

Research Paper

Qualitative Assessment of Groundwater for Drinking Purposes Based on Water Quality Indicators

Seyed Mohammadreza Hosseini
Vardanjani¹Mojtaba Khoshravesh^{2*}Hajar Taheri
Sudejani³Marzieh Ghahreman
Shahraki⁴Masoud Pourgholam-
Amiji⁵

1- Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Ph.D. Graduated, Department of Water Engineering, College of Agricultural Engineering, Esfahan University of Technology, and Water and Soil Expert, Organization of Agriculture Jihad of Chaharmahal and Bakhtiari Province, Shahrekord, Iran.

4- MS.c. Graduated, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

5- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[10.22125/IWE.2023.387366.1710](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.387366.1710)

Received:
February 26, 2023
Accepted:
May 15, 2023
Available online:
December 30, 2023

Keywords:
Correlation,
Groundwater, Water
Quality Index, Zoning.

Abstract

The increase in demand for water has led to excessive exploitation of groundwater and has reduced the quality of these resources. Groundwater quality monitoring is very important in terms of environmental and economic factors. The relevant indices show the water quality as a specific number to provide a useful representation of the overall water quality for a given purpose and also enable an effective understanding of the water quality information. The purpose of this research is to analyze the quality of groundwater in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar cities based on WQI and GWQI indicators based on the Iran Standard and Industrial Research Institute (ISIRI) and World Health Organization (WHO) standard. In this research, 28 samples of groundwater (wells) were collected from different places in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar cities from 2020 to 2022 and 10 qualitative parameters HCO₃, K, pH, TDS, EC, Ca, Na, Mg, Cl, and SO₄ were chemically analyzed in the laboratory. After analyzing the data, the spatial distribution map of the index was prepared for the study area by using the inverse distance weighting interpolation method. The results showed that according to GWQI and WQI indicators, most of the samples were in the good quality category. By examining the Pearson correlation between WQI and GWQI indices and the parameters used, it was found that the two parameters TDS and EC with coefficients of 0.982 and 0.989 have the highest correlation at a significant level of 1% with the WQI index. Also, TDS and Ca parameters with coefficients of 0.975 and 0.979 have the highest correlation with the GWQI index at a significant level of 1%. The results of this research have shown that the combined use of GIS, WQI, and GWQI indicators in evaluating the quality of groundwater and their spatial distribution in the studied area is useful and effective in selecting water resources for drinking purposes.

* **Corresponding Author:** Mojtaba Khoshravesh

Address: Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Email: Khoshravesh_m24@yahoo.com,
m.khoshravesh@sanru.ac.ir

Tel: 09113521654

1. Introduction

Groundwater is considered an important part of the renewable water of the ecosystem and compared to surface water, it has various advantages such as higher quality and less pollution. In most cases, underground water is available in arid and semi-arid areas where there is very little surface water. The increase in global demand for water has led to the overexploitation of groundwater and has reduced the quality of these resources. Therefore, groundwater quality monitoring is very important in terms of environmental and economic factors. The purpose of this research is to analyze the quality status of underground water in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar cities based on GWQI and WQI indicators based on the standards of the World Health Organization (WHO) and the Industrial Research Institute of the country (ISIRI).

2. Methodology

Chaharmahal and Bakhtiari province, with an area of 16532 square kilometers, is located between 31 degrees 9 minutes to 32 degrees 48 minutes north latitude and 49 degrees 28 minutes to 51 degrees 25 minutes east longitude. This province is located in the central part of the Zagros Mountains between the foothills of the Darn and Isfahan provinces. It is limited to Isfahan province from the north and east, Khuzestan province from the west, Kahgiluyeh and Boyer Ahmad from the south, and Lorestan province from the northwest. This province is a mountainous region along the Zagros mountain range that extends from the northwest to the southeast. According to the Amberje method, the climate of the studied area ranges from dry and cold in Borujen, Ardal, and Kiar cities to humid in Lordegan and Khanmirza cities. In this research, for the quality zoning of underground water in some areas of Chaharmahal and Bakhtiari provinces for drinking purposes based on GWQI and WQI indicators from 28 wells in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar cities in the period of 2020-2022 Sampling was done, the collected samples were delivered to the laboratory and analyzed. The GWQI index is emphasized as a standard method in the development of groundwater quality indicators in the selection stage, the selection of a group of water quality parameters with a similar nature. The WQI index is an effective tool for evaluating the overall quality of groundwater. The WQI index is often used to determine the suitability of groundwater for drinking purposes in different regions of the world. The inverse distance weighting method (IDW) was used for zoning and drawing a raster map, of the spatial changes of the investigated indicators in the study area.

