



An Assessment of the Influence of Climate Change on Urmia Lake's Water Level Reduction

Ghasem Azizi^{*1}, Sara Nazif², Faezeh Abbasi³

Received: Nov. 19, 2016; Accepted: Dec. 26, 2016

Extended Abstract

The subject of this study concerns Urmia Lake which is one of the most valuable water habitats in Iran and investigation of crisis in the drop n of water level, significant decrease in the lake's surface area and increase in its salinity.. In order to have better understanding of the processes that affect the lake's water level fluctuations and assess the contributions of every responsible parameter, System water consumption was designed. System water consumption was designed in The Lake Basin in the Vensim and the effects of each variable on the water level of the lake were evaluated using a set of different scenarios The findings suggest that in comparison to other variables, the operation of dams (26%) as well as an increase of water requirement (16%) by variables have played a role in reducing the input to the lake. Climate variables had an effect of 16% within the time span of 1999-2014. Although Hydrograph indicates the aquifer deterioration in some of them, the entrance to the lake water budget is negligible

Keywords: climate change, system dynamism, Urmia lake, water resource management, Vensim Model

1. Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, University of Tehran, Tehran, Iran (Corresponding Author).

✉ ghazizi@ut.ac.ir

2. Assistant Professor of Civil Engineering, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

snazif@ut.ac.ir

3. PhD Candidate of Climatology, Department of Physical Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abbasi87@u.ac.ir



Introduction

The rapid process of phenomenal changes on the earth's surface demands the necessity to explore and identify natural and human processes related to this phenomena. In this regard, studying the lake's water level fluctuations is of particular importance both as a natural heritage and as one of the challenges facing human societies in acquiring sustainable water resources. The status of the lake drainage and its gradual drying process in recent years has created important economic, environmental, and social problems at the national and regional levels.

Consequently the experts consider the lake drainage as the biggest desertification event of the century. The creation of salt hazards, desertification and its –spread into agricultural and residential areas with the subsequent destruction of agricultural lands and gardens as well as increasing the migration from the adjacent areas of the lake are the most important hazards posed by the continuation of this situation. The process of drying the lake has begun since 20 years ago with continual reduction by more than 8 meters during this time.

Purpose

The main purpose of this study is to identify and determine the impact of each natural and human factor that affect the lake's water level fluctuations.

Methodology

The dynamic model of the fluctuations of lake water balance was studied using the dynamics of systems as an appropriate analysis tool. Based on this view, various components of the Urmia basin system and the relationship between its subsystems were defined (Figure.1). In this way, economic, social, and environmental cumulative impacts of development plans at basin as well as climate change are estimated. Software tools like Vensim, which is designed to understand dynamics of the system and is one of the most powerful tools for studying water resource systems, have been used. Therefore, we divided the lake's water resources system into three subsystems: climate variables, groundwater, and surface runoff. Some factors were also identified in each subsystem, including the effects of growth of irrigated lands and changing pattern of water requirements. It should be noted that the necessary data were provided and introduced into the model after quality control within the time span of 1999-2014.

Data and Results

Calibration of the simulated pattern behavior showed that the provided pattern represents the actual system and the model is able to represent the real system which can be a valid example of behavior of the observed. In the following, pattern changes of the lake level were investigated by designing a set of different scenarios. Indicators for assessing scenarios include changing climatic conditions, dam's operations, water requirement pattern, and the interaction of the Lake with the adjacent aquifers. To investigate the contribution of climate conditions to the reduction of lake level, current trends of precipitation and Evapotranspiration stations around the lake with the overall trend of these two variables within of the period 1982-1997 was compared. The results of this scenario show that the

maximum impact of declining rainfall and increasing evaporation, on reducing the water level of the lake is %16. However examining the reasons of transformation in the amount of rainfall and evaporation in the local or regional scale needs further research in this field. The main factors in fluctuating the lake level were other variables such as surface flow which has the most portion of input flow to the lake. The examination indicated that the development of agriculture in the catchment accompanied with triple growth of irrigated lands led to increasing the annual water consumptions. This scenario determined that these factors have attributed 42 % of the lake level changes. The groundwater flow is the third subsystem. The examinations showed that the interaction of the Lake with the adjacent aquifers as the drainage flow along to the surface is of negligible value. Gradually, the excessive exploitation of aquifers and the disruption of the drain underground water flows to rivers, and led to supplant the interphase threshold and the progress of the saltwater to the aquifer.

Innovation, Limitations and Implications

- The innovations of this research are as follows:
- Operation of dams solely cannot be the main reason for the decline in the lake's water level. It is due to combination of the impact of changes in cropping patterns and consequently changing the pattern of water demand in the basin that had significant impacts on reducing the water level of the lake.
- Natural factors with a share of 16% can only slow down the rate of decline in lake levels and the current trend of decreasing lake water levels are substantially independent of climatic variables.
- And one of the main limitations of this research was the inaccessibility to long-term data.



Interdisciplinary
Studies in the Humanities

Abstract

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی

Bibliography

- Ahadnejad, M., & Maruyama, Y. (2010). Study of Uremia Lake level fluctuations and predict probable changes using multi-temporal satellite images and ground truth data period (1976-2010). In: *New Challenge about Climate Change or Human Impact*. Map Asia 2010 & ISG 2010 Conference, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Ahmadzadeh, T., Ahmadzadeh, B., Moradi, Sh., & Baghvand, A. (2010). Mo'adelat-e parametrah-ye asargozar dar navasanat-e sath-e Daryache-ye Urmia [Equation parameters affecting the fluctuation of the Lake]. *4th Hamayesh-e Taxassosi-ye Mohandesi-ye Mohit-e Zist* [The Fourth Environmental Engineering Conference], Tehran, Iran.
- Alami, M. T., Farzin, S., Ahmadi, M. H., & Aghabalaee, B. (2014). Modelsazi-ye puyaye sistem-e sad va abha-ye zirzamani be manzur-e modiriyat-e behine-ye ab (Motale'e-ye mowredi: Sad-e Golak [System dynamics modeling of dam and groundwater for optimal water management (Case study: Golak Dam)]. *Journal of Mohandesi-ye Omrān va Mohit-e Zist/Civil and Environmental Engineering*, 44(1), 1-12.
- Azizi, Gh. (2004). *Taghyir-e eqlim* [Climate change]. Tehran, Iran: Ghoomes publications.
- Bayazidi, Sh., Mooraki Ali Abadi, H., & Salvitabar, A. (2012). Barresi-ye askarsazi-ye taghyir-e eqlim bar howze-ye Daryache-ye Urmia [Check the detection of climate change on the basin of Lake Urmia]. *9th Kongre-ye Beynolmelali-ye Mohandesi-ye Omrān* [The Ninth International Congress of Civil Engineering], Tehran, Iran. <https://www.tpbin.com/article/24389>
- Charbgo, T., & Charbgho, A. (2010). Peyamadhā-ye manfi-ye sadsazi dar howze-ye abriz-e Daryache-ye Urmia va ta'sir-e an dar xoshkidan-e Daryache-ye Urmia [The negative consequences of dam lake's basin and its impact on the drying of Lake Urmia]. *5th Hamayesh-e Melli-ye Zaminshenasi va Mohit-e Zist* [Fifth National Conference of Geology and Environment], Tehran, Iran.
- Delju, A. H., Ceylan, A., Piguat, E., & Rebetez, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1), 285-296. doi: 10.1007/s00704-012-0651-9
- Fartookzadeh, H. (1992). Negahi be puyayi-ye sistemha [Look at the dynamics of the system]. *Journal of Daneš-e Modiriyat/Knowledge Management*, 17, 29-34.
- Fathian, F., Morid, S., & Arshad, S. (2013). Arzyabi-ye ravand-e taghyirat-e karbari-ye arazi ba estefade az fanavari-ye sanjesh az dur va ertebat-e an ba ravand-e jaryan-e ruxaneha (Motale'e-ye mowredi: Zirhowzeha-ye Sarq-e Daryache-ye Urmia) [Assessment of land use changes using remote sensing technology and its relationship with the flow of rivers (Case study: East sub-basin of Lake Urmia)]. *Journal of Ab va Xak/Soil and Water*, 27(3), 642-655. doi: 10.22067/jsw.v0i0.26091
- Gholabian, H. (2010). Tarh-e ehyā' va tasbit-e Daryache-ye Urmia be komak-e ab-e Daryaye Xazar [Plan of stabling Urmia Lake with the help of the Caspian Sea]. *Journal of Mohandesin-e Mošaver/Consulting Engineers*, 47, 70-82.



- Gholian, S., Abrishamchi, A., & Tajrishi, M. (2007). Tahlil-e siyāsathā-ye bahrebardāri az manābe'-e āb dar howze-ye ābriz bā raveš-e puyāyi-ye system [A system dynamics - based analysis of operation policies for water resources at river basin scale]. *Journal of Āb-o-Fazelāb/Water and Wastewater Journal*, 18(3), 70-80.
- Guo, H., Hu, Q., & Jiang, T. (2008). Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China. *Journal of Hydrology*, 355(1-4), 106-122. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.03.020
- Hasani Mahmouei, B., Darvish, M., Fathollahzadeh, H., & Mosayebi, M. (2011). Naqš-e taghyirāt-e āb-o-havāyi va eqlimi dar kāheš-e tarāz-e sath-e āb-e Daryāče-ye Urmia [The role of climate change in reducing the water level of Lake Urmia]. *Hamāyeš-e Melli-ye Taghyir-e Eqlim va Ta'sir-e ān bar Kešāvarzi va Mohit-e Zist* [National Conference on Climate Change and Its Impact on Agriculture and the Environment] (pp 727-734), Urmia, Iran.
- Hasanzadeh, E. (2010). *Ta'in-e sahm-e sāxt-e sāzehā-ye hydraulici bar kāheš-e tarāz-e āb-e Daryāče-ye Urmia* [Determining the effect of constructing hydraulic structures on declining the Urmia Lake level] (M.A. Thesis). Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz.
- Jalili, S., Kirchner, I., Livingstone, D. M., & Morid, S. (2012). The influence of large-scale atmospheric circulation weather types on variations in the water level of Lake Urmia, Iran. *International Journal of Climatology*, 32(13), 1990-1996. doi: 10.1002/joc.2422
- Kabiri, K., Pradhan, B., Sharifi, A., Ghobadi, Y., & Pirasteh, S. (2012). Manifestation of remotely sensed data coupled with field measured meteorological data for an assessment of degradation of Urmia Lake, Iran (Vol. 6). In: *Asia Pacific Conference on Environmental Science and Technology*, APEST, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Kebede, S., Travi, Y., Alemayehu, T., & Marc, V. (2006). Water balance of Lake Tana and its sensitivity to fluctuations in rainfall, Blue Nile basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 316(1-4), 233-247. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.05.011
- Luna, E. J. R. (2011). *Water level fluctuations of Lake Enriquillo and Lake Saumatre in response to environmental changes* (Unpublished doctoral dissertation). Cornell University.
- Mortsch, L., Alden, M., & Scheraga, J. D. (2003). Climate change and water quality in the great lakes region. *Climate Change and Water Quality in the Great Lakes Basin*. Report of the Great Lakes Water Quality Board to the International Joint Commission. Available from the International Joint Commission (commission@ottawa.ijc.org).
- Ostrovsky, I., Rimmer, A., Yacobi, Y. Z., Nishri, A., Sukenik, A., Hadas, O., & Zohary, T. (2013). Long-term changes in the Lake Kinneret ecosystem: The effects of climate change and anthropogenic factors. *Climatic Change and Global Warming of Inland Waters: Impacts and Mitigation for Ecosystems and Societies* (pp. 271-293).
- Pourfallah, H., & Moshtagh, R. (2013). Modiriyat-e manābe'-e āb be komak-e raveš-e puyāyi-



