University of Sistan and Baluchestan

Geography and Development

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

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

Monitoring Spatial-Temporal Changes in Surface Water Quality in Balkhali Chai River Basin Leading to Yamchi Dam (Ardebil city)

Maryam Bayati Khatibi[1]✉, Maryam Sadegi[2], Vahid Kakapour[3]

1. Professor of Geomorphology, Department of GIS and RS, Faculty of Planning and Environment Science, Tabriz University, Tabriz, Iran
   ✉ E-mail: M_bayati@tabrizu.ac.ir
2. Ph. D Student of GIS and RS, Faculty of Planning and Environment Science, Tabriz University, Tabriz, Iran
   E-mail: sadegi.maryam92@gmail.com
3. Ph. D Student of GIS and RS, Faculty of Planning and Environment Science, Tabriz University, Tabriz, Iran
   E-mail: v.kakapour@gmail.com

How to Cite: Bayati Khatibi, M; Sadegi, M; & Kakapour , V. (2024). Monitoring Spatial-Temporal Changes in Surface Water Quality in Balkhali Chai River Basin Leading to Yamchi Dam (Ardebil city). *Geography and Development*, 22 (76), 65-92.

DOI: http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.45003.3499

Received:
29 April 2023
Received in revised form:
21 December 2023
Accepted:
27 February 2024
Published online:
24 August 2024

Keywords:
Water quality index,
Remote sensing,
SPM,
MNDWI,
Yamchi dam.

ABSTRACT

One of the suitable methods for evaluating water quality is the use of water quality indicators. Qualitative indicators are a powerful management tool for different levels of decision-making. With the availability of satellite images, besides the use of field data, it is possible to study the quality of surface water with greater power and increase the dimensions and scope of the work and reduce the cost of the study. Therefore, in this research, considering Taking the mentioned cases and with the aim of investigating the spatial-temporal changes in the water quality of Yamchi Dam under the Balkhali Chai river basin and using the WQI water quality index and remote sensing, a quantitative study has been done in the area of the informed case. The area investigated in this research is under the river basin leading to Yamchi dam located in Ardabil province. Yamchi dam is closed on the path of Balkhali Chai river from the main branches of Qara-Su river. The main branches of Yamchi Dam are one of the important dams due to passing through important residential areas such as Nair and villages in the region, as well as the location of some industrial and recreational centers near the boundaries of these rivers and because of the provision of drinking water and agriculture in the region. The region is Azerbaijan. Due to the prevailing conditions and serious threats caused by industrial effluents and domestic sewage, it is always under the threat of pollution.

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

1. Introduction

Pollution of surface rivers leading to dams can be a threat to human health and ecosystems in the drainage basins. In general, it can be said that surface waters are very prone to pollution due to their dynamic nature and can easily They can become the most important factor that transmits pollution along the route and at the exit and end of the route (Bayati Khatibi et al, 2014: 15). For this reason, continuous monitoring of surface water in terms of quality change, using the method And appropriate tools are necessary and necessary. In general, the

sustainable management of water areas requires continuous monitoring of water quality at the level of basins and outlets. Surface water quality monitoring, before the use of remote sensing methods, was in the form of manual collection of samples and conducting various experiments in the field and laboratory environment. Today, with the emergence of various sensors and the use of their data in environmental monitoring It has made it possible to measure the quality of surface water with lower costs and in less time. One of the suitable methods for evaluating water quality is the use of water quality indicators. Water quality indicators are actually one of the important research tools to achieve the desired results in the evaluation of pollution and their use in performing appropriate management operations at different levels of decision-making. Today, proper management of water and soil resources at the basin level and protection of human health and environment is very important. In terms of rapid population growth and the subsequent increase in the number and variety of polluting sources, and at the same time, the increase in the need for fresh water, it is necessary to pay attention to measuring the quality of surface water more than in the past.

2. Methods and Material

In this research, remote sensing data for the period (2020-2021) using Landsat 7 and 8 and Sentinel 2 satellite images were used to prepare a base map, and for water quality indicators to estimate the amount of suspended particles (SPM) based on Landsat 8- and modified normalized difference index of water (MNDWI) derived from images in Google Earth Engine engine environment for the studied time period was used and also to evaluate the efficiency of remote sensing in measuring water quality values as well as examining temporal-spatial changes. Water quality in the study period using qualitative data (including: pH, EC, TDS, turbidity, Ca2+, DO, Mg2, Na+, Cl, HCO3, SO4, nitrate, phosphate, BOD, COD, total coliform and faecal coliform) and Pearson's correlation was used to check the relationship between the variables. Arc GIS, ENVI 5.3, snap, Google Earth pro, Imagin Erdas, spss software were used in this research.In this research, the most appropriate algorithm and water indicators were used to determine the boundaries of the water level in Yamchi Basin, and the studied area was investigated by capturing the Sentinel-2 and Landsat-8-7 satellite images in the Google Earth Engine environment. Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) Sentinel-2 data with a spatial resolution of 20 meters from Landsat 8 and 5 with a resolution of 30 meters in the GEE environment to calculate the changes in the area covered by the water of Yamchi Dam in the past 10-year period (2011-2021) . In this study, WQI was calculated using 18 different water quality parameters. Finally, water quality index (WQI) was calculated using equation (1).

equation (1). $$WQI = \sum_{j}^{n} = 1 \quad Wj * qj$$

In the water quality investigation, the values obtained from the water quality calculation are classified. According to this classification, WQI < 50 means excellent water quality, WQI = 50-100 means good quality, WQI = 101-200 means poor quality, WQI = 200-300 means very poor quality, and WQI > 300 means the water is unsuitable for drinking. In this research, Shannon's entropy was used to examine the indicators that are more important. To calculate the weight of the indicators, it was done according to the following relations and the matrix function.

3. Results and Discussion

One of the important parameters in the change of water quality is the changes in land use in the basins. Usually, with the occurrence of rapid changes in the type of land use in the semi-arid basins, which are highly sensitive to the occurrence of erosion and the entry of a large amount of separate materials into the running waters. have, the quality of water changes (Bayati Khatibi et al, 2013) in terms of the importance of the effect of changing

the type of land use in changing the quality of water, first in the studied area, the type and changes of land use in different time frames were determined and their maps were prepared. In this research, a land use map was prepared for the time frame under investigation (2010, 2015, and 2014) in 9 categories (forest, pasture, agricultural land, built-up land, and water levels) with maximum probability. It tells about the type of land use in the whole level of Yamchi basin. Examining the presented figures related to the changes in land use for different years under study, shows that during the 3 periods, the water level has decreased, that is, it has reached a third of the land use level a decade ago. If the types of land use in three periods Different times are compared with each other and placed next to each other, the facts become more visible. The comparisons indicate that the most changes have occurred in pastures, agricultural lands, and stony lands. The change in the chemical and physical properties of water in different periods of time is a very good indicator for the occurrence of changes in the water quality of the basin. In this research, the data related to the chemical and physical properties of water for different time periods were examined. The results of these investigations show that the correlation between water quality chemical parameters, for example between sulfate, magnesium and sodium COD, chloride with magnesium and sodium NO3 and bicarbonate, EC and TDC, is high. While, the correlation between sulfate with pH, turbidity and coliform and faecal coliform is negative and the correlation between other parameters is moderate or weak. The results of water quality investigation using the WQI index show the difference in water quality in different parts and in wet and dry periods of Yamchi basin. In wet periods, according to this index, the water quality is good. The trend of changes in water quality parameters For the dry and wet period that has been studied, it indicates changes in some parameters, including COD, especially in 2017 during the dry period. In the wet season, you can see significant changes in the amount of water turbidity. A graph has been prepared to compare the changes in water turbidity between 2011 and 2021 The changes in SPM and the terrestrial parameter of turbidity indicate that in the study area in the dry and wet seasons, the concentration of SPM during the study, especially In the dry season, there is an upward trend, and also in the wet period, the amount of turbidity increases due to the increase in water flows, and the amount of changes in the SPM index during the wet period is greater than the changes in the dry period. Of course, it should be noted that these changes are compared to turbidity In the ground data, it is more intense. However, in recent years, due to the decrease in rainfall, the distance between these two parameters has decreased in the dry period.

4. Conclusion

In this study, which was conducted with the aim of monitoring the water quality changes of Yamchi Dam at the basin level, the land use layers were classified for the years 2011, 2016, and 2021. 0.91, 0.86 and 90 were obtained. By zoning the water quality index (WQI) and checking the correlation between parameters for the years 2011 to 2021, changes in water quality were observed in different time periods. In the study of water quality, one of the other qualitative parameters Such as: pH, EC, TDS, turbidity, Ca2+, DO, Mg2, Na+, Cl, HCO3, SO4, nitrate, phosphate, BOD, COD, total coliform and faecal coliform were used, the results showed that in the studied range, EC parameter And TDS, hardness, total coliform and DO are higher than the set standard. According to the classification of water quality index (WQI), the water quality of the study area is in the poor category during the dry period, although this value is higher in the hydrometric station. Investigations related to the degree of correlation between water quality parameters, for example sulfate with magnesium and sodium COD, chloride with magnesium and sodium NO3 and bicarbonate, EC show a high correlation (0.7) with TDC. Monitoring the changes of water quality parameters during the statistical period have an upward trend, where EC, TDS, hardness, bicarbonate, chloride and potassium parameters are more than other

parameters. In this study, the MNDWI index was used to monitor the changes in the water level of Yamchi Dam. The results of the investigations indicate the increasing points. It means that the increasing amount of water corresponds to the wet season of the year and the decreasing amount corresponds to the dry period of the year.

Keywords: Water quality index, Remote sensing, SPM, MNDWI, Yamchi dam.

5. References

Avtar, R., Kumar, P., Singh, C.K., Mukherjee, S (2011). A comparative study on hydrogeochemistry of ken and Betwa Rivers of Bundelkhand using statistical approach. Water Qual Expo Health 2, 169–179. https://doi.org/10.1007/s12403-010-0035-2.

Bayati Khatibi, M., Shahbazi, M. and Heydari, A. (2013). Forecasting and analyzing the trend of water quality changes in the Ahr River and investigating its possible impact on human health, Hydrogeomorphology Journal, 1(1), 93-109. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_3277.html, 20.1001.1.23833254.1393.1.1.6.6

Bhaga, T.D., Dube, T., Shoko, C (2021). Satellite monitoring of surface water variability in the drought prone Western cape, South Africa. Phys. Chem. Earth, parts A/B/C 102914. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021PCE...12402914B/abstrac. http://www.ijabbr.com/article_7087.html

Clay Barrett D, Frazier A. (2016). Automated method for monitoring water quality using Landsat imagery. Water, 8(6): 257-269. https://www.mdpi.com/2073-4441/8/6/257.

Deng, C., Liu, L., Li, H.,Peng, D., Wu, Y., Xia, H., Zhang, Z., Zhu, Q. A (2021). Data-driven framework for spatiotemporal characteristics, complexity dynamics, and environmental risk evaluation of river water quality. Sci. Total. Environ, 785, 147134 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33940408.

Ezzatabadipour, h. (2015). Introducing Sentinel satellite images - 2nd Third International Conference on Recent Innovations in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, 18-19 Shahrivar, Tehran, 8 pages. Nikan Institute of Higher Education. https://civilica.com/l/6011./

Elkiran, G., Nourani, V., Abba, S.I (2019). Muliti-step ahead modlleing of river water quality parameters using ensemple artificial intelligence-based approach. J. Hydrol. 577, 123962. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193501942.

Faizi, A; Aghajani, R. (2019). Allocation and management of water resources of the Yamchi Dam catchment area with the approach of analyzing scenarios using the model. WEAP, Environmental Science and Technology Research Paper, 23rd Volume (9), 98-100. https://jest.srbiau.ac.ir/article_17513.html.

Haider, H., Singh, P., Ali, W., Tesfamariam, S., Sadiq, R (2015). Sustainability evaluation of surface water quality management options in developing countries: multicriteria analysis using fuzzy UTASTAR method. Water Resour. Manag. 29, 2987-3013. https://ideas.repec.org/a/spr/waterr/v29y2015i8p2987-3013.html

Hameed, M., Sharqi, S.S., Yaseen, Z.M., Afsan, H.A., Hussain, A., Elshafie, A (2017). Application of artificial intelligence (AI) techniques in water quality index prediction: a case study in tropical region, Malaysia. Neural Comput. & Applic. 28, 893-905.
https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s00521-016-2404-7.

Irmadi Nahib, Fahmi Amhar, Yudi Wahyudin , Wiwin Ambarwulan, Yatin Suwarno, Nawa Suwedi, Turmudi Turmudi 1, Destika Cahyana, Nunung Puji Nugroho 3, Fadhlullah Ramadhani, Deddy Romulo Siagian, Jaka Suryanta, Aninda W. Rudiastuti, Yustisi Lumban-Gaol,Vicca Karolinoerita, Farid Rifaie and Munawaroh Munawaroh (2022). Spatial-Temporal Changes in Water Supply and Demand in the CitarumWatershed, West Java, Indonesia Using a Geospatial Approach, Current Research in Environmental Sustainability 4 (2022) 100187.
https://www.mdpi.com/article/10.3390/su15010562.

Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B (2009). Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(11), 1307–1317.
https://doi.org/10.14358/PERS.75.11.1307.

Kumar, P., Dasgupta, R., Dhyani, S., Kadaverugu, R., Johnson, B.A., Hashimoto, S., Sahu, N., Avtar, R., Saito, O., Chakraborty, S., Mishra, B.K (2021). Scenario based hydrological modeling for designing more climate resilient water resource management measures: a case of Brahmani river, Odisha, Eastern India. Sustainability 13, 6339.
https://doi.org/10.3390/su13116339.

Liu J, Zhang Y, Yuan D, Song X (2015). Empirical estimation of total nitrogen and total phosphorus concentration of urban water bodies in china using high resolution ikonos multispectral imagery. Water, 7(11): 6551-6573.
https://doi.org/10.3390/w7116551.

Liu J, Zhang Y, Yuan D, Song X (2015). Empirical estimation of total nitrogen and total phosphorus concentration of urban water bodies in china using high resolution ikonos multispectral imagery. Water, 7(11): 6551-6573. https://doi.org/10.3390/w7116551.

