

Evaluation of the Changes in Water Areas of Tigris and Euphrates Basin Based on Time Series Analysis of Various Environmental Factors

Rasul Afsari ¹✉, Kazem Borhani ², Shahin Jafari ³

1- (Corresponding Author) *Department of Urban Planning, Passive Defense, Faculty of Passive Defense, Higher National Defense University, Tehran, Iran*

Email: r.afsari@sndu.ac.ir

2- *Department of Urban Planning, Passive Defense, Faculty of Passive Defense, Higher National Defense University, Tehran, Iran*

Email: kazem.borhani@sndu.ac.ir

3- *Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran*

Email: shahin.jafari75@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

27 March 2024

Received in revised form:

26 May 2024

Accepted:

6 July 2024

Available online:

20 August 2024

Keywords:

Surface Water,
Change Detection,
Tigris and Euphrates,
Time-Series,
Google Earth Engine.

ABSTRACT

The Tigris and Euphrates Basin (TEB) encompasses a wide area, and due to its different geographical and political conditions, each environmental factor in different conditions has different effects on the process of surface water changes. Accordingly, in this research, we aim to evaluate the trend of surface water changes in this basin in 2001-2021 by using the time series of 16 different parameters and the products available on the Google Earth Engine (GEE) platform. Based on the findings, the general trend of surface water changes is increasing, and the water area has reached 8605.9 km² in 2001 to 10021.8 km² in 2021. Nevertheless, the spatial-temporal changes of water have been different because the extent of lakes and wetlands in the southern areas of the basin has decreased drastically. On the contrary, it has increased upstream of the basin due to the expansion of various dams and channels. In addition, our findings indicated a high correlation between climatic variables, especially evapotranspiration, and temperature, with temporal changes in water in the region. Thus, the impact of global climate changes on the hydrology and environment of the basin highlights the importance and high sensitivity of the major lakes in the region, such as Razazeh, Tharthar, Hamrin, and Habbaniyah, to climate changes. The present research results may be used to assess surface water in other regions and provide valuable information for the planning and management of global surface water resources.

Cite this article: Afsari, R., Borhani, K., & Jafari, Sh. (2024). Evaluation of the Changes in Water Areas of Tigris and Euphrates Basin Based on Time Series Analysis of Various Environmental Factors. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (2), 17-32.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.370358.1007804>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Surface water is the most important source of water from planetary water resources, which covers 71% of the earth's surface and is vital for the survival of human and ecological systems. However, in recent decades, the water balance of lakes has changed due to the combined effects of climate change and human activities. In this regard, surface water changes as one of the earth's most important resources is vital in local, regional, and global planning. Accordingly, one of the prime regions within the Middle East is the Tigris and Euphrates Basin (TEB), which has undergone tremendous changes in the past decades due to global warming and climate change, drought, desertification, and population growth or human-related activities. Nevertheless, much attention has not been paid to the pattern of changes in water areas and understanding the potential effects of various environmental factors. Therefore, in the present research, the time series of surface water changes in this basin has been evaluated in relation to the impact of various environmental factors.

Materials and methods

The conventional methods of monitoring water bodies are very expensive and time-consuming due to their special characteristics. Hence, remote sensing (RS) techniques have facilitated water bodies change analysis, where the required maps can be retrieved at any time and spatial scales at unprecedented speed and extent. In this regard, the time series of environmental parameters have been extracted using various GEE products. The time period studied in the research is a long-term period from 2001 to 2021, and the analyses were done in two phases, using 252 months of data in the form of a composite time series. Our data are extracted from FLDAS, TerraClimate, MOD13Q1.061, and MYD17A3HGF.061, WorldPop, and JRC 1.4. The main goal of this framework was to analyze the trend of TEB surface water changes and determine its correlation with the temporal changes of various environmental factors.

Results and discussion

The results showed that lakes and wetlands have witnessed various changes during the period of 2001-2021. In this regard, the area of Hamrin and Razazeh lakes has gradually decreased. In other words, Lake Hamrin's area in northeastern Iraq decreased from 157.98 square kilometers in 2001 to 107.63 square kilometers in 2011 and 37.05 square kilometers in 2021. In addition, the area of Razazeh Lake in Karbala province has decreased from 1260 square kilometers in 2001 to 440.04 square kilometers in 2021. Furthermore, Qadisiyah, Tharthar, Habbaniyah lakes, and Horul-Azim wetlands have had different trends. The results show that the average surface water area of the region in the period of 2001-2021 was about 9287.58 square kilometers, and in 9 years of this period, the values were higher than the average, and in the other 13 years, the values were lower than the long-term average. According to the analysis, the surface water area of the region was at lowest level (8199.52 square kilometers) in 2010 and at highest level (11424.76 square kilometers) in 2021. In addition, the time-varying trend of water changes in the region has been observed. In general, the linear trend model has indicated a general increasing trend in this time period. Our findings show that due to the ever-increasing expansion of urbanization and the growth of urban areas, the population has an exponential trend that has always increased from the beginning to the end of the period. The evaluation of temperature values has indicated that the air temperature suddenly became abnormal after a relatively stable trend. This trend began in 2010 when the maximum temperature reached 28.55 degrees Celsius, and the minimum temperature reached 14.11 degrees Celsius, and the average temperature increased to 21.4 degrees Celsius. In the meantime, according to the trend governing the basin's topography, precipitation did not significantly affect the mentioned changes; instead, evapotranspiration played an important role. In other words, water areas and evapotranspiration have a negative correlation, and the increase in evapotranspiration is associated with a decrease in water area. Moreover, the results

have shown that other environmental parameters such as vegetation, soil texture, and wind speed did not have a significant effect on the water level changes in the region and did not have a significant relationship in this regard. Therefore, it should be said that climate change is considered the most important factor in the process of increasing or decreasing the water level in the TEB.

Conclusion

Based on the research methodology and the results obtained, it can be said that the Google Earth Engine (GEE) platform can provide researchers and decision-makers with valuable tools for water level monitoring. In the case of time series, the volume of data is very large, which increases the data processing time and its computational load. From this point of view, continuous monitoring of water bodies in the TEB in this platform's context is critical, considering the annual changes and environmental conditions. On the other hand, the efficiency of the various GEE products has allowed the desired processes to be performed with maximum accuracy and speed without the need for special

hardware and software prerequisites. In general, the GEE platform enables the proposed research framework to be used to monitor and analyze surface water changes at different spatial and temporal scales. Nevertheless, due to the large scale of the study in the current research, it is suggested that in the next research, a case study of each of the water bodies in the TEB will be conducted, and monthly and seasonal time series data should be used to analyze the trends of changes and factors involved in this field.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

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


Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

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

ارزیابی تغییرات پهنه‌های آبی حوضه دجله و فرات مبتنی بر تحلیل سری زمانی عوامل محیطی مختلف

رسول افسری^۱ ✉، کاظم برهانی^۲ , شاهین جعفری^۳

۱- نویسنده مسئول، گروه شهرسازی، پدافند غیرعامل، دانشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران. رایانامه: r.afsari@sndu.ac.ir

۲- گروه شهرسازی، پدافند غیرعامل، دانشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران. رایانامه: kazem.borhani@sndu.ac.ir

۳- گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: shahin.jafari75@ut.ac.ir

چکیده

حوضه دجله و فرات گستره وسیعی را در بر گرفته و با توجه به حاکم بودن شرایط جغرافیایی و سیاسی متفاوت در آن، هر یک از عوامل محیطی در شرایط مختلف ممکن است که تأثیرات متفاوتی بر روند تغییرات آب‌های سطحی آن دارا باشند. بر همین اساس، در تحقیق حاضر روند تغییرات آب‌های سطحی این حوضه مهم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۱ با استفاده از بررسی سری زمانی ۱۶ پارامتر مختلف و بهره‌گیری از محصولات موجود در بستر گوگل ارث انجین (GEE) مورد ارزیابی قرار گرفته است. مطابق نتایج، روند کلی تغییرات آب‌های سطحی از نوع افزایشی بوده و مساحت آب از ۸۶۰۵/۹ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۱ به ۱۰۰۲۱/۸ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است. با این وجود، روند تغییرات زمانی-مکانی آب در سطح منطقه متغیر بوده است به طوری که گستره دریاچه‌ها و تالاب‌ها در نواحی جنوبی حوضه شدیداً کاهش یافته و در مقابل، گستره آب در بالادست حوضه به دلیل گسترش سدها و کانال‌های مختلف افزایش یافته است. بعلاوه، یافته‌های تحقیق حاکی از همبستگی بالای مقادیر متغیرهای اقلیمی و به‌ویژه تبخیر-تعرق و دما با تغییرات زمانی آب در سطح منطقه بوده است. بنابراین، تأثیر تغییرات اقلیم جهانی بر هیدرولوژی و محیط‌زیست حوضه، اهمیت و حساسیت بسیار بالای دریاچه‌های منطقه همچون رزازه، ثرثار، حمیرین و حبانیه را به تغییرات آب‌وهوایی برجسته می‌کند. نتایج تحقیق حاضر این قابلیت را دارد که به آب‌های سطحی در سایر مناطق نیز گسترش یافته و اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سطحی جهانی ارائه دهد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۱/۰۸

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۴/۱۶

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۵/۳۰

واژگان کلیدی:

آب‌های سطحی،

ارزیابی تغییرات،

دجله و فرات،

سری زمانی،

گوگل ارث انجین.