Interdisciplinary
Studies in the Humanities

Abstract



- ye system bā estefāde az model-e Venism [Water resources management using system dynamic model]. *1st Hamāyeš-e Melli-ye Bohrān-e Āb* [The First National Conference on the Water Crisis], Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
- Rasouli, A. A., Abbasian, Sh., & Jahanbakhsh, S. (2008). Pāyēš-e navasānhā-ye sath-e āb-e Daryāče-ye Urmia bā pardāzēš-e tasāvir-e māvārei-ye čandsanjandei va čandzamānei [Monitoring lake water level fluctuations with multi-sensor and multi temporal satellite image processing]. *Journal of Modarres-e Olum-e Ensāni/Human Sciences*, 12(2), 54-71.
- Sellinger, C. E., Stow, C. A., Lamon, E. C., & Qian, S. S. (2008). Recent water level declines in the Lake Michigan - Huron system. *Environmental Science & Technology*, 42(2), 367-373. doi: 10.1021/es070664
- Shelton, M. L. (2011). *Hydroclimatology* [Hydroclimatology: Perspectives and applications] (H. Zolfaghari, Trans.). Kermanshah: University of Razi.
- Studies and Water Resources Research Institute (2013). *Barresi-ye taghyir-e šarāyet-e mohiti dar howze-ye ābriz-e Daryāče-ye Urmia (vaz'iyat-e ābhā-ye zirzamini)* [Evaluation of changes in environmental conditions in the Lake Urmia basin (state of underground water)]. Research Project West Azerbaijan Regional Water Company Regional & Studies and Water Resources Research Institute.
- Wang, X., Gong, P., Zhao, Y., Xu, Y., Cheng, X., Niu, Z., & Li, X. (2013). Water-level changes in China's large lakes determined from ICESat/GLAS data. *Remote Sensing of Environment*, 132, 131-144. doi: 10.1016/j.rse.2013.01.005
- Zamani Akbari, A., & Maleki, S. (2011). Arzyābi-ye taghyirāt-e xat-e sāheli-ye Daryāče-ye Urmia teye doreye 1989-2005 bā estefāde az dadehay-e GIS & RS [Shoreline change analysis of Urmia Lake during the period of 1989-2005 using GIS & RS]. *8th National Conference on Geomatics* (pp. 1-11).



ارزیابی سهم تغییر اقلیم در کاهش تراز آب دریاچه ارومیه

قاسم عزیزی*^۱، سارا نظیف^۲، فائزه عباسی^۳

دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۹؛ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۶

چکیده

دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین و ارزشمندترین زیست‌بوم‌های آبی ایران است که در حال حاضر در شرایط بحرانی قرار گرفته و تغییرات زیادی در ویژگی‌ها و عملکردهای آن به وجود آمده است که افت تراز آب، کاهش بسیار شدید مساحت دریاچه و افزایش شوری آب، از جمله این موارد است. هدف این مقاله، شناخت بهتر فرایندهای مؤثر بر نوسانات تراز آب دریاچه و ارزیابی سهم هریک از مؤلفه‌های تأثیرگذار است؛ از این رو، سیستم منابع و مصارف آب در محدوده حوضه آبریز دریاچه در قالب الگوی ون‌سیم طراحی شد. در طراحی الگو، اندرکنش و روابط متقابل مؤلفه‌های اثرگذار، شامل سدهای حوضه، برداشت از آبخوان‌ها، و متغیرهای اقلیمی، بر سطح دریاچه در مقیاس ماهانه در بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۳۹۳ در نظر گرفته شد. پس از واسنجی الگو، روند تأثیرگذاری هریک از متغیرها بر تراز آب دریاچه با طراحی سناریوهای مختلف ارزیابی شد. یافته‌ها حاکی از این است که بهره‌برداری از سدهای حوضه (۲۶ درصد) به همراه افزایش نیاز آبی (۱۶ درصد) به‌ویژه در بخش کشاورزی، در مجموع سبب کاهش ۴۲ درصدی جریان سطحی ورودی به دریاچه شده‌اند. متغیرهای اقلیمی نیز سهمی معادل ۱۶ درصد داشته‌اند. در مورد نقش آبخوان‌های ساحلی دریاچه نیز، هرچند آبنگاری معرف آبخوان‌ها، روند افت تراز آبخوان‌ها و پیشروی جبهه آب شور را در برخی از آن‌ها نشان می‌دهد، با این حال تراز آب زیرزمینی ورودی به دریاچه، مقدار ناچیزی به دست آمد. لازم به ذکر است که میزان آب زهکشی شده از دریاچه به آبخوان‌های مجاور هم‌زمان با افت شدید سطح آبخوان‌ها، به دلیل در دسترس نبودن داده‌های مورد نیاز، محاسبه نشد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، پویایی سیستم، دریاچه ارومیه، مدیریت منابع آب، الگوی ون‌سیم

۱. دانشیار آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
ghazizi@ut.ac.ir
۲. استادیار مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
snazif@ut.ac.ir
۳. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
abbasi87@ut.ac.ir

مقدمه

شکل‌ها و پدیده‌های سطح زمین به سرعت تغییر می‌کنند و این تغییرات در طول زندگی انسان بسیار چشمگیر است. نکته مهم این است که بتوان چنین تغییراتی را به‌دقت بررسی و فرایندهای طبیعی و انسانی به‌وجودآورنده را به‌خوبی شناسایی کرد (رسولی و همکاران، ۱۳۸۷، ۵۴). در این راستا، مطالعه نوسان‌های تراز آب دریاچه‌ها، به‌منظور حفاظت از آن‌ها، به‌دلیل اهمیت، ماهیت و موقعیت این مجموعه‌های آبی به‌عنوان میراث‌های طبیعی، در سال‌های اخیر در بین کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در واقع، چشم‌انداز تغییرات اقلیمی و چالش‌های پیش روی جوامع انسانی برای دستیابی به منابع پایدار آب، سبب شده است که مطالعه روابط بین این عوامل و منابع آب، مورد توجه مجامع علمی قرار گیرد (شلتن، ۱۳۹۱، ۱۹). یکی از مهم‌ترین عواملی که مطالعه و بررسی آن با توجه به رشد روزافزون جمعیت، توسعه صنعتی و اقتصادی، تغییر کاربری زمین‌ها و به‌تبع آن تغییر الگوی نیاز آبی در بخش کشاورزی، اهمیت بسیاری یافته است، تأثیر عوامل انسانی است.

اهمیت این موضوع سبب شده است که در طول سال‌های اخیر، پژوهش‌های فراوانی درباره نوسانات آب شناسی در حوضه‌های آبریز انجام شود؛ پژوهش‌هایی که بیشتر بر نقش تغییر شرایط آب‌وهوایی و نیز تأثیر فعالیت‌های انسانی تأکید دارند و نوسانات به‌وجودآمده در تراز دریاچه‌ها از طریق این عوامل را تجزیه و تحلیل می‌کنند. آستروسکی^۱ و همکاران (۲۰۱۳)، در بررسی دلایل نوسانات دریاچه کینرت^۲، افزایش نیاز آبی به حوضه آبریز این دریاچه و روند کاهش بارش را از دلایل تغییر رژیم شوری، حرارتی و هیدرولوژیکی در این دریاچه عنوان کرده‌اند. وانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از روش‌های دورسنجی، تراز آب دریاچه‌های بزرگ چین را مطالعه کرده‌اند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان می‌دهد که دریاچه‌های واقع در شرق و شمال شرق چین با کاهش تراز روبه‌رو هستند که دلیل اصلی آن، برداشت‌های انجام‌شده برای مصرف در بخش کشاورزی از رودخانه‌های مهم این حوضه (مانند یانگ‌تسه) است، در حالی که ۳۸ دریاچه دیگر، روند افزایشی را نشان می‌دهند که این تغییرات را ناشی از ذوب یخچال‌های واقع در منطقه می‌دانند. لونا^۴ (۲۰۱۱)، دلایل نوسانات کنونی تراز آب دو دریاچه انریکیلو و ساماتره^۵ در



فصلنامه علمی - پژوهشی

۲

دوره نهم
شماره ۴
پاییز ۱۳۹۶

1. Ostrovsky
2. Kinneret
3. Wang
4. E. Luna
5. Enriquillo and Saumatre

جمهوری دومینکن را با بررسی تغییرات کاربری زمین‌ها و تغییر شرایط اقلیمی منطقه مطالعه کرده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، نشان می‌دهد که تراز دریاچه نسبت به بارش و تبخیر، حساسیت بالایی دارد؛ به‌گونه‌ای که روند صعودی تراز را می‌توان با افزایش بارش و کاهش تبخیر در حوضه توجیه کرد.