Lv, M., Niu, X., Zhang, D., Ding, H., Lin, Z., Zhou, S., Zhu, Y. A (2023). Data-Driven Framework for Spatiotemporal Analysis and Prediction of River Water Quality: A Case Study in Pearl River, China. Water 2023, 15, 257.
https:// doi.org/10.3390/w15020257. https:// doi.org/10.3390/w15020257.

Matta G., Nayak. A., Nayak A., KumarK & Kumar P (2020). Water quality assessment using NSFWQI, OIP and multivariate techniques of Ganga River system, Uttarakhand, India, Applied Water Science, e (2020) 10:206 https://doi.org/10.1007/s13201-020-01288-y

Molekoa, M.D., Avtar, R., Kumar, P., Minh, H.V.T., Kurniawan, A.T (2019). Hydrochemical assessment of groundwater quality of Mokopane area, Limpopo South Africa using statistical approach. Water 11, 1891.
https://doi.org/10.3390/ w11091891.
https://www.mdpi.com/2073-4441/11/9/1891.

Noori, R.; Berndtsson, R.; Hosseinzadeh, M.; Adamowski, J.F.; Abyaneh, M.R (2019). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. Environ. Pollut. 2019, 244, 575-587.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30384063/

Osman Salih Yilmaz, Fatih Gulgen, Fusun Balik Sanli & Ali Murat Ates (2023). The Performance Analysis of Different Water Indices and Algorithms Using Sentinel-2 and Landsat-8 Images in Determining Water Surface: Demirkopru Dam Case Study, Arabian Journal for Science and Engineering (2023)Cite this article.
https://www.springerprofessional.de/en/the-performance-analysis-of-different-water-indices-and-algorith/23888002.

Qiu, Z (2013). A simple optical model to estimate suspended particulate matter in Yellow River Estuary. Optics Express, 21(23), 27891. doi:10.1364/oe.21.027891.
https://opg.optica.org/OE/fulltext.cfm?uri=oe-21-23-27891.

Rasouli Asl, R; Saadati, H (2016). Statistical analysis of water pollution in Yamchi dam basin, Ardabil, Master's degree, Department of Natural Resources, Environment, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Fourth International Conference on Planning and Management, June 2016.
https://civilica.com /doc/589543

Stets, E.G.; Sprague, L.A., Oelsner, G.P., Johnson, H.M.; Murphy, J.C.; Ryberg, K., Vecchia, A.V., Zuellig, R.E., Falcone, J.A (2020). Riskin, M.L. Landscape Drivers of Dynamic Change in Water Quality of U.S. Rivers. Environ. Sci. Technol. 2020, 54, 4336-4343.
https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05344.

Wang, B., Wang, Y., Wang, S (2023). Improved water pollution index for determining spatiotemporal water quality dynamics: Case study in the Erdao Songhua River Basin, China. Ecol. Indic. 2021, 129, 107931.
https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107931.

Wang, P.; Zhao, H.; Yang, Z.; Jin, Q.; Wu, Y.; Xia, P.; Meng, L (2023). Fast Tailings Pond Mapping Exploiting Large Scene Remote Sensing Images by Coupling Scene Classification and Sematic Segmentation Models. Remote Sens. 2023, 15, 327.
https:// doi.org/10.3390/rs15020327.

Zheng G, DiGiacomo PM (2017). Uncertainties and applications of satellite-derived coastal water quality products. Progress in Oceanography, 159: 45-72.

Zheng, H., Hong, Y., Long, D., Jing, H (2017). Monitoring surface water quality using social media in the context of citizen science. Hydrol. Earth Syst. Sci. 21, 949-961.
https://doi.org/10.5194/hess-21-949-2017.

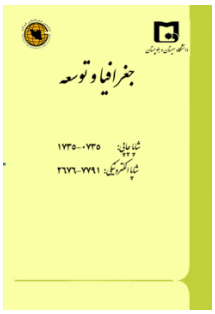
جغرافیا و توسعه
شاپا چاپی: ۰۷۳۵-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۱-۲۶۷۶
https://gdij.usb.ac.ir
دانشگاه سیستان و بلوچستان

پایش تغییرات مکانی – زمانی کیفیت آب‌های سطحی درحوضهٔ رودخانهٔ بالخلی‌چای منتهی به سدّ یامچی (شهرستان اردبیل)

مقالهٔ پژوهشی

دکتر مریم بیاتی‌خطیبی[1]*، مریم صادقی[2]، وحید کاکاپور[3]

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۷۶، پاییز ۱۴۰۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸
صفحات: ۹۲-۶۵



واژه‌های کلیدی:
شاخص کیفیت آب، سنجش از دور، SPM، MNDWI، سدّ یامچی.

چکیده

آب‌های سطحی به لحاظ ماهیّت پویای خود و همچنین گذر از مسیرهای مختلف، به‌راحتی آلوده‌شده و در مدت کوتاهی، آلودگی را به محیط‌های دیگر منتقل می‌کنند. به‌منظور بررسی تغییرات در کیفیت آب‌های سطحی در محدودهٔ فضایی(در مسیر رودخانهٔ بالخلی‌چای تا سدّ یامچی) –زمانی(در بازهٔ زمانی مطالعاتی ۱۳۹۰-۱۴۰۰)، از داده‌ها و اطلاعات سازمان‌ها، نمونه‌های میدانی و همچنین از شاخص‌های مختلف، استفاده شد. برای بررسی کیفیت آب، از شاخص کیفی آب، شاخص برآورد ذرات معلق یعنی؛ SPM (بر اساس داده‌های Landsat-8) و همچنین از شاخص تفاوت نرمال و اصلاح‌شدهٔ آب، یعنی MNDWI (مشتق‌شده از تصاویر در محیط موتور گوگل ارث انجنین) برای دورهٔ زمانی مورد مطالعه، استفاده گردید. در این مطالعه، برای بررسی تغییرات زمانی- فضایی کیفیت آب در دورهٔ مطالعاتی از داده‌های کیفی (شامل : pH، EC، TDS، کدورت، Ca2+، DO، Mg2، Na+، Cl، HCO3، SO4، نیترات، فسفات، BOD، COD، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی) استفاده گردید. برای رسیدن به هدف مطالعه، از ۱۸ پارامتر کیفی آب مانند : pH، EC، TDS، کدورت، Ca2+، DO، Mg2، Na+، Cl، HCO3، SO4 ، نیترات، فسفات، BOD، COD، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی) استفاده شد. در پایان نیز نتایج با استفاده از امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه‌گردید. نتایج بررسی‌ها در محدودهٔ سد یامچی اردبیل، نشان‌داد که پارامتر EC و TDS، سختی، کلیفرم کل و DO از حد استاندارد تعیین‌شدهٔ سازمان بهداشت جهانی بالاتر است. بررسی شاخص کیفی آب (WQI) و استفاده از آنتروپی شانون نیز نشان‌داد که کیفیت آب محدودهٔ مورد بررسی براساس طبقه‌بندی استاندارد جهانی در فصل مرطوب، مطلوب بوده ولی در فصل خشک نامطلوب است. همچنین بررسی نتایج ارائه‌شده در نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از محاسبهٔ شاخص SPM برای حوضهٔ یامچی، بیانگر وجود مقدار بالای ذرات جامد معلق برای دورهٔ مرطوب نسبت به دورهٔ خشک در رودخانهٔ یامچی می‌باشد. مقایسهٔ بازه‌های زمانی نشان می‌دهد که مقدار تغییرات SPM در سال ۱۳۹۳ برای دورهٔ مرطوب و در سال ۱۳۹۷ برای دورهٔ خشک شدیدتر است. بررسی میزان کدورت نیز، بیانگر تغییرات شدید در دوره‌های مشابه است. بررسی‌ها همچنین نشان‌داد که پارامترهای مورد بررسی با شاخص SPM یا مقدار ذرات معلق، هم‌بستگی بالایی با یکدیگر دارند. بررسی روند تغییرات مقدار حاصل از به‌کارگیری شاخص MNDWI نیز نشان‌داد که روند صعودی مقادیر منتج، منطبق بر دورهٔ مرطوب و روند نزولی نیز منطبق بر دورهٔ فصل خشک است و میزان این تغییرات در سطح حوضه در حدود ۴ کیلومتر می‌باشد.

مقدمه

آب‌های سطحی به لحاظ ماهیت پویایی که دارند، بسیار مستعد آلوده‌شدن هستند و به‌راحتی می‌توانند خود به مهمترین عامل انتقال‌دهندهٔ آلودگی در طول مسیر و در خروجی و انتهای مسیر خود تبدیل شوند *(بیاتی‌خطیبی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۴)*. به این دلیل، پایش مداوم آب‌های سطحی از نظر تغییر کیفیت، با استفاده از روش‌ها و ابزارهای مناسب لازم و ضروری است. پایش کیفیت آب‌های سطحی، قبل از به‌کارگیری روش‌های سنجش از دور، به‌صورت جمع‌آوری دستی نمونه‌ها و انجام آزمایش‌های مختلف درمحیط میدانی و آزمایشگاه بوده است. امروزه، ظهور سنجنده‌های مختلف و استفاده ازداده‌های آن‌ها درکار پایش محیط، انجام عملیات سنجش کیفیت آب‌های سطحی را با هزینه‌های پایین‌تر و در زمان کمتر، امکان‌پذیرکرده است *(Zheng &DiGiacomo,2017:50)* یکی از

۱. استاد ژئومورفولوژی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده‌مسئول)
M_bayati@tabrizu.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران sadegi.maryam92@gmail.com
۳. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز،ایران v.kakapour@gmail.com

روش‌های مناسب برای ارزیـابی کیفیـت آب، اسـتفاده از شاخص‌های کیفیت آب[1] است. شاخص‌های کیفـیت آب، درواقع از ابـزارهای مهم پژوهش برای دستیابی به نتایج مطلوب در ارزیابی آلودگی‌ها و استفاده از آن‌ها در انجام عملیات مـدیریتی مناسب در سطوح مختلف تصمیم‌گیری است.عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب، تأثیر تغییر کاربری زمین و رشد زمین‌های کشاورزی در تغییرکیفیت آب‌های سطحی، توجه محققین مختلف را به امر تغییرات کیفیت آب بیش از پیش جلب کرده است. در این زمینه می‌توان به تحقیقات اشاره کردکه پژوهش خود را در مورد کیفیت آب‌های سطحی در رودخانهٔ های مهم (مانند هان[2]) با استفاده از نمونه‌برداری‌های زمینی و همچنین با به‌کارگیری تصاویر ماهوارهای انجام دادند و در این مطالعه با استفاده از شبکهٔ عصبی، مدل بازیابی و شاخص کیفیت آبی، آب‌های سطحی منطقهٔ مورد مطالعه را بررسی و مقادیری را استخراج کردند *(Ji et al, 2009:1308)*. نتایج مطالعات آن‌ها نشان‌داد که مدل تهیه‌شده در ارزیابی کیفیت آب، دارای دقت بالایی استمحققینی مانند کلی و فریز، تصاویر ماهوارهای سری لندست ۵ و ۸ را برای بررسی وضعیت کلروفیل و تیره‌گی در سطح دریاچهٔ شرق اوکلاهاما به‌کار گرفتند *(Clay and Frazier, 2016: 258)*. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، این محققین نشان دادند که میزان هم‌بستگی رفلکتنس باند و دو پارامتر کیفیت آب کلروفیل بالا است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تغییرات در کیفیت آب، سبب کاهش میزان انعکاس کلروفیل در طول موج آبی و افزایش انعکاس در طول موج سبز می‌شود. این محققین با هدف بررسی ارتباط بهینهٔ میان پارامترهای (بیکربنات(HCO3) و سولفات (pH) تاثیرگذار درکیفیت آب(شامل اسیدیته) و با استفاده از Sentinel-2، مدل مناسبی طراحی کردند سپس با استفاده از مناسب‌ترین مدل (از نظر دقت)، وضعیت پارامترهای کیفیت آب منطقهٔ مورد مطالعه را در قالب نقشهٔ کیفیت ارائه نمودند. لیو و همکاران[3] (۲۰۱۵)، نیز در محدودهٔ مورد مطالعهٔ خود، از شاخص کیفیت آب (WQI) همراه با یک روش دیگر، برای طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی استفاده کردند. در این تحقیق محققین نامبرده، بر اساس استفاده ازتکنیک‌های تراکم و انجام تبدیل‌های لازم و همچنین با استفاده ازداده‌های زیادی از پارامترهای دخیل در کیفیت آب (به‌عنوان مثال، شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) مقادیر مربوط به میزان کیفیت را ارائه نمودند) . *(Liuet al, 2015: 6552)*

محققان دیگری هم هستند که با توسل به ابزارها و امکانات به‌روز، توانستند کیفیت آب رودخانه‌ها و آب پشت سدها را با استفاده از روش‌های ترکیبی مطالعه کنند، از جمله *Avtar et al, 2011: 175; Stets et al, 2020: 4339; Bhaga et al, 2021:201; Kumar et al, 2021: 63; Mata ,et al, 2020:206; Zheng ,et al, 2017:51* بررسی پیشینهٔ تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی پارامترهای مختلف دخیل در کیفیت آب‌های سطحی و به‌کارگیری ظرفیت‌های بالای این امکانات، در بررسی میزان و تاثیر پارامترهایی مانند: ذرات معلق (SPM)، کلروفیل و کدورت درآب‌های سطحی(در بُعد زمان و مکان)، نتایج مناسبی را ارائه می‌دهند *(فیضی و آقاجانی، ۱۳۹۹: ۹۹)*. محققان زیادی از ابزارهای یادشده برای بررسی کیفیت آب در بُعد زمانی و مکانی مختلف استفاده کرده و به نتایج ارزنده‌ای نیز دست یافته‌اند *(Liu et al, 2015: 6555; Osman et al, 2023: 56; Avtar et al, 2011:176)* علاوه از محققینی که نام برده شد، می‌توان به تحقیقات باقا و همکاران[4] در ۲۰۲۱، در آفریقای جنوبی اشاره نمود. این محققین، به بررسی تغییرات مکانی-زمانی (۵ ساله) در