3. Results

According to GWQI, all samples are in the category of very good and good quality for both (WHO) and (ISIRI) standards. According to WQI, all samples are in the excellent quality category for both (WHO) and (ISIRI) standards. Also, by examining the Pearson correlation between this index and the used parameters, it was found that TDS and Ca parameters with coefficients of 0.982 and 0.989 have the highest correlation with the GWQI index at The significance level is one percent, WQI index with two parameters TDS and EC with coefficients of 0.975 and 0.979 has the highest correlation at The significance level is one percent.

4. Discussion and Conclusion

The results of this research have shown that the combined use of GIS and GWQI and WQI indicators in evaluating the quality of groundwater and how it is spatially distributed in the studied area is useful and effective in selecting water resources for drinking purposes. The results of this research will help the decision makers to have a clear vision regarding the groundwater quality maps so that they can provide more comprehensive and useful planning regarding the exploitation and maintenance of groundwater resources.

5. Six important references

- 1) Adimalla, N., & Qian, H. (2019). Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) for drinking purposes and human health risk (HHR) assessment in an agricultural region of Nanganur, south India. *Ecotoxicology and environmental safety*, 176, 153-161.

- 2) Das, C. R., Das, S., & Panda, S. (2022). Groundwater quality monitoring by correlation, regression and hierarchical clustering analyses using WQI and PAST tools. *Groundwater for Sustainable Development*, 16, 100708.
- 3) Dutta, N., Thakur, B. K., Nurujjaman, M., Debnath, K., & Bal, D. P. (2022). An assessment of the water quality index (WQI) of drinking water in the Eastern Himalayas of South Sikkim, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 17, 100735.
- 4) Masoud, A. M., & Ali, M. H. (2020). Coupled multivariate statistical analysis and WQI approaches for groundwater quality assessment in Wadi El-Assiuty downstream area, Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 172, 103982.
- 5) Soleimani, H., Nasri, O., Ojaghi, B., Pasalari, H., Hosseini, M., Hashemzadeh, B., ... & Feizabadi, G. K. (2018). Data on drinking water quality using water quality index (WQI) and assessment of groundwater quality for irrigation purposes in Qorveh&Dehgolan, Kurdistan, Iran. *Data in brief*, 20, 375-386.
- 6) Udeshani, W. A. C., Dissanayake, H. M. K. P., Gunatilake, S. K., & Chandrajith, R. (2020). Assessment of groundwater quality using water quality index (WQI): A case study of a hard rock terrain in Sri Lanka. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100421.

Conflict of Interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

ارزیابی کیفی آب زیرزمینی برای مصارف شرب بر اساس شاخص‌های کیفیت آب

سید محمدرضا حسینی وردنجانی^۱، مجتبی خوش‌روش^{۲*}، هاجر طاهری سودجانی^۳، مرضیه قهرمان شهرکی^۴، مسعود پورغلام آمیجی^۵

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

مقاله پژوهشی

چکیده

افزایش تقاضا برای آب منجر به بهره‌برداری بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت این منابع شده است. پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر عوامل محیطی و اقتصادی بسیار مهم است. شاخص‌های مربوطه، کیفیت آب را به عنوان یک عدد مشخص نشان می‌دهند تا نمایش مفیدی از کیفیت کلی آب برای یک هدف معین ارائه و همچنین درک مؤثری از اطلاعات کیفی آب را امکان‌پذیر نماید. هدف پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی شهرستان خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار بر مبنای شاخص‌های WQI و GWQI بر اساس موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) و استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) است. در این پژوهش ۲۸ نمونه از آب زیرزمینی (چاه) از نقاط مختلف در شهرستان خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ برداشت شده و ۱۰ پارامتر کیفی pH ، K ، HCO_3 ، TDS ، Ca ، Mg ، Na ، Cl و SO_4 مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. با استفاده از روش درون‌بابی وزن‌دهی عکس فاصله در منطقه مورد مطالعه، نقشه پهنه‌بندی شاخص‌های فوق تهیه شد. نتایج نشان داد که بر طبق شاخص‌های WQI و GWQI اکثر نمونه‌ها در طبقه با کیفیت قابل قبول قرار گرفتند. با بررسی همبستگی پیرسون بین شاخص‌های WQI و GWQI و پارامترهای مورد استفاده، مشخص شد، دو پارامتر TDS و EC با ضرایب $0/982$ و $0/989$ بیشترین میزان همبستگی را در سطح معنی‌داری یک درصد با شاخص WQI دارند. همچنین پارامترهای TDS و Ca با ضرایب $0/975$ و $0/979$ بیشترین همبستگی را با شاخص GWQI در سطح معنی‌داری یک درصد دارند. نتایج کلی این پژوهش، استفاده ترکیبی از GIS و شاخص‌های WQI و GWQI را در ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی و چگونگی توزیع مکانی آن‌ها درون محدوده مورد مطالعه جهت انتخاب منابع آب برای مصرف شرب، مفید و مؤثر نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: آب زیرزمینی، پهنه‌بندی، شاخص کیفیت آب، همبستگی.

