، براساس برآورد حجم آبدهی نسبت‌به بارش حوضه، حجم مخزن سد اردلان که بر رودخانهٔ چکی چای احداث شده نسبت‌به زیرحوضهٔ بالادست خود بسیار زیاد است. به‌طوری‌که حجم آبی در حدود چهار برابر میانگین بارش، باید وارد مخزن سد شود تا پر شود. حجم مخزن سد نسبت‌به بارش حوضه در سد فاضل گلی روی آبراههٔ فاضل گلی نیز بسیار زیاد است. براساس حجم بارش و مخزن سد، از مساحت ۳۶۲۳۹/۲۲ کیلومترمربعی کل زیرحوضه‌های دارای سد، ۴/۷۴ کیلومترمربع در وضعیت بحرانی، ۶۴۷/۱۹ کیلومترمربع در وضعیت نامساعد، ۲۵۲/۸۰ کیلومترمربع در وضعیت مرزی، ۱۱۳۱/۳۲ کیلومترمربع در وضعیت مطلوب و ۲۹۳۱۱/۶۹ کیلومترمربع دارای شرایط خیلی مطلوب هستند. درصد حجم مخزن نسبت‌به حجم آبدهی که براساس روش جاستین برای زیرحوضهٔ سدها محاسبه شد خیلی بیشتر است. سدهای فاضل گلی، اردلان، زولا، مقصودلو، سلماس، شهرچای، چوغان، علویان، کردکندی، آمند تبریز، مهاباد و احمدآباد سفلی بیش از صددرصد محاسبه شد. سدهای عبدل‌آباد، قوری‌چای میاندوآب، قوشخانه و آمند ازجمله سدهایی هستند که حجم آبدهی زیرحوضه جوابگوی حجم مخزن سد است. از این منظر، از کل مساحت زیرحوضه‌ها دارای سد (۳۶۲۳۹/۲۲ کیلومتر مربع) ۲۴۵۷/۲۹۷ کیلومتر مربع در وضعیت بحرانی، ۳۲۰/۰۹۹ کیلومتر مربع در شرایط خیلی نامساعد، ۳۴/۳۰ کیلومتر مربع وضعیت نامساعد، ۱۰۴۲/۸۰۹ کیلومتر مربع وضعیت مرزی، ۸۹۵۱/۶۲۹ کیلومتر مربع وضعیت مطلوب و حدود ۱۸۵۴۱/۵۳ کیلومتر مربع دارای وضعیت خیلی مطلوبی هستند (جدول۶).