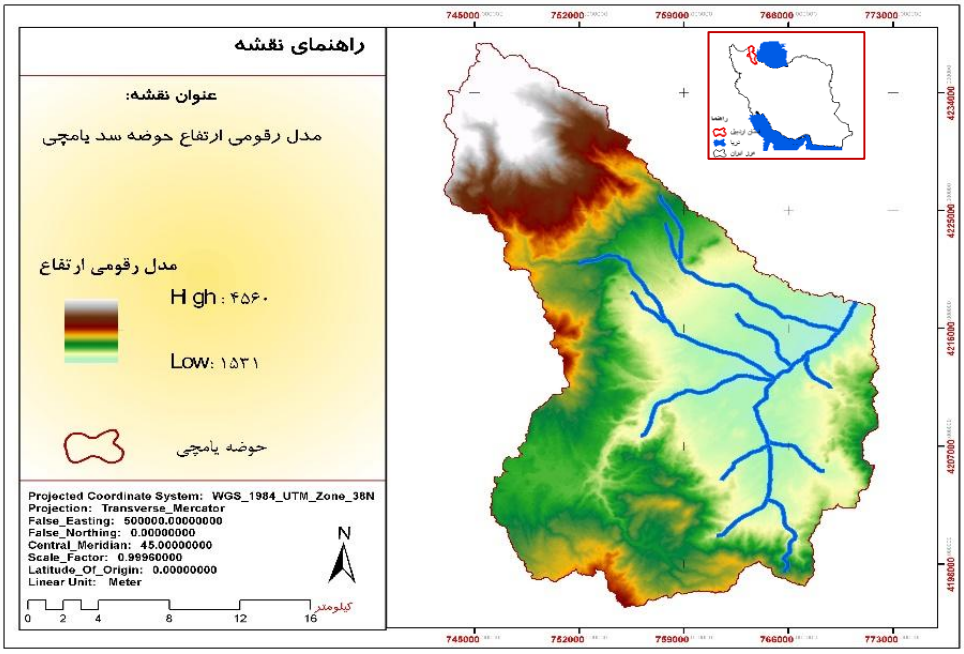
1. National Sanitation Foundation Water（NSFWQI Index Quality）
2. Han
3. Liu et al
4. Bhaga et al

در کیفیت آب سد دورنداری[1]، آفریقای جنوبی با استفاده از شاخص‌های کیفی و به‌کارگیری داده‌های حاصل از سنجش از دور و داده‌های زمینی پرداختند و نتایج حاصل، حاکی از هم‌بستگی قوی بین داده‌های درجا و داده‌ها و نتایج حاصل از استفاده از سنجش دور بود. نتایج حاصل از بررسی پیشینهٔ تحقیق نشان می‌دهد که با در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان در کنار استفاده از داده‌های میدانی، کیفیت آب‌های سطحی را با توان بیشتری مطالعه کرد و ابعاد و گسترهٔ کار را افزایش و هزینهٔ مطالعه را کاهش داد؛ بنابراین در این تحقیق، با هدف بررسی تغییرات مکانی- زمانی کیفیت آب رودخانهٔ بالخلی‌چای منتهی به سدّ یامچی و با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI و داده‌های سنجش از دور، مطالعهٔ کمّی‌در محدودهٔ مورد مطالعه صورت گرفت.

در این پژوهش، منطقهٔ مورد بررسی زیرحوضهٔ رودخانهٔ بالخلی‌چای منتهی به سدّ یامچی واقع در استان اردبیل می‌باشد. سدّ یامچی در مسیر رودخانهٔ بالخلی‌چای از سرشاخه‌های اصلی رودخانهٔ قره سو، بسته شده است. حوضهٔ سد یامچی با وسعت ۷۰۹/۱۸ کیلومتر مربع در محدودهٔ جغرافیایی "۲۸ ' ۴۶°۴۶ تا "۵۷ ' ۰۵ °۴۸ طول شرقی و "۲۸ ' ۴۶°۴۶ تا "۲۴ ' ۰۱ °۳۸ عرض شمالی قرار دارد. این منطقه از شمال با محدودهٔ شهرستان مشکین‌شهر، از شمال شرق با شهر اردبیل، از جنوب و غرب به استان آذربایجان شرقی و از جنوب شرقی به حوضهٔ آبخیز قوری‌چای محدود می‌شود. سرشاخه‌های اصلی سد یامچی شامل نیرچای و لای‌چای می‌باشد که پس از اتصال به هم، رودخانهٔ بزرگی را تشکیل می‌دهند (شکل ۱).

سرشاخه‌های اصلی رودخانهٔ بالخلی‌چای منتهی به سدّ یامچی، به‌دلیل عبور از مناطق مسکونی مهم نظیر نیر و روستاهای مختلف در محدودهٔ مورد بررسی و نیز قرارگرفتن برخی از مراکز صنعتی و تفریحی در نزدیکی حریم این رودخانه و همچنین به‌دلیل تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه، در معرض آلاینده‌های مختلف قرار دارد *(فیضی و آقاجانی، ۱۳۹۹: ۱۰۱)*. مسیر رودخانه بالخلی‌چای و حوضهٔ سدّ یامچی (شکل ۱) توسط پساب‌های ورودی صنایع مختلف و فاضلاب‌های خانگی همواره مورد تهدید آلودگی‌های مختلف می‌باشد *(رسولی و سعادتی، ۱۳۹۶: ۴۶)*. به‌دلیل این‌که سد یامچی در قسمت مسیر نهایی بالخلی‌چای قرار دارد و آب سدّ یامچی تأمین‌کنندهٔ عمدهٔ آب شرب شهرستان اردبیل می‌باشد، بررسی کیفیت آب این حوضه در مسیر رودخانه بالخلی‌چای ضروری به‌نظر می‌رسد.

1. Doorndrai



شکل ۱: موقعیت محدودهٔ مطالعاتی و سد یامچی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، برای تهیهٔ نقشهٔ پایه از داده‌های سنجش از دور برای دورهٔ زمانی (۱۳۹۰ -۱۴۰۰) با استفاده تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ و Sentinel 2 استفاده گردید که در جدول (۱) جزئیات آن‌ها ارائه شده است و برای شاخص‌های کیفی آب جهت برآورد میزان ذرات معلق (SPM) براساس Landsat-8 و شاخص تفاوت نرمال شده اصلاح‌شده آب (MNDWI) مشتق‌شده از تصاویر در محیط موتور گوگل ارث انجنین برای دورهٔ زمانی مورد مطالعه استفاده گردید. همچنین برای ارزیابی کارایی سنجش از دور در سنجش مقادیرکیفی آب و همچنین بررسی تغییرات زمانی- فضایی کیفیت آب در دورهٔ مطالعاتی، از داده‌های کیفی (شامل: pH، EC، TDS، کدورت، Ca2+، DO، Mg2، Na+، Cl، HCO3، SO4 ، نیترات، فسفات، BOD، COD، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی) استفاده

گردید و برای بررسی ارتباط بین متغیرها از روابط هم‌بستگی پیرسون بهره‌گیری شد. در این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc GIS،snap ،ENVI 5.3, ،Erdas Imagin Google Earth pro، spss نیز استفاده شده است.

جدول ۱: داده‌های تحقیق

ماهواره / سنجنده	Landsat 7/ TM	Sentinel2 A / MSI	Landsat 8 / OLI
قدرت تفکیک مکانی	چندطیفی ۳۰ متر	۲۰ و۱۰ چند طیفی	چندطیفی ۳۰ و پانکروماتیک ۱۵ متر
محدودهٔ طیفی مورد استفاده	VISIBAL/ NIR/PAN	VISIBAL/ NIR,SWER	Optic / PAN
ردیف و گذر	167/34	-	167/34
تاریخ برداشت	2011/07/14	2021/07/18 2017/07/1	
داده‌های اقلیمی		-	

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

در این پژوهش چهار مرحله طی شده است:

الف) تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی برای دورهٔ مطالعاتی (۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰) .

ب) محاسبهٔ شاخص‌های طیفی در محیط گوگل ارث انجنین (GEE).

پ) محاسبهٔ شاخص کیفی آب (WQI).

ث) تحلیل نمونه‌های زمینی و بررسی هم‌بستگی پارامترهای کیفی آب.

در این مطالعه، تصحیح آتمسفری به‌روش QUAC صورت‌گرفت (basic Tools>proproessing>calibration utilites>quickAtmosheric corection) برای تهیهٔ نقشهٔ پوشش اراضی از تصاویر لندست ۷ و ۸ و سنتینل ۲ برای سه دورهٔ مطالعاتی (۱۳۹۰، ۱۳۹۵، ۱۴۰۰) در ۸ طبقه در نظر گرفته شد و فیوژن تصاویر با روش گرام اشمید با قدرت تفکیک ۱۵ متر و با روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت تهیه گردید. همچنین برای ارزیابی دقت از روش کاپا و دقت کلی با نقاط نمونه برداشته‌شده از محیط گوگل ارث تهیه گردید. با توجه به این‌که ذرات معلق (SPM) تأثیر زیادی بر شفافیت، کدورت و رنگ آب خروجی رودخانه و آب‌های ساحلی دارد *(Qiu, 2013:7892)* آگاهی از میزان ذرات معلق و توزیع مکانی آن‌ها ضروری‌است. ویژگی‌های فیزیکی SPM در ارزیابی، تأثیر تغییرات ژئومورفولوژیکی در کیفیت آب در سطح حوضه را کنترل می‌کنند. تغییرات در ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی می‌تواند بر تولید اولیهٔ مواد منفصل، محلول و بر میزان فلزات سنگین و همچنین میکروآلاینده‌ها تأثیرگذار باشد. از داده‌های سنجنده‌های تصویرساز با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌توان برای محاسبهٔ آن استفاده نمود *(Haider,et al, 2015:2988)*. با توجه به موارد ذکرشده در این مطالعه نیز ذرات معلق با استفاده از شاخص زیر محاسبه شد:

رابطهٔ ۱:

$$SPM = \frac{APW}{\frac{1-PW}{C}}$$

که در آن، A (289.29) و C (0.1686) ضرایب مدل‌های تجربی هستند، pw نشان‌دهندهٔ باند قرمز (B4) است. استفاده از الگوریتم تجربی برای بازیابی غلظت SPM در محدودهٔ ۰-۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیز مناسب است *(Molekoa et al, 2019: 1891)* بنابراین دراین پژوهش نیز با استفاده از آن برازش صورت گرفته است. در این مطالعه از شاخص تفاوت نرمال‌شدهٔ آب و اصلاح‌شدهٔ آن (MNDWI) استفاده شده است. مقادیر پایین در MNDWI نشان‌دهندهٔ

محدودهٔ زمین و یا خشکی و مقادیر بالا، نشان‌دهندهٔ مناطق تحت پوشش آب است*(Osman,et al, 2023:56)*. در این مطالعه از داده‌های Sentinel-2 برای محاسبهٔ MNDWI استفاده شده است(رابطه ۲).

رابطه ۲:
$$MNDWI = \frac{B2-B5}{B2+B5}$$

در این تحقیق، از مناسب‌ترین الگوریتم و شاخص‌های آب، برای تعیین مرزهای سطح آب در حوضهٔ یامچی استفاده شد و با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2و Landsat-8-7 در محیط گوگل ارث انجنین، محدودهٔ مورد مطالعه بررسی شد. شاخص تفاوت نرمال‌شدهٔ آب اصلاح شده (MNDWI) داده‌های Sentinel-2 با وضوح فضایی ۲۰ مترو لندست ۸ و ۵ با قدرت تفکیک ۳۰ متر در محیط GEE برای محاسبهٔ تغییرات مساحت تحت پوشش آب سد یامچی در دورهٔ ۱۰ سالهٔ گذشته (۲۰۱۱-۲۰۲۱) استفاده گردید.

برای بررسی کیفیت آب از شاخص WQI استفاده شد. WQIیکی از پرکاربردترین ابزارهای علمی برای اندازه‌گیری کیفیت آب‌های سطحی در سراسر جهان *(Matta et al, 2020:206)* است. شاخص کیفیت آب (WQI) که به‌عنوان تکنیک درجه‌بندی آلودگی تعریف می‌شود، اثر ترکیبی هر یک از پارامترهای کیفیت آب را مورد بررسی قرار می‌دهد*(Iramald et al, 2022: 100187; Hamed et al, 2017: 901)* در این تحقیق از آنتروپی شانون برای بررسی شاخص‌هایی که دارای اهمیت بیشتری هستند، استفاده شد. برای محاسبهٔ وزن شاخص‌ها، طبق روابط زیر و کارکرد ماتریسی عمل شد که در آن، m تعداد معیارها (شاخص‌ها)، n تعداد گزینه‌ها و aij ارزیابی گزینه i ام به ازای شاخص jام است.

رابطهٔ ۳:
$$y = \begin{bmatrix} m_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

با توجه به این‌که پارامترهای ورودی دارای واحدهای یکسانی هستند، با استفاده از رابطهٔ زیر نرمال‌سازی صورت گرفت و پس از نرمال‌سازی داده‌ها نسبت مقدار شاخص پارامتر j در نمونه i براساس رابطهٔ (۵) محاسبه شد.