یو^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از الگوی ارزیابی آب‌و خاک^۲، سهم تغییرات آب‌وهوایی و همچنین تغییر کاربری زمین‌ها در حوضه آبریز دریاچه پویانگ چین را بررسی کرده‌اند. نتایج این پژوهش، تأثیر سهم بالای تغییر شرایط اقلیمی منطقه را در نوسانات تراز دریاچه تأیید می‌کنند. کبدی^۳ و همکاران (۲۰۰۶)، حساسیت نوسانات تراز دریاچه تانا در اتیوپی را نسبت به تغییر اقلیم مطالعه کرده‌اند. این مطالعه که با الگوسازی معادلات تراز آبی دریاچه و بررسی تغییرات بارش، تبخیر و تراز دریاچه انجام شده است، نشان می‌دهد که در شرایط هیدرولوژیکی کنونی، تراز دریاچه در برابر متغیرهای اقلیمی، حساسیت کمتری دارد و این تغییرات، بیشتر متأثر از افزایش بهره‌برداری از منابع آب در حوضه آبریز رودخانه تانا است که برای تأمین آب بخش کشاورزی و نیروگاه برق‌آبی، اقدام به ساخت سد در پایاب رودخانه کرده‌اند. مورتش^۴ و همکاران (۲۰۰۳) نیز در بررسی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب دریاچه‌های پنج‌گانه امریکا، کاهش ۴۰ میلی‌متری بارش، افزایش ۰/۷ سانتی‌گرادی دما و افزایش ۵۰ درصدی تبخیر را از دلایل تغییرات تراز آب دریاچه‌ها عنوان کرده‌اند.

در پژوهشی دیگر در مورد این منطقه، سالینجر^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، تنها به مطالعه تغییرات تراز دو دریاچه میشیگان و هوران پرداخته‌اند. در این پژوهش، نوسانات فصلی و سالانه تراز آب هر دو دریاچه در بازه زمانی ۲۰۰۶-۱۸۶۰ با استفاده از دو الگوی ارزیابی روند فصلی^۶ و الگوی خطی دینامیکی^۷ بررسی شده است. از نظر نوسانات فصلی، در ماه‌های نوامبر تا فوریه که انتظار افزایش ورودی به دریاچه وجود داشت، جریان ورودی، کاهش یافته و در مورد نوسانات سالانه دریاچه نیز کاهش تراز، بیشتر ناشی از افزایش قابل توجه مقدار تبخیر از دریاچه است، این درحالی است که نوسانات تراز، رابطه معناداری را با بارش نشان نداد.

1. Guo
2. soil and water assessment tool (SWAT)
3. Kebede
4. Mortsch
5. C.E. Sellinger
6. seasonal trend decomposition using loess (STL)
7. dynamic linear models (DLM)

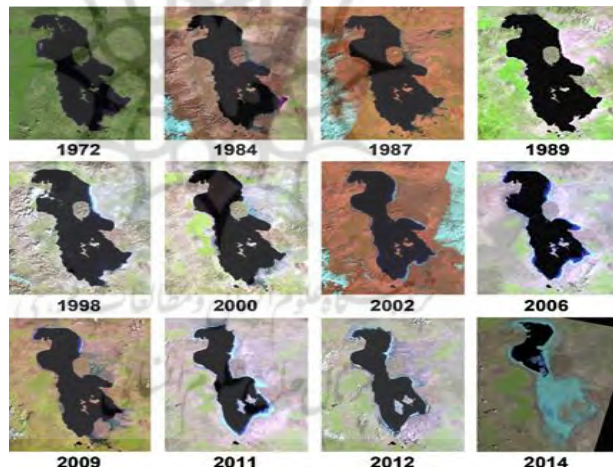




در ایران نیز پژوهش‌هایی درباره تأثیر تغییر اقلیم و عوامل انسانی بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز کشور، به‌ویژه حوضه آبریز دریاچه ارومیه، انجام شده است که بخش عمده آن‌ها، به ارائه دو دیدگاه متضاد انجامیده است. دیدگاه نخست، دلیل اصلی کاهش تراز دریاچه را کاهش بارندگی در سال‌های اخیر می‌داند. دلجو و همکاران (۲۰۱۳)، با بررسی آماری متغیرهای دما، بارش، و تعداد روزهای برفی و بارانی، نشان داده‌اند که در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۴ در سطح حوضه، کاهش ۹/۲ درصدی بارش و افزایش ۰/۸ درصدی دما رخ داده است. نتایج پژوهش بایزیدی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی نقش تغییر اقلیم بر حوضه دریاچه ارومیه در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۵۱، روند افزایشی برابر ۱ درجه سیلیسیوسی دما را در تمام ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه، تأیید می‌کند. احمدزاده و همکاران (۱۳۸۹)، نیز مؤلفه‌های اقلیمی بزرگ مقیاس را به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار بر کاهش تراز دریاچه در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۷۰ معرفی کرده‌اند. این درحالی است که نتایج پژوهش حسنی مهمویی و همکاران (۱۳۹۰)، نشان می‌دهد که هرچند کاهش میزان بارش در طول دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۵۱ به میزان ۶۸/۵ میلی‌متر و روند افزایشی دما نیز به‌طور متوسط در هر دهه به میزان ۰/۱ درجه سانتی‌گراد است، بااین‌حال، تنها می‌توان ۱۵ درصد تغییرات تراز دریاچه را متأثر از تغییر شرایط آب‌وهوایی دریاچه دانست. جلیلی و همکاران (۲۰۱۲)، با بررسی الگوهای گردش عمومی جو در منطقه، نشان داده‌اند که تنها می‌توان نوسانات فصلی دریاچه را مربوط به این الگوها دانست. فتحیان و همکاران (۱۳۹۲)، روند تغییرات کاربری زمین‌های زیر حوضه شرق دریاچه و ارتباط آن با دبی رودخانه‌های ورودی به دریاچه را با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، ارزیابی کرده‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها، روند معنادار افزایش دما و کاهش دبی را برای ایستگاه‌های پایین‌دست نشان داد، ولی در مورد بارش، روند معناداری مشاهده نشد. درواقع، در دیدگاه دوم، روند فعلی کاهش تراز دریاچه ارومیه را مستقل از تغییرات آب‌وهوایی عنوان می‌کنند. براساس نتایج پژوهش کبیری و همکاران (۲۰۱۲)، عامل اصلی افت تراز دریاچه ارومیه به‌ویژه پس از سال ۲۰۰۰، عامل انسانی بوده است. پژوهش‌های زمانی اکبری و ملکی (۱۳۸۹)، و احدنژاد و همکاران (۲۰۱۰) نیز عوامل انسانی را به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار معرفی کرده‌اند.

وضعیت افت تراز آب دریاچه و فرایند تدریجی خشک شدن آن در سال‌های اخیر، مشکلات مهم اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی‌ای برای منطقه و از سوی دیگر، نگرانی‌های ملی و منطقه‌ای را در پی داشته است؛ به‌گونه‌ای که کارشناسان محیط زیست از این پدیده، به‌عنوان بزرگ‌ترین رخداد بیابان‌زایی قرن یاد می‌کنند. پیش‌بینی شده است که با خشک شدن دریاچه،

نمک آن به صورت یک بمب نمکی بزرگ، فعال شود و با وزش باد، غبار آن می تواند منطقه بزرگی در پیرامون خود (شامل بخش های بزرگی از شمال غرب ایران، شرق ترکیه و جنوب قفقاز) را آلوده و به شوره زار تبدیل کند (گلابیان، ۱۳۸۹). ایجاد ریزگردهای نمکی، بیابان زایی و توسعه آن به محدوده های کشاورزی و مسکونی و به تبع آن از بین رفتن زمین ها و باغ های کشاورزی، مراتع و جنگل های منطقه و افزایش مهاجرت از مناطق مجاور دریاچه را باید از مهم ترین تهدیدهای ناشی از تداوم این وضعیت برشمرد. روند خشکی دریاچه ارومیه از ۲۰ سال گذشته شروع شده و در این مدت، بیش از ۸ متر کاهش داشته است. پس از ثبت بالاترین تراز برای دریاچه در سال ۱۳۷۴، با رقم ۱۲۷۸/۴۸ در طول دو دهه، سالانه به طور متوسط، تراز دریاچه ۴۰ سانتیمتر کاهش داشته است. تراز دریاچه در تیر ۱۳۹۴ برابر ۱۲۷۰/۳۰ متر بالاتر از سطح دریای آزاد بوده که نسبت به تراز اکولوژیک آن (ترازی که در آن ویژگی های زیستی و غیرزیستی دریاچه تأمین شده و غلظت نمک آن به ویژه برای موجودات حوضه آبریز قابل تحمل باشد) ۳۸۰ سانتی متر افت داشته است. روند تغییرات تراز دریاچه در شکل شماره (۱) مشخص شده است.



شکل شماره (۱). روند تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه

این وضعیت، شناخت و تعیین میزان اثرگذاری هریک از عوامل طبیعی و انسان ساخته را ضروری کرده است. از آنجاکه مجموعه جریان های سطحی و زیرزمینی حوضه به دریاچه ختم می شود، تغییرات تراز سطح آب این دریاچه را باید، مانند سایر دریاچه ها و مخزن های بسته، با توجه به نوسانات بیلان آب های سطحی، زیرزمینی و متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تغییرات تراز دریاچه بررسی





کرد. برای اینکه بتوان مجموعه این عوامل را در کنار یکدیگر قرار داد و بین آن‌ها ارتباط برقرار کرد، باید از روش‌هایی استفاده شود که علاوه بر تحلیل سیستم به وجود آورنده، بتوانند آن را شبیه‌سازی کنند و یک گزارش تقریبی از آنچه در طبیعت رخ داده و یا روی خواهد داد، ارائه دهند. رویکرد پویایی سیستم^۱ این امکان را فراهم کرده است (پورفلاح و مشتاق، ۱۳۹۲). این رویکرد بر آن است که ابزارهای لازم برای کشف قانونمندی‌های دنیای واقعی را در اختیار تحلیل‌گر قرار دهد و براساس آن، مسیر تحولات را به مسیر مطلوب سوق دهد (اعلمی و همکاران، ۱۳۹۳)؛ از این‌رو، الگوی پویایی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه با بهره‌گیری از این رویکرد، به‌عنوان ابزار تحلیلی مناسب، ایجاد شده است. بر مبنای این نگرش، اجزای مختلف سیستم حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ارتباط زیرسیستم‌های آن‌ها تعریف شد تا از این طریق، اثرات تجمعی اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی طرح‌های توسعه در سطح حوضه و همچنین تغییرات شرایط اقلیمی را برآورد کنیم.