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، mohammad.mrh2015@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (نویسنده مسئول)، Khoshravesh_m24@yahoo.com; M.khoshravesh@sanru.ac.ir

۳- دانش‌آموخته دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان و کارشناس آب و خاک، سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران. hajar_taheri2001@yahoo.com

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. m.ghahreman220@yahoo.com

۵- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. Mpourgholam6@ut.ac.ir



مقدمه

در طول یک قرن گذشته کمبود آب یک مسئله بسیار مهم در سطح جهان به دلیل تغییرات آب و هوایی، رشد جمعیت، شهرنشینی و کشاورزی متمرکز بوده است (Kundzewicz, 1997). آب‌های زیرزمینی به‌عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدید پذیر اکوسیستم به‌حساب می‌آیند و در مقایسه با آب‌های سطحی دارای مزیت‌های مختلفی مانند کیفیت بالاتر و آلودگی کمتر هستند. در اغلب موارد آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که آب‌های سطحی خیلی کم می‌باشند قابل‌دسترس هستند (Nas and Berkta, 2010; Shabbir and Ahmad, 2015). منابع آب زیرزمینی به‌طور متناوب برای اقدامات مختلفی از جمله فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی استفاده می‌شود. باین‌حال افزایش تقاضای جهانی برای آب منجر به بهره‌برداری بیش‌از‌حد از آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت این منابع شده است (Nordin et al, 2021). بنابراین پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر عوامل محیطی و اقتصادی بسیار مهم است (Das et al, 2022). عدم آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند مشکلاتی را برای مدیریت منابع آب از لحاظ وضعیت بهداشتی و سلامت مردم و هم‌چنین توسعه‌های مورد نیاز در هر منطقه ایجاد نماید، لذا آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی، تغییرات و کنترل آن یکی از نیازهای مدیریتی بوده و بسیار ضروری است.

در خصوص بررسی کیفی منابع آبی جهت مصارف مختلف در کشور و جهان مطالعات مختلفی صورت گرفته است. در تحقیقی در کشور پاکستان به ارزیابی اثرات آلودگی کوره‌های آجرپزی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی سه منطقه بلوچستان پرداخته شد. کیفیت آب زیرزمینی از طریق ۲۲ پارامتر فیزیکی و شیمیایی با استفاده از پروتکل‌های استاندارد ارزیابی شد. شاخص کیفیت آب زیرزمینی^۱ محاسبه شده نشان داد که آب منطقه مورد مطالعه از کیفیت پایینی برای مصارف آشامیدنی برخوردار است. علاوه بر این، آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تنها از نظر نسبت جذب سدیم و شاخص نفوذپذیری برای هدف آبیاری مناسب

تشخیص داده شد (Khalid, 2019). در تحقیقی در کشور هند به بررسی کیفیت آب آشامیدنی بخش Obulavaripalli Mandal, YSR district در منطقه مورد مطالعه، ۲۰ نمونه آب زیرزمینی و پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی جمع‌آوری شد، PH، EC، TDS، TH، قلیائیت کل (TA)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، کلرید (Cl)، سولفات (SO₄) و فلورید (F) آنالیز شدند. اطلاعات مربوط به شاخص کیفیت آب زیرزمینی نشان داد که ۳۰ درصد نمونه‌ها در سطح عالی، ۴۰ درصد نمونه‌ها در سطح خوب و ۳۰ درصد دیگر در سطح ضعیف قرار دارند (Prasad et al, 2019). قره‌محمدلو و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان فاروق برای هدف‌های آبیاری و شرب پرداختند. آن‌ها از آمار آنالیز شیمیایی مربوط به ۱۲ حلقه چاه در سال ۱۳۹۵ استفاده نمودند. نتایج نشان داد کیفیت آب دشت مورد مطالعه بر حسب دیاگرام شولر در رده خوب قرار می‌گیرد. در تحقیقی در جنوب هند به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص WQI جهت مصارف شرب پرداخته شد. در این مطالعه ۶۱ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حدود ۸۶ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی برای مصارف شرب کیفیت پایینی داشتند (Adialla and Qian, 2019). در تحقیقی در کشور بنگلادش ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص WQI پرداخته شد. در این تحقیق ۹۹ نمونه آب زیرزمینی از عمق گمانه و چاه‌های کم عمق در منطقه Monaragala، جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر کیفیت ضعیف هستند (Udeshani et al, 2020).