استناد: افسری، رسول؛ برهانی، کاظم و جعفری، شاهین. (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات پهنه‌های آبی حوضه دجله و فرات مبتنی بر تحلیل سری زمانی عوامل محیطی مختلف. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۲)، ۳۲-۱۷.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.370358.1007804>

مقدمه

آب‌های سطحی مهم‌ترین منبع از منابع آب سیاره‌ای هستند (Lu et al, 2019: 1100). این منابع ۷۱ درصد از سطح کره زمین را پوشانده و برای بقای سیستم‌های انسانی و اکولوژیکی آن حیاتی قلمداد می‌شوند (Khatrri & Tyagi, 2015: 23). با این حال، به دلیل اثرات ترکیبی تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در طی دهه‌های اخیر، تعادل آبی زمین تحت تأثیر قرار گرفته و روند هیدرولوژیکی اکوسیستم‌های آبی به‌طور چشمگیری دگرگون شده است (Wu et al, 2021: 2). امروزه بسیاری از رودها، دریاچه‌ها و تالاب‌های شناخته‌شده در حال کوچک‌تر شدن یا خشک شدن بوده و برخی از آن‌ها حتی در حال مرگ می‌باشند. این وضعیت می‌تواند منجر به مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی بزرگی همچون کمبود آب، تخریب زمین و حتی کمبود مواد غذایی شود (Feizizadeh et al, 2022: 1). پیش‌بینی‌های سازمان ملل متحد نیز حاکی از این است که چیزی در حدود ۴/۵ میلیارد نفر ممکن است تا سال ۲۰۵۰ در معرض بحران آب قرار بگیرند (Kaur et al, 2021: 144). تغییرات در سطح یا حجم آب‌های سطحی همچنین بر کیفیت آب و سلامت اکوسیستم آبی تأثیرگذار بوده و بنابراین شاخص مناسبی برای تجزیه و تحلیل اثرات اقلیم و محیط بر چرخه آب است، زیرا این نوع از تغییرات منعکس‌کننده پویایی یکپارچه عوامل مختلف اعم از بارش، تبخیر، کاربری زمین، رشد جمعیت و غیره است (Fu et al, 2020: 1). از این رو، توجه به ارزیابی و پایش مستمر آب‌های سطحی در ارتباط با عوامل مؤثر بر پویایی آب در زمینه فرآیندهای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری ضروری است (Sarp & Ozcelik, 2017: 382; Yue et al, 2023: 210). در سال‌های اخیر تغییرات آب‌های سطحی مورد توجه بسیاری قرار گرفته و با توجه به اهمیت موضوع در تحقیقات مختلفی به مطالعه ارتباط میان تغییرات آبی و فاکتورهای تأثیرگذار بر آن پرداخته شده است. باقری و همکاران (۱۳۹۵) تغییرات پهنه آبی دریاچه بختگان در بازه زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ و تأثیرات بالقوه عوامل طبیعی و انسانی در این زمینه را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق از داده‌های سری زمانی لندست و الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای استخراج بدنه‌های آبی بهره گرفته شده است و نتایج مطالعه بیانگر این بوده است که افزایش سطح زیر کشت آبی در بالادست حوضه و کاهش میزان بارندگی دو عامل اصلی خشکی دریاچه و تشدید بحران آب در منطقه محسوب می‌شوند. فرجی و نصرآبادی (۱۴۰۱) تغییرات سطح آب در تالاب میقان اراک را با استفاده از شاخص‌های مختلف مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در بستر گوگل ارث انجین مورد بررسی قرار داده و همبستگی شاخص‌ها را با یکدیگر مورد مقایسه قرار داده‌اند. بر مبنای یافته‌های آنان و در یک بازه زمانی ۳۵ ساله، بیشترین میانگین مساحت آب در سال ۱۹۸۹ و کمترین آن در سال ۲۰۰۹ مشاهده شده است. نتایج این مطالعه حاکی از تأثیر مستقیم و همبستگی بالای بارندگی بر میزان آب تالاب در بلندمدت بوده است. وانگ و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیق خود به مطالعه سری زمانی بلندمدت در راستای ارزیابی کمی و کیفی گستره آب دریاچه دانگتینگ گشور چین پرداخته‌اند. آنان تغییرات سالانه و فصلی وسعت آب در دوره ۲۰۲۰-۱۹۸۷ را برای درک ویژگی‌های توزیع زمانی و مکانی در ارتباط با متغیرهای مختلف مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج مطالعه آنان چنین مشخص نموده که وسعت آب از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۰ روند نزولی نوسانی را نشان می‌دهد و میانگین کلی وسعت آب ۱۸۹۴/۴۸ کیلومتر مربع است. همچنین، از نظر میانگین ماهانه سطح آب، بیشترین وسعت در جولای (۲۴۷۷/۱۴ کیلومتر مربع) و کمترین در ژانویه (۸۴۸/۱۴ کیلومتر مربع) و از نظر فصلی نیز در تابستان بزرگ‌ترین (۲۴۳۸ کیلومتر مربع) و در زمستان کوچک‌ترین (۹۶۷/۳۴ کیلومتر مربع) بوده است. شن و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های سری زمانی راداری سنتینل اقدام به ارزیابی

1. Maximum likelihood
2. Google Earth Engine (GEE)
3. Wang
4. Dongting
5. Shen

پهنه‌های آبی در منطقه دریاچه پویانگ^۱ چین نمونه‌اند. نتایج این مطالعه حاکی از این بوده است که حداکثر و حداقل مساحت آب در این منطقه به ترتیب در بیستم جولای (۲۷۱۴ کیلومتر مربع) و چهارم ژانویه (۶۳۴/۴۴ کیلومتر مربع) ۲۰۲۰ بوده است و مساحت آب در منطقه همبستگی بالایی (۰/۹۲) با تغییرات سطح آب دریاچه پویانگ نشان داده است. وو^۲ و همکاران (۲۰۲۲) ویژگی‌ها و عوامل محرک تغییرات سطح دریاچه هانگجیانو^۳ در چین را در یک بازه زمانی ۳۰ ساله مورد مطالعه قرار داده‌اند. مطابق نتایج، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی نقش اصلی را در کاهش گستره آب دریاچه ایفا می‌نمایند و تبخیر و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین فاکتورها در این زمینه به شمار می‌آیند.

امروزه اهمیت تغییرات سطح زمین در پایش منابع محلی، منطقه‌ای و جهانی بیش‌ازپیش شده و درک روند تغییرات زمانی و فضایی بدنه‌های آبی به‌عنوان یکی از منابع حیاتی سطح زمین از بسیاری از جهات مهم تلقی می‌شود (El-Hallaq & Habboub, 2014: 387). از طرف دیگر، تغییرات سطح زمین و به‌ویژه بدنه‌های آبی، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با تغییرات آب‌وهوایی یا سایر اشکال مخاطرات زیست‌محیطی مرتبط با فعل‌وانفعالات اتمسفری، جنگل‌زدایی، بیابان‌زایی و سرانجام تشکیل طوفان‌های گردوغبار مرتبط است (Boloorani et al., 2021: 2). از این‌رو، یکی از فرآیندهای اولیه که منجر به انتشار گردوغبار می‌شود، تغییرات سطح آب‌های دائمی یا موقت است که پیامدهای آن ممکن است به‌صورت فصلی یا در طول چندین سال رخ دهد. در این راستا، تحقیقات نشان می‌دهند که منابع گردوغبار ایجادشده بر بستر خشک‌شده بدنه‌های آبی از ذرات ریزتری در مقایسه با منابع با منشأ بیابان تشکیل‌شده است که از این نظر، ذرات ریزتر به‌راحتی از سطح جداشده و فرآیند فرسایش بادی را تسهیل می‌کنند. بنابراین، بسترهای خشک بدنه‌های آبی به‌شدت مستعد فرسایش بادی هستند و از منابع اصلی گردوغبار به شمار می‌آیند (Yang et al., 2008: 1768; Rashki et al., 2012: 3; Goudie, 2018: 153). در نتیجه، در طول دوره‌های خشک طولانی، بخش بزرگی از سطوحی که قبلاً مرطوب یا دارای پوشش گیاهی بوده‌اند، در معرض فرسایش بادی قرار گرفته و احتمال انتشار طوفان‌های گردوغبار در مقیاس منطقه‌ای و حتی جهانی را افزایش می‌دهند (Boloorani et al, 2022: 2). بنابراین، توجه به این مقوله از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. از سویی دیگر، با توجه به‌ضرورت مطالعه منابع آب و دشواری پایش مستمر روندهای آن در مقیاس بزرگ، ابزارهایی موردنیاز است که بتوان از آن برای دستیابی به طیف گسترده‌ای از ارزیابی‌های سطح آب استفاده نمود (Ye et al, 2017: 3). به عبارتی، مطالعات میدانی پهنه‌های آبی با توجه به ویژگی‌های خاص آن‌ها بسیار پرهزینه و زمان‌بر است (حجاریان و همکاران، ۱۴۰۰: ۳۶۵). از این‌رو، امروزه با توسعه فناوری‌های مرتبط با سنجش‌ازدور و به‌ویژه گوگل ارث انجین، پردازش زمانی و مکانی داده‌ها جهت تأمین اطلاعات مناسب از این منابع مدنظر قرار گرفته است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۱۷). ابزارهای سنجش‌ازدور، تحلیل تغییرات سطح زمین را تسهیل نموده و دستیابی به تحلیل‌های موردنظر در هر زمان و مکانی با سرعت و وسعت بی‌سابقه به انجام می‌رسد (Ghomeshion et al, 2022: 180). کاربردهای سنجش‌ازدور در منابع آب شامل ارزیابی آب‌های بالقوه زیرزمینی، تغییرات آب‌های سطحی، ارزیابی و مدیریت خطر سیل و خسارت آن و ارزیابی و پایش کیفیت آب است (Deoli et al, 2022: 1). علاوه بر این، سامانه گوگل ارث انجین به‌عنوان یکی از بسترهای تحلیل مکانی، متن‌باز^۴ و تحت وب برای تجزیه‌وتحلیل تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌های زمانی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (شایسته و غریبی، ۱۴۰۱: ۳). بر همین اساس، تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی نوسانات آبی هر منطقه حاکی از حقایق زیادی در مورد بدنه‌های آبی آن است. این رویکرد نشان می‌دهد که چگونه

1. Poyang
2. Wu
3. Hongjiannao
4. Open source

فعالیت‌های انسان در گذشته بر حوضه‌های آبریز تأثیر گذاشته و نیز محققان را از آنچه در یک اکوسیستم طبیعی بسیار مهم در جریان است به‌خوبی آگاه می‌کند (Ghashghaie & Nozari, 2018: 1542).