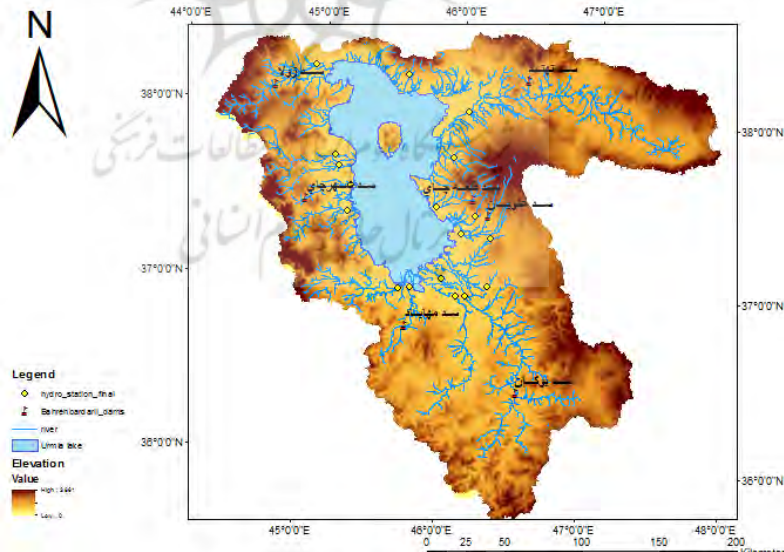
۱. منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران، یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های شور جهان و از نظر وسعت، بیستمین دریاچه جهان است که دارای ویژگی‌های شیمیایی، ریخت‌شناسی، رسوب‌شناسی و زیست‌محیطی خاصی است. از دیدگاه علم زمین ریخت‌شناسی، دریاچه ارومیه یک ناحیه فرونشسته زمین‌ساختی است که در اثر عملکرد گسل تبریز در شرق و گسل ارومیه در غرب به وجود آمده است. تمام سیستم زهکشی و جریان‌های آب سطحی و زیرزمینی، وارد این دریاچه می‌شوند و از این منظر، دریاچه، عامل اصلی شبکه هیدروگرافی و ریخت‌شناسی حوضه آبریز به‌شمار می‌آید. مختصات جغرافیایی دریاچه بین $37^{\circ}06'15''$ و $38^{\circ}15'15''$ عرض شمالی و $45^{\circ}00'13''$ و 20° طول شرقی است. این دریاچه ناحیه‌ای به مساحت حدود 5000 کیلومتر مربع را می‌پوشاند و بیشترین درازا و پهنای آن به ترتیب، 140 و 50 کیلومتر است. مساحت آن در زمان‌های کم‌آبی و پرآبی متفاوت بوده و از 4750 تا 6100 کیلومتر مربع، متغیر است. عمق متوسط این دریاچه، 6 تا 12 متر است؛ به‌گونه‌ای که در قسمت‌های شمالی، حدود 6 متر و در قسمت‌های جنوبی از 12 تا 16 متر متغیر است. اکوسیستم فعال آن، شامل دریاچه و حوضه آبریز آن است.

حوضه آبریز دریاچه نیز یک حوضه داخلی بسته، با مساحت 51786 کیلومتر مربع، مناطقی از سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان را دربر گرفته است که تمام رواناب‌های ناشی از بارندگی به سمت آن جاری می‌شوند. با در نظر گرفتن عرض جغرافیایی و ارتفاع حوضه

1. system dynamics approach

آبریز، اقلیم عمومی آن مشابه اقلیم سرزمین‌هایی با عرض جغرافیایی میانه و ارتفاع متوسط با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل است. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که در محدوده حوضه، رژیم بارندگی ماهانه از رژیم مدیترانه پیروی می‌کند. حداکثر بارندگی در فصل بهار رخ می‌دهد و میزان بارندگی در فصل تابستان کم است. متوسط بارندگی سالانه حدود ۲۰۰ تا بیش از ۸۵۰ میلی‌متر، متغیر است. بیشترین بارندگی سالانه مربوط به نواحی غربی و شمال غربی منطقه و همچنین ارتفاعات جنوبی و کمترین مقدار بارش، مربوط به نواحی شمال شرقی حوضه است. مقدار بارش در نواحی اطراف دریاچه بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است و مناطق واقع در محدوده استان آذربایجان شرقی از میزان بارش کمتری نسبت به سایر استان‌ها برخوردار هستند. متوسط سالانه دمای هوای ثبت‌شده در آن بین ۶/۴ تا ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند. هیدرولوژی حوضه، هم از نظر کیفی و هم به لحاظ کمی، پیچیده‌ترین ویژگی فیزیکی در مدیریت دریاچه ارومیه و تالاب‌های آقماری آن به‌شمار می‌رود و این پیچیدگی از وجود منابع گوناگون آب‌های سطحی و زیرزمینی و پراکندگی آن‌ها در سه استان با سیاست‌ها و راهبردهای مدیریت متفاوت، ناشی می‌شود. حوضه از ۱۱ زیرحوضه اصلی تشکیل شده است که شامل ۱۷ رودخانه دائمی، ۱۲ رودخانه فصلی و ۳۹ مسیل است و بیشتر آب‌های سطحی در استان آذربایجان غربی و در بخش‌های غربی و جنوبی حوضه جریان دارد.



شکل شماره (۲). موقعیت سدها و ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

۲. روش پژوهش

در این پژوهش، رفتارسنجی پویایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، بررسی شده و رفتار هریک از فراسنج‌های اثرگذار در حوضه و همچنین تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر، الگوسازی شده است تا از این راه بتوان تغییرات ایجادشده را تحلیل و سیاست‌های لازم را طرح‌ریزی کرد. در بخش شبیه‌سازی سیستم از نرم‌افزار ون‌سیم^۱ استفاده شد که به منظور درک فرایندهای پویایی سیستم، طراحی شده است و از جمله ابزارهای قدرتمند در مطالعه سیستم‌های منابع آب است. این الگو دارای محیط گرافیکی شیء‌گرا است و معادله‌ها با یک‌سری زوج معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول (اغلب غیرخطی) که با روش اولر یا رانگ‌کوتا حل می‌شوند، ساخته شده است. روش الگوسازی در این نرم‌افزار به‌گونه‌ای است که پیشرفت از کلیات به جزئیات انجام می‌شود؛ به طوری که توابع و اجزای متصل شده به صورت تدریجی، بیشتر می‌شوند تا درنهایت، یک الگو کامل و برای اجرا آماده شود. مراحل الگوسازی با رویکرد پویایی سیستم عبارتند از:

الف- تعریف مسئله: با اینکه برای یک الگوسازی موفق هیچ‌گونه دستورالعملی وجود ندارد، ولی تعریف مشخص و شفاف مسئله ما را در توسعه کارآمد الگو، یاری می‌کند (گلیان و همکاران، ۱۳۸۶). روند کاهش تراز آب دریاچه به‌گونه‌ای است که از حد اکولوژیک خود پایین‌تر رفته و باید به بهبود آن توجه شود؛ بنابراین، مسئله این پژوهش، بررسی تأثیر مجموعه زیرسیستم‌های موردبررسی بر تغییرات تراز است.

ب- تعیین مرز سیستم: این مرحله شامل معرفی متغیرهای مؤثر بر رفتار متغیر مرجع است. در این مسئله، متغیر مرجع، تغییرات تراز دریاچه است و زیرسیستم‌های جریانات آب سطحی، آب زیرزمینی و متغیرهای اقلیمی به‌عنوان متغیرهای فرعی اثرگذار بر تراز دریاچه در نظر گرفته شده‌اند؛ بنابراین، می‌توان گفت، مرز سیستم شامل مجموعه عوامل تعریف‌شده در الگوی مفهومی (شکل شماره ۳) است که بر هر زیرسیستمی تأثیر می‌گذارند و یا از آن‌ها تأثیر می‌پذیرند.

ج- تبیین فرضیه‌های پویایی: تغییرات یا واکنش‌های به‌وجودآمده در هریک از زیرسامانه‌ها، فرایندهایی را ایجاد می‌کنند که به سازوکارهای بازخوردی معروف هستند. بازخوردها در هر سیستم، به‌طور خاص، سامانه اقلیم را به‌حدی پیچیده می‌کنند که نیروی اصلی وارد بر سامانه، به‌طور قابل‌توجهی با حلقه‌های بازخورد، جایگزین می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳)؛ از این رو، پس از تعیین مرز سیستم و متغیرهای تأثیرگذار بر متغیر مرجع، باید نحوه تأثیرگذاری این متغیرها را با تعدادی حلقه‌های بازخوردی بیان کرد که نشان‌دهنده تأثیر متقابل این اجزا بر یکدیگر هستند، زیرا تداوم



1. ventana simulation environment (VENSIM)

پویایی سیستم مستلزم وجود حلقه‌های علت و معلولی است (فرتوک‌زاده، بی‌تا). به این منظور، از چهار ابزار ذخیره، جریان، رابط‌ها و تبدیل‌کننده‌ها استفاده شده است که به‌وسیله آن‌ها، ذهنیت الگوساز، به نمودارهای علت و معلولی و در نهایت به نمودارهای ذخیره و جریان تبدیل می‌شود و الگوی مفهومی مطابق شکل شماره (۳) توسعه داده شده است. در طراحی الگوی پویایی دریاچه ارومیه، ابتدا پویایی‌های حاکم و عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب دریاچه شناسایی شدند. همان‌گونه که اشاره شد، منابع ورودی به دریاچه عمدتاً از سه منبع، آب سطحی، آب زیرزمینی، و متغیرهای اقلیمی اثرگذار بر تراز دریاچه تأمین می‌شود، از این‌رو سه زیرسیستم طراحی شد و در هر زیرسیستم نیز پویایی‌ها و عواملی تعیین شدند که از آن جمله می‌توان به مواردی مانند تغییر شرایط اقلیمی (تغییرات بارشی و تبخیر)، اثرات رشد فزاینده سطوح اراضی در حوضه و تغییر الگوی نیاز آبی محصولات اشاره کرد که در مجموع، رواناب ورودی به دریاچه را متأثر می‌کنند؛ در نهایت نیز روابط و معادلات میان متغیرها در هر زیرسیستم مشخص شد. لازم به ذکر است که اطلاعات موردنیاز برای اجرای الگو، پس از گردآوری، رفع کاستی‌ها، و تولید سری‌های زمانی با گام‌های ماهانه به مدت ۱۵ سال آبی (۱۳۷۹-۱۳۷۸ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲) به الگو معرفی شد.