رابطهٔ ۴:
$$Pij = \frac{yij}{\sum_{i=1}^{m} yij}$$

در این رابطه Pij احتمال رخداد مشترکi و j می‌باشد. لازم به ذکر است که Pij در معادله (۴) ممکن است صفر شود و صفرشدن این پارامتر در معادلات بعدی مشکل ایجاد می‌کند، تصحیح رابطهٔ (۴) با رابطهٔ (۵) انجام شد:

رابطهٔ ۵ :
$$Pij = \frac{(yij+0.0001)}{\sum_{i=1}^{m}(yij+0.0001)}$$

و سپس اطلاعات آنتروپی به‌صورت رابطهٔ (۶) بیان شد :

رابطهٔ ۶: $ej=-\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m}(Pij.\ln Pij)$

در این رابطه، Pij احتمال رخداد مشترک I و j می‌باشد. میزان آنتروپی می‌تواند از رابطهٔ (۷) محاسبه شود *(عزت‌آبادی‌پور، ۱۳۹۵: ۱۷۱)*:

رابطهٔ ۷: $wj=\frac{1-ej}{\sum_{j=1}^{n}(1-ej)}$

در این رابطه، ej اطلاعات آنتروپی j می‌باشد. مقدار وزن (Wj) برای هر پارامتر بسته به اثرات کیفیت آب و اهمیت آن در سلامتی انسان و وزن هر پارامتر و n مقدار جمع کل پارامتر است.مقدار Q نیزبا استفاده از معادلهٔ (۸) محاسبه شد:

رابطهٔ ۸ : $qi=\frac{Ci*100}{Si}$

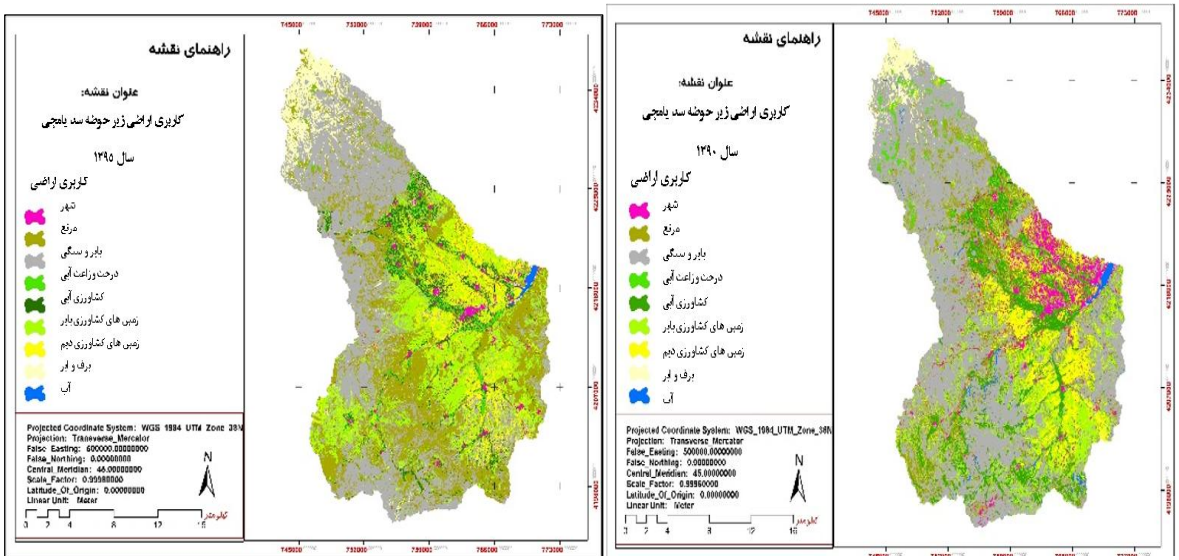
در رابطهٔ فوق qi: رتبه‌بندی کیفیت، Ci، غلظت هر پارامتر به میلی‌گرم در لیتر (mg/L)، پارامتر برگرفته از WQI است. در این مطالعه، WQI با استفاده از ۱۸ پارامتر مختلف کیفیت آب محاسبه شد که در ادامه فرمول محاسباتی آن (۴، ۵ و ۶) ارائه‌شد. در نهایت، شاخص کیفیت آب (WQI) با استفاده از معادلهٔ (۹) محاسبه شد.

رابطهٔ ۹ : $WQI=\sum_{j}^{n}=1\quad Wj*qj$

در بررسی کیفیت آب، مقادیر حاصل از محاسبهٔ کیفیت آب طبقه‌بندی می‌شود. با توجه به این طبقه‌بندی، WQI <50 به‌معنای کیفیت عالی آب است، WQI= ۵۰-۱۰۰ به‌معنی کیفیت خوب، WQI=۱۰۱-۲۰۰ به‌معنای کیفیت ضعیف WQI= ۲۰۰-۳۰۰ به‌معنای کیفیت بسیار ضعیف است و WQI > 300 به‌معنی نامناسب آب برای نوشیدن است *(Molekoa et al, 2019:1891)* .

- بحث و نتایج و یافته‌های تحقیق

یکی از پارامترهای مهم در تغییر کیفیت آب، تغییرات کاربری در محدودهٔ حوضه‌ها است. معمولا با وقوع تغییرات سریع در نوع کاربری‌ها در محدوده‌های حوضه‌های نیمه‌خشک که حساسیت زیادی برای وقوع فرسایش و ورود انبوهی از مواد منفصل به آب‌های جاری دارند، کیفیت آب‌ها تغییر می‌کند *(بیاتی‌خطیبی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۶)* به لحاظ اهمیت تاثیر تغییر نوع کاربری‌ها در تغییرکیفیت آب‌ها،ابتدا در محدودهٔ مورد مطالعه نوع و تغییرات کاربری در بازه‌های زمانی مختلف تعیین و نقشه‌های آن‌ها تهیه شد (شکل۲).



شکل ۲: نقشهٔ کاربری اراضی در حوضهٔ بالخلی‌چای در سال ۱۳۹۰ و۱۴۰۰

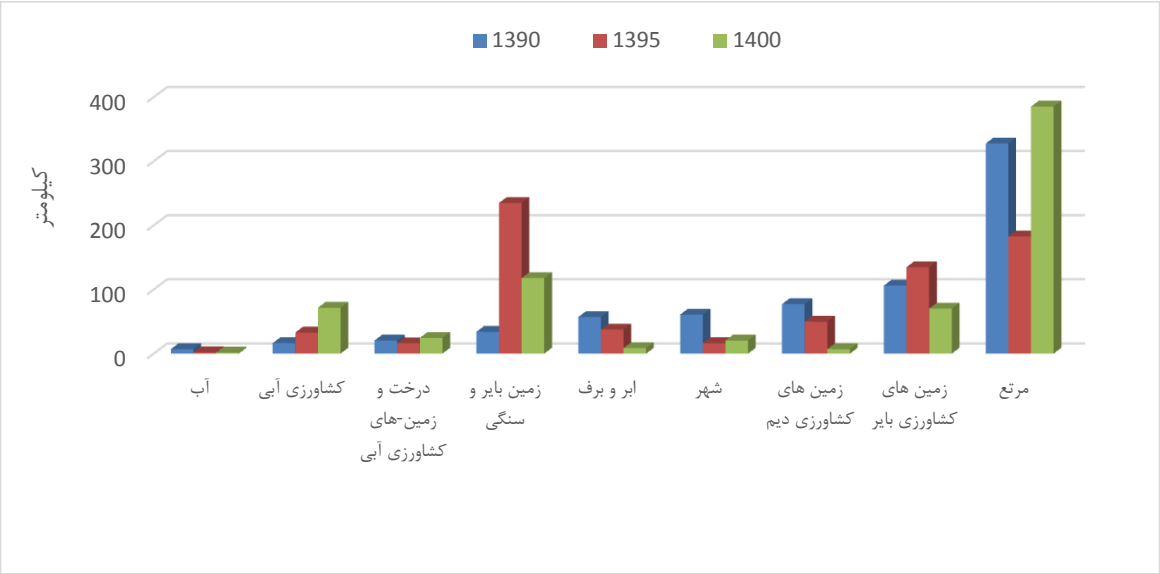
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

در این تحقیق، نقشهٔ کاربری اراضی برای بازهٔ زمانی مورد بررسی (۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰) در ۹ طبقه (جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی ساخته‌شده و سطوح آبی) با حداکثر احتمال تهیه شد (شکل ۲ و۴). بررسی این نقشه‌ها از تغییرات وسیع در نوع کاربری‌ها درکل سطح حوضهٔ یامچی حکایت می‌کند (شکل ۳ و جدول۲). بررسی ارقام ارائه‌شده در جدول (۲) مربوط به تغییرات کاربری‌ها برای سال‌های مختلف مورد مطالعه، نشان می‌دهد که در طول ۳ دوره، سطح آب روند کاهشی داشته، یعنی به‌میزان یک‌سوم سطح کاربری یک دههٔ قبل رسیده است. اگر نوع کاربری‌ها در سه بازهٔ زمانی مختلف با یکدیگر مقایسه شوند و درکنار هم قرارگیرند، واقعیت‌ها بیشتر نمایان می‌شوند (شکل۳). مقایسه‌ها حاکی از این است که در مراتع، زمین‌های کشاورزی و زمین‌های سنگلاخی بیشترین تغییرات رخ داده است.

جدول ۲: مساحت کاربری اراضی به هکتار در بازهٔ زمانی مطالعه

آب	کشاورزی آبی	درخت و زمین‌های کشاورزی آبی	زمین بایر و سنگی	ابر و برف	شهر	زمین‌های کشاورزی دیم	زمین کشاورزی بایر	مرتع	دقت کلی	دقت کاپا	طبقات کاربری
۶,۹۲	۱۶,۳۷	۲۰,۴۷	۳۳,۹۸	۵۶,۹۹	۶۰,۸۸	۷۷,۱۷	۱۰۶,۰۹	۳۲۷,۶۲	۸۹	۰,۹۱	سال ۱۳۹۰
۲,۲۵	۳۲,۸۴	۱۶,۱۴	۲۳۴,۹۱	۳۷,۳۹	۱۶,۳۰	۴۹,۷۴	۱۳۴,۷۵	۱۸۲,۷۸	۰,۸۸	۰,۸۶	سال ۱۳۹۵
۱,۶۳	۷۱,۴۹	۲۴,۴۸	۱۱۷,۷۰	۸,۶۸	۲۰,۴۴	۶,۹۶	۷۰,۱۹	۳۸۵,۲۰	۰,۹۴	۰,۹۰	سال ۱۴۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل ۳: مقایسه تغییرات کاربری در سال‌های مختلف

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

تغییر در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آب در بازه‌ها و دوره‌های مختلف زمانی، نشان بسیار خوبی برای وقوع تغییرات درکیفیت آب‌های سطح حوضه است. در این تحقیق، داده‌های مربوط به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آب برای بازه‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرارگرفت(جدول۳). .نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهدکه هم‌بستگی بین پارامترهای شیمیایی کیفی آب برای مثال بین سولفات، منیزیم و سدیم COD، کلرید با منیزیم و سدیم NO3 و بیکربنات، EC و TDC، بالا است. درحالی‌که، هم‌بستگی بین سولفات با PH، کدورت و کلیفرم و کلیفرم مدفوعی منفی است و بین بقیه پارامترها، هم‌بستگی متوسط و یا ضعیف است(جدول۳). نوع و میزان هم‌بستگی در دوره‌های خشک و مرطوب نیز درحوضهٔ مورد مطالعه طبق اطلاعات جدول ۳ و ۴ متفاوت است.