جدول ۵: برآورد حجم آبدهی سالانه و حجم بارش سدها نسبت‌به حجم مخزن سد

سدها	رودخانه	حجم مخزن سد M^3	تاریخ احداث سد	نسبت حجم مخزن سد به حجم بارش سد	نسبت حجم مخزن سد به حجم آبدهی سد
تیل	تیل	۷۰۰۰۰۰	۱۹۸۵	۵۸/۸۱	۶۳/۲۶
هریس شبستر	دره چای	۱۵۰۰۰۰		۰/۹۱	۱/۱۸
آمند تبریز	سنخ چای	۴۰۰۰۰۰۰	۱۹۹۳	۶۲/۹	۱۱۲
نهند	نهند چای	۳۲۰۰۰۰۰۰	۱۹۹۶	۳۲/۷۵	۶۹/۸۱
سفیدان عتیق	چهارشنبه چای	۴۵۰۰۰۰	۱۹۹۷	۲۴/۸۲	۳۴/۵۴
ملک کیان	سعیدآباد	۱۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰	۷/۱۴	۱۳/۸۷
خرمالو	مسیل شهسوار	۳۲۰۰۰۰	۱۹۷۹	۱/۵۶	۱۲/۱۳
اربطان	زرنق (آجی چای)	۲۲۰۰۰۰۰۰	۱۹۹۷	۰/۹۱	۹/۰۹
منیق خاکی		۴۵۰۰۰۰		۲/۴۲	۱۷/۰۵
مقصودلو	مسیل مقصودلو	۱۸۰۰۰۰۰	۱۹۸۵	۲۸/۹۴	۲۱۴/۴۶
پارام	پارام چای	۴۰۰۰۰۰۰	۱۹۹۷	۱۲۵/۲	۸/۱۳
هریس	نیلق چای	۴۰۰۰۰۰	۱۹۸۲	۸/۹۷	۶۳/۶۶
سد ینگجه ۱ هریس	ینگجه چای	۱۰۰۰۰۰۰	۱۹۸۴	۹/۲۳	۶۱/۸۵
باروق هریس	هورایلی	۱۵۰۰۰۰	۱۹۸۲	۱/۴۸	۰/۹۷
کردکندی	اوجانچای	۶۰۳۰۰۰۰	۲۰۰۳	۱۵/۴۱	۱۱۳/۷۲
چوغان	اسب‌آباد چای	۳۲۰۰۰۰۰	۲۰۱۱	۱۶/۵۳	۱۴۳/۱۲
اردلان	چکی چای	۴۵۰۰۰۰۰	۱۹۹۸	۳۲۵/۹۱	۲۱۹۰
قیصرق	چکی چای	۲۸۰۰۰۰۰	۲۰۰۶	۳/۲۱	۱۲/۱۱
تاجیار سراب	تاجیار (هند رود)	۴۵۰۰۰۰۰	۲۰۰۳	۹/۱۸	۳۴/۱۵
وانق علیا	وانق علیا	۲۰۰۰۰۰۰	۱۹۸۶	۳/۱۳	۱۱/۲۵
اوغان	آقام علی چای	۱۰۰۰۰۰۰		۱/۳	۴/۸۸
گادوش آباد	خارج بستر آجی چای	۲۵۰۰۰۰۰	۱۹۹۹	۱۷۱/۶	۵۴/۶۹
ملا یعقوب	وانق علیا	۴۰۰۰۰۰۰	۱۹۸۴	۵/۵۸	۲/۱۷
باقتان	ابرغان	۶۷۰۰۰۰۰	۱۹۸۵	۱۳/۶۹	۵۷/۸۳
احمدآباد سفلی	احمدآباد	۵۹۰۰۰۰۰	۲۰۱۲	۳۳/۱۲	۱۰/۷
فاضل گلی	آبراهه فاضی گلی	۲۵۰۰۰۰۰	۱۹۸۵	۶۹۱۳/۱	۲۳۹۱/۲۷
آمند ۲	مسیل آمند	۲۵۰۰۰۰	۱۹۸۵	۰/۱۱	۰/۲۲
ینگجه آذرشهر	آذرشهرچای	۳۰۰۰۰۰۰	۱۹۹۳	۲/۷۵	۵/۱۴
هفت‌چشمه آذرشهر	چنج چای- قلعه‌چای	۳۰۰۰۰۰	۱۹۸۴	۲۶۱/۲	۴۶/۹
قلعه‌چای عجب‌شیر	قلعه‌چای	۵۵۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۸	۴۴۹/۵	۸۸/۳۵
علویان	صوفی چای	۱۲۳۴۰۰۰۰۰	۱۹۹۵	۷۶/۲۴	۱۳۶۹/۱۴
گل‌تپه مراغه	سراجو چای	۶۰۰۰۰۰		۱۵/۱۱	۲۱/۶۲
هاچه سو	هاچه سو	۳۱۰۰۰۰۰	۱۹۸۶	۱۷/۹۴	۵۶/۸۹
سد ساروق	ساروق (قره‌قیه)	۵۱۸۰۰۰۰۰	۲۰۰۹	۱۶/۵۴	۲/۸۷
شهید کاظمی بوکان	زرینه‌رود	۶۰۵۰۰۰۰۰۰	۱۹۷۱	۱۲/۵۲	۳۹/۶۸
قوشخانه	قوشخانه	۱۴۰۰۰۰	۲۰۰۳	۰/۲۰	۰/۲۸
قوری چای میاندوآب	باداملو	۸۰۰۰۰۰	۲۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰
خراسان بوکان	خراسانه (سردار آباد)	۲۵۰۰۰۰۰	۲۰۱۳	۴/۴۵	۹/۸۹
سنجاق	باجوند (سیمینه‌رود)	۱۰۰۰۰۰۰	۲۰۱۰	۲/۹۳	۶۴۹/۵۶
مهاباد	مهاباد	۱۹۷۸۰۰۰۰۰	۱۹۷۰	۳۷/۲۷	۱۱۱/۱۷
حسنلو	خارج بستر گدار چای	۹۴۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰/۴۳	۳۰/۵۴
ده گرجی اشنویه	چشمه ده گرجی (گدار)	۴۵۰۰۰۰	۱۹۸۸	۳/۵	۱۲/۲۹
شهرچای	شهرچای	۱۹۹۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۴	۷۳/۵۷	۱۵/۱۷
عبدل‌آباد	وانق چای	۵۰۰۰۰۰		۰/۰۶	۰/۹۷
سلماس	دریک	۳۴۱۴۰۰۰۰	۲۰۱۰	۱۶/۷۵	۲۳۵۴۵
زولا	زولاچای	۱۳۲۵۰۰۰۰۰	۲۰۱۰	۱۶/۰۴	۲۶۳/۴۲