یکی از مهم‌ترین مناطق غرب آسیا، حوضه دجله و فرات است که در سالیان گذشته به دلیل گرمایش جهانی، خشک‌سالی، بیابان‌زایی و رشد جمعیت یا فعالیت‌های انسانی از قبیل سدسازی (به‌عنوان مثال پروژه آناتولی جنوب شرقی^۱ در ترکیه بر روی رودخانه‌های دجله و فرات) دستخوش تغییرات شگرفی شده است (Papi et al, 2022: 3). بدین ترتیب، برنامه‌ریزی نادرست دولت‌های منطقه از جمله ترکیه، عراق، سوریه و حتی ایران برای برداشت بی‌رویه آب‌های سطحی و عدم رعایت حق‌آبه به تشدید بحران آب در منطقه افزوده است (Velayatzadeh, 2020: 64). کشور ایران اگرچه سهم قابل‌توجهی در منابع آب دجله و فرات ندارد اما به دلیل هم‌جواری با این منطقه رو به بحران، قطعاً با چالش‌های غیرقابل‌جبرانی روبرو خواهد شد که در حداقل حالت ممکن می‌توان افزایش وقوع و گسترش گردوغبار تا عمق کشور و سخت زیست شدن بسیاری از مناطق غربی و مرکزی کشور را نام برد. از جمله مهم‌ترین پیامدهای منفی خشکی آب‌های حوضه دجله و فرات بر کشور ایران می‌توان به تشدید کانون‌های گردوغبار، تهدید اکوسیستم خلیج فارس، تغییر اقلیم منطقه، تهدید سلامت مردم منطقه به دنبال انتشار گردوغبار، سیل مهاجرت و تبعات اجتماعی و امنیتی برای کشور اشاره نمود (مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری، ۱۳۹۷: ۹). از این رو، مقوله آب یک معضل پایدار در منطقه بوده و چالش‌های جدی برای ثبات و توسعه اقتصاد منطقه به همراه داشته است (Geravandi et al, 2018: 135). با وجود مطالعات متعددی که در راستای بررسی موضوعات مختلف اعم از خشک‌سالی، گردوغبار، تغییر کاربری زمین و غیره در این حوضه به انجام رسیده اما توجه چندانی به روند تغییرات پهنه‌های آبی و درک اثرات متقابل عوامل محیطی مختلف در این زمینه مبذول نشده است، درحالی‌که تغییرات آب‌های سطحی به‌طور قابل‌توجهی وابسته به عناصر زمانی و مکانی است. به همین منظور و در راستای پاسخ به این سؤال که تغییرات گستره آب‌های سطحی در منطقه از چه الگویی تبعیت نموده و نقش عوامل مختلف در این زمینه چه بوده است، تحقیق حاضر در تلاش است تا با تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی بلندمدت آب و عوامل محیطی مختلف به ارزیابی روند تغییرات پهنه‌های آبی مهم حوضه دجله و فرات بپردازد و بدین ترتیب درک مناسبی از الگوها و پیامدهای احتمالی آن حاصل نماید.

روش پژوهش

در حال حاضر، با توسعه فناوری‌های سنجش‌ازدور استفاده از ابزارهای پردازشی در مقیاس‌های مکانی و زمانی گسترده به یکی از رویکردهای رایج در زمینه سنجش و پایش تغییرات آب‌های منطقه‌ای تبدیل شده است. در مطالعه حاضر نیز از قابلیت‌های پردازشی گوگل ارث انجین بهره گرفته شده است. در این راستا، با استفاده از پروداکت‌های مختلف ارث انجین به استخراج شاخص‌های موردنظر اقدام شده است. بازه زمانی مورد مطالعه در تحقیق مشتمل بر یک دوره بلندمدت از ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ می‌باشد و تجزیه و تحلیل‌ها در دو فاز و در مجموع با استفاده از داده‌های ۲۵۲ ماه در قالب یک سری زمانی کامپوزیت به انجام رسیده است. فاز اول پردازش بر روی پارامترهای محیطی مختلف صورت گرفته و پس از استخراج پروداکت‌های تصویری، فرایند تبدیل زمانی و مکانی بر روی آن‌ها اعمال شده و سپس بر اساس قدرت تفکیک مکانی داده‌های موجود، عمل هم مقیاس‌سازی لایه‌ها به ۲ کیلومتر به انجام رسیده است. نهایتاً، نمودار هر پارامتر بر اساس مقادیر میانگین ماهانه برای کل دوره ترسیم شده است. در فاز بعدی، پردازش‌ها بر روی پارامتر آب به انجام رسیده و پس

1. GAP

از استخراج کلاس آب از پروداکت آب‌های سطحی جهانی JRC لندست و ماسک آن از نظر مقادیر میانگین ماهانه کل دوره، نمودار سری زمانی آب ترسیم شده است. این مجموعه شامل یک طبقه‌بندی از فصلی بودن آب بر اساس مقادیر شناسایی شده در طول هر سال است که دقتی معادل ۳۰ متر ارائه می‌دهد (Pekel et al, 2016: 420). هدف اصلی از این فرایند، تحلیل روند تغییرات آب‌های سطحی منطقه و تعیین ارتباط آن با تغییرات فاکتورهای محیطی مختلف بوده است. در جدول ۱ مشخصات داده‌های تحقیق و منابع آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده

ردیف	نام پارامترها	اصطلاح معادل پارامترها	واحد/بازه پارامترها	مأخذ (پروداکت‌ها)	رزولوشن (متر)
۱	میانگین دما	Near surface air temperature	(°C)	FLDAS	۱۱۱۳۲
۲	سرعت باد	Near surface wind speed	(m/s)		
۳	نرخ کلی بارش	Total precipitation rate	(mm)		
۴	تبخیر و تعرق	Evapotranspiration	(Kg/m ² /s)		
۵	رطوبت نسبی	Relative humidity	(P _{surf} *Q _{air} /T _{air})		
۶	شدت خشک‌سالی	Palmer Drought Severity Index	(-4317<x<3418)	TerraClimate	۴۶۳۸/۳
۷	تبخیر و تعرق واقعی	Actual evapotranspiration	(mm)		
۸	تبخیر و تعرق مرجع	Reference evapotranspiration			
۹	بارش تجمعی	Precipitation accumulation			
۱۰	بافت خاک	Soil moisture			
۱۱	کمینه دما	Minimum temperature			
۱۲	بیشینه دما	Maximum temperature	(°C)	MOD13Q1.061	۲۵۰
۱۳	تفاوت پوشش گیاهی	Normalized Difference Vegetation Index	(-2000<x<10000)		
۱۴	وضعیت پوشش گیاهی	Vegetation Condition Index	(NDVI-minNDVI)/(maxNDVI-minNDVI)		
۱۵	جمعیت تخمینی	Estimated number of people residing in each grid cell	(0<x<21171)	WorldPop	۹۲/۷۷
۱۶	آب‌های سطحی	Water bodies	Water class	JRC. 1.4	۳۰

مجموعه داده FLDAS^۱

مجموعه داده FLDAS برای بهبود ارزیابی‌های مربوط به امنیت غذایی در سازوکار کشورهای در حال توسعه و اغلب با داده‌های پراکنده طراحی شده است. این مجموعه مشتمل بر اطلاعات بسیاری درباره متغیرهای اقلیمی مختلف از جمله رطوبت، تبخیر و تعرق، میانگین دمای خاک، نرخ کلی بارش و غیره است (McNally et al, 2017: 4). این مجموعه از مدل سطحی Noah V. 3.6.1 ساعتی CHIRPS-6 بهره می‌گیرد که با استفاده از ابزار داده‌های سطح زمین ناسا^۳ ریزمقیاس‌نمایی^۴ شده است (گل محمدی و جودکی، ۱۳۹۹: ۸۷). بر همین اساس، اطلاعات سری زمانی پنج پارامتر اقلیمی شامل دما، سرعت باد، نرخ کلی بارش، تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی با مراجعه به پایگاه داده ناسا دریافت و مورد پردازش قرار گرفته است.