جدول ۳: خلاصهٔ آماری داده‌های زمینی مورد استفاده برای حوضهٔ بالخلی‌چای

		کلیفرم مدفوعی	کلیفرم کل	اکسیژن خواهی بیولوژیکی	اکسیژن خواهی بیولوژیکی	فسفات	نیترات	سختی	سدیم	منیزیم	کلسیم	سولفات	کلرید	بیکربنات	کدورت	هدایت الکتریکی	اکسیژن محلول در آب	کدورت	شوری آب
دوره خشک ایستگاه هیدرومتریامچی	میانگین	۱۸۱,۹۴	۴۹۷,۳۸	۳,۲۷	۷,۷۵	۰,۶۶	۵,۴۵	۱۶۷,۹۴	۴۵,۹۱	۱۸,۸۱	۴۰,۵۵	۴۹,۹۳	۶۹,۱۳	۱۷۱,۵۹	۴۵۲,۵۲	۶۶۹,۸۰	۸,۵۳	۱۸,۰۰	۸,۰۱
	حداکثر	۱۲۰۱,۵۰	۱۲۱۰,۵۰	۶,۸۰	۱۸,۷۰	۱,۰۶	۱۰,۵۰	۲۲۵,۰۰	۱۴۱,۴۵	۱۹,۴۶	۵۵,۰۰	۱۳۰,۲۶	۱۸۰,۲۳	۲۹۵,۵۳	۹۱۳,۵۰	۱۰۸۹,۵۰	۹,۵۰	۴۹,۷۵	۸,۷۰
	حداقل	۰,۰۰	۲,۱۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۵۰	۲,۰۰	۹۵,۰۰	۱۷,۲۵	۹,۱۰	۲۳,۰۰	۱۶,۸۰	۱۴,۱۰	۱۰۹,۸۰	۱۸۰,۵۰	۳۱۰,۵۰	۷,۵۰	۶,۷۰	۷,۴۹
	انحراف معیار	۳۵۱,۰۱	۳۶۷,۴۹	۱,۵۹	۵,۱۵	۰,۱۶	۲,۹۲	۳۸,۹۶	۳۸,۳۰	۳,۸۸	۹,۵۱	۴۲,۲۱	۴۶,۹۵	۴۸,۱۹	۲۳,۸۷	۲۷۷,۰۴	۰,۷۶	۱۳,۴۰	۰,۴۱
دوره مرطوب ایستگاه یامچی	میانگین	۲۴۰,۷۰	۵۸۱,۱۱	۲,۵۰	۱۰۶۴	۰,۵۶	۶,۶۹	۱۳۸,۱۸	۲۷,۲۵	۱۲,۳۴	۳۵,۷۰	۴۷,۸۸	۳۱,۶۷	۱۵۴,۱۹	۳۲۳,۱۵	۴۸۸,۹۸	۷,۸۰	۲۵,۹۸	۷,۹
	حداکثر	۱۲۰۱,۵۰	۱۲۱۰,۵۰	۵,۰۰	۲۷,۰۰	۰,۷۶	۱۲,۰۰	۲۰۷,۵۰	۶۸,۰۰	۱۶,۹۹	۵۱,۰۰	۱۱۷,۳۶	۴۹,۷۰	۲۱۹,۶۰	۶۲۵,۹۳	۸۹۴,۷۴	۱۰,۰۰	۹۳,۰۰	۸,۰۸
	حداقل	۹,۵۰	۱۵,۰۰	۱,۵۸	۰,۰۰	۰,۰۲	۳,۰۰	۲۲,۳۴	۱,۰۰	۶,۹۶	۱۱,۲۰	۲۰,۶۲	۱۵,۹۰	۲۶,۸۴	۹۱,۶۸	۱۳۰,۸۸	۵,۹۰	۵,۰۰	۶,۹۰
	انحراف معیار	۳۶۲,۵۷	۲۷۱,۱۹	۱,۵۸	۷,۲۸	۰,۲۱	۲,۹۳	۴۸,۳۶	۱۸,۶۴	۲,۹۴	۱۰,۴۰	۳۰,۹۳	۱۲,۴۱	۵۲,۰۶	۱۵۸,۵۱	۲۳۱,۷۱	۱,۲۸	۲۵,۶۳	۰,۳۵
دوره خشک ایستگاه نیر	میانگین	۲۷۶,۵۶	۲۷۹,۵۹	۳,۵۴	۹,۶۸	۰,۶۴	۷,۶۱	۱۳۲,۳۹	۲۳,۳۳	۱۰,۸۶	۳۱,۵۶	۲۳,۶۱	۳۰,۸۴	۱۴۴,۰۴	۲۶۴,۸۸	۴۲۲,۹۳	۸,۰۶	۲۰,۴۹	۸,۰۲
	حداکثر	۱۲۱۴,۰۰	۱۱۰۰,۰۰	۴,۵۰	۱۸,۷۰	۰,۸۰	۱۰,۵۰	۱۷۵,۰۰	۳۲,۲۰	۱۶,۱۴	۴۴,۰۰	۳۸,۴۰	۴۹,۶۳	۱۹۵,۰۴	۳۳۱,۵۰	۵۳۱,۵۰	۹,۵۰	۴۹,۷۵	۸,۳۱
	حداقل	۹,۵۰	۵,۵۰	۲,۰۰	۳,۳۲	۰,۵۰	۵,۵۰	۹۵,۰۰	۱۳,۹۵	۴,۵۰	۲,۶۶	۱۲,۰۰	۱۴,۱۰	۸۶,۴۰	۱۸۰,۵۰	۲۷۰,۵۰	۷,۴۵	۹,۰۰	۷,۳۸
	انحراف معیار	۴۶۲,۶۲	۳۸۱,۶۰	۰,۷۷	۴,۳۵	۰,۱۰	۱,۸۵	۲۳,۳۱	۶,۵۱	۲,۹۰	۱۲,۳۱	۷,۵۷	۱۱,۹۴	۲۱,۰۸	۴۷,۰۰	۷۹,۴۱	۰,۷۰	۱۰,۸۱	۰,۲۵
دوره مرطوب ایستگاه یامچی	میانگین	۴۰,۱۵	۲۳۵,۵۸	۲,۶۵	۷,۹۸	۰,۵۹	۷,۴۵	۱۲۲,۴۴	۱۹,۰۱	۱۰,۵۴	۳۱,۵۵	۲۵,۸۳	۲۰,۴۸	۱۴۰,۰۲	۲۳۱,۶۶	۳۵۴,۰۱	۷,۹۰	۲۰,۷۰	۷,۸۹
	حداکثر	۸۹,۰۰	۱۱۰۰,۰۰	۵,۰۰	۱۶,۸۵	۰,۷۰	۱۲,۰۰	۱۷۵,۰۰	۳۵,۸۰	۱۸,۲۱	۴۵,۰۰	۴۵,۵۸	۲۸,۷۶	۱۸۳,۰۰	۳۰۱,۵۰	۴۹۲,۵۰	۱۰,۰۰	۹۳,۰۰	۸,۲۳
	حداقل	۱۲,۰۰	۲۴,۸۸	۳,۰۰	۰,۸۴	۰,۷۴	۵,۰۰	۷۵,۰۰	۶,۷۱	۵,۴۰	۱۸,۰۰	۱۲,۰۰	۱۰,۶۵	۹۱,۵۰	۱۵۲,۵۰	۲۳۸,۵۰	۶,۸۰	۶,۱۰	۷,۳۲
	انحراف معیار	۲۵,۴۸	۳۱۱,۳۷	۱,۵۰	۴,۳۱	۰,۰۷	۱,۹۳	۳۲,۷۲	۷,۷۴	۳,۵۷	۸,۶۳	۹,۶۶	۶,۰۱	۳۱,۰۸۶	۴۸,۶۱	۸۲,۸۶	۱,۰۲	۲۴,۹۴	۰,۲۶
دوره خشک ایستگاه سد یامچی	میانگین	۴۵,۷۰	۱۸۱,۶۱	۳,۴۰	۹,۱۷	۰,۵۷	۲,۹۵	۱۸۱,۹۰	۶۴,۴۳	۱۶,۷۰	۴۶,۷۷	۷۸,۴۵	۷۳,۱۴	۱۷۳,۰۹	۴۹۳,۱۶	۶۷۵,۴۹	۹,۲۵	۱۵,۱۹	۸,۰۸
	حداکثر	۹۳,۰۰	۴۶۰,۰۰	۱۰,۰۰	۲۹,۰۰	۰,۹۲	۶,۷۰	۲۳۰,۰۰	۱۱۰,۴۰	۲۳,۰۹	۵۸,۰۰	۱۵۳,۶۰	۱۰۲,۸۱	۲۲۵,۷۰	۶۵۸,۰۰	۸۳۴,۰	۱۰,۶۲	۳۵,۷۵	۸,۷۰
	حداقل	۱۱,۰۰	۴,۶۰	۱,۵۰	۲,۱۳	۰,۲۸	۰,۱۷	۱۲۲,۵۰	۲۳,۰۰	۹,۰۸	۳۰,۰۰	۱۰,۲۸	۳۰,۱۰	۱۲۲,۰۰	۲۴۳,۱۲	۳۵۶,۰	۸,۱۵	۶,۱۵	۷,۴۹
	انحراف معیار	۳۱,۲۵	۱۵۱,۳۶	۲,۳۹	۷,۵۸	۰,۱۸	۲,۳۰	۳۵,۵۵	۲۵,۴۸	۳,۹۷	۸,۲۸	۳۶,۹۳	۲۳,۲۱	۲۹,۱۹	۱۲۱,۷۲	۱۵۴,۴۱	۰,۷۹	۹,۳۷	۰,۳۹
دوره مرطوب ایستگاه سد یامچی	میانگین	۲۲,۶۴	۷۳,۰۱	۲,۶۳	۷,۷۸	۰,۶۴	۲,۹۲	۱۶۶,۰۶	۶۱,۲۲	۱۵,۰۳	۴۱,۸۹	۷۷,۹۵	۶۴,۶۳	۱۶۰,۳۳	۴۴۲,۱۴	۶۱۴,۷۲	۸,۹۵	۱۵,۷۹	۸
	حداکثر	۱۲۰,۰۰	۲۷۶,۵۰	۶,۰۰	۲۲,۸۰	۰,۹۰	۷,۰۰	۲۱۰,۰۰	۹۶,۱۴	۲۰,۰۴	۵۲,۰۰	۱۲۵,۸۰	۱۰۶,۳۵	۱۹۲,۱۵	۵۶۹,۰۰	۷۹۶,۰	۱۱,۵۰	۳۵,۰۰	۸,۷۸
	حداقل	۶,۰	۳,۸۰	۱,۰۰	۱,۵۰	۰,۳۶	۰,۰۷	۹۵,۰۰	۲۷,۶۰	۷,۲۵	۲۶,۰۰	۲۷,۸۰	۲۱,۲۵	۱۲۲,۰۰	۲۲۱,۰۰	۳۳۴,۰	۷,۶۶	۶,۶۷	۷,۱۰
	انحراف معیار	۳۳,۲۹	۸۱,۸۶	۱,۵۳	۶,۷۸	۰,۱۷	۲,۳۰	۳۶,۵۴	۱۸,۰۱	۴,۵۱	۷,۹۱	۳۲,۸۶	۲۲,۷۱	۲۱,۰۳	۹۵,۸۰	۱۴۳,۶۲	۱,۰۵	۸,۲۴	۰,۴۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

نتایج بررسی کیفیت آب با استفاده از شاخص WQI که در جدول ۵ درج شده است، نشان‌دهندهٔ تفاوت کیفیت آب در قسمت‌های مختلف و در دوره‌های مرطوب و خشک حوضهٔ یامچی است(جدول ۶). در دوره‌های مرطوب طبق این شاخص کیفیت آب از مطلوبیت خوب برخوردار است. روند تغییرات پارامترهای کیفی آب برای دورهٔ خشک و مرطوب که مورد مطالعه قرارگرفته است، حاکی از تغییرات در بعضی از پارامترها از جمله COD مخصوصا در سال ۱۳۹۷ در دورهٔ خشک سال است. در دوره مرطوب نیز میزان تغییرات قابل ملاحظه را در میزان کدورت آب می‌توان مشاهده نمود (شکل ۴و ۵).

جدول ۴: مقادیرپارامترهای کیفی‌شده برای دورهٔ آماری (۱۴۰۰-۱۳۹۰)

دورهٔ مرطوب(مهر تا اردیبهشت)		دورهٔ خشک (خرداد تا شهریور)		
کیفیت آب	WQI	کیفیت آب	WQI	ایستگاه‌های نمونه‌برداری
کیفیت مطلوب	۸۶,۵۸	کیفیت فقیر	۱۱۷,۷۵۹۷	ایستگاه هیدرومتری یامچی
کیفیت فقیر(بین فقیر و مطلوب)	۱۰۴,۲	کیفیت فقیر	۱۰۴,۲	ایستگاه هیدرومتری نیر
کیفیت مطلوب	۹۲,۱۹۰	کیفیت فقیر	۱۰۸,۷۳۷۸	سد یامچی

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۵: ماتریس هم‌بستگی بین پارامترهای کیفی آب در حوضهٔ بالخلی‌چای

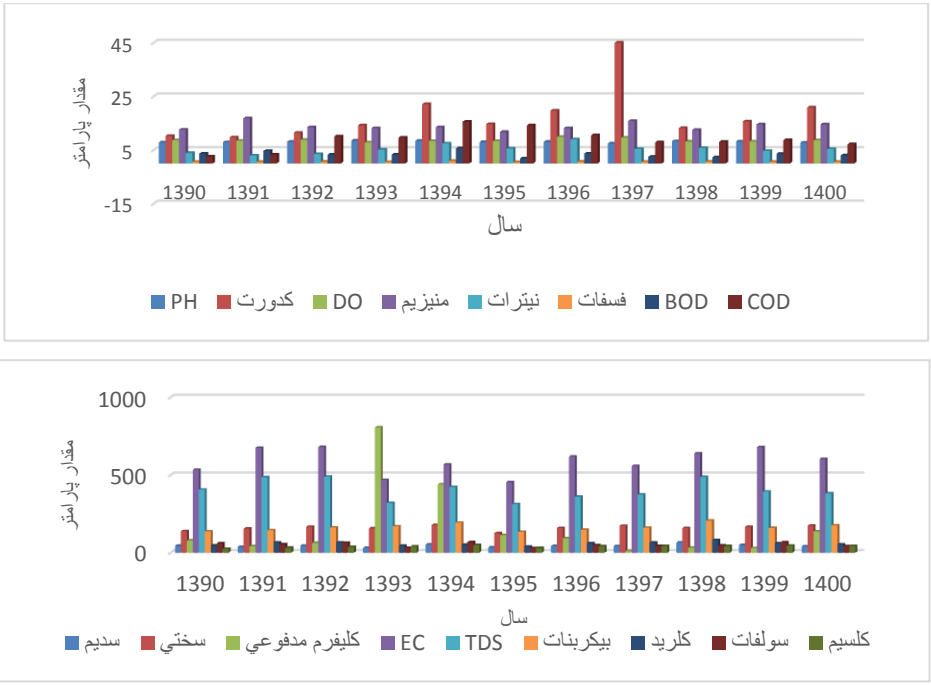
دورهٔ خشک و مرطوب سد یامچی			دورهٔ خشک و مرطوب نیر			دورهٔ خشک و مرطوب یامچی				
wj*qj	qi	wi	wj*qj	Qi	wi	wj*qj	qi	wi	پارامترهای استاندارد	پارامترها
۳,۶۷۱	۲۱۱,۸۱	۰,۰۵	۴۴۳۸	۱۰۶,۱۰	۰,۰۴	۳,۶۷	۱۰۴,۷	۰,۰۳	۷,۵	شوری آب (PH)
۲۰,۵۵۹	۲۱۱,۵۳	۰,۰۳	۳۰,۳۳۹	۴۱۱,۸۱	۰,۰۷	۲۰,۵۶	۴۳۹,۷۳	۰,۰۵	۵	کدورت (NTU)
۳,۶۲۵	۱۲۳,۱۲	۰,۰۷	۶,۹۷۹	۱۰۶,۴۲	۰,۰۷	۳,۶۶	۱۰۸,۸۵	۰,۰۳	۷,۵	اکسیژن محلول در آب (DO)
۱۸,۱۱۷	۸۹,۶۵	۰,۰۶	۳,۸۵۳	۷۷,۶۹	۰,۰۵	۱۸,۱۲	۱۱۵,۸۸	۰,۱۸	۵۰۰	هدایت الکتریکی (EC)
۴,۷۶۳	۴۰,۶۹	۰,۰۵	۱,۱۸۴	۲۴,۸۳	۰,۰۵	۴,۷۶	۳۸,۷۸	۰,۱۴	۱۰۰۰	کل مواد جامد(TDS)
۱,۹۲۲	۳۳,۴۷	۰,۰۵	۱,۳۸۰	۲۸,۴۱	۰,۰۵	۱,۹۲	۳۲,۶۰	۰,۰۶	۵۰۰	بیکربنات(HCO3)
۱,۲۷۳	۳۳,۸۸	۰,۰۵	۰,۶۴۵	۱۲,۸۳	۰,۰۵	۱,۲۷	۲۵,۲۵	۰,۰۵	۲۰۰	کلرید(CL)
۱,۰۲۱	۴۳,۶۲	۰,۰۶	۰,۴۸۳	۹,۸۵	۰,۰۵	۱,۰۱	۱۹,۵۶	۰,۰۵	۲۵۰	سولفات(So4)
۱,۷۴۲	۴۵,۸۸	۰,۰۵	۱,۹۱۷	۴۲,۰۷	۰,۰۵	۱,۷۴	۵۰,۸۳	۰,۰۳	۷۵	کلسیم(Ca)
۰,۸۸۱	۳۲,۰۱	۰,۰۵	۰,۹۸۵	۲۱,۴۰	۰,۰۵	۰,۸۸	۲۶,۱۹	۰,۰۳	۵۰	منیزیم(Mg)
۰,۹۵۹	۹۹,۱۵	۰,۰۵	۰,۵۲۹	۱۰,۵۸	۰,۰۵	۰,۹۶	۱۸,۲۹	۰,۰۵	۲۰۰	سدیم(Na)
۷,۱۹۳	۹۳,۸۷	۰,۰۵	۶,۵۸۳	۱۲۷,۴۱	۰,۰۵	۷,۱۹	۱۵۱,۵۷	۰,۰۵	۱۰۰	سختی (Cacoc)
۰,۴۲۲	۴۰۱,۷۰	۰,۰۴	۰,۸۴۲	۱۵,۰۱	۰,۰۶	۰,۴۲	۱۲,۱۴	۰,۰۴	۵۰	نیترات(NO3)
۲۵,۳۷۶	۳۸۴,۷۵	۰,۰۵	۳۷,۹۷۱	۷۶۸,۴۶	۰,۰۵	۲۵,۳۸	۷۶۳,۱۴	۰,۰۳	۰,۱	فسفات (PO3)
۱,۶۱۱	۳۷,۹۱	۰,۰۶	۳,۱۰۷	۶۱,۹۲	۰,۰۵	۱,۶۱	۵۷,۶۸	۰,۰۳	۵	اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)
۰,۲۳۷	۶,۴۱	۰,۰۴	۰,۴۷۱	۸,۸۳	۰,۰۵	۰,۲۴	۹,۱۹	۰,۰۳	۱۰۰	اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)
۱,۳۳۵	۷۷,۹۵	۰,۰۸	۱,۱۴۵	۱۲,۸۷	۰,۰۹	۱,۳۳	۲۶,۹۶	۰,۰۵	۲۰۰۰	کلیفرم کل (CT)
۱,۵۷۹	۲۴,۹۲	۰,۱۳	۱,۵۴۲	۱۵,۸۷	۰,۰۸	۱,۵۸	۲۱,۱۳	۰,۰۸	۱۰۰۰	کلیفرم مدفوعی (CF)