مأخذ: محاسبات نگارنده، ۱۳۹۸

جدول ۶: طبقه‌بندی داده‌های حجم آبدهی سالانه (M^3) و حجم بارش (M^3) سدها نسبت‌به حجم مخزن سد (M^3)

وضعیت	وضعیت بحرانی	خیلی نامساعد	نامساعد	مرزی	مطلوب	خیلی مطلوب
طبقه	<۱۰۰	۱۰۰-۸۰	۸۰-۶۰	۶۰-۴۰	۴۰-۲۰	۲۰-۰

مأخذ: محاسبات نگارنده، ۱۳۹۸

نتیجه

بارش وزنی و ضریب رواناب ۸۰ درصد از مساحت حوضهٔ ارومیه به‌ترتیب ۵۴۳ میلی‌متر و ۲۶/۵۴ درصد برآورد شد؛ حجم مخزن ۴۶ سد در ۱۲ زیرحوضه برابر با ۱۶۲۸/۶۸ میلیون مترمکعب است که حدود ۲۱ درصد از رواناب حوضه را به خود اختصاص می‌دهند. حجم مخزن سدها تا سال ۱۹۹۹ به ۱۰۰۰ میلیون مترمکعب و مساحت حوضه‌ای آن‌ها به ۹۶۲۰/۲۰۷ کیلومترمربع رسیده است؛ تا سال ۱۹۹۶ سدها ۱۳ درصد مقدار حجم کل رواناب حوضه را به خود اختصاص داده‌اند؛ این مقدار تا سال ۲۰۱۳ به ۲۱/۸ درصد رسیده است. در سال ۱۹۷۰ با ساخت سد مهاباد با حجم مخزن ۱۹۷/۸ میلیون مترمکعب و مساحت حوضهٔ بالادستی ۸۷۸/۹۴ کیلومترمربع، حجم مخزن سدها از آستانهٔ محیطی گذشته و کاهش تراز آب غیرقابل‌بازگشت دریاچه شروع شده است. ساخت سدهای اربطان و حسن‌لو در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰، به‌عنوان شوک‌های بعدی حوضه عمل کرده‌اند. با ساخت سدهای قوریچای میاندوآب و شهرچای در سال ۲۰۰۴ سومین شوک، حوضه را تحت‌تأثیر قرار داده و افزایش بیش از حد مقدار آب دریافتی سدها نسبت‌به حجم رواناب را به‌دنبال داشته است. تراز آب دریاچه و حجم آبدهی دریاچه در سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۶ نوساناتی داشته است و با کاهش حجم یا تراز آب دریاچه، بازگشت به وضعیت مطلوب نیز اتفاق می‌افتاده است. سال ۱۹۹۶ به بعد تراز و حجم آب سیر نزولی به خود گرفته که با افزایش بهره‌برداری از سدها هم‌زمان بوده است؛ از سال ۱۹۹۹ علاوه بر افزایش تعداد، حجم مخزن سد نیز افزایش داشته است؛ در طی ۳ سال (۱۹۹۶-۱۹۹۹) ۵ سد نهند، سفیدان عتیق، پارام، اردلان و گادوش‌آباد به بهره‌برداری رسیده است. تفاضل بین فراوانی تجمعی حجم مخزن سدها و حجم کل بارش سالانه، دال بر این است که با افزایش حجم مخزن سد، حجم زیادی از بارش در سدها بلوکه شده و مانع از افزایش تراز آب دریاچه شده است. بررسی حجم مخزن سد باتوجه به حجم آبگیری و حجم بارش حوضه‌ای سدها بیان‌کنندهٔ این است که از ۴۱ سد، ۲۴ مورد، وضعیت خیلی مطلوب و مطلوب دارند و ۶ درصد از ضریب رواناب کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند؛ در وضعیت خیلی مطلوب کمتر از ۱ درصد