دولت‌کردستانی و همکاران (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش WQI و روش‌های زمین‌آماری در منطقه حوضه آبخیز سیلوه پرداختند. در این مطالعه ۱۴۵ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از نظر شرب ۱۰۰ نمونه‌ها کیفیت عالی، از نظر کشاورزی ۳۶/۹۴ کیفیت عالی، ۶۳/۰۴ کیفیت خوب و از نظر صنعت ۱۶/۹۱ کیفیت عالی و ۸۳/۰۹

^۱ Water Quality Index (WQI)

در آب به دلیل آلودگی صنایع چاپ و رنگرزی اطراف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ۴۰ درصد از نمونه‌های آب از نظر کیفیت برای مصارف آشامیدنی عالی، ۲۰ درصد از نمونه‌های خوب و ۴۰ درصد از نمونه‌های آب باقیمانده به دلیل مقدار بیش از حد آلاینده موجود در آب زیرزمینی، برای مصارف شرب و کشاورزی بسیار مضر خواهند بود (Shahnawaz et al., 2021). با توجه به تحقیقات انجام شده در سطح کشور و جهان، ضرورت ارزیابی کیفی منابع آب برای مصارف مختلف آشکار می‌شود. از طرفی با توجه به کاهش بارندگی‌ها، خشکسالی‌های متناوب اخیر، افت شدید سفره آب زیرزمینی در دشت‌های لرندگان، خانمیرزا و بروجن و افزایش روزافزون استفاده از آب‌های زیرزمینی کیفیت این منابع کاهش یافته است. از این رو، برای حفظ سلامت عمومی، ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا هدف این پژوهش، تجزیه و تحلیل وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی شهرستان خانمیرزا، لرندگان، بروجن، اردل و کیار بر مبنای شاخص‌های WQI و GWQI بر اساس معیارهای سازمان جهانی بهداشت (WHO) و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع در موقعیت بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویراحمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است. این استان در مجموع منطقه‌ای است کوهستانی در امتداد سلسله جبال زاگرس که از شمال غربی به طرف جنوب شرقی امتداد دارد. منطقه مطالعاتی در این تحقیق شهرستان‌های خانمیرزا، لرندگان، بروجن، اردل و کیار می‌باشند که موقعیت منطقه در شکل (۱) نشان داده شده است. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر طبق روش آمبرژه

کیفیت خوب دارند. Badeenezhad et al. (2020) به برآورد شاخص کیفی آب زیرزمینی و بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات آن‌ها در آب شرب شیراز پرداختند. آنها از ۳۵ حلقه چاه نمونه‌برداری و در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار دادند. نتایج نشان داد که بر مبنای شاخص WQI، ۵/۷ درصد نمونه‌ها در کیفیت عالی، ۶۵/۷ درصد کیفیت خوب و ۲۸/۶ درصد کیفیت ضعیف داشتند. در تحقیقی به تحلیل آماری چند متغیره و شاخص WQI برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه پایین دست وادی ال‌اسیوتی، صحرای شرقی، مصر پرداختند. در این مطالعه ۴۸ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری و از نظر ۱۲ پارامتر فیزیکوشیمیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که تقریباً ۵۴ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی جمع‌آوری شده با توجه به ۱۲ پارامتر اندازه‌گیری شده از کیفیت قابل‌قبولی برای مصرف انسانی برخوردار بودند (Masoud and Ali, 2020). در تحقیقی در کشور ترکیه به بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی و وضعیت بالقوه خطر بهداشتی ناشی از آن، با تعیین شاخص کیفیت آب WQI و شاخص کیفیت آب کشاورزی^۱ IWQI برای آب آشامیدنی و آبیاری در دشت سوهورت پرداخته شد. ۲۷ نمونه آب زیرزمینی در ماه می سال ۲۰۱۹ از چاه‌ها جمع‌آوری شد و مورد تجزیه و تحلیل فیزیکوشیمیایی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی در کلاس آب‌های عالی و خوب قرار دارند و برای آبیاری و شرب مناسب هستند (Varol et al, 2021).