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۶: ماتریس هم‌بستگی پارامترهای کیفیت آب

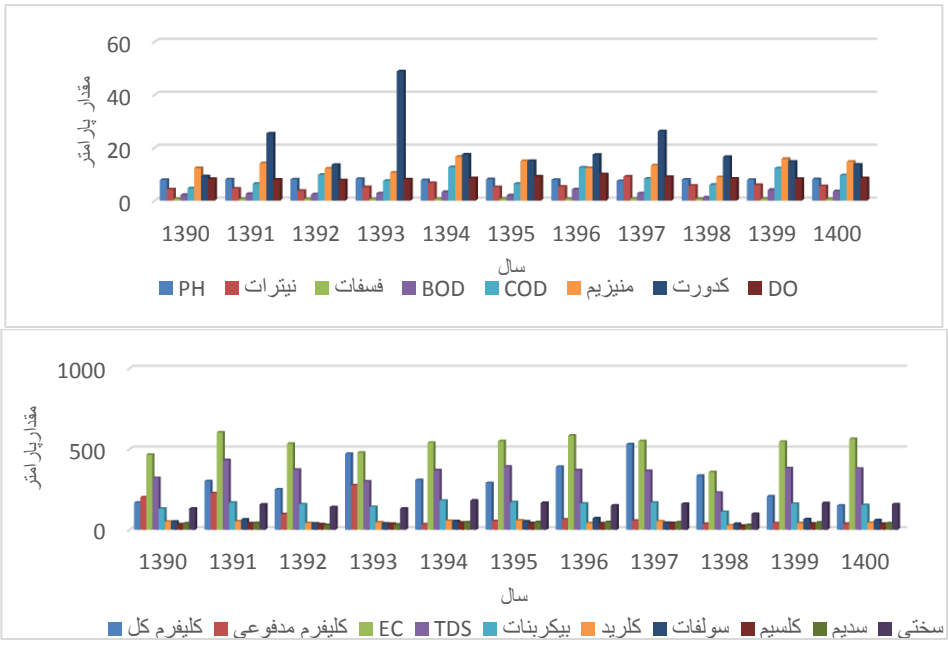
	منیزیم	سدیم	سختی	نیترات	فسفات	اکسیژن خواهی بیولوژیکی	کسیژن خواهی شیمیایی	کلیفرم مدفوعی کل	کلیفرم مدفوعی	شوری آب	کدورت	اکسیژن محلول	هدایت الکتریکی	کل مواد جامد	بیکربنات	کلرید	سولفات	کلسیم
منیزیم	۱																	
سدیم	۰,۷۱۸*	۱																
سختی	۰,۶۳۹*	۰,۱۶	۱															
نیترات	۰,۶۲۹*	۰,۶۳۳*	۰,۴۹	۱														
فسفات	۰,۲۷	۰,۲۷	۰,۴۵	۰,۴۸	۱													
اکسیژن خواهی بیولوژیکی	۰۲۸	۰,۱۲	۰,۵۶	۰,۲۷	۰,۳۴	۱												
کسیژن خواهی شیمیایی	۰۷۵۶**	۰,۴۸	۰,۷۶۰**	۰,۷۰۵*	۰,۳۸	۰,۶۰۵*	۱											
کلیفرم مدفوعی کل	۰,۳۸	۰,۳۹	۰,۱۷	۰,۷۳۵**	۰,۲۷	۰,۳۶	۰,۶۵۱*	۱										
کلیفرم مدفوعی	-۰,۱۹	-۰,۲۹	-۰,۲۹	-۰,۰۸	-۰,۴۳	-۰,۰۹	-۰,۱۳	۰,۳	۱									
شوری آب	-۰,۰۸	-۰,۲۸	۰,۱۳	۰,۲۷	-۰,۱۷	۰,۱۰	۰,۳۸	۰,۳۹	۰,۴۳	۱								
کدورت	۰,۰۱	۰,۱۲	-۰,۱۳	۰,۴۴	-۰,۲۴	-۰,۱۰	-۰,۰۱	۰,۴۶	۰,۶	۰,۲۴	۱							
اکسیژن محلول	۰,۳۴	۰,۵۳	۰,۱۴	۰,۴۵	۰,۲۹	۰,۲۱	۰,۴۰	۰,۵۴	-۰,۴۶	-۰,۲۷	۰,۰۳	۱						
هدایت الکتریکی	-۰,۳۱	-۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۰۲	۰,۱۵	۰,۴۷	۰,۱۸	-۰,۱۴	-۰,۴۲	۰,۲۵	-۰,۱۲	۰,۰۸	۱					
کل مواد جامد	-۰,۴۷	-۰,۴۱	۰,۱۷	-۰,۲۳	۰,۲۲	۰,۳۰	-۰,۱۳	-۰,۴۶	-۰,۵۲	۰,۰۳	-۰,۳۵	-۰,۱۴	۰,۸۹۵**	۱				
بیکربنات	۰,۸۱۳**	۰,۷۲۳*	۰,۴۵	۰,۸۲۲**	۰,۲۳	۰,۲۰	۰,۷۲۷**	۰,۷۲۲	۰,۱۱	۰,۲۸	۰,۳۴	۰,۳۵	-۰,۳۲	-۰,۵۷	۱			
کلرید	۰,۷۵۷*	۰,۹۱۳**	۰,۱۲	۰,۷۳۶**	۰,۳۶	-۰,۰۷	۰,۳۶	۰,۴۴	-۰,۱۸	-۰,۳۰	۰,۳۳	۰,۴۳	-۰,۴۰	-۰,۴۸	۰,۷۳۷**	۱		
سولفات	۰,۷۴۷**	۰,۸۲۰**	۰,۳۵	۰,۳۸	۰,۱۸	۰,۴۶	۰,۶۲۷*	۰,۳۲	-۰,۳۸	-۰,۳۰	-۰,۲۱	۰,۵۹	-۰,۱۱	-۰,۲۸	۰,۵۶	۰,۵۷	۱	
کلسیم	۰,۸۸۳**	۰,۷۰۷*	۰,۵۸	۰,۸۵۵**	۰,۲۵	۰,۳۴	۰,۸۱۸**	۰,۷۱۰*	۰,۰۳	۰,۱۹	۰,۳۱	۰,۴۳	-۰,۲۵	-۰,۴۲	۰,۹۷۰**	۰,۶۹۹*	۰,۶۴۱*	۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل۴: تغییرات پارامترهای کیفی آب برای دورهٔ خشک در حوضهٔ بالخلی‌چای (نمودار بالا و پایین)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲



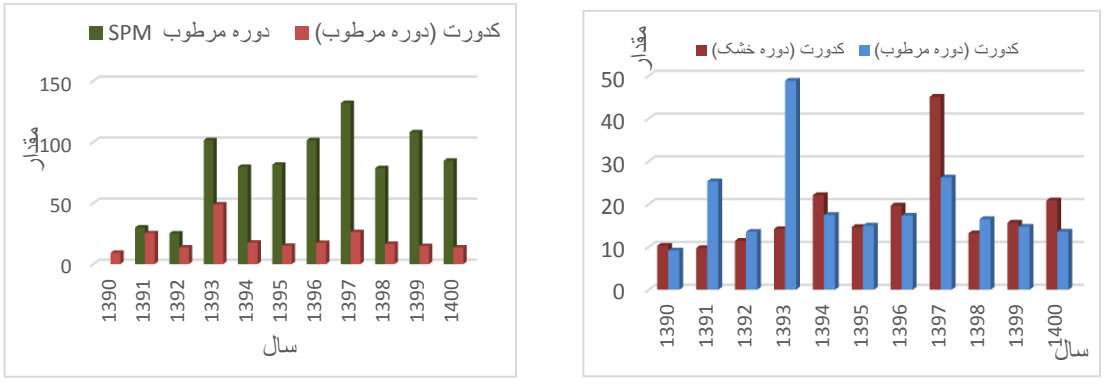
شکل ۵: تغییرات پارامترهای کیفی آب برای دورهٔ مرطوب در حوضهٔ بالخلی‌چای (نمودار پایین و بالا)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

شاخص SPM از جمله شاخص‌های مهم در بررسی کیفیت آب است که در این مطالعه هم مدّ نظر قرارگرفته است. در این مطالعه، نقشه‌های مکانی– زمانی شاخص SPM (شکل ۶) برای سال‌های ۱۳۹۰تا ۱۴۰۰ مشتق‌شده از

تصاویر لندست ۷ برای سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۱ و لندست ۸ از ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ در محیط گوگل ارث انجین تهیه‌گردید(شکل ۶). نقشه‌های حاصل، بیانگر آن است که تغییرات در مقادیر ذرات معلق (SPM) به‌طور متوسط در دورهٔ مرطوب (میانگین نمونه‌های برداشت‌شده از مهر تا اردیبهشت) نسبت به دورهٔ خشک بیشتر (میانگین نمونه‌های برداشت‌شده از خرداد تا شهریور) است. انطباق آن‌ها با روند تغییرات داده‌های زمینی (کدورت) نشان می‌دهد که مطابقت در این زمینه خوب است. شایان ذکر است که برای تهیهٔ نقشه‌ها تا حدّ امکان از تصاویری با پوشش ابری کمتر از ۲۰ درصد استفاده شده است. با بررسی نقشه‌ها و همچنین با در نظرگرفتن واقعیت‌های زمینی، می‌توان گفت که غلظت SPM در فصل مرطوب به‌علت افزایش جریانات آبی افزایش و در فصل خشک به‌دلیل کاهش جریانات آبی کدورت نیزکاهش می‌یابد. معمولا در دوره‌های خشکی به علت تبخیرشدید و کاهش ورودی آب به سدها معمولا غلظت و کدورت آب افزایش می‌یابد و این امر تغییرات زیادی را درکیفیت آب موجب می‌شود.

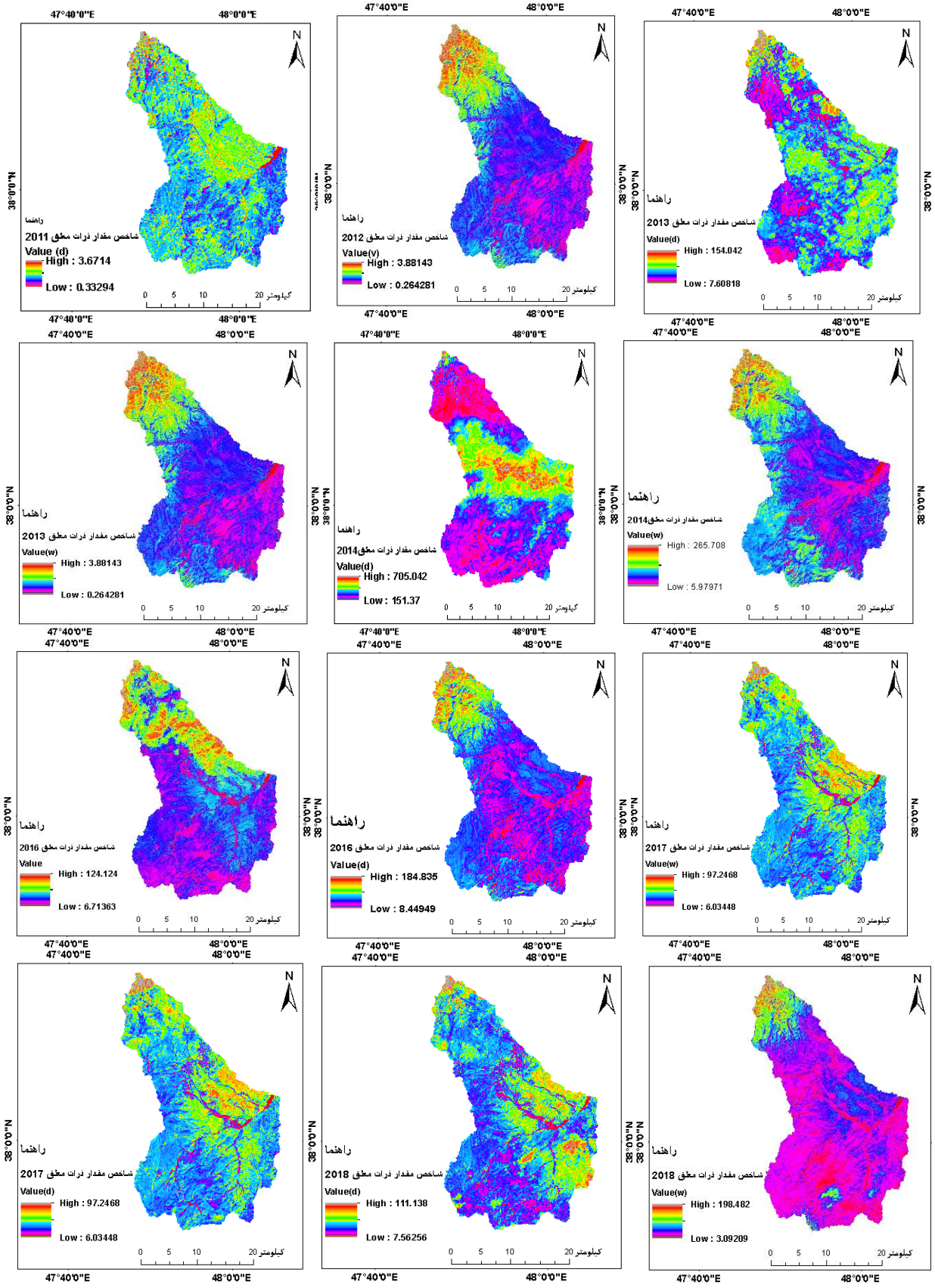
برای مقایسهٔ روندتغییرات میزان کدورت آب در بازهٔ زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ نمودار تهیه شده است (شکل ۷). روند تغییرات SPM و پارامتر زمینی کدورت (Turbily) که در شکل۶ نمایش داده شده است، حاکی از این است که در منطقهٔ مورد مطالعه در فصول خشک و مرطوب، مقدار غلظت SPM درطول مطالعه، به‌خصوص در فصل خشک، روند صعودی دارد *(Molekoa et al, 2019: 1892)*همچنین در دورهٔ مرطوب میزان کدورت به علت افزایش جریانات آب، افزایش می‌یابد و مقدار تغییرات شاخص SPM در طول دورهٔ مرطوب نسبت به تغییرات در دورهٔ خشک بیشتر است. البته باید در نظرداشت که این تغییرات در مقایسه با کدورت در داده‌های زمینی، شدت بیشتری دارد.اما در سال‌های اخیر به علت کاهش بارش، مقدار فواصل این دو پارامتر در دورهٔ خشک کمتر شده است(شکل ۹-۷).