در الگوسازی زیرسیستم آب سطحی ورودی به دریاچه، ۷ سد موردبهره‌برداری (بوکان، مهاباد، علویان، قلعه‌چای، شهرچای، زولا و نهند) که بر روی رودخانه‌های اصلی قرار دارند و دارای بیشترین سهم در تنظیم آب حوضه هستند، انتخاب شده‌اند. متغیرهای مؤثر بر معادله تراز آبی سدها عبارتند از: دبی و بارش ورودی به مخازن سد، تبخیر از مخزن سد، میزان آب تنظیمی سدها برای نیازهای خانگی، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی، میزان سرریز از سدها، حجم اولیه و مقدارهای بیشینه و کمینه حجم مخزن‌ها، حجم، و ارتفاع و سطح مخزن سدها. علاوه‌بر این، میزان آب ورودی از سایر زیرحوضه‌ها (نازلوچای، روضه‌چای، باراندوزچای، لیلان‌چای، جوان‌چای، آذرشهرچای، و سیمینه‌رود) نیز در الگو مشخص شده است. هدف نهایی از الگوسازی این زیرسیستم، تعیین تراز آبی و سری زمانی دبی خروجی از سدهای واقع در هر یک از زیرحوضه‌ها و همچنین دبی ورودی از سایر زیرحوضه‌ها به دریاچه است؛ از این‌رو، مقدارهای سرریز از سدها و جریان زیست‌محیطی - پس از کسر میزان برداشت‌های انجام‌شده توسط نهرها، موتورپمپ‌های ثابت و متحرک و آب‌بندهای موجود که در پایین‌دست سدها - به‌عنوان جریان ورودی به دریاچه در الگو تعریف شدند.

معادله نهایی مخازن سدها:

$$\frac{d(\text{dam storage})}{dt} = (\text{inflow} + \text{precipitation} - \text{evaporation} - \text{relearese} - \text{spill})$$





در رابطه بالا، $inflow$ ، مجموع متغیرهای ورودی به مخزن سد، $outflow$ ، مجموع متغیرهای خروجی از مخزن سد، $spill$ ، میزان سرریز از مخزن سد، $release$ ، میزان آب تنظیمی سدها، $precipitation$ ، میزان بارش بر مخزن سد و $evaporation$ ، میزان تبخیر از مخزن سد است. در الگوسازی زیرسیستم منابع آب زیرزمینی، ۱۱ آبخوان مجاور دریاچه که دارای مبادله‌های آبی مستقیمی با دریاچه بوده‌اند، بررسی شدند. آبخوان‌های مورد مطالعه عبارتند از: ارومیه، سلماس، مهاباد، تبریز، آذرشهر، نقده، میان‌دوآب، تسوج، صوفیان شبستر، مراغه و عجب‌شیر. متغیرهای مؤثر بر تراز آبی آبخوان‌ها عبارتند از: بارندگی، نفوذ از رواناب، آب برگشتی از مصرف‌های کشاورزی، شرب و صنعت، زهکشی به رودخانه‌ها و حجم بهره‌برداری در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت.

معادله بیلان آبخوان‌ها:

$$\frac{d(storage)}{dt} = \frac{(inflow - outflow)A}{S}$$

در رابطه بالا، $inflow$ ، مجموع متغیرهای ورودی، $outflow$ ، مجموع متغیرهای خروجی، A ، مساحت آبخوان و S ضریب ذخیره جریان آبخوان است.

در نهایت، برای تعیین تراز و حجم آب موجود در دریاچه ارومیه، زیرسیستم نهایی طراحی شد. این سیستم، دربرگیرنده همه عوامل تأثیرگذار بر تراز دریاچه ارومیه است؛ به گونه‌ای که علاوه بر جریان ورودی از سدها و جریان زهکشی آبخوان‌ها به دریاچه، بارش بر سطح دریاچه و تبخیر از آن نیز به عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر معادله بیلان آبی دریاچه مشخص شدند. برای محاسبه میزان بارش سطح دریاچه براساس روش پلی‌گون‌بندی تیسن در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱، ایستگاه‌های اطراف دریاچه، به نواحی مختلفی تقسیم و مساحت هر ناحیه به عنوان مساحت تحت پوشش هر ایستگاه در نظر گرفته شد. به این ترتیب، ارتفاع بارش محاسبه شد و با استفاده از منحنی حجم-بارش دریاچه، حجم بارش دریاچه به دست آمد. برای محاسبه تبخیر سطح دریاچه نیز از روش تشت تبخیر استفاده شد. ابتدا میانگین حسابی ایستگاه‌های تبخیرسنجی اطراف دریاچه به عنوان شاخص توزیع زمانی تبخیر در سطح دریاچه در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از روابط سطح-حجم دریاچه و ضریب تشت تبخیر (براساس پژوهش‌های انجام شده، این ضریب برای دریاچه ارومیه ۰/۷۷ برآورد شده است)، معادله نهایی تبخیر دریاچه محاسبه شد. لازم به ذکر است که داده‌های ورودی به الگو از شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت شده و متغیرهای

1. arcGIS

مورد استفاده نیز در تمامی زیرسیستم‌ها به واحد میلیون مترمکعب است.

معادله بیلان آبی دریاچه:

$$Stock(t) = \int_t^{t+n} [Inflow(t) - Outflow(t)]dt + Stock(t_0)$$

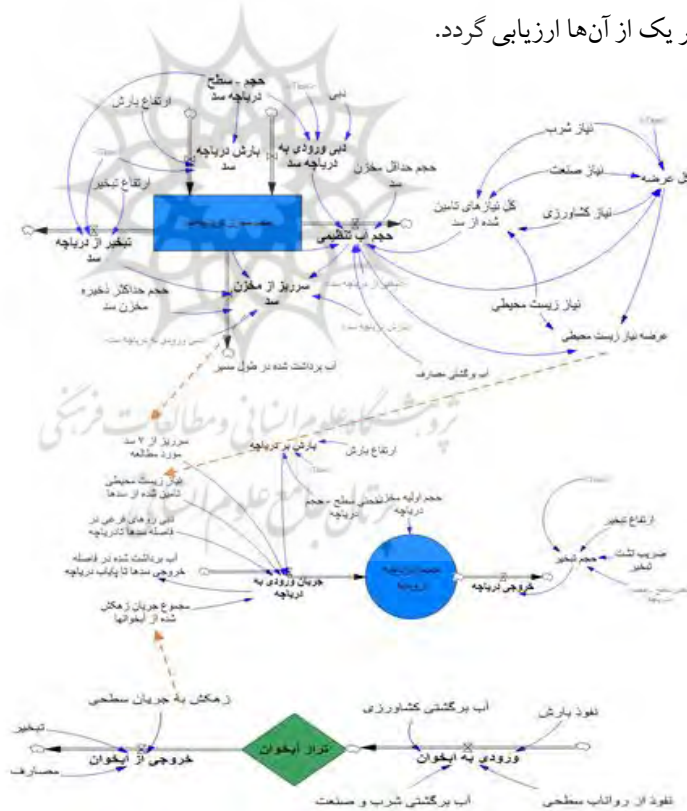
Inflow(t) = حجم مجموع جریان‌های ورودی به دریاچه؛

Outflow(t) = مجموع خروجی‌ها از دریاچه؛

Stock(t) = حجم نهایی آب دریاچه؛

Stock(t₀) = حجم اولیه دریاچه.

د. اجرای الگو و تحلیل سناریوهای اتخاذ شده: براساس مراحل الگوسازی که پیش‌تر اشاره گردید، الگوی مفهومی منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مطابق شکل شماره ۳ طراحی گردید تا در این بخش با طراحی سناریوهای مختلف در هر زیرسیستم، حساسیت تراز دریاچه نسبت به هر یک از آن‌ها ارزیابی گردد.



شکل شماره (۳). الگوی مفهومی منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ون‌سیم



۴. یافته‌ها

در مباحث مربوط به منابع آب، به دلیل اهمیت بیلان‌های زمانی و مکانی آب، الگویی که قادر باشد رفتار مرجع را بازسازی کند، بسیار مهم است؛ از این رو، برای واسنجی رفتار تراز آب دریاچه در الگوی ون‌سیم با تراز مرجع، از دو روش ضریب تعیین، و میانگین درصد خطای نسبی استفاده شده است. جدول شماره (۱) نتایج آزمون‌های آماری را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱). نتایج ارزیابی آماری تراز آب دریاچه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

R ²	RME
۰/۹۶	۰/۰۳

با توجه به مقدار به دست آمده از شاخص‌ها و نتایج حاصل از واسنجی الگو و مقایسه سری زمانی تراز ثبت شده دریاچه (شکل شماره ۴) مشاهده می‌شود که تطابق قابل قبول و مناسبی بین این دو مقدار دیده می‌شود؛ به گونه‌ای که علاوه بر ناچیز بودن اختلافی که بین مقادیرها وجود دارد، روند تغییرات نیز مشابه است. از این نظر می‌توان نتیجه گرفت که الگوی تهیه شده، نمایشگر سیستم واقعی است و می‌تواند نمونه معتبری از رفتار تراز مشاهداتی باشد.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P)(O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((P_i - P)^2 + (\sum_{i=1}^n (O_i - O))^2)}} \right)^2$$

$$RE = \frac{|O_i - P_i|}{O_i} * 100$$

$$RME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RE_i$$

R²: ضریب تعیین؛

RME: میانگین درصد خطای نسبی؛

RE_i: درصد خطای نسبی هر برآورد؛

P_i: مقدار برآورد شده؛

O_i: مقدار مشاهده شده؛

n: تعداد داده‌ها.