1. JRC Global Surface Water Mapping Layers (v1.4)
2. Famine Land Data Assimilation System
3. <https://lis.gsfc.nasa.gov/land-surface-data-toolkit>
4. Downscale
5. <https://disc.gsfc.nasa.gov/>

داده‌های اقلیمی TerraClimate

مجموعه TerraClimate داده‌هایی از اقلیم و تعادل آب اقلیمی ماهانه مربوط به سطح زمین در گستره جهانی است. این مجموعه از درون‌یابی‌های اقلیمی بر اساس ترکیب داده‌های نرمال اقلیمی با رزولوشن ۴ کیلومتری از مجموعه داده WorldClim استفاده می‌کند. به عبارتی دیگر، هدف آن بهره‌گیری از ناهنجاری‌های متغیر زمانی درون‌یابی شده از پایگاه CRU Ts4.0/JRA55 برای ایجاد یک مجموعه داده با رزولوشن بالا است که یک بازه زمانی گسترده‌تر را پوشش بدهد (Abatzoglou et al, 2018: 4). در این راستا، داده‌های مربوط به هفت پارامتر از قبیل شدت خشک‌سالی، تبخیر-تعرق واقعی، تبخیر-تعرق مرجع، بارش تجمعی، بافت خاک، کمینه دما و بیشینه دما از پایگاه مذکور دریافت شده و در مراحل بعدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

داده‌های پوشش گیاهی مودیس

پروداکت MOD13Q1.061 مقادیر شاخص گیاهی را بر مبنای ارزش هر پیکسل ارائه می‌دهد. دو لایه رایج پوشش گیاهی در این پروداکت وجود دارد. اولین مورد شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) است که به شاخص مستخرج از داده‌های NOAA-AVHRR اشاره دارد. دومین لایه پوشش گیاهی، شاخص گیاهی پیشرفته (EVI) است که تغییرات زمینه تاج پوشش را به حداقل رسانده و حساسیت را در شرایط پوشش گیاهی متراکم حفظ می‌کند. بنابراین، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و شاخص وضعیت پوشش گیاهی در بحث حاضر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

داده‌های جمعیتی WorldPop

داده‌های با رزولوشن بالا در ارتباط با توزیع جمعیت در مقیاس جهانی، از پیش‌نیازهای اندازه‌گیری دقیق آثار رشد جمعیت انسانی به منظور پایش تغییرات و برنامه‌ریزی اقدامات بعدی است. هدف پروژه WorldPop^۳ برآورده ساختن این نیازها از طریق ارائه مجموعه داده‌های توزیع جمعیت بر مبنای دسترسی باز و دقیق است که با استفاده از رویکردهای شفاف و بازیابی شده ساخته شده‌اند. این مجموعه داده تعداد تخمینی افراد ساکن در هر سلول شبکه را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد (Gaughan et al, 2013). فعالیت‌های انسانی با توجه به افزایش جمعیت و شرایط کمبود آب که در سراسر جهان در طول دهه گذشته ثبت شده است، تأثیر زیادی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی داشته است. در تحقیق حاضر نیز از جمعیت به عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر تغییرات آب‌های سطحی در منطقه بهره گرفته شده است.

محدوده مورد مطالعه

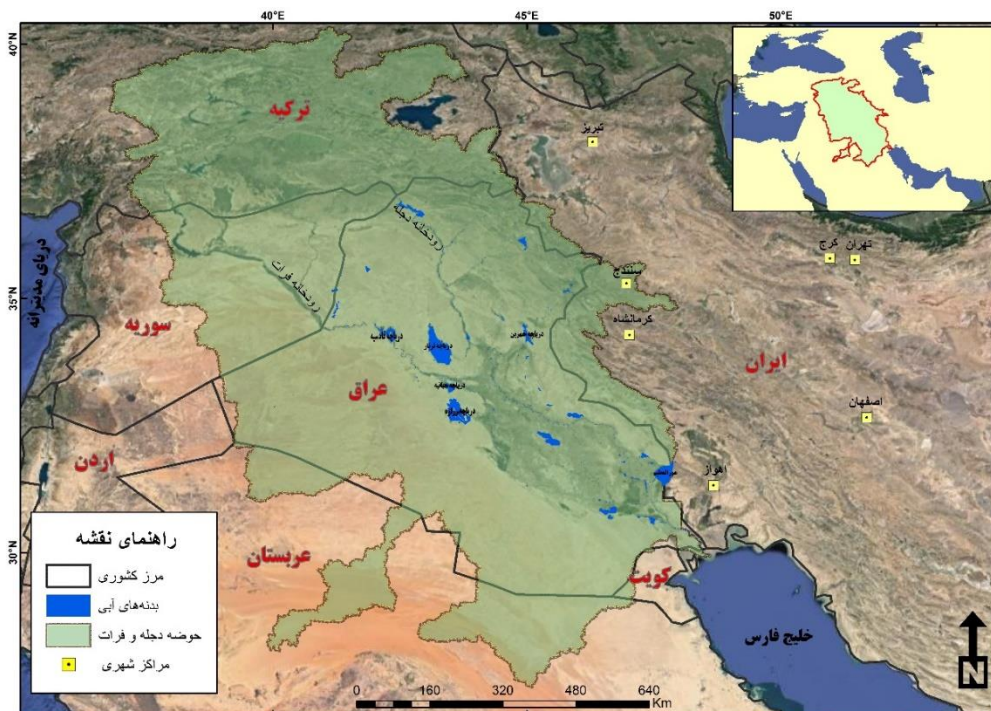
در تحقیق حاضر به مطالعه حوضه آبریز دجله و فرات پرداخته شده است (شکل ۱). حوضه وسیع دجله و فرات، ۳۶ درصد از مساحت کشور ترکیه و ۷۳ درصد از مجموع مساحت دو کشور عراق و سوریه را فرا گرفته است. چهار کشور ترکیه، عراق، سوریه و عربستان دربرگیرنده حوضه فرات و در مقابل، سه کشور عراق، ترکیه و ایران تشکیل‌دهنده حوضه رودخانه دجله هستند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۳۱). این دو رودخانه از کوه‌های جنوب شرقی ترکیه سرچشمه می‌گیرند و پس از طی مسافتی طولانی در اروندرود به هم پیوسته و در نهایت به خلیج فارس می‌ریزند (Chabuk et al, 2020: 6). این حوضه مساحتی در حدود ۸۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع را فرا گرفته و از شرایط اقلیمی و محیطی متنوعی برخوردار است (Bloorani

1. <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

2. The Terra MODIS Vegetation Indices

3. <https://www.worldpop.org/>

2: et al, 2022). اغلب نواحی حوضه دجله و فرات با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر مشخص می‌شوند و همین عامل این منطقه را به شدت در برابر تغییرات آب‌وهوایی و پیامدهای طبیعی و انسانی آن آسیب‌پذیر می‌کند (2: Beyranvand et al, 2023). بخش اصلی از این حوضه که در تحقیق حاضر مورد مطالعه قرار گرفته است شامل بدنه‌های آبی (دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها و مرداب‌ها) در نواحی مختلف آن می‌باشد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