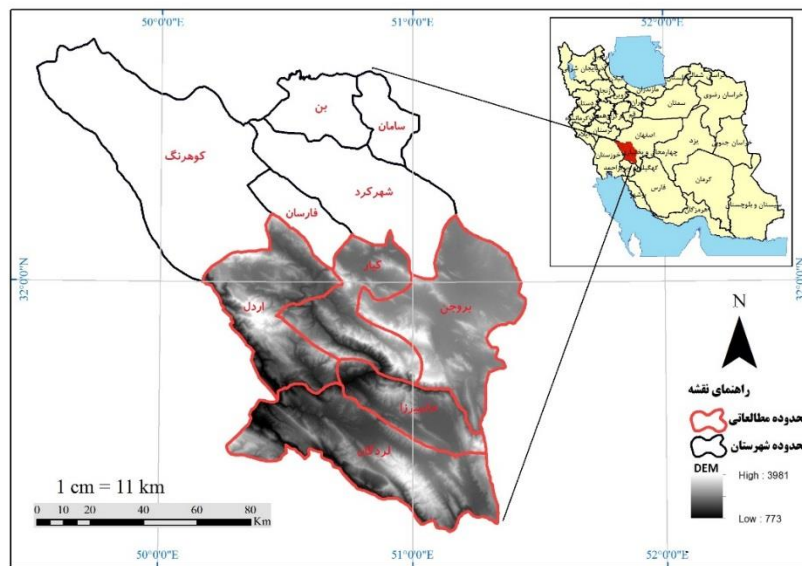
معمدی‌راد و همکاران (۱۴۰۰) به ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی پرداختند. نتایج نشان داد که از نظر آشامیدن و کشاورزی منابع آب مورد بررسی در رده مناسب قرار می‌گیرند. در تحقیقی در کشور هند و در منطقه هیمایا شرقی به ارزیابی WQI پرداخته شد. نتایج نشان داد که بر طبق شاخص فوق اکثر نمونه‌های مورد بررسی در طبقه عالی و خوب (۵۰-۰) قرار داشتند (Dutta et al, 2022). در تحقیق دیگری در کشور هند و ایالت راجستان به بررسی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی جهت مصارف شرب پرداخته شد. برای محاسبه شاخص کیفیت آب ۱۵ نمونه آب جمع‌آوری و برای اجزای مختلف موجود

¹ Irrigation Water Quality Index (IWQI)



قیس در شهرستان بروجن)، اقلیم نیمه مرطوب کمی سرد (شهرستان لردگان) و اقلیم نیمه مرطوب بسیار گرم (حاشیه رودخانه ارمند در شهرستان لردگان) می‌باشد (کریمی، ۱۳۷۱: chbmet.ir).

از خشک سرد در شهرستان‌های بروجن، اردل و کیار تا مرطوب در شهرستان‌های لردگان و خانمیرزا متغیر است. همچنین اقلیم محدوده مورد مطالعه به چهار قسمت اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد (سلمزار و ناغان در شهرستان کیار و بخش‌های مرکزی شهرستان بروجن)، اقلیم مرطوب معتدل سرد (بخش دیناران در شهرستان اردل و نواحی امام



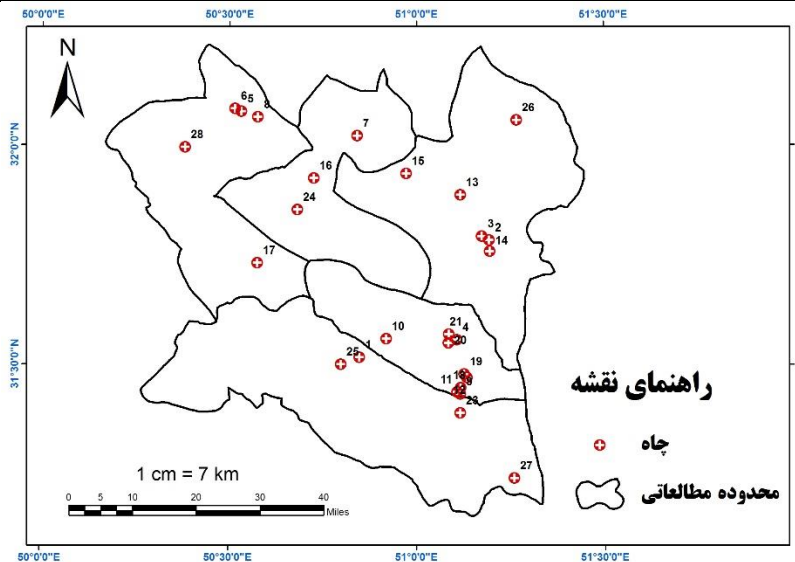
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

اقدام شود. در حال حاضر چاه‌های فوق دارای کاربری کشاورزی بوده‌اند. بنابراین با توجه به کمبود منابع آب، قابلیت نمونه‌های موجود، نسبت به پارامترهای اندازه‌گیری شده برای مصارف شرب مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۱) مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی نشان داده شده است.