فصلنامه علمی - پژوهشی

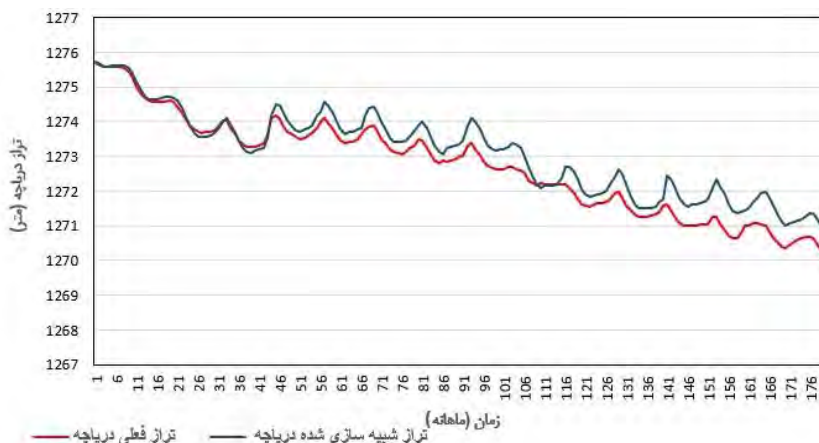
۱۲

دوره نهم

شماره ۴

پاییز ۱۳۹۶

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی



شکل شماره (۴). داده‌های مشاهده‌ای و الگوی تراز آب دریاچه ارومیه

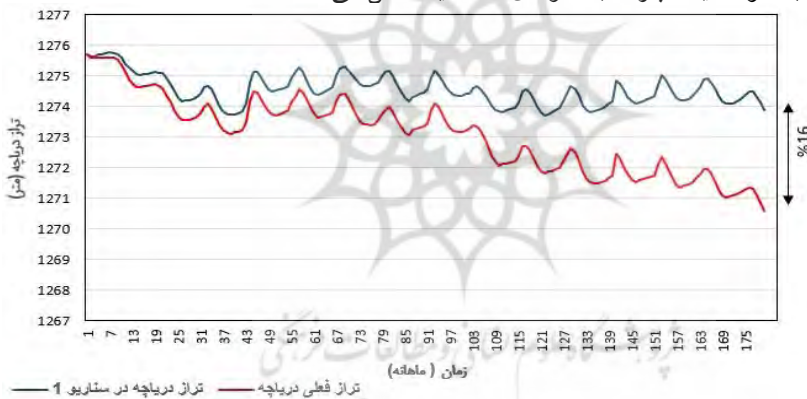
پس از توسعه الگو و راستی‌آزمایی آن، در راستای اهداف پژوهش، با طراحی سناریوهای گوناگونی، هریک از زیرسیستم‌ها ارزیابی، و نتایج به‌دست‌آمده از اجرای آن‌ها در نوسانات تراز دریاچه ارومیه، بررسی شد. شاخص‌هایی که در ارزیابی سناریوها استفاده شدند عبارتند از: تغییر شرایط اقلیمی حوضه، سدهای مورد بهره‌برداری، الگوی نیاز آبی حوضه و تبادلات آبی دریاچه با آبخوان‌های مجاور.

۴-۱. ارزیابی سهم تغییر شرایط اقلیمی حوضه بر کاهش تراز آب دریاچه

تجربه دوره‌های پرآبی و کم‌آبی دریاچه‌های مختلف به‌نوعی تأییدکننده این مطلب است که خصوصیات آبی و ویژگی‌های حیاتی-شیمیایی دریاچه‌ها همواره تابعی است از تحولات اقلیمی و هیدرولوژیکی در گستره جغرافیایی بزرگ‌تری که آن را احاطه کرده است (گلایان، ۱۳۸۹)؛ از این رو به‌منظور بررسی سهم شرایط اقلیمی حوضه بر کاهش تراز آب دریاچه، روند متغیرهای بارش و تبخیر دریاچه در سال‌های اخیر با روند این دو متغیر در سال‌های ۱۳۶۱-۱۳۷۶ مقایسه شد. به این ترتیب، الگو در دو حالت به اجرا گذاشته شد. در حالت نخست، داده‌های بارش و تبخیر در دوره مورد مطالعه (۱۳۷۸-۱۳۹۳) به الگو معرفی شدند و در حالت دوم، این‌گونه فرض شد که حتی در صورت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی، روند بارش بر دریاچه و تبخیر از آن، روندی مشابه پیش از خشکسالی‌های حوضه باشد. اجرای این سناریو در قالب شکل شماره (۵) نشانگر این است که بیشترین تأثیر کاهش بارش و افزایش تبخیر بر دریاچه در سال‌های اخیر، افت ۱۶ درصدی تراز آب دریاچه بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که درجه حرارت — که



اثر آن به شکل افزایش تبخیر دیده می‌شود - و همچنین بارش، در چند سال اخیر با تغییراتی همراه بوده است؛ به گونه‌ای که مقدار متوسط سالانه تبخیر پیش از شروع خشکسالی‌ها ۱۰۶/۵ میلی‌متر بوده که با تفاوت ۱۷/۶۳ درصدی مقدار این متغیر در طول ۱۵ سال اخیر، به ۱۲۵/۳ میلی‌متر رسیده است. مقدار متوسط سالانه بارش نیز پیش از شروع خشکسالی‌ها، ۳۱۷ میلی‌متر بوده است که این مقدار در ۱۵ سال اخیر به رقم ۲۶۸/۴ میلی‌متر رسیده و با تغییر ۱۶ درصدی همراه است. بررسی علت اینکه آیا تغییر در میزان بارش و تبخیر در دریاچه در مقیاس محلی رخ داده یا منطقه‌ای، نیازمند پژوهش بیشتری در این زمینه است، اما شاید بتوان این فرض را پذیرفت که با توجه به اینکه دریاچه و تالاب‌های پیرامون آن به‌عنوان عوامل تعدیل‌کننده اقلیم عمل می‌کنند، به موازات کاهش وسعت دریاچه و تالاب‌ها و در نتیجه، کاهش خروج گرما از محیط به‌صورت گرمای نهان، بر دمای محیط افزوده می‌شود. در این شرایط، به موازات گرمای تخلیه‌شده در محیط، مقدار تبخیر افزایش یافته و تبخیر بیشتر نیز بر کاهش وسعت دریاچه اثر گذاشته و این اثرات به‌صورت یک چرخه بازخوردی در محیط عمل می‌کنند.

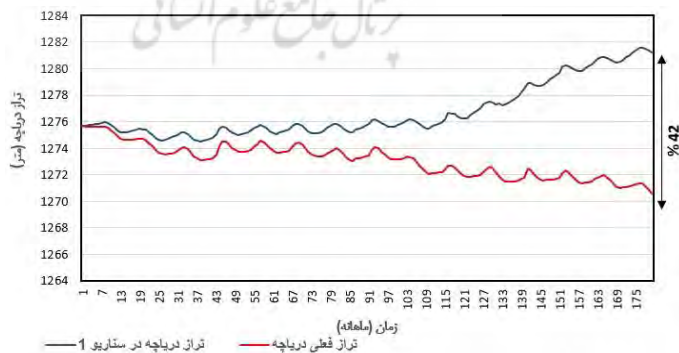


شکل شماره (۵). تراز آب شبیه‌سازی شده دریاچه ارومیه در سناریوی نخست

۲-۴. ارزیابی سهم جریان‌های سطحی بر کاهش تراز آب دریاچه

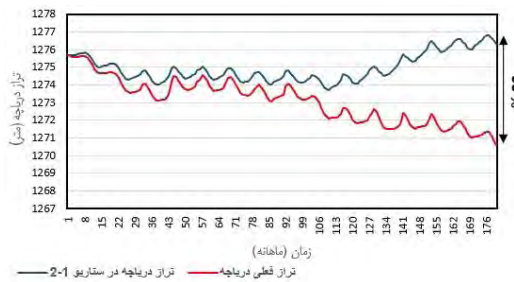
بخش عمده آب دریاچه از طریق رودخانه‌های ورودی به دریاچه تأمین می‌شود؛ به گونه‌ای که رودخانه‌های حوضه با دبی متوسط ۴/۵ میلیارد مترمکعب در سال، مهم‌ترین و حیاتی‌ترین منبع آب این دریاچه به‌شمار می‌آیند (چرب‌گو، ۱۳۸۹، ۳). طبیعی است که هرگونه دخالت در نحوه رفتار رودها، باعث تغییرات گسترده در دریاچه می‌شود. توزیع طبیعی سالانه جریان‌های سطحی این حوضه به‌صورتی است که بیش از ۷۰ درصد در ۴ ماه اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد

جریان می‌یابد و ۸ ماه دیگر، کمتر از ۳۰ درصد آب را به خود اختصاص می‌دهد. این ویژگی به تنهایی لزوم ساخت سدهای مخزنی را برای کنترل و تنظیم جریان توجیه می‌کند (حسن‌زاده، ۱۳۸۹، ۲۰)؛ به‌گونه‌ای که در حال حاضر، بیش از ۳۶ سد مخزنی بزرگ و کوچک، ۴۱ سد انحرافی، ۱۵ ایستگاه پمپاژ و همچنین تعداد فراوانی آب‌بندهای فصلی کوچک در حوضه آبریز ارومیه ساخته شده است. در این سناریو برای بررسی سهم سدها در کاهش جریان ورودی به دریاچه، از آزمون تحلیل حساسیت استفاده شد. به این صورت که حجم حداکثر ذخیره هریک از ۷ سد مورد مطالعه به صفر تغییر داده شد تا از این طریق، حضور سدها حذف شده و مقدار آب تنظیمی از هریک از سدها وارد دریاچه شود. همان‌گونه که شکل شماره (۶) نشان می‌دهد، سدهای حوضه، ۴۲ درصد از تغییرات تراز آب دریاچه را به خود اختصاص داده‌اند؛ به‌گونه‌ای که میزان رواناب ورودی به دریاچه از ۲۶۳/۶۸ به ۹۷/۷ میلیون متر مکعب تغییر کرده است. در میان سدهای مورد بررسی، سد بوکان با بیشینه ظرفیت آب تنظیمی، بالاترین سهم (۲۲ درصد) را در مقایسه با دیگر سدها داشته و ۷ سد دیگر در مجموع، سهمی معادل ۲۰ درصد را در نوسانات تراز دریاچه ایفا می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که حتی با بهره‌برداری از این ۷ سد، تراز دریاچه همچنان روند نزولی خود را نشان می‌دهد. دلیل دیگر این میزان تأثیرگذاری سد بوکان، توزیع نامگون منابع آب در حوضه است؛ به‌گونه‌ای که حدود ۵۱ درصد جریان‌های سطحی، متعلق به دو رودخانه زرينه‌رود و سيمينه‌رود است که هر دو در جنوب حوضه قرار دارند و در مجموع کمتر از ۳۴ درصد مساحت کل حوضه را تشکیل می‌دهند. در یک جمع‌بندی می‌توان سهم جریان‌های سطحی را در نوسانات تراز دریاچه ۷۹ درصد دانست که ۴۲ درصد آن، سهم زیرحوضه‌هایی است که سدهای اصلی در آن‌ها به بهره‌برداری می‌رسند و بقیه، سهم ۷ زیرحوضه دیگر است. لازم به ذکر است که تأثیر واقعی سدهای در حال بهره‌برداری در حوضه با اجرای سناریوی سوم مشخص شد.