و در وضعیت مطلوب تا ۱۳ درصد از حجم بارش حوضه به سد اختصاص داده می‌شود. از مجموع ۴۱ سد، مخزن ۲۸ سد متناسب با پتانسیل بارشی حوضه ساخته شده است. در شرایط نامساعد (سد تیل، ینگجه هریس ۱، نهند، هریس) و خیلی نامساعد (سد پارام و قلعه‌چای عجب‌شیر) کمتر از ۱ درصد از حجم بارش سالانه، ۱/۲۴ درصد از حجم رواناب کل حوضه و ۰/۳۳ درصد از حجم بارش کل حوضه به سدها اختصاص داده شده است. سدهایی که حجم مخزن آن‌ها بیشتر از حجم آبدهی حوضه‌ای آن‌ها است و در وضعیت خیلی نامساعد قرار دارند، بعد از خشک‌شدن دریاچه مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. دراین‌بین مخزن ۱۲ سد (مهاباد، مقصودلو، فاضل گلی، آمند تبریز، علویان، اردلان، کردکندی، شهرچای، سلماس، زولا، چوغان و احمدآباد سفلا) از حجم رواناب کل حوضه و ۲/۵ درصد از حجم بارش کل حوضه را به خود اختصاص می‌دهند. احداث سد مهاباد در سال ۱۹۷۰ و سد احمدآباد سفلا در سال ۲۰۱۲ و بلوکه‌شدن ۴/۷ درصد و ۱۵ درصد از حجم بارش حوضهٔ ارومیه در مخزن

آن‌ها نشان می‌دهد که استاندارد بلوکه‌شدن ۷ درصد از بارش دریافتی توسط سد در حوضهٔ تعادل هیدرولوژیکی حوضه را برقرار می‌کرده است. نسبت حجم مخزن به حجم بارش ۳۳ سد، شرایط خیلی مطلوب و ۶ سد، شرایط مطلوب دارند. مقدار دریافتی مخزن سدها در شرایط خیلی مطلوب از حجم بارش سالی که سد ساخته‌شده به‌طور متوسط ۱۶ درصد است؛ این مقدار دریافتی تا حدود ۲۴ درصد نیز تعادل محیطی را می‌تواند حفظ کند. در شرایط مطلوب میزان دریافتی سدها از حجم بارش حوضه حدود ۵ درصد است. به‌طورکلی می‌توان گفت سدهای خیلی مطلوب و مطلوب حوضهٔ ارومیه ۱۶/۶ درصد از ضریب رواناب کلی و ۴/۴ درصد از حجم بارش کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند.

منابع

آوجی، مینا (۱۳۹۵). برآورد خط تعادل آب و خشکی چاله‌های داخلی ایران، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه زنجان.
https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/627c50173c037a5c63485a6a15824c8b?sample=1

رحیمی بالکانلو، خدیجه؛ فاطمه پناهی؛ محمد جعفری؛ آرش ملکیان (۱۴۰۰). بررسی پویایی تأمین خدمات اکوسیستم حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه در شرایط تغییر کاربری و پوشش سطح زمین، نشریهٔ علمی-پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. سال ۱۲. شماره ۴۶. صفحات ۴۴۸-۴۳۰.
http://www.waterjournal.ir/article_142424_abb02a69f92f7d1cdd7223f39803649a.pdf