در این پژوهش برای ارزیابی کیفی آب زیرزمینی برخی از مناطق استان چهارمحال و بختیاری جهت مصارف شرب بر مبنای شاخص‌های WQI و GWQI، از ۲۸ حلقه چاه در محدوده مطالعاتی در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نمونه‌برداری شد و مورد آنالیز قرار گرفت. پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری شده در محدوده مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است. به دلیل محدودیت عمق آبرفت، ذخیره دشت محدود است و برداشتهای بی‌رویه که نتیجه عدم رعایت و شناخت بیلان دشت بوده باعث افت شدید سطح آب در این دشت‌ها شده و علاوه بر کمیت، بر کیفیت آن نیز اثرگذار است. از طرفی در سال‌های اخیر خشک‌سالی‌های متناوب و کاهش بارندگی و نزولات جوی نیز بر افت سطح آب تأثیر چشمگیری داشته است. لذا ضرورت دارد با اعمال مدیریت صحیح نسبت به بازگشت وضعیت دشت‌ها در این مناطق

جدول (۱): مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی

| SO4 (ppm) | Cl (ppm) | HCO3 (ppm) | K (ppm) | Na (ppm) | Mg (ppm) | Ca (ppm) | PH | TDS (ppm) | EC (μ mho/cm) | پارامتر |
|-----------|----------|------------|---------|----------|----------|----------|------|-----------|---------------|---------------------|
| ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | تعداد نمونه |
| ۳/۳ | ۵۳/۰۷ | ۲۸۹/۳ | ۲/۱۸ | ۱۴/۵۵ | ۲۱/۹۴ | ۷۸/۵۱ | ۷/۷۴ | ۴۲۹/۳۱ | ۶۰۶/۱۸ | میانگین حسابی |
| ۵/۳۵ | ۲۹/۳۳ | ۱۳۷/۱ | ۱/۷۹ | ۹/۲۱ | ۱۱/۱۳ | ۳۴/۱۱ | ۰/۳۵ | ۲۳۸/۹۹ | ۲۹۰/۹۱ | انحراف معیار |
| ۱۶۲/۱۲ | ۵۵/۲۷ | ۴۷/۴۱ | ۸۲/۱۱ | ۶۳/۳ | ۵۰/۷۳ | ۴۳/۴۵ | ۴/۵۲ | ۵۵/۶۷ | ۴۷/۹۹ | ضریب تغییرات (درصد) |
| ۲۹/۲۸ | ۱۱۶/۴ | ۷۴۴/۸ | ۷/۰۲ | ۳۵/۲۸ | ۶۰/۷۲ | ۱۸۸ | ۸/۷۹ | ۱۲۲۵/۷ | ۱۵۷۷ | حداکثر |
| ۰/۰۵ | ۱۴/۵۶ | ۱۲۲/۶ | ۰/۳۹ | ۰/۲۳ | ۷/۰۸ | ۳۸/۶ | ۷/۱۵ | ۱۶۷/۲۸ | ۲۶۴ | حداقل |
| ۳/۸۴ | ۴۵/۸ | ۲۳۶/۷ | ۰/۷۸ | ۲۰/۹۳ | ۱۹/۸ | ۹۸/۶ | ۷/۸۲ | ۵۱۴/۳۱ | ۷۳۲ | مد |
| ۲/۱۶ | ۴۲/۷۸ | ۲۵۲/۸ | ۱/۵۶ | ۱۴/۸۴ | ۱۹/۹۲ | ۶۶/۸ | ۷/۸۱ | ۳۹۰/۶۲ | ۵۵۳/۵ | میانه |
| ۲۹/۲۳ | ۱۰/۱/۹ | ۶۲۲/۲ | ۶/۶۳ | ۵۳/۰۵ | ۵۳/۶۴ | ۱۴۹/۴ | ۱/۶۴ | ۱۰۵۸/۴ | ۱۳۱۳ | دامنه تغییرات |
| ۴/۵۱ | ۱/۰۸ | ۲ | ۱/۵ | ۰/۳ | ۱/۷۳ | ۱/۸۶ | ۰/۶۱ | ۱/۹۸ | ۱/۸۵ | چولگی |
| ۲۸/۶۴ | ۸۶۰/۲ | ۱۸۸۰/۹ | ۳/۲۲ | ۸۴/۷۷ | ۱۲۳/۹ | ۱۱۶۳/۶ | ۰/۱۲ | ۵۷۱۱۵ | ۸۴۶۳۰ | واریانس |