شکل شماره (۶). تراز آب شبیه‌سازی شده دریاچه ارومیه در سناریوی دوم





شکل شماره (۷). تأثیر سد بوکان بر تراز آب دریاچه ارومیه

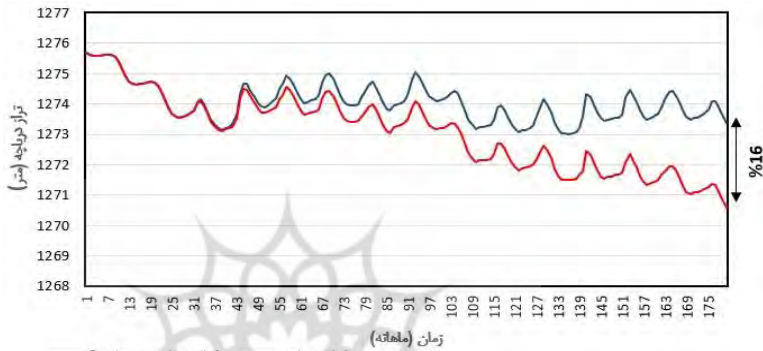
۳-۴. ارزیابی سهم الگوی نیاز آبی حوضه بر کاهش تراز آب دریاچه

آنچه سبب شکل‌گیری سناریوی سوم شد، اثر سد بوکان بود. این سد در سال ۱۳۵۰ با ظرفیت آب تنظیمی ۶۵۰ میلیون مترمکعب به بهره‌برداری رسید، اما دست‌کم تا دو دهه پس از بهره‌برداری، تراز دریاچه با نوسانات چشمگیری روبه‌رو نبوده است. در حالی که از سال ۱۳۵۰ تا سه دهه بعد، ۱۵ سد با مجموع ظرفیت آب قابل تنظیم سالانه ۳۵۲ میلیون مترمکعب بر روی رودخانه‌های مختلف حوضه به بهره‌برداری رسیده‌اند؛ بنابراین، بهره‌برداری از این سد به‌تنهایی نمی‌تواند نوسانات تراز دریاچه را توجیه کند. از این رو، سناریوی روند الگوی نیاز آبی حوضه بررسی شد. در این سناریو این‌گونه فرض شده است که در صورت بهره‌برداری از سدهای اصلی حوضه، ضمن باثبات ماندن الگوی نیاز آبی، تراز آب دریاچه با چه تغییراتی روبه‌رو خواهد شد. نیاز آبی سال ۱۳۷۸ به‌عنوان نیاز آبی پایه، به الگو معرفی شد. همان‌گونه که در شکل شماره (۸) مشاهده می‌شود، ۱۶ درصد از سهم سدها به‌ویژه سد بوکان را باید به افزایش نیاز آبی حوضه در ۱۵ سال اخیر نسبت داد؛ به‌گونه‌ای که حتی در صورت بهره‌برداری از سدها، تنها با حفظ الگوی متناسب با نیاز آبی حوضه، تراز آبی دریاچه در حد تراز اکولوژیکی دریاچه باقی می‌ماند.

در واقع، با اجرای این سناریو، تأثیر واقعی بهره‌برداری از سدهای حوضه (سناریوی دوم) مشخص شد. اجرای سناریوی سوم نشان داد که از ۴۲ درصد کاهش جریان سطحی ورودی به دریاچه، بهره‌برداری از سدهای حوضه، سهمی ۲۴ درصدی داشته و ۱۶ درصد باقی‌مانده، ناشی از افزایش الگوی نیاز آبی حوضه بوده است. درباره علت این افزایش نیز پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد، در طول نیم قرن اخیر، جمعیت حوضه ۱۰ برابر افزایش یافته که با تغییرات معیشتی-اقتصادی همراه بوده است. یکی از مهم‌ترین دلایل این تغییرات، شرایط مناسب حوضه به‌سبب داشتن دشت‌هایی مساعد برای فعالیت‌های کشاورزی و دامداری است. همین استعداد بالفعل منطقه در کشاورزی، سبب شده است که تلاش زیادی برای تبدیل مراتع و مناطق دیم به



زمین‌های آبی انجام شود. آمار موجود در مورد توسعه کشاورزی حوضه نشان از رشد ۳ برابری سطح زمین‌های آبی در طول سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۵۸ دارد که به تبع آن، مصرف آب سطحی را از ۱/۸ به ۵/۵ میلیارد مترمکعب در سال افزایش داده است. این درحالی است که حداکثر راندمان آبیاری کشاورزی، ۳۴ درصد است و این به آن معنا است ۶۶ درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی، هدر رفته و تبخیر می‌شود. تمام این عوامل، موجب شده‌اند که نیاز آبی حوضه در سال‌های اخیر، روند افزایشی داشته باشد و از میزان جریان ورودی به دریاچه کاسته شود.



شکل شماره (۸). تراز آب شبیه‌سازی شده دریاچه ارومیه در سناریوی سوم

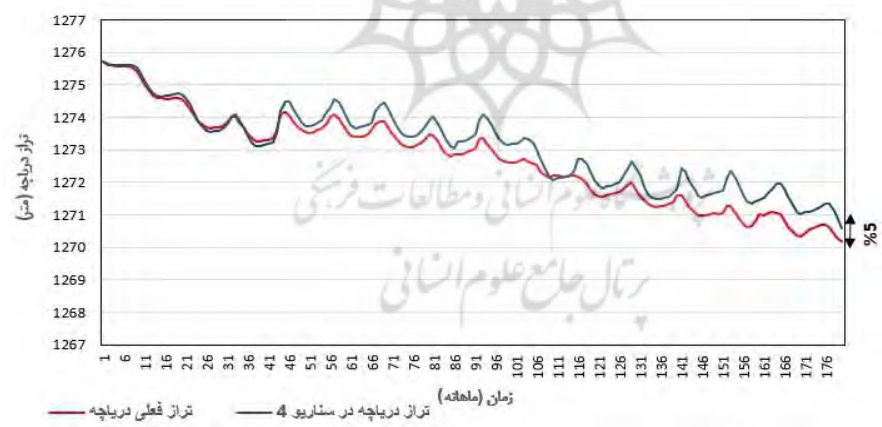
۴-۴. ارزیابی سهم تبادلات آبی آبخوان‌های مجاور در کاهش تراز دریاچه

تأثیر آبخوان‌های ساحلی بر دریاچه را باید در اندرکنش میان آب سطحی و زیرزمینی بررسی کرد؛ از این رو، در این سناریو، الگو در دو حالت، اجرا شد. در حالت نخست، جریان ورودی زهکش شده از آبخوان‌ها به جریان سطحی ورودی به دریاچه در نظر گرفته شد و در حالت دوم، این ارتباط حذف شد. نتایج اجرای این سناریو که در شکل شماره (۹) نشان داده شده است، حاکی از تأثیر ناچیز این متغیر بر تراز دریاچه است؛ به گونه‌ای که حتی با حذف مقدار زهکش آبخوان‌ها به جریان سطحی و شبیه‌سازی الگو، در عمل اختلاف ناچیزی در تراز آب دریاچه مشاهده می‌شود. در واقع، یافته‌های این بخش از پژوهش با نتایج پژوهش مؤسسه تحقیقات آب درباره محدود بودن بیلان ورودی آب زیرزمینی به دریاچه، همسو است. براساس پژوهش‌های این مؤسسه تحقیقاتی، متوسط سالانه جریان ورودی آب زیرزمینی از پایاب آبخوان‌های ساحلی به سمت دریاچه، حدود ۲۱۶ میلیون مترمکعب است که از این مقدار نیز حدود ۴۰ میلیون مترمکعب، میزان آب ورودی به دریاچه گزارش شده که این مقدار کمتر از ۰/۰۴ درصد کل ورودی‌ها به دریاچه است



(پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، ۱۳۹۲). البته در این مورد باید تأکید کرد که میزان آب زهکشی شده از دریاچه به آبخوان‌های مجاور، هم‌زمان با افت شدید سطح آبخوان‌ها، به دلیل در دسترس نبودن داده‌های مورد نیاز، محاسبه نشده است.

این درحالی است که در پژوهش‌های مختلفی که در مورد آبخوان‌های دریاچه انجام شده است، برداشت بیش از اندازه از آبخوان‌ها و شور شدن آب آن‌ها را از جمله عوامل کاهش تراز آب دریاچه دانسته‌اند. در حالت معمول، بین آب شور و شیرین، تعادل برقرار است، اما به تدریج با افزایش بیش از حد بهره‌برداری از آبخوان‌ها، زهکشی جریان آب زیرزمینی به رودخانه‌ها قطع شده و بخشی از آب رودخانه نیز از بستر آن نفوذ کرده است و در نتیجه از میزان آبدهی رودخانه‌ها کاسته شده و حتی در پایان مسیر، پیش از رسیدن به دریاچه، رودخانه خشک شده است. این امر سبب جابه‌جا شدن حد اینترفاز رودخانه و پیشروی آب شور به سمت آبخوان شده است و تغییر کیفیت آبخوان‌ها، تأثیری بر تراز دریاچه نگذاشته است. در واقع، هرچند بیلان آب زیرزمینی ورودی به دریاچه ناچیز است (۵ درصد)، با این حال، توسعه زمین‌های آبی حوضه که با افزایش بهره‌برداری از آبخوان‌ها همراه بوده، سبب افت تراز، تغییر در جهت جریان، و پیشروی آب شور دریاچه به سمت آبخوان‌ها شده است که این تغییرات در این پژوهش بررسی نشده است.