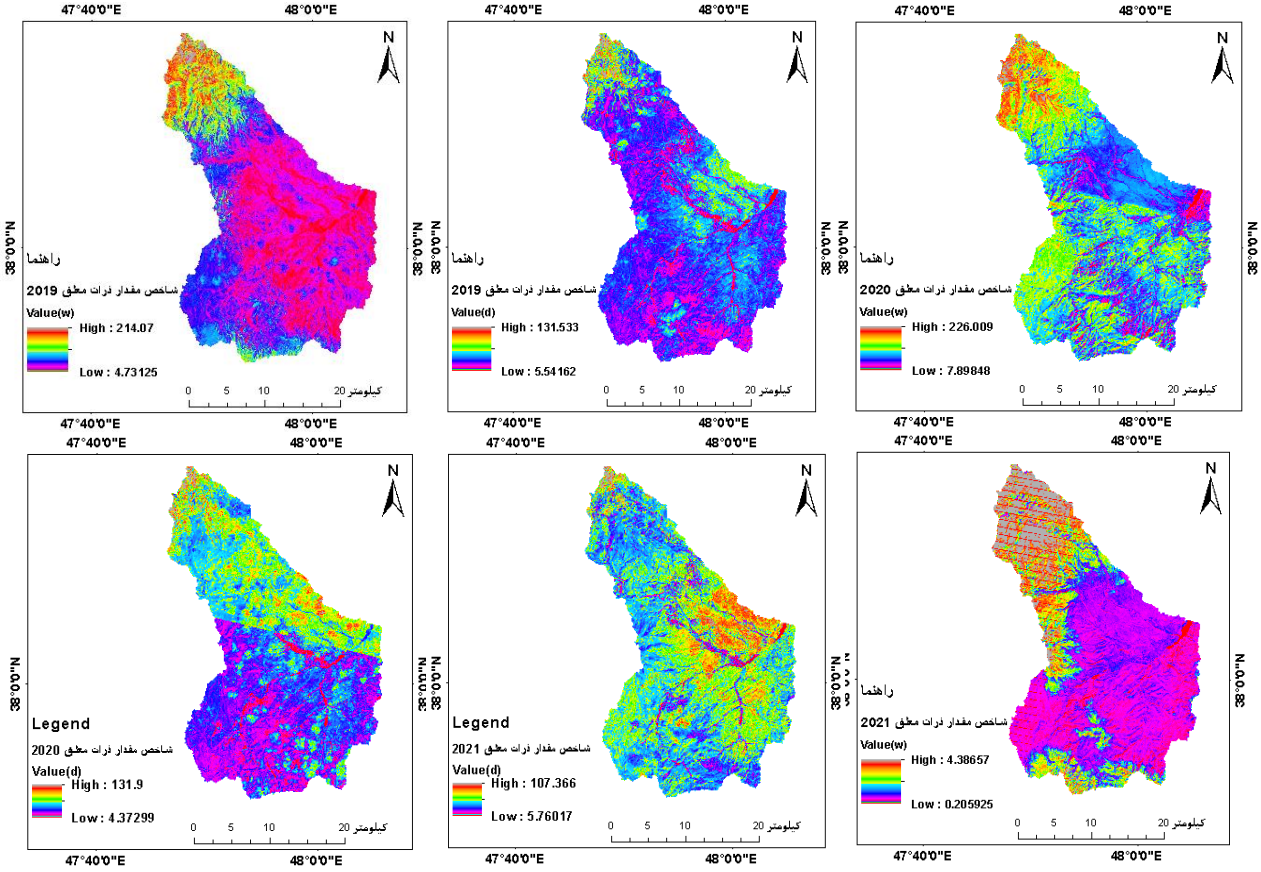
الف ب

شکل۶: میانگین کدورت دادهٔ زمینی در دوره یا فصل خشک و مرطوب و ب) میانگین SPM براساس Landsat-8, 7 با میانگین داده‌های زمینی در دورهٔ مرطوب در حوضهٔ بالخلی‌چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲



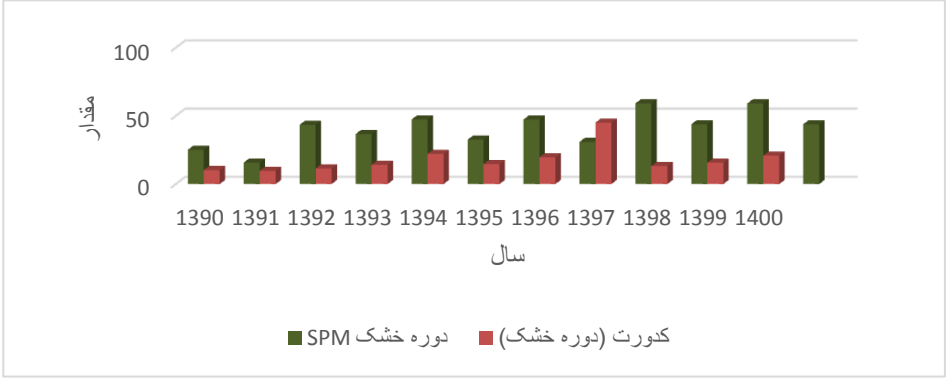
شکل۷: نقشه‌های به‌دست آمده برای شاخص SPM برای فصول خشک و مرطوب در دورهٔ مطالعاتی حوضهٔ بالخلی‌چای



ادامهٔ شکل ۷

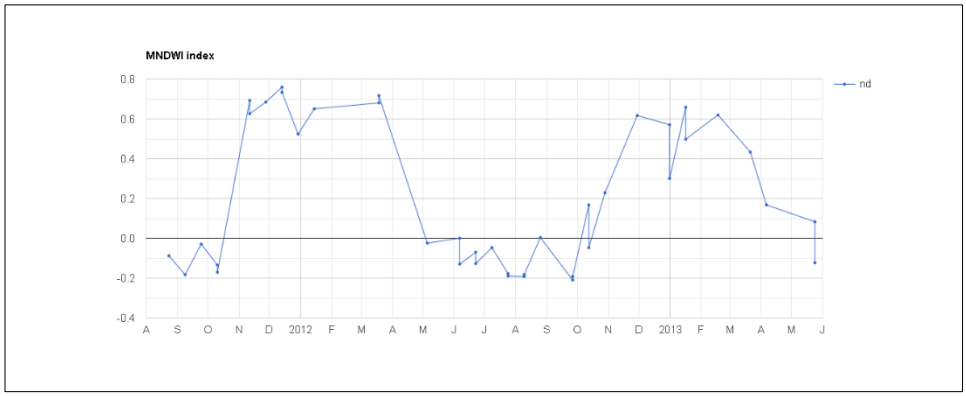
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

در این مطالعه، از تفاضل شاخص آب نرمال اصلاح‌شده (MNDWI)، برای پایش تغییرات آب استفاده شد. بررسی کیفیت آب و روند تغییرات آب سد یامچی با استفاده از شاخص MNDWI در دورهٔ آماری (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) و برای دو دورهٔ خشک و مرطوب، با بهره‌گیری از تصاویر سنتینل ۲، لندست ۸ و ۷ (شکل ۱۰-۱۲) و در محیط گوگل ارث انجنین(شکل۱۱) نشان می‌دهد که تغییرات در طول دوره‌های خشک و مرطوب در حوضهٔ مذکور قابل ملاحظه است.

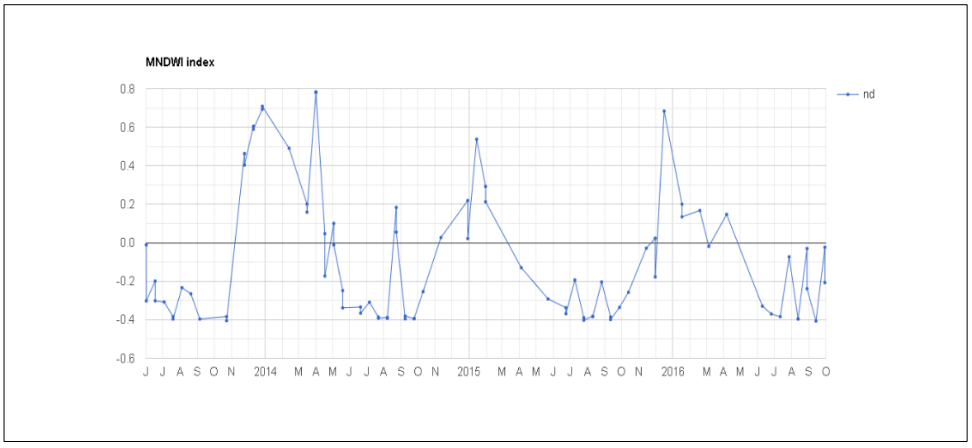


شکل ۸: میانگین SPM بر اساس Landsat-8, 7 با میانگین داده‌های زمینی در دورهٔ خشک در حوضهٔ بالخلی‌چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

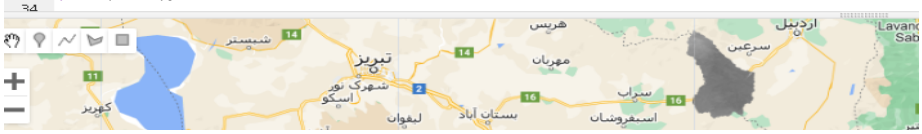


شکل ۹: روند تغییرات MNDWI براساس تصویرLandsat-7 برای دورهٔ خشک و مرطوب در حوضهٔ یامچی



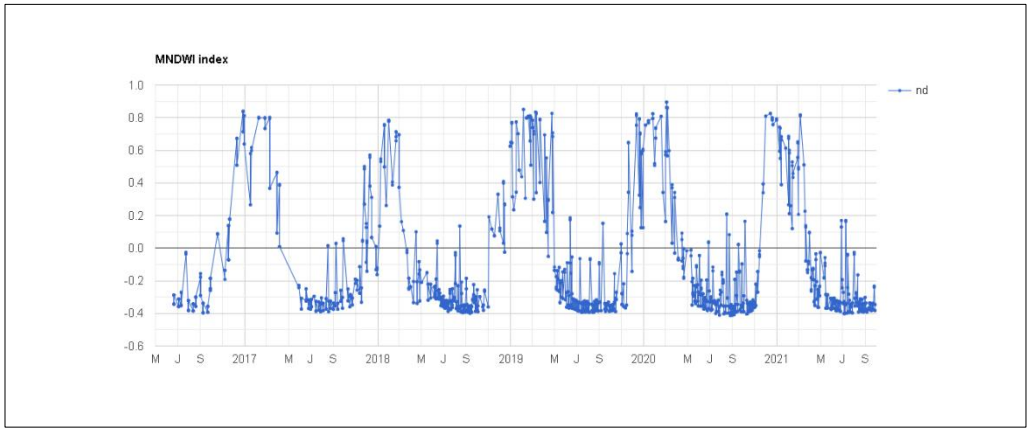
شکل ۱۰: روند تغییرات MNDWI براساس تصویرLandsat-8 برای دورهٔ خشک و مرطوب در حوضهٔ یامچی

```
Map.centerObject(table);

var landsat =ee.ImageCollection("LANDSAT/LE07/C02/T1")
            .filterBounds(table)
              .filterDate('2013-06-01','2016-09-30')
              .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER',30))


var NDWI =landsat.map(function(img){
  var bands = img.multiply(0.0001);
  var index = bands.normalizedDifference(['B2','B5']);
  return index
  .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']); });

var mean_NDWI =NDWI.mean()

var clip_NDWI = mean_NDWI.clip(table)

Map.addLayer(clip_NDWI);

print(NDWI)

 var chart = ui.Chart.image.series(NDWI, table,
ee.Reducer.mean(), 30, 'system:time_start')
.setChartType('ScatterChart')
.setOptions({
  title: 'MNDWI index',
  lineWidth: 1,
  pointSize: 2
});

print(chart);
```



شکل ۱۱: ارائهٔ روند کار درمحیط گوگل ارث اینجین

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل ۱۲: روند تغییرات MNDWI براساس تصویر سنتینل ۲ برای دورهٔ خشک و مرطوب در حوضهٔ یامچی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

با توجه به نمودار می‌توان گفت که روند تغییرات سطحی آب به‌طور مشخص در حوضه افزایش می‌یابد.در دورهٔ مرطوب، تغییرات روند افزایشی و در دورهٔ خشک روند کاهشی است که مقدار متوسط این تغییرات درحدود ۴کیلومتر است.