شکل (۲): پراکنش چاه‌های مورد بررسی در محدوده مورد مطالعه

بودن آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب در مناطق مختلف جهان استفاده می‌شود. برای هر یک از پارامترهای کیفیت آب با توجه به اهمیت نسبی آن در کیفیت کلی آب برای آب آشامیدنی، وزن‌های متفاوتی (W_i) در نظر گرفته شده است (Adimalla and Qian, 2019). در مرحله اول، پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده بر اساس اهمیت نسبی - شان در مجموع کیفیت آب، در نظر گرفته شدند. حداکثر وزن (۵) به دلیل اهمیت عمده آن در ارزیابی کیفیت آب و حداقل وزن (۱) برای اهمیت کمتر آن در نظر گرفته شده

بررسی کیفیت منابع آب جهت مصارف شرب با شاخص‌های WQI و GWQI شاخص WQI

شاخص WQI ابزاری مؤثر برای ارزیابی کیفیت کلی آب‌های زیرزمینی است (Adimalla and Venkataayogi, 2018). این شاخص اساساً تعداد زیادی از داده‌های کیفی آب زیرزمینی را به یک مقدار کاهش می‌دهد و همچنین درک مؤثری از اطلاعات کیفیت آب را امکان‌پذیر می‌کند. شاخص WQI اغلب برای تعیین مناسب



در مرحله بعدی برای محاسبه شاخص WQI از روابط (۳) و (۴) استفاده شد.

$$SI_i = W_i Q_i \quad (۳)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (۴)$$

که در این روابط SI_i زیر شاخص پارامتر i ام، Q_i نرخ کیفیت بر اساس پارامتر i ام می‌باشند (احمدی، ۱۴۰۰؛ اسماعیلی و حسین‌زاده، ۱۳۹۷).
بر اساس شاخص WQI، کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب به پنج طبقه کیفی تقسیم می‌شود که در جدول (۲) ارائه شده است (Sadat-Noori et al., 2014).

است (Vasanthavigar et al., 2010). وزن هر پارامتر از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (۱)$$

که در این روابط W_i وزن نسبی، w_i وزن هر پارامتر، n تعداد پارامترها می‌باشد.

در مرحله دوم، باتقسیم کردن مقدار هر پارامتر بر مقدار استاندارد آن (رابطه ۲) نرخ کیفیت محاسبه شد..

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (۲)$$

که در این رابطه C_i غلظت شیمیایی هر پارامتر در هر نمونه آب زیرزمینی، SI_i زیر شاخص پارامتر i ام است و Q_i رتبه‌بندی بر اساس غلظت پارامتر i ام می‌باشد.

جدول (۲): محدوده WQI برای مصارف شرب (Sadat-Noori et al, 2014)

| نوع آب | دامنه شاخص WQI |
|-----------|----------------|
| عالی | $50 <$ |
| خوب | ۵۰ تا ۱۰۰ |
| ضعیف | ۱۰۰ تا ۲۰۰ |
| خیلی ضعیف | ۲۰۰ تا ۳۰۰ |
| نامناسب | $300 >$ |

10.5 تهیه شده و موقعیت ۲۸ حلقه چاهی که نمونه‌برداری از آن منابع صورت گرفته بود به صورت لایه‌های وکتوری از نوع نقطه‌ای روی نقشه جانمایی و لایه‌های اطلاعاتی ترسیم شدند. سپس از روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) جهت پهنه‌بندی و ترسیم نقشه رستری، تغییرات مکانی شاخص‌های مورد بررسی در محدوده مطالعاتی استفاده شد. نحوه محاسبه روش IDW سریع و تفسیر نتایج حاصل از آن آسان می‌باشد (بانژاد و محب‌زاده، ۱۳۹۱).

روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)

این روش درونیایی یکی از معمول‌ترین روش‌های درونیایی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح درونیایی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت تأثیر هستند و هر چه فاصله از مبداء افزایش یابد اثر پارامتر کمتر می‌شود. در واقع در این روش برای هریک از نقاط اندازه‌گیری وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرند. سپس این

شاخص GWQI

این شاخص به عنوان روشی استاندارد در توسعه شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی در مرحله انتخاب و گزینش گروهی از پارامترهای کیفی آب با ماهیتی مشابه مورد تاکید قرار می‌گیرد و از رابطه (۱) به دست می‌آید (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰، عابسی و سعیدی، ۱۳۹۰).

$$GWQI = \sum_{i=1}^n W_i \frac{C_i}{S_i} \quad (۱)$$

که در این رابطه GWQI شاخص نهایی کیفیت آب زیرزمینی برای پارامترهای مورد نظر، n تعداد پارامترهای مورد استفاده که عبارتند از K ، pH ، TDS ، Ca ، Na ، Mg ، Cl ، SO_4 و C_i وزن نسبی هر پارامتر، C_{si} غلظت استاندارد آن پارامتر در استاندارد آب شرب (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) و WHO, 2017) می‌باشد.