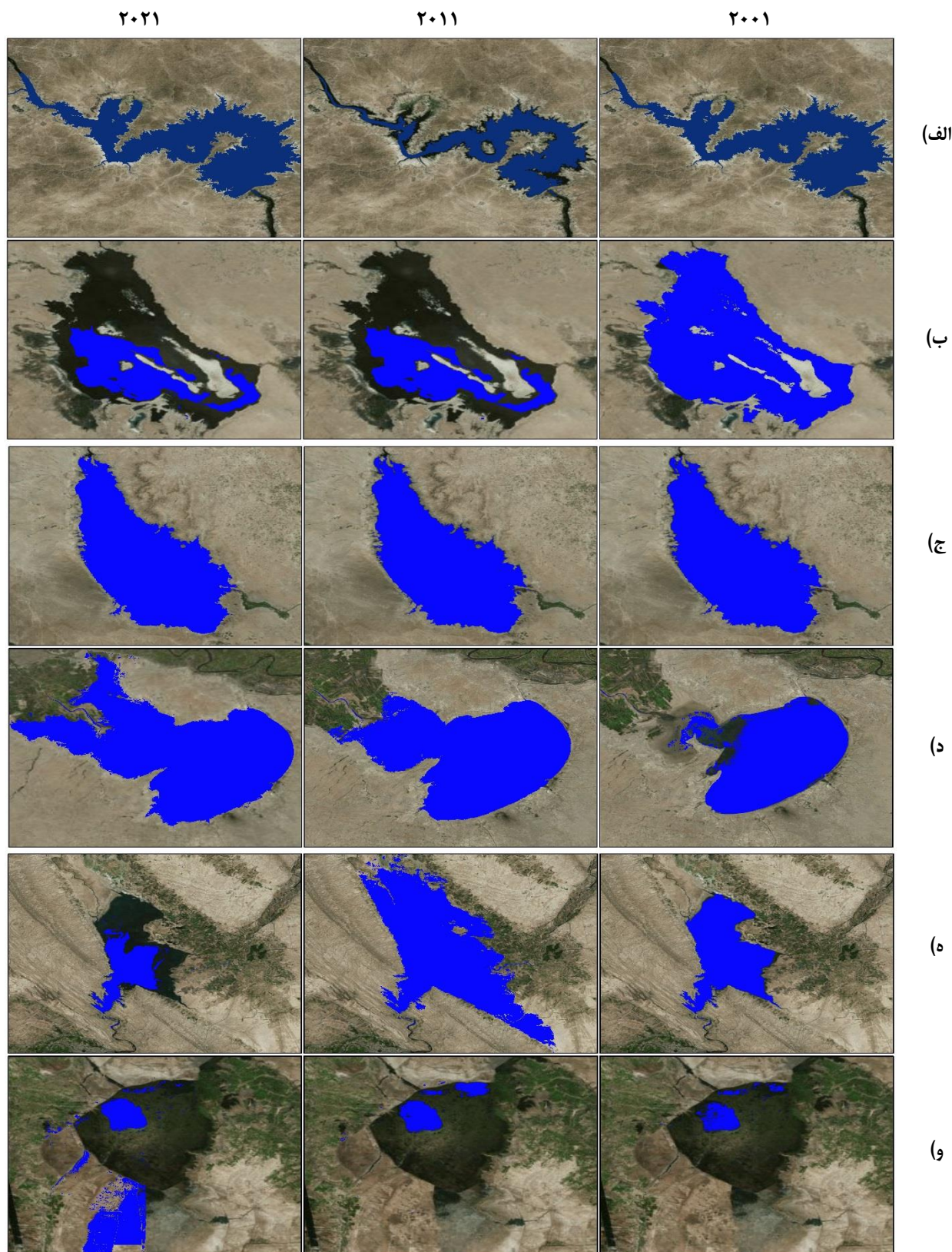
یافته‌ها

بررسی روند تغییرات آب‌های سطحی منطقه

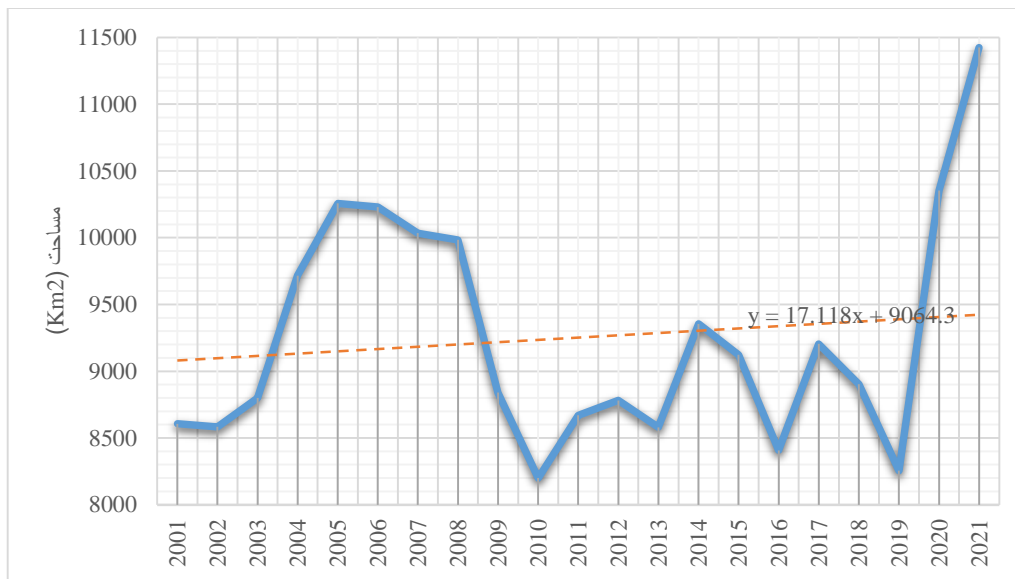
آب‌های سطحی در سرتاسر جهان دستخوش تغییرات مکانی و زمانی ناشی از عوامل بسیاری می‌شوند. برای بررسی این موضوع، بدنه‌های آبی حوضه دجله و فرات از نظر زمانی و مکانی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا، وضعیت تغییرات اعم از کاهش یا افزایشی بودن آن‌ها در طول بازه زمانی مورد مطالعه در بدنه‌های آبی منطقه بررسی شده است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، دریاچه‌های قادسیه، رزازه، ثرثار، حبانیه و حمیرین در بخش‌های مرکزی عراق و نیز تالاب هورالعظیم در مرز مشترک ایران و عراق در سال‌های مختلف دارای روندهای متفاوتی بوده‌اند. از این نظر، تمام آب‌های مذکور در طی دوره زمانی مورد مطالعه به استثنای دریاچه حمیرین و رزازه با افزایش مساحت همراه شده‌اند (شکل ۲-الف، ۲-ج، ۲-د، ۲-و). در این راستا، مساحت دریاچه حمیرین در استان دیالی در شمال شرق عراق از ۱۵۷/۹۸ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۱ به ۱۰۷/۶۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۱ و ۳۷/۰۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته که این امر ناشی از خشک‌سالی طولانی‌مدت و کاهش آبرسانی از رودخانه سیروان به دلیل احداث سد و برنامه‌های تغییر مسیر آب در بخش ایرانی رودخانه بوده است (شکل ۲-ه). بعلاوه، مساحت دریاچه رزازه در استان کربلا نیز از ۱۲۶۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۱ به ۴۴۰/۰۴ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۱ تنزل یافته است (شکل ۲-ب). بررسی‌ها چنین مشخص نموده است که در بازه زمانی بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ روند حاکم بر دریاچه‌های ثرثار، قادسیه، حمیرین و تالاب

هورالعظیم از نوع پیوسته افزایشی بوده است و در مقابل، گستره دریاچه رزازه در این بازه مداوم کاهش یافته و دریاچه حبانیه نیز در سال ۲۰۰۲ با ۱۱۷/۶۲ کیلومترمربع در حداقل وسعت خود واقع شده است. از سویی دیگر، در بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ سطح آب دریاچه رزازه به‌طور مداوم پسروی کرده و سبب شده است که این دریاچه در سال ۲۰۱۹ شاهد کم‌ترین مساحت خود (۲۶۰/۴۱ کیلومترمربع) باشد. همین روند در بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ برای دریاچه ثرثار به وقوع پیوسته است و کم‌ترین مساحت دریاچه در سال ۲۰۱۸ با ۱۹۲۶ کیلومترمربع اتفاق افتاده است. همچنین، مساحت تالاب هورالعظیم در سه سال اخیر روند کاهشی به خود گرفته و این تالاب پراهمیت به سمت خشک‌تر شدن حرکت نموده است (شکل ۲-و).

از طرفی دیگر، مساحت آب‌های سطحی حوضه دجله و فرات در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ در بستر گوگل ارث انجین محاسبه گردید تا بدین‌وسیله کم و کیف تغییرات در مقیاس سالانه به شکل دقیقی صورت پذیرد. مطابق ارزیابی‌ها، میانگین مساحت آب‌های سطحی منطقه در بازه ۲۰۲۱-۲۰۰۱ چیزی در حدود ۹۲۵۲/۶۱ کیلومترمربع بوده است که در ۸ سال از این دوره مقادیر بالاتر از میانگین و در ۱۳ سال دیگر نیز مقادیر پایین‌تر از میانگین بلندمدت در آن مشاهده شده است. تجزیه و تحلیل‌ها چنین نشان می‌دهند که مساحت آب‌های سطحی منطقه در سال ۲۰۱۰ در کم‌ترین میزان (۸۱۹۹/۵۲ کیلومترمربع) و در سال ۲۰۲۱ در بیشترین میزان خود (۱۱۴۲۴/۷۶ کیلومترمربع) قرار داشته است. علاوه بر این، بررسی‌ها حاکی از روند زمانی متناوب تغییرات آبی می‌باشد. به عبارتی، گستره آبی منطقه با کاهش جزئی مساحت از ۸۶۰۵/۹۴ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۱ به ۸۵۸۲/۸۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۲ رسیده است اما این روند در سه سال متوالی سیر صعودی به خود گرفته و به ۱۰۲۵۶/۹۳ کیلومترمربع در ۲۰۰۶ افزایش یافته است. در مقابل، از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ روند کاملاً نزولی مشاهده می‌شود، به‌نحوی که مساحت پهناهای آبی در سال ۲۰۱۰ به ۸۱۹۹/۵۲ کیلومترمربع تقلیل یافته است که به معنای کاهش ۲۰/۰۶ درصد پوشش آب‌های سطحی حوضه می‌باشد. روند تغییرات در ادامه این بازه کاملاً متناوب بوده است به‌طوری که تا سال ۲۰۱۲ افزایشی و در سال ۲۰۱۳ کاهشی شده است. همچنین، روند متناوب افزایشی و کاهشی در چهار سال بعدی نیز ادامه داشته و مساحت آب در سال ۲۰۱۷ به ۹۲۰۵/۰۱ کیلومترمربع رسیده است. بعلاوه، از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ روند کاهشی و از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ روند افزایشی حاکم بوده است و در انتهای این بازه زمانی (سال ۲۰۲۱)، مساحت آب در منطقه برابر با ۱۰۰۲۱/۸۸ کیلومترمربع محاسبه شده است. مدل خطی روند برای بیان بهتر تغییرات در سطح آب‌های منطقه اعمال شده است (شکل ۳).



شکل ۲. تغییرات زمانی-فضایی بدنه‌های آبی دجله و فرات (الف: دریاچه قادسیه، ب: دریاچه رزازه، ج: دریاچه ثرثار، د: دریاچه حبانیه، ه: دریاچه حمین، و: تالاب هورالعظیم)