قاجارنیا، نوید؛ عبدالمجید لیاقت؛ پیمان دانش‌کار آراسته (۱۳۹۳). صحت‌سنجی داده‌های بارندگی ایستگاه‌های غیرثبات سازمان هواشناسی و تماب در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، نشریهٔ حفاظت منابع آب و خاک. (علمی- پژوهشی). سال ۴. شماره اول. صفحات ۱۰۹-۹۱.
DOI20.1001.1.22517480.1393.4.1.6.5
https://wsrcj.srbiau.ac.ir/article_6406_113cdfd9eadceb4bcfe0e897dce6fdba.pdf

قادرپور، محسن؛ هیراد عبقری؛ حسین طبری (۱۳۹۵). ارزیابی روند مکانی بارش در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. سال ۴۸. شماره ۴. صفحات ۶۴۳- ۶۲۷.
DOI10.22059/JPHGR.2016.60833
https://jphgr.ut.ac.ir/article_60833.html?lang=fa

علیزاده، امین (۱۴۰۰). اصول هیدرولوژی کاربردی، نوبت چاپ ۴۵. مشهد. آستان قدس رضوی.
https://mohitesabs.blogsky.com/1394/11/25/post-946/-

نورانی، وحید؛ آزاد، قاسم‌زاده؛ الناز شرقی (۱۳۹۵). بررسی تأثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی آجی چای بر تغییرات تراز آب دریاچهٔ ارومیه با استفاده از مدل ترکیبی موجک- من کندال، هیدروژئومورفولوژی. سال ۳. شماره ۷. صفحات ۱۵۹-۱۴۱.
DOI:20.1001.1.23833254.1395.3.7.8.4
https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_5288_5b08144d19364b30e397163089816c16.pdf

References

AghaKouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A.,... & Hasanzadeh, E (2015). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: call for action. Journal of Great Lakes Research, 41(1), 307-311.
https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.12.007
https://www.researchgate.net/publication/270344970_Aral_Sea_syndrome_desiccates_Lake_Urmia_Call_for_action

Alipour, S (2006). Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia salt lake, Iran. Saline systems, 2, 1-19.
https://doi.org/10.1186/1746-1448-2-9
https://link.springer.com/article/10.1186/1746-1448-2-9

Alizadeh-Choobari, O., Ahmadi-Givi, F., Mirzaei, N., & Owlad, E (2016). Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. International Journal of Climatology, 36(13), 4276-4286.
https://doi.org/10.1002/joc.4630
https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.4630

Aslı, U. L. K. E., & Hezerani, A. B (2019). Analysis of Basin drought for URMIA Lake in Iran with Standardized Precipitation Index method SPI. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(2), 167-176.
https://doi.org/10.7212/zkufbd.v9i2.1224 https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen/article/805572

Bakhshianlamouki, E., Masia, S., Karimi, P., van der 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.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134874
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719348661

Birsan, M. V., Molnar, P., Burlando, P., & Pfaundler, M (2005). Streamflow trends in Switzerland. Journal of hydrology, 314(1-4), 312-329.
https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.008
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169405002970

Xua,b, Diandian, W. Lyonb, Steve , Maoa, Jingqiao , Daia, Huichao , Jarsjö Jerker (2020). Impacts of multi-purpose reservoir construction, land-use change and climate change on runoff characteristics in the Poyang Lake basin, China.Journal of Hydrology,29. 1-16
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581820301683?via%3Dihub

Faramarzi N (2012). Agricultural water use in Lake Urmia basin, Iran: an approach to adaptive policies and transition to sustainable irrigation water use. Department of Earth Sciences [master thesis]. [Uppsala (Sweden)]: Uppsala University. No.
https://www.ulrp.ir/en/agricultural-water-use-in-urmia-lake-basin-iran/

Guo, H., Hu, Q., Zhang, Q., & Feng, S (2012). Effects of the three gorges dam on Yangtze river flow and river interaction with Poyang Lake, China: 2003–2008. Journal of Hydrology, 416, 19-27.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169411008122