شکل شماره (۹). تراز آب شبیه‌سازی شده دریاچه ارومیه در سناریوی چهارم

داده‌های جدول شماره (۲)، نتایج اجرای سناریوها و تعیین سهم هر یک از عوامل طبیعی و انسانی در کاهش تراز آب دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۲). سهم عوامل طبیعی و انسانی در کاهش تراز آب دریاچه ارومیه

عوامل	سناریو	درصد تاثیرگذاری
طبیعی	تغییر شرایط اقلیمی حوضه	۱۶%
	جریان سطحی ورودی از هفت زیرحوضه اصلی	۴۲%
انسانی	جریان ورودی از سایر زیرحوضه‌ها	۳۷%
	تبادلات آبی با آبخوان‌های مجاور دریاچه	۵%

بحث و نتیجه گیری

برای ارزیابی عملکرد سیستم منابع آب دریاچه ارومیه، با توجه به اندرکنش غیرخطی مؤلفه‌های مختلف، الگوی شبیه‌ساز در محیط نرم‌افزار ون‌سیم - که مبتنی بر روش پویایی سیستم است - ترسیم شد. این روش به دلیل اینکه امکان اعمال سیاست‌های مختلف را در یک الگوی واحد و به صورت سریع فراهم می‌کند، روش مناسبی برای شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب و بررسی نتایج احتمالی ناشی از اعمال سیاست‌های گوناگون در شرایط توسعه است. با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش، واکاوی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه است، تلاش شد، میان این مؤلفه‌ها و روند نزولی تراز دریاچه ارتباط منطقی برقرار شود؛ ازاین‌رو ابتدا سه زیرسیستم، طراحی و در قالب آن، الگوی شبیه‌سازی تراز دریاچه راستی آزمایی شد. سپس با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، سهم هریک از مؤلفه‌ها در نوسانات تراز دریاچه بررسی شد.

نتیجه اجرای سناریوهای مختلف نشان داد که ۷ سد اصلی مورد بهره‌برداری در حوضه، به همراه افزایش نیاز آبی، به ویژه در بخش کشاورزی، ۴۲ درصد از ۷۹ درصد کل جریان آب سطحی ورودی به دریاچه را به خود اختصاص داده‌اند. البته بهره‌برداری از سدهای اصلی را نمی‌توان به تنهایی دلیلی بر کاهش تراز آب دریاچه دانست، بلکه این میزان تأثیرگذاری به دلیل تغییر الگوی کشت و به تبع آن، تغییر الگوی نیاز آبی در حوضه است که تأثیر بسزایی بر کاهش تراز آب دریاچه داشته و در واقع، افزایش الگوی نیاز آبی حوضه را باید یک سناریوی اصلی و مدیریتی در بهبود و اثربخشی بر تراز آب دریاچه دانست. درحالی‌که سایر سناریوها از جمله تأثیر عوامل طبیعی با سهم ۱۶ درصد، تنها می‌تواند سرعت روند نزولی تراز دریاچه را کاهش دهد و روند فعلی کاهش تراز آب دریاچه ارومیه به میزان قابل توجهی مستقل از متغیرهای اقلیمی است. درباره نقش آبخوان‌های ساحلی بر تراز دریاچه می‌توان گفت که هرچند هیدروگراف معرف در برخی از آبخوان‌های ساحلی، روند نزولی را نشان می‌دهد، اما بیلان آب زیرزمینی ورودی به دریاچه، مقدار ناچیزی بوده است.



منابع

- احمدزاده، طاهر؛ احمدزاده، بهمن؛ مرادی، شهرام؛ و باغوند، اکبر (۱۳۸۹). معادلات پارامترهای اثرگذار در نوسانات سطح دریاچه ارومیه. چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ایران.
- علمی، محمدتقی؛ فرزین، سعید؛ احمدی، محمدحسین؛ آقابالایی، بهزاد (۱۳۹۳). مدل‌سازی پویای سیستم سد و آب‌های زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه آب (مطالعه موردی: سد گلک). نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۱(۱)، ۱-۱۲.
- بایزیدی، شویو؛ مورکی علی آبادی، هادی؛ و صلوی تبار، عبدالرحیم (۱۳۹۱). بررسی آشکارسازی تغییر اقلیم بر حوضه دریاچه ارومیه. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تهران، ایران.
- پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب (۱۳۹۲). بررسی تغییر شرایط محیطی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (وضعیت آب زیرزمینی).
- پورفلاح، حسن؛ و مشتاق، رضا (۱۳۹۲). مدیریت منابع آب به کمک روش پویایی سیستم با استفاده از مدل Vensim. اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، ایران.
- چربگو، توحید؛ و چربگو، اکبر (۱۳۸۹). پیامدهای منفی سدسازی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و تاثیر آن در خشک شدن دریاچه ارومیه. پنجمین همایش ملی زمین شناسی و محیط زیست، تهران، ایران.
- حسن‌زاده، المیرا (۱۳۸۹). تعیین سهم ساخت سازه‌های هیدرولیکی بر کاهش تراز آب دریاچه ارومیه (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.
- حسینی مهمویی، بهروز؛ درویش، محمد؛ فتح‌آ...زاده، همایون؛ و مسیبی، مهرداد (۱۳۹۰). نقش تغییرات آب و هوایی و اقلیمی در کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه. همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست (صص ۷۳۴-۷۲۷)، ارومیه، ایران.
- رسولی، علی اکبر؛ عباسیان، شیرزاد؛ و جهانخوش، سعید (۱۳۸۷). پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندسنجنده‌ای و چندزمانه‌ای. فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۲(۲)، ۷۱-۵۴.
- زمانی اکبری، اصغر؛ ملکی، سعید (۱۳۸۹). ارزیابی تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۹ با استفاده از داده‌های GIS & RS. هشتمین همایش ملی ژئوماتیک (صص ۱۱-۱)، تهران، ایران.
- شلتن، مارلین (۱۳۹۰). هیدروکلیماتولوژی (مترجم: حسن ذوالفقاری). کرمانشاه: دانشگاه رازی.
- عزیزی، قاسم (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. تهران: انتشارات قومس.
- فتحیان، فرشاد؛ مرید، سعید؛ و ارشد، صالح (۱۳۹۲). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و ارتباط آن با روند جریان رودخانه‌ها (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های شرق دریاچه ارومیه). نشریه آب و خاک، ۳(۲۷)، ۶۵۵-۶۴۲. doi: 10.22067/jsw.v0i0.26091
- فرتوک‌زاده، حمیدرضا (۱۳۷۱). نگاهی به پویایی سیستم‌ها. دانش مدیریت، ۱۷، ۳۴-۲۹.
- گلایبان، حسین (۱۳۸۹). طرح احیاء و تثبیت دریاچه ارومیه به کمک آب دریای خزر. فصلنامه مهندسی مشاور، ۴۷، ۸۲-۷۰.



گلیان، سعید؛ ابریشمچی، احمد؛ و تجریشی، مسعود (۱۳۸۶). تحلیل سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب در حوضه آبریز با روش پویایی سیستم. نشریه آب و فاضلاب، ۱۸(۳)، ۷۰-۸۰.

Ahadnejad, M., & Maruyama, Y. (2010). Study of Uremia Lake level fluctuations and predict probable changes using multi-temporal satellite images and ground truth data period (1976-2010). In: *New Challenge about Climate Change or Human Impact*. Map Asia 2010 & ISG 2010 Conference, Kuala Lumpur, Malaysia.

Delju, A. H., Ceylan, A., Piguët, E., & Rebetez, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1), 285-296. doi: 10.1007/s00704-012-0651-9

Guo, H., Hu, Q., & Jiang, T. (2008). Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China. *Journal of Hydrology*, 355(1-4), 106-122. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.03.020

Jalili, S., Kirchner, I., Livingstone, D. M., & Morid, S. (2012). The influence of large-scale atmospheric circulation weather types on variations in the water level of Lake Urmia, Iran. *International Journal of Climatology*, 32(13), 1990-1996. doi: 10.1002/joc.2422

Kabiri, K., Pradhan, B., Sharifi, A., Ghobadi, Y., & Pirasteh, S. (2012). Manifestation of remotely sensed data coupled with field measured meteorological data for an assessment of degradation of Urmia Lake, Iran (Vol. 6). In: *Asia Pacific Conference on Environmental Science and Technology*, APEST, Kuala Lumpur, Malaysia.

Kebede, S., Travi, Y., Alemayehu, T., & Marc, V. (2006). Water balance of Lake Tana and its sensitivity to fluctuations in rainfall, Blue Nile basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 316(1-4), 233-247. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.05.011

Luna, E. J. R. (2011). *Water level fluctuations of Lake Enriquillo and Lake Saumatre in response to environmental changes* (Unpublished doctoral dissertation). Cornell University.

Mortsch, L., Alden, M., & Scheraga, J. D. (2003). Climate change and water quality in the great lakes region. *Climate Change and Water Quality in the Great Lakes Basin*. Report of the Great Lakes Water Quality Board to the International Joint Commission. Available from the International Joint Commission. Reterived from http://www.ijc.org/rel/pdf/climate_change_2003.pdf

Ostrovsky, I., Rimmer, A., Yacobi, Y. Z., Nishri, A., Sukenik, A., Hadas, O. and Zohary, T. (2012). Long-term changes in the lake Kinneret ecosystem: The effects of climate change and anthropogenic factors. In C. R. Goldman, M. Kumagai and R. D. Roberts (Eds.), *Climatic Change and Global Warming of Inland Waters: Impacts and Mitigation for Ecosystems and Societies*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9781118470596.ch16

Sellinger, C. E., Stow, C. A., Lamon, E. C., & Qian, S. S. (2008). Recent water level declines in the Lake Michigan - Huron system. *Environmental Science & Technology*, 42(2), 367-373. doi: 10.1021/es070664

Wang, X., Gong, P., Zhao, Y., Xu, Y., Cheng, X., Niu, Z., & Li, X. (2013). Water-level changes in China's large lakes determined from ICESat/GLAS data. *Remote Sensing of Environment*, 132, 131-144. doi: 10.1016/j.rse.2013.01.005