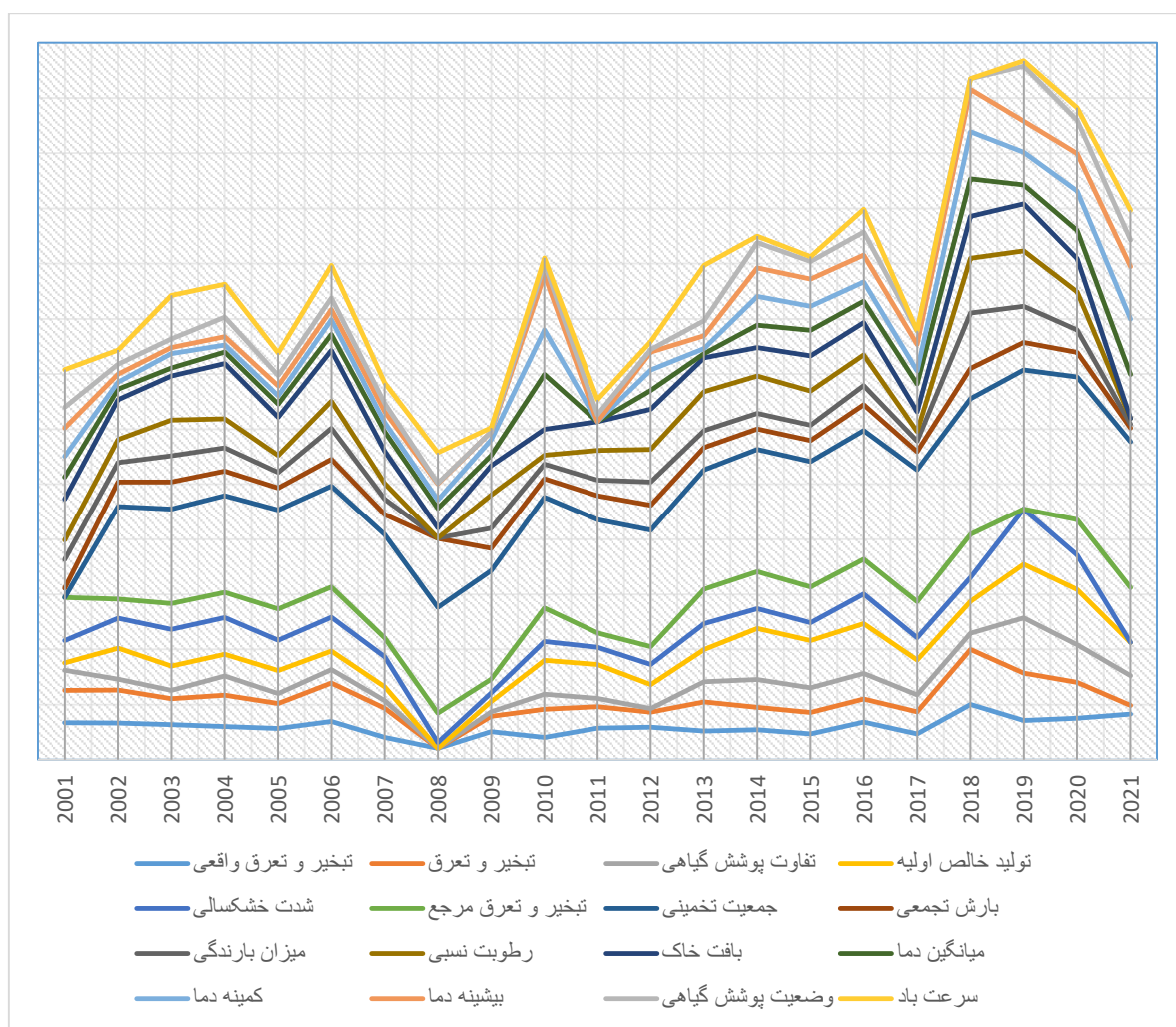
شکل ۳. روند تغییرات سالانه بدنه‌های آبی دجله و فرات

بررسی سری زمانی عوامل تأثیرگذار بر تغییرات آب

عوامل متعددی بر تغییرات سطح آب موجود در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها در بستر زمان و مکان تأثیر می‌گذارند. به‌طور کلی، ویژگی‌های هیدرولوژیکی هر حوضه آبی به اقلیم، توپوگرافی، پوشش و کاربری زمین، خصوصیات خاک و بسیاری از عوامل دیگر بستگی دارد. تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به‌عنوان دو عنصر اصلی، هر دو نقش مهمی در تأثیرگذاری بر دسترسی‌پذیری آب‌های سطحی در یک منطقه و زمان معین دارند (Hiatt et al, 2019). از آنجایی‌که توپوگرافی و خواص خاک اغلب برای مدت طولانی بدون تغییر باقی می‌مانند، بنابراین اقلیم و کاربری زمین همیشه به‌عنوان عوامل محرک اصلی تغییرات در ویژگی‌های هیدرولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند. به عبارتی، اغلب فرایندهای هیدرولوژیکی و تغییرات حوضه‌های آبی به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر کاربری زمین قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده نقش فعالیت‌های انسانی در ساختارهای سطح زمین است. در شکل ۴ سری زمانی تغییرات عوامل محیطی مختلف در ارتباط با روند تحولات آب‌های سطحی منطقه نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به دلیل گسترش روزافزون شهرنشینی و رشد اراضی شهری، جمعیت دارای یک‌روند تصاعدی است که از ابتدا تا انتهای دوره همواره افزایش یافته است. این موضوع می‌تواند تأثیرات بسیاری بر روند کاربری اراضی منطقه بر جای گذاشته و نهایتاً کمیت و کیفیت آب در نواحی مختلف را تحت‌الشعاع خود قرار دهد. از میان فاکتورهای مختلف اقلیمی نیز، دما و بارندگی هر دو بر حرکت و تنوع اجزای خاک تأثیر دارند که منجر به تغییرات فصلی در کمیت و کیفیت آب می‌شود. از این‌رو، تغییرات در میزان دما و شدت بارش به‌طور مستقیم بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه تأثیر می‌گذارد که به‌نوبه خود تأثیر غیرمستقیم بر جریان آب سطحی دارد.

ارزیابی مقادیر دمایی حاکی از این بوده است که دمای هوا پس از یک‌روند نسبتاً ثابت به یک‌باره با ناهنجاری همراه شده و آغاز این روند در سال ۲۰۱۰ بوده است که بیشینه دما در این سال به ۲۸/۵۵ درجه سانتی‌گراد و کمینه دما به ۱۴/۱۱ درجه سانتی‌گراد رسیده و میانگین دما تا ۲۱/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. بر اساس آنچه در شکل ۳ بیان گردید، مساحت آب حوضه در سال ۲۰۱۰ در حداقل میزان خود قرار داشته است اما از سویی دیگر، در سال ۲۰۲۱ نیز دما در مقایسه با سال‌های دیگر افزایش پیدا کرده و به حداکثر رسیده است که با این‌وجود مساحت آب در این سال در حداکثر میزان خود واقع شده است. این وضعیت بدان معناست که علاوه بر دما، سایر پارامترهای اقلیمی نیز هر یک به نحوی در تغییرات

گستره آب دخالت داشته‌اند. در این میان، با توجه به روند حاکم بر توپوگرافی حوضه، بارندگی دارای تأثیر چشمگیری بر تغییرات مذکور نبوده و لذا تبخیر و تعرق از نقش مهمی در این زمینه برخوردار بوده است. شدت بالای تبخیر و تعرق از سطوح خاکی و گیاهی در ماه‌های گرم سال و به‌ویژه جولای و آگوست سبب شده است تا بخش زیادی از آب در این بازه به بخار تبدیل شده و وارد اتمسفر شود. به‌عبارتی‌دیگر، پهنه‌های آبی و تبخیر-تعرق دارای همبستگی منفی می‌باشند و افزایش تبخیر-تعرق با کاهش مساحت آب همراه شده است و بالعکس. علاوه بر این، وقوع خشک‌سالی نیز از عوامل مهم کم‌آبی در منطقه محسوب می‌شود، به‌گونه‌ای که روند زمانی حاکم بر تغییرات پهنه‌های آبی منطقه تا حد زیادی از الگوی وقوع خشک‌سالی در منطقه تبعیت نموده و در طی دو سال اخیر با شدت یافتن شاخص PDSI و کاهش درصد رطوبت سطح نسبتاً وسیعی از پهنه‌های آبی منطقه از دست‌رفته است. در جدول ۲ نتایج آزمون همبستگی میان پارامترهای مختلف و مساحت پهنه‌های آبی منطقه نشان داده شده است. بر این اساس، نتایج ارزیابی‌ها چنین نشان داده است که سایر پارامترهای محیطی از قبیل پوشش گیاهی، بافت خاک و سرعت باد تأثیر محسوسی بر تغییرات تراز آبی منطقه بر جای نگذاشته و دارای ارتباط معناداری در این زمینه نبوده‌اند. بنابراین، باید گفت که تغییرات اقلیمی از جمله مهم‌ترین عوامل در روند افزایش یا کاهش تراز آبی در محدوده حوضه دجله و فرات قلمداد می‌شوند.



شکل ۴. سری زمانی مقادیر عوامل محیطی مختلف در حوضه آبی دجله و فرات

جدول ۲. نتایج آزمون همبستگی عوامل محیطی و پهنه‌های آبی در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۱

متغیرها	تبخیر و تعرق واقعی	تبخیر و تعرق پتانسیل	جمعیت تخمینی	تولید خالص اولیه	شاخص تفاوت پوشش گیاهی	شاخص شدت خشک‌سالی	تبخیر و تعرق مرجع	بارش جمعی
	-۰/۴۸۶	-۰/۳۱۰	۰/۲۱۰	-۰/۱۷۱	۰/۱۳۵	-۰/۳۷۴	-۰/۳۲۴	-۰/۰۵۷
بدنه‌های آبی	میزان بارش	رطوبت نسبی	بافت خاک	دمای میانگین	دمای کمینه	دمای بیشینه	وضعیت پوشش گیاهی	سرعت باد
	۰/۲۰۸	۰/۲۱۶	-۰/۰۱۲	-۰/۴۱۳	-۰/۲۷۹	-۰/۳۴۵	۰/۰۱۶	-۰/۰۰۲