نتیجه

در این مطالعه که با هدف پایش تغییرات کیفی آب سدّ یامچی در سطح حوضه انجام‌گرفت، لایه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۹۰،۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ طبقه‌بندی گردید و ضریب کاپای کاربری‌ها (نقاط نمونه‌برداری شده با گوگل ارث) به‌ترتیب ۰,۹۱، ۰,۸۶و ۹۰ به‌دست آمد. با استفاده از داده‌های آماری ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی، نیر و ایستگاه یامچی برای دورهٔ آماری ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ برای دورهٔ خشک (خرداد تا شهریور) و دورهٔ مرطوب (مهر تا اردیبهشت)، بررسی‌های اولیه صورت‌گرفت و با استفاده از شاخص‌های کیفی، محدودهٔ مورد بررسی از نظر کیفیت آب‌های سطحی پهنه‌بندی شد. با پهنه‌بندی شاخص کیفی آب (WQI) و بررسی هم‌بستگی بین پارامترها برای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، تغییرات در کیفیت آب در بازه‌های زمانی مختلف مشاهده گردید. در مطالعهٔ کیفیت آب از دیگر پارامترهای کیفی مانند: pH، EC، TDS،کدورت، Ca2+، DO، Mg2، Cl،Na+، SO4،HCO3، نیترات، فسفات، BOD، COD، کلیفرم کل وکلیفرم مدفوعی استفاده گردید، نتایج نشان‌داد که در محدودهٔ مورد مطالعه، پارامتر EC و TDS، سختی، کلیفرم کل و DO از حدّ استاندارد تعیین‌شده بالاتر هستند. با توجه به طبقه‌بندی شاخص کیفیت آب(WQI) کیفیت آب‌های محدودهٔ مورد مطالعه در دورهٔ خشک در طبقه فقیر قرارمی‌گیرند که البته در ایستگاه هیدرومتری میزان این مقدار بالاتر است. بررسی‌های مربوط به میزان هم‌بستگی بین پارامترهای کیفی آب برای مثال سولفات با منیزیم و سدیم COD، کلرید با منیزیم و سدیم NO3 و بیکربنات، EC نشان‌دهندهٔ هم‌بستگی بالا (۰,۷) با TDC است. پایش روند تغییرات پارامترهای کیفی آب در طول دورهٔ آماری روند صعودی دارند که

پارامترهایEC، TDS، سختی، بیکربنات، کلرید و کسیم بیشتر از دیگر پارامترها است. همچنین نتایج ناشی از بررسی نقشه‌های به‌دست‌آمده با شاخص SPM برای حوضهٔ یامچی، بیانگر تغییرات زیاد مقدار ذرات جامد معلق برای دورهٔ مرطوب نسبت به دورهٔ خشک می‌باشد. همچنین در سال ۱۳۹۳ برای دورهٔ مرطوب و ۱۳۹۷در دورهٔ خشک مقدار تغییرات SPM شدیدتر بوده است که علت آن می‌تواند متأثر از عوامل زیادی باشد و باید دقیقا علت‌یابی شود. بررسی داده‌های زمینی مربوط به کدورت در همین زمان نیز، بیانگر تغییرات شدید در این پارامتر در محدودهٔ مورد مطالعه است. بررسی‌ها نشان‌می‌دهند که شاخص SPMبا مقدار ذرات معلق، هم‌بستگی بالایی داشته و روند تغییرات رابطهٔ نزدیکی با همدیگر دارند؛ بنابراین می‌توان گفت که نتایج حاصل از این بررسی‌ها با مطالعات مولکوا و همکاران (۲۰۲۲) و دنگ و همکاران (۲۰۲۱)، در حوضهٔ مورد مطالعهٔ آن‌ها مطابقت دارد.

در این مطالعه، برای پایش تغییرات سطح آب سدّ یامچی از شاخص MNDWI استفاده‌گردید. نتایج بررسی‌ها حاکی از نقاط افزایشی است، به این معنی که مقادیر افزایشی آب با فصل مرطوب سال و مقدار کاهشی با دورهٔ خشک سال منطبق است. در نهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان گفت که ابزار سنجش از دور در پایش کیفیت و کمیّت سطوح آبی بسیار کاربردی است و درواقع؛ می‌توان نتیجه گرفت که در صورت همراهی داده‌های سنجش از دور با داده‌های میدانی، محققین می‌توانند در علت‌یابی و پایش دقیق‌تر و بهتر آلودگی‌ها، موفق‌تر عمل کنند و عمل پایش سریع‌تر، محدودهٔ مورد بررسی گسترده‌تر و پروسهٔ تحقیق کم هزینه‌تر باشد و نتایج حاصل، برای مدیریت صحیح حوضه‌ها کاربردی‌تر باشد. مطالعهٔ کیفیت آب در محدوده‌هایی که تداوم ثبت داده‌ها وجود ندارد و ایستگاه‌های جمع‌آوری داده‌ها از توزیع مناسبی برخوردار نیستند، با محدودیت‌های زیادی مواجه می‌شود. در چنین شرایطی، اطلاعات برگرفته از سنجش از دور تا حدّی می‌تواند بخشی از خلأهای موجود را پر کند و پایش و رصد آلودگی‌ها را امکان‌پذیر سازد.

منابع

بیاتی‌خطیبی، مریم؛ مریم شهبازی؛ آحمد حیدری (۱۳۹۳). پیش‌یابی و تحلیل روند تغییرات کیفیت آب رودخانه اهر و بررسی تاثیر احتمالی آن بر سلامت انسان، نشریه هیدروژئومورفولوژی. دوره ۱، شماره ۱. صفحات ۱۰۹-۹۳.
https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_3277.html, 20.1001.1.23833254.1393.1.1.6.6

عزت‌آبادیپور، حمید (۱۳۹۵) . معرفی تصاویر ماهواره سنتینل- ۲. سومین کنفرانس بین‌المللی نوآوری‌های اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، ۱۸ تا ۱۹ شهریور. تهران. ۸ صفحه. موسسه آموزش عالی نیکان.
https://civilica.com/l/6011./

فیضی، اتابک؛ رضا آقاجانی (۱۳۹۹) . تخصیص و مدیریت منابع آب حوضه آبریز سد یامچی با رویکرد تحلیل سناریوها با استفاده از مدل WEAP، مقاله پژوهشی علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۲۳. شماره ۹. صفحات ۱۰۰-۹۸.
https://jest.srbiau.ac.ir/article_17513.html.

رسولی‌اصل، رومینا؛ حسین سعادتی (۱۳۹۶). تحلیل آماری آلودگی آب در حوضه سد یامچی اردبیل ، کارشناسی ارشد. گروه منابع طبیعی. محیط زیست، واحد اردبیل. دانشگاه آزاد اسلامی اردبیل. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت. خرداد ۱۳۹۶.
https://civilica.com/doc/589543

References

Avtar, R., Kumar, P., Singh, C.K., Mukherjee, S (2011). A comparative study on hydrogeochemistry of ken and Betwa Rivers of Bundelkhand using statistical approach. Water Qual Expo Health 2, 169-179.
https://doi.org/10.1007/s12403-010-0035-2.

Bhaga, T.D., Dube, T., Shoko, C (2021). Satellite monitoring of surface water variability in the drought prone Western cape, South Africa. Phys. Chem. Earth, parts A/B/C 102914.
https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021PCE...12402914B/abstrac.
http://www.ijabbr.com/article_7087.html

Clay Barrett D, Frazier A. (2016). Automated method for monitoring water quality using Landsat imagery. Water, 8(6): 257-269.
https://www.mdpi.com/2073-4441/8/6/257.

Deng, C., Liu, L., Li, H.,Peng, D., Wu, Y., Xia, H., Zhang, Z., Zhu, Q. A (2021). Data-driven framework for spatiotemporal characteristics, complexity dynamics, and environmental risk evaluation of river water quality. Sci. Total. Environ, 785, 147134
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33940408.

Elkiran, G., Nourani, V., Abba, S.I (2019). Muliti-step ahead modlleing of river water quality parameters using ensemple artificial intelligence-based approach. J. Hydrol. 577, 123962.
https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193501942.

Haider, H., Singh, P., Ali, W., Tesfamariam, S., Sadiq, R (2015). Sustainability evaluation of surface water quality management options in developing countries: multicriteria analysis using fuzzy UTASTAR method. Water Resour. Manag. 29, 2987-3013.
https://ideas.repec.org/a/spr/waterr/v29y2015i8p2987-3013.html

Hameed, M., Sharqi, S.S., Yaseen, Z.M., Afsan, H.A., Hussain, A., Elshafie, A (2017). Application of artificial intelligence (AI) techniques in water quality index prediction: a case study in tropical region, Malaysia. Neural Comput. & Applic. 28, 893-905.
https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s00521-016-2404-7.

Irmadi Nahib, Fahmi Amhar, Yudi Wahyudin , Wiwin Ambarwulan, Yatin Suwarno, Nawa Suwedi, Turmudi Turmudi 1, Destika Cahyana, Nunung Puji Nugroho 3, Fadhlullah Ramadhani, Deddy Romulo Siagian, Jaka Suryanta, Aninda W. Rudiastuti, Yustisi Lumban-Gaol,Vicca Karolinoerita, Farid Rifaie and Munawaroh Munawaroh (2022). Spatial-Temporal Changes in Water Supply and Demand in the CitarumWatershed, West Java, Indonesia Using a Geospatial Approach, Current Research in Environmental Sustainability 4 (2022) 100187.
https://www.mdpi.com/article/10.3390/su15010562.

Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B (2009). Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(11), 1307–1317.
https://doi.org/10.14358/PERS.75.11.1307.

Kumar, P., Dasgupta, R., Dhyani, S., Kadaverugu, R., Johnson, B.A., Hashimoto, S., Sahu, N., Avtar, R., Saito, O., Chakraborty, S., Mishra, B.K (2021). Scenario based hydrological modeling for designing more climate resilient water resource management measures: a case of Brahmani river, Odisha, Eastern India. Sustainability 13, 6339.
https://doi.org/10.3390/su13116339.

Liu J, Zhang Y, Yuan D, Song X (2015). Empirical estimation of total nitrogen and total phosphorus concentration of urban water bodies in china using high resolution ikonos multispectral imagery. Water, 7(11): 6551-6573.
https://doi.org/10.3390/w7116551.

Liu J, Zhang Y, Yuan D, Song X (2015). Empirical estimation of total nitrogen and total phosphorus concentration of urban water bodies in china using high resolution ikonos multispectral imagery. Water, 7(11): 6551-6573.
https://doi.org/10.3390/w7116551.

Lv, M., Niu, X., Zhang, D., Ding, H., Lin, Z., Zhou, S., Zhu, Y. A (2023). Data-Driven Framework for Spatiotemporal Analysis and Prediction of River Water Quality: A Case Study in Pearl River, China. Water 2023, 15, 257.
https:// doi.org/10.3390/w15020257. https:// doi.org/10.3390/w15020257.

Matta G., Nayak. A., Nayak A., KumarK & Kumar P (2020). Water quality assessment using NSFWQI, OIP and multivariate techniques of Ganga River system, Uttarakhand, India, Applied Water Science, e (2020) 10:206
https://doi.org/10.1007/s13201-020-01288-y

Molekoa, M.D., Avtar, R., Kumar, P., Minh, H.V.T., Kurniawan, A.T (2019). Hydrochemical assessment of groundwater quality of Mokopane area, Limpopo South Africa using statistical approach. Water 11, 1891.
https://doi.org/10.3390/ w11091891.
https://www.mdpi.com/2073-4441/11/9/1891.

Noori, R.; Berndtsson, R.; Hosseinzadeh, M.; Adamowski, J.F.; Abyaneh, M.R (2019). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. Environ. Pollut. 2019, 244, 575-587.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30384063/

Osman Salih Yilmaz, Fatih Gulgen, Fusun Balik Sanli & Ali Murat Ates (2023). The Performance Analysis of Different Water Indices and Algorithms Using Sentinel-2 and Landsat-8 Images in Determining Water Surface: Demirkopru Dam Case Study, Arabian Journal for Science and Engineering (2023)Cite this article.
https://www.springerprofessional.de/en/the-performance-analysis-of-different-water-indices-and-algorith/23888002.

Qiu, Z (2013). A simple optical model to estimate suspended particulate matter in Yellow River Estuary. Optics Express, 21(23), 27891. doi:10.1364/oe.21.027891.
https://opg.optica.org/OE/fulltext.cfm?uri=oe-21-23-27891.

Stets, E.G.; Sprague, L.A., Oelsner, G.P., Johnson, H.M.; Murphy, J.C.; Ryberg, K., Vecchia, A.V., Zuellig, R.E., Falcone, J.A (2020). Riskin, M.L. Landscape Drivers of Dynamic Change in Water Quality of U.S. Rivers. Environ. Sci. Technol. 2020, 54, 4336-4343.
https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05344.

Wang, B., Wang, Y., Wang, S (2023). Improved water pollution index for determining spatiotemporal water quality dynamics: Case study in the Erdao Songhua River Basin, China. Ecol. Indic. 2021, 129, 107931.
https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107931.

Wang, P.; Zhao, H.; Yang, Z.; Jin, Q.; Wu, Y.; Xia, P.; Meng, L (2023). Fast Tailings Pond Mapping Exploiting Large Scene Remote Sensing Images by Coupling Scene Classification and Sematic Segmentation Models. Remote Sens. 2023, 15, 327.
https:// doi.org/10.3390/rs15020327.

Zheng G, DiGiacomo PM (2017). Uncertainties and applications of satellite-derived coastal water quality products. Progress in Oceanography, 159: 45-72.

Zheng, H., Hong, Y., Long, D., Jing, H (2017). Monitoring surface water quality using social media in the context of citizen science. Hydrol. Earth Syst. Sci. 21, 949-961.
https://doi.org/10.5194/hess-21-949-2017.