Graf, W. L (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. Geomorphology, 79(3-4), 336-360.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.022
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06002571

Hassanzadeh, E., Zarghami, M., & Hassanzadeh, Y (2012). Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. Water Resources Management, 26, 129-145.
https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8
https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-011-9909-8

Hesami, A., & Amini, A (2016). Changes in irrigated land and agricultural water use in the Lake Urmia basin. Lake and Reservoir Management, 32(3), 288-296.
https://doi.org/10.1080/10402381.2016.1211202
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10402381.2016.1211202
http://daminfo.wrm.ir/fa/dam/stats http://earthexplorer.usgs.gov

Jalili, S., Hamidi, S. A., & Namdar Ghanbari, R (2016). Climate variability and anthropogenic effects on Lake Urmia water level fluctuations, northwestern Iran. Hydrological sciences journal, 61(10), 1759-1769.
https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1036757
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667.2015.1036757

Kadioglu, M., Sen, Z., and Batur, M (1997). The great test soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change, Ann Geophysicae 15, 1489-1497, Springer Verlag.
https://doi.org/10.1007/s00585-997-1489-9
https://angeo.copernicus.org/articles/15/1489/1997/

Kamran, K. V., & Khorrami, B (2018). Change detection and prediction of Urmia Lake and its surrounding environment during the past 60 years applying geobased remote sensing analysis. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42(3/W4), 519-525.
https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-519-2018
https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W4/519/2018/

Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K.,...& Aghakouchak, A (2019). Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. Journal of hydrology, 569, 203-217.
https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.004
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216941830934X

Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., García-Ruiz, J. M., & Cuadrat, J. M (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology, 386(1-4), 13-26.
https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.001
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410000028

Mardi, A. H., Khaghani, A., MacDonald, A. B., Nguyen, P., Karimi, N., Heidary, P., ... & Sorooshian, A. (2018). The Lake Urmia environmental disaster in Iran: A look at aerosol pollution. Science of the Total Environment, 633, 42-49.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.148
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718309082

20.1001.1.23833254.1395.3.7.8.4 https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_5288_00.html?lang=en

Mehrian, M. R., Hernandez, R. P., Yavari, A. R., Faryadi, S., & Salehi, E (2016). Investigating the causality of changes in the landscape pattern of Lake Urmia basin, Iran using remote sensing and time series analysis. Environmental monitoring and assessment, 188, 1-13.
https://doi.org/10.1007/s10661-016-5456-3
https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5456-3

Salimi, J., Maknoon, R., & Meijerink, S (2019). Designing institutions for watershed management: A case study of the Urmia Lake Restoration National Committee. Water Alternatives 12(2): 609-635
https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/volume-12/v12issue2/495-a12-2-2/file

Emami , S, Choopan, Y, Parsa J (2019). Dam Seepage Prediction Using RBF and GFF Models of Artificial Neural Network; Case Study: Boukan Shahid Kazemi's Dam, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 7(3), 15-32. magiran.com/p2061195.
https://civiljournal.semnan.ac.ir/article_3016.html

Vahed, S. Z., Forouhandeh, H., Hassanzadeh, S., Klenk, H. P., Hejazi, M. A., & Hejazi, M. S (2011). Isolation and characterization of halophilic bacteria from Urmia Lake in Iran. Microbiology-New York, 80(6), 834.
DOI: 10.1134/S0026261711060191
https://www.academia.edu/download/45969876/Isolation_and_characterization_of_haloph20160526-19862-1hd6s5b.pdf

Yan, Y., Yang, Z., Liu, Q., & Sun, T (2010). Assessing effects of dam operation on flow regimes in the lower Yellow River. Procedia Environmental Sciences, 2, 507-516.
https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.055
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029610000885

Yu, G., & Shen, H (2010). Lake water changes in response to climate change in northern China: Simulations and uncertainty analysis. Quaternary International, 212(1), 44-56.
https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.07.020
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618209002377

Zeinoddini , M, Tofighi , MA, Vafaee, F (2009). Journal of Great Lakes Research, 35 , 13-22.
https://www.ulrp.ir/wp-content/uploads/2019/04/node_1397.pdf