بحث

تغییرات تراز آب‌های سطحی اعم از کاهش یا افزایش آن‌ها می‌تواند منعکس‌کننده اثرات محیط‌زیست جهانی و تغییرات اقلیمی باشد. در مطالعه حاضر نیز این نتیجه‌گیری حاصل گردید که تغییرات آب‌های سطحی در حوضه دجله و فرات می‌تواند دارای روندهای متفاوت زمانی و مکانی در ارتباط با عوامل مختلفی باشد. ارزیابی‌ها چنین مشخص نموده است که گستره آب‌های سطحی منطقه بین حداقل ۸۱۹۹/۵ تا حداکثر ۱۱۴۲۴/۷۶ کیلومترمربع در طول بازه زمانی مورد مطالعه متغیر بوده است و با وجود اینکه روند کلی تغییرات از ابتدا تا انتهای دوره به صورت افزایشی بوده اما در بازه‌های زمانی چندساله شاهد روندهای متناوبی از این نظر بوده‌ایم. از طرفی دیگر، چنین مشخص شده است که الگوی تغییرات سطح آب در منطقه تا حد زیادی معلول شرایط محیطی منطقه بوده است و در این زمینه فعالیت‌های انسانی و تغییرات هیدرو اقلیمی از مهم‌ترین عوامل آن به شمار می‌آیند. مطابق ارزیابی‌ها، رشد جمعیت و فعالیت‌های ساخت‌وساز در نواحی شهری و اراضی زراعی این منطقه نقش مهمی در توزیع زمانی و مکانی آب بر عهده داشته است. به عبارتی، اقدامات کنترل آب در بالادست رودخانه اعم از تغییرات دریاچه سد آتاتورک و سد باتمان در ترکیه و نیز دریاچه سد اسد در سوریه عنصر کلیدی تحولات آب در کل حوضه بوده است. بر همین اساس، در شرایط معمول، فعالیت‌های انسانی اولین عامل محیطی تغییرات سطح آب شمرده می‌شود که این موضوع نتایج مطالعه آتیز (و همکاران ۲۰۲۳) را تأیید نموده است. دومین نکته مهم در این راستا، شرایط حاکم بر توپوگرافی حوضه است که سبب شده است تا شاهد الگوهای متفاوتی به لحاظ توزیع زمانی و مکانی آب در آن باشیم. در این راستا، نظر به اقلیم گرم و خشک نواحی مرکزی و جنوبی حوضه که اغلب منطبق بر سرزمین‌های داخلی عراق می‌باشد، بروز مقادیر آب‌وهوایی شدید از جمله دما و تبخیر زیاد، بارش کم و خشک‌سالی که بعضاً در نیمی از سال در آن رخ می‌دهد، دسترسی‌پذیری آب در این نواحی تحت‌الشعاع قرار گرفته و منجر به کاهش سطح دریاچه‌ها، تالاب‌ها و مرداب‌های نیمه جنوبی آن می‌شود که در نهایت بستر آن‌ها در معرض فرسایش بادی قرار گرفته و وقوع طوفان‌های گردوغبار که بخش وسیعی از استان‌های ایران را در برمی‌گیرد را با خود به همراه می‌آورد. از این نظر، نتایج تحقیق حاضر دستاوردهای تحقیق بلورانی و همکاران (۲۰۲۱) را تأیید می‌کند. بنابراین، تأثیر تغییرات اقلیم جهانی بر هیدرولوژی و محیط‌زیست حوضه، اهمیت و حساسیت بسیار بالای دریاچه‌های منطقه همچون رزازه، ثرثار، حمیرین و حبانیه را به تغییرات آب‌وهوایی تأیید می‌کند و با توجه به اینکه مردم محلی وابستگی زیادی به این آب‌ها دارند کاهش سطح آن‌ها می‌تواند منجر به مشکلات شدید اقتصادی و اجتماعی برای آن‌ها شود. از این رو، لازم است که راه‌حلی برای اتخاذ استراتژی‌هایی برای مقابله با سناریوهای تغییرات اقلیم آینده و حفاظت در برابر فعالیت‌های انسانی اتخاذ شود.

نتیجه‌گیری

یکی از اهداف اصلی پایش آب‌های سطحی، ارزیابی تغییرات آن در طول زمان است که اغلب این امر ناشی از ضرورت مقایسه سطح آب با مقادیر استاندارد آن به انجام می‌رسد اما باین وجود، نیاز مهمی برای ردیابی الگوی تغییرات در طول زمان در پاسخ به مداخله محرک‌های مختلف و شناسایی مسیرها یا روندهای موجود آب وجود دارد. بر همین اساس، در این تحقیق به ارزیابی روند سالانه تغییرات آب در حوضه دجله و فرات در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ و با استفاده از پروداکت‌های مختلف گوگل ارث انجین (GEE) پرداخته شده و عوامل موجود در این زمینه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس روش‌شناسی تحقیق و دستاوردهای حاصله باید گفت که سامانه گوگل ارث انجین می‌تواند ابزارهای ارزشمندی را در زمینه پایش تراز آبی در اختیار محققان و تصمیم‌گیرندگان قرار دهد. در مورد سری‌های زمانی، حجم داده‌ها بسیار زیاد بوده که این امر باعث افزایش زمان پردازش داده‌ها و بار محاسباتی آن می‌شود و از این نظر، پایش مستمر بدنه‌های آبی حوضه دجله و فرات در بستر این سامانه با در نظر گرفتن تغییرات سالانه و شرایط محیطی از اهمیت زیادی برخوردار است. از سویی دیگر، کارایی پروداکت‌های تصویری مختلف این سامانه سبب شده است تا پردازش‌های موردنظر با حداکثر دقت و سرعت و بدون نیاز به پیش‌نیازهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص به انجام برسند. به‌طور کلی، سامانه GEE، چارچوب پیشنهادی تحقیق را قادر می‌سازد تا برای پایش و تجزیه و تحلیل تغییر و تحولات آب‌های سطحی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف استفاده شود. باین وجود، به دلیل مقیاس بالای مطالعه در تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات بعدی به مطالعه موردی هر یک از بدنه‌های آبی موجود در حوضه دجله و فرات پرداخته و از داده‌های سری زمانی ماهانه و فصلی برای تجزیه و تحلیل روند تغییرات و فاکتورهای دخیل در این زمینه استفاده شود تا بتوان نتایج را تعمیم داده و بهره‌برداری‌های لازم را به انجام رساند. بعلاوه، پیشنهاد می‌شود که از شاخص‌های مختلف آبی همچون NDWI، MNDWI و AWEI به منظور استخراج بدنه‌های آبی استفاده شده و دقت حاصله برای هر یک از شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین، روش‌شناسی این مطالعه این قابلیت را دارد که به آب‌های سطحی در سایر مناطق نیز گسترش یافته و اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سطحی جهانی ارائه دهد.

حامی مالی

بر اساس اظهار نویسندگان این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمامی مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشته‌اند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری‌رسان بوده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- باقری، محمدحسین؛ باقری، علی و سهولی، غلام عباس. (۱۳۹۵). تحلیل تغییرات پهنه آبی دریاچه بختگان تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۲(۳)، ۱-۱۱.
- حجاریان، محمدحسین؛ عطارچی، سارا و حمزه، سعید. (۱۴۰۰). پایش تغییرات فصلی تالاب میقان با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور رادار، حرارتی و اپتیک. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳(۳)، ۳۸۰-۳۶۵. DOI: 10.22059/jphgr.2021.322649.1007610
- شایسته، کامران و غربی، شیوا. (۱۴۰۱). کاربرد سامانه گوگل ارث انجین در شناسایی کانون‌های بالفعل گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل-۵. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱(۳۴): ۱-۱۶. DOI: 10.22111/jneh.2022.38729.1813
- فرجی، مرجان و فاطمی نصرآبادی، سیدباقر (۱۴۰۱). بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های آب مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور پایش تغییرات سطح پهنه‌های آبی با کمک سامانه گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: تالاب میقان اراک). *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ۱۰(۲)، ۳۹-۶۲. DOI: 10.52547/jgit.10.2.39
- گل محمدی، مهدی و جودکی، غلامرضا. (۱۳۹۹). ریزمقیاس‌نمایی آماری سطح آب‌های زیرزمینی حاصل از داده‌های ماهواره ثقل سنجی GRACE. *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ۸(۳)، ۸۳-۱۰۱. DOI: 10.52547/jgit.8.3.83
- محمدی، حمیدرضا؛ میرزایی‌پور، طاهره و حسین‌پور، رضا. (۱۳۹۱). تحلیل فضایی هیدروپلیتیک حوضه دجله و فرات. *جغرافیا*، ۱۰(۳۵): ۲۶۱-۲۲۹.
- مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری. (۱۳۹۷). بررسی تأثیرات برنامه‌های تنظیم آب کشورهای همسایه در حوضه‌های مشترک مرزی بر ایران، گروه آینده‌نگری آب، محیط‌زیست و منابع طبیعی: ویرایش یازدهم.
- ملکی، سعیده؛ سفیانیان، علیرضا؛ سلطانی کوپانی، سعید؛ پورمنافی، سعید و شیخ‌الاسلام، فرید. (۱۳۹۷). تحلیل الگوی تغییرات پهنه آبی تالاب هامون در دوره آبیگری سالیانه و تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۴(۱)، ۱-۲۱۶-۲۲۵.

References

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific data*, 5(1), 1-12. DOI: 10.1038/sdata.2017.191
- Atiz, Ö. F., Alkan, T., & Durduran, S. S. (2023). Google Earth Engine Based Spatio-Temporal Changes of Bafa Lake from 1984 to 2022. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 10(3), 116-123. DOI: 10.30897/ijgeo.1257413
- Bagheri, M., Bagheri, A., & Sohooli, G. A. (2016). Analysis of changes in the Bakhtegan lake water body under the influence of natural and human factors. *Iran-Water Resources Research*, 12(3), 1-11. [In Persian].
- Beyranvand, A., Azizi, G., Alizadeh, O., & Darvishi Bolorani, A. (2023). Dust in Western Iran: the emergence of new sources in response to shrinking water bodies. *Scientific Reports*, 13(1), 16158. DOI: 10.1038/s41598-023-42173-3
- Bolorani, A. D., Najafi, M. S., Soleimani, M., Papi, R., & Torabi, O. (2022). Influence of Hamoun Lakes' dry conditions on dust emission and radiative forcing over Sistan plain, Iran. *Atmospheric Research*, 272, 106152. DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106152
- Bolorani, A. D., Papi, R., Soleimani, M., Karami, L., Amiri, F., & Samany, N. N. (2021). Water bodies changes in Tigris and Euphrates basin has impacted dust storms phenomena. *Aeolian Research*, 50, 100698. DOI: 10.1016/j.aeolia.2021.100698
- Bolorani, A. D.; Samany, N. N.; Papi, R.; and Soleimani, M. (2022). Dust source susceptibility mapping in Tigris and Euphrates basin using remotely sensed imagery. *Catena*, 209, 105795. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105795
- Center for development research and foresight. (2018). *Investigating the effects of water regulation programs of neighboring countries in shared border basins on Iran*. Foresight group of water, environment and natural resources, 11th edition. [In Persian].

- Chabuk, A., Al-Madhloom, Q., Al-Maliki, A., Al-Ansari, N. A., Musa, H. H., & Laue, J. (2020). Water quality assessment along Tigris River (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software. *Arab J Geosci* 13, 1-23. DOI: 10.1007/s12517-020-05575-5
- Deoli, V., Kumar, D., & Kuriqi, A. (2022). Detection of water spread area changes in eutrophic lake using landsat data. *Sensors*, 22(18), 6827. DOI: 10.3390/s22186827
- El-Hallaq, M. A., & Habboub, M. O. (2014). Using GIS for time series analysis of the Dead Sea from remotely sensing data. *Open Journal of Civil Engineering*, 4(04), 386. DOI: 10.4236/ojce.2014.44033
- Fang, J., Li, G., Rubinato, M., Ma, G., Zhou, J., Jia, G., Xinxiao, Y., & Wang, H. (2019). Analysis of long-term water level variations in Qinghai Lake in China. *Water*, 11(10), 2136. DOI: 10.3390/w11102136
- Faraji M., & Fatemi, B. (2022). Comparative analysis of remote sensing water indexes for wetland water body monitoring using Landsat images and the Google Earth Engine Platform (A Case study: Meighan Wetland, Iran). *Jgit*, 10(2), 39-62. DOI: 10.52547/jgit.10.2.39 [In Persian].
- Feizizadeh, B., Lakes, T., Omarzadeh, D., Sharifi, A., Blaschke, T., & Karimzadeh, S. (2022). Scenario-based analysis of the impacts of lake drying on food production in the Lake Urmia Basin of Northern Iran. *Scientific reports*, 12(1), 6237. DOI: 10.1038/s41598-022-10159-2
- Fu, C., Wu, H., Zhu, Z., Song, C., Xue, B., Wu, H., Zhenming, J., & Dong, L. (2021). Exploring the potential factors on the striking water level variation of the two largest semi-arid-region lakes in northeastern Asia. *Catena*, 198, 105037. DOI: 10.1016/j.catena.2020.105037
- Gaughan, A. E., Stevens, F. R., Linard, C., Jia, P., & Tatem, A. J. (2013). High resolution population distribution maps for Southeast Asia in 2010 and 2015. *PloS one*, 8(2), e55882. DOI: 10.1371/journal.pone.0055882
- Geravandi, S., Yari, A. R., Jafari, M., Goudarzi, G., Vosoughi, M., Dastoorpoor, M., Vosoughi, M., Farhadi, M., & Mohammadi, M. J. (2018). Effects of dust phenomenon and impacts with emphasis on dust problems and present solutions in Khuzestan (Iran). *Archives of Hygiene Sciences*, 7(2), 134-138. DOI: 10.29252/ArchHygSci.7.2.134
- Ghashghaie, M., & Nozari, H. (2018). Effect of dam construction on Lake Urmia: time series analysis of water level via ARIMA. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(7), 1541-1553.
- Ghomeshion, M., Vali, A. A., Ranjbar Fordoei, A., & Mousavi, S. H. (2022). Investigating the effect of land cover on dust spatial distribution in Southern Khuzestan province. *Ecopersia*, 10(3), 179-189.
- Golmohamadi M., & Joodaki, G. (2021). Statistical downscaling of GRACE gravity satellite-derived groundwater level data. *Jgit*, 8(3): 83-101. DOI: 10.52547/jgit.8.3.83 [In Persian].
- Goudie, A. (2018). Dust storms and ephemeral lakes. *Desert*, 23(1), 153-164. DOI: 10.22059/jdesert.2018.66370
- Hajarian, M. H., Atarchi, S., & Hamzeh, S. (2021). Monitoring seasonal changes of Meighan wetland using SAR, thermal and optical remote sensing data. *Physical Geography Research Quarterly*, 53(3), 365-380. DOI: 10.22059/jphgr.2021.322649.1007610 [In Persian].
- Hiatt, M., Snedden, G., Day, J. W., Rohli, R. V., Nyman, J. A., Lane, R., & Sharp, L. A. (2019). Drivers and impacts of water level fluctuations in the Mississippi River delta: Implications for delta restoration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224, 117-137. DOI: 10.1016/j.ecss.2019.04.020
- Kaur, H., Alam, M. A., Mariyam, S., Alankar, B., Chauhan, R., Adnan, R. M., & Kisi, O. (2021). Predicting water availability in water bodies under the influence of precipitation and water management actions using VAR/VECM/LSTM. *Climate*, 9(9), 144. DOI: 10.3390/cli9090144
- Khatri, N., & Tyagi, S. (2015). Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in life science*, 8(1), 23-39. DOI: 10.1080/21553769.2014.933716
- Lu, S., Ma, J., Ma, X., Tang, H., Zhao, H., & Hasan Ali Baig, M. (2019). Time series of the Inland Surface Water Dataset in China (ISWDC) for 2000–2016 derived from MODIS archives. *Earth System Science Data*, 11(3), 1099-1108. DOI: 10.5194/essd-11-1099-2019
- Maleki, S., Soffianian, A., Soltani Koupaei, S., Pourmanafi, S., & Sheikholeslam, F. (2018). Analysis of Changes in the Hamun wetland Water Body during annual water inundation and

- land use land cover change. *Iran-Water Resources Research*, 14(1), 216-225. [In Persian].
- McNally, A.; Arsenault, K.; Kumar, S.; Shukla, S.; Peterson, P.; Wang, S.; Funk, C.; Peters-Lidard, C., & Verdin, J. P. (2017). A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications. *Scientific data*, 4(1), 1-19. DOI: [10.1038/sdata.2017.12](https://doi.org/10.1038/sdata.2017.12)
- Mohammadi, H. R., Mirzaeipour, T., & Hosseinpour, R. (2013). Spatial analysis of Tigris-Euphrates basin hydrogeopolitics. *Geography*, 10(35), 229-261. [In Persian].
- Papi, R., Attarchi, S., Darvishi Bolorani, A., & Neysani Samany, N. (2022). Characterization of hydrologic sand and dust storm sources in the Middle East. *Sustainability*, 14(22). DOI: [10.3390/su142215352](https://doi.org/10.3390/su142215352)
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422. DOI: [10.1038/nature20584](https://doi.org/10.1038/nature20584)
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Rautenbach, C. D., Eriksson, P. G., Qiang, M., & Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5, 51-62. DOI: [10.1016/j.aeolia.2011.12.001](https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.12.001)
- Sarp, G., & Ozelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3), 381-391. DOI: [10.1016/j.jtusci.2016.04.005](https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005)
- Shayesteh, K., & Gharibi, S. (2022). Application of GEE in Dust Actual Sources Detection using Sentinel- 5 and Modis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 1-16. DOI: [10.22111/jneh.2022.38729.1813](https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38729.1813) [In Persian].
- Shen, G., Fu, W., Guo, H., & Liao, J. (2022). Water body mapping using long time series Sentinel-1 SAR data in Poyang Lake. *Water*, 14(12), 1902. DOI: [10.3390/w14121902](https://doi.org/10.3390/w14121902)
- Velayatzadeh, M. (2020). Introducing the causes, origins and effects of dust in Iran. *Journal of Air Pollution and Health*, 5(1), 63-70. DOI: [10.18502/japh.v5i1.2860](https://doi.org/10.18502/japh.v5i1.2860)
- Wang, C., Jiang, W., Deng, Y., Ling, Z., & Deng, Y. (2021). Long time series water extent analysis for SDG 6.6. 1 based on the GEE platform: A case study of Dongting Lake. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 490-503. DOI: [10.1109/JSTARS.2021.3088127](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3088127)
- Wang, W., Liu, C., Zhang, F., Tan, M. L., Shi, J., Zhang, Z., Duan, P., Kung, H., & Xin, H. (2022). Evaluation of impacts of environmental factors and land use on seasonal surface water quality in arid and humid regions using structural equation models. *Ecological Indicators*, 144, 109546. DOI: [10.1016/j.ecolind.2022.109546](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109546)
- Wu, C., Wu, X., Lu, C., Sun, Q., He, X., Yan, L., & Qin, T. (2022). Characteristics and driving factors of lake level variations by climatic factors and groundwater level. *Journal of Hydrology*, 608: 127654. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2022.127654](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127654)
- Wu, H., Wang, S., Wu, T., Yao, B., & Ni, Z. (2020). Assessing the influence of compounding factors to the water level variation of Erhai Lake. *Water*, 13(1), 29. DOI: [10.3390/w13010029](https://doi.org/10.3390/w13010029)
- Yang, L., Yue, L., & Li, Z. (2008). The influence of dry lakebeds, degraded sandy grasslands and abandoned farmland in the arid inland of northern China on the grain size distribution of East Asian Aeolian dust. *Environ Geol*, 53: 1767-1775. DOI: [10.1007/s00254-007-0782-y](https://doi.org/10.1007/s00254-007-0782-y)
- Ye, Z., Liu, H., Chen, Y., Shu, S., Wu, Q., & Wang, S. (2017). Analysis of water level variation of lakes and reservoirs in Xinjiang, China using ICESat laser altimetry data (2003-2009). *PLoS one*, 12(9), e0183800. DOI: [10.1371/journal.pone.0183800](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183800)
- Yue, L., Li, B., Zhu, S., Yuan, Q., & Shen, H. (2023). A fully automatic and high-accuracy surface water mapping framework on Google Earth Engine using Landsat time-series. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 210-233. DOI: [10.1080/17538947.2023.2166606](https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2166606)