برای تهیه نقشه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه، پلیگون مرز محدوده مطالعاتی در محیط نرم افزار ArcGIS

$$Z(X_i) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \frac{1Z(X_i)}{d_i^q}}{\sum_{i=1}^n X_i \frac{1Z}{d_i^q}} \quad (6)$$

که در این رابطه d_i فاصله بین نقطه تخمین تا هریک از نمونه‌های واقع در همسایگی آن، $Z(X_i)$ مقدار تخمین خاصیت مورد نظر در نقطه X_i ، $Z(X_i)$ مقدار مشاهده شده خاصیت مورد نظر در X_i و α عبارت است از توان عکس فاصله.

نتایج و بحث

شناخت کیفیت آب زیرزمینی به دلیل فاکتورهای اصلی آن برای استفاده مناسب از آب شرب ضروری است (Das et al, 2022). بر اساس اهمیت پارامترهای مختلف در کیفیت آب زیرزمینی در استفاده شرب و همچنین مطالعات انجام شده در این زمینه، وزن‌دهی پارامترهای مختلف صورت گرفته و در جدول (۴) بیان شده است.

جدول (۴): وزن اختصاص داده شده به هر پارامتر در منابع مختلف و میانگین آن‌ها

| HCO ₃ | SO ₄ | Cl | K | Mg | Na | Ca | EC | TDS | pH | کارهای انجام شده |
|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---|
| ۱ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۴ | ۳ | ۵ | ۵ | ۴ | احمدی، ۱۴۰۰ |
| ۳ | ۴ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۲ | ۴ | ۵ | ۴ | Masoud and Ali., 2020 |
| ۴ | ۴ | ۳ | * | ۲ | ۲ | ۲ | * | ۵ | ۴ | Badeenezhad et al., 2020 |
| ۳ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۲ | ۲ | * | ۵ | ۴ | Hosseini et al., 2018 |
| ۱ | ۵ | ۵ | ۲ | ۳ | ۴ | ۳ | * | ۵ | ۴ | Soleimani et al., 2018 |
| ۱/۸ | ۳/۶ | ۳/۴ | ۲ | ۲/۲ | ۳ | ۲/۴ | ۴/۶۷ | ۵ | ۳/۸ | میانگین گیری |
| ۰/۰۵۶ | ۰/۱۱۲ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۶۲ | ۰/۰۶۹ | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۷۵ | ۰/۱۵۶ | ۰/۱۵۶ | ۰/۱۱۹ | Wi |
| ۵۰۰ | ۲۵۰ | ۲۵۰ | ۱۲ | ۵۰ | ۲۰۰ | ۷۵ | ۱۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۶/۵-۸/۵ | (WHO, 2017) |
| - | ۴۰۰ | ۴۰۰ | ۱۲ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۳۰۰ | - | ۱۵۰۰ | ۶/۵-۸/۵ | موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) |

رابطه (۳) محاسبه و در نهایت شاخص WQI و GWQI محاسبه شد. مقادیر این شاخص‌ها در جدول (۵) بیان شده است.

اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همجوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آنها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند (Isaak and Srivastava, 1988). نتایج این روش از رابطه (۶) تخمین زده می‌شود:

جدول (۳): محدوده GWQI برای مصارف شرب (Sharma and Patel, 2010)

| نوع آب | دامنه GWQI |
|-----------|------------|
| عالی | ۲۵-۰ |
| خوب | ۵۰-۲۶ |
| ضعیف | ۷۵-۵۱ |
| خیلی ضعیف | > ۷۵ |

بعد از وزن‌دهی پارامترها مقدار Q_i از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در ادامه SI_i زیرشاخص پارامتر Q_i نیز از رابطه (۳) محاسبه و در نهایت شاخص WQI و GWQI محاسبه شد. مقادیر این شاخص‌ها در جدول (۵) بیان شده است.



جدول (۵): میزان شاخص‌های WQI و GWQI در نمونه‌های اندازه‌گیری شده بر اساس استانداردهای ISIRI و WHO

| شماره چاه | WQI_WHO | WQI_ISIRI | GWQI_WHO | GWQI_ISIRI |
|-----------|---------|-----------|----------|------------|
| 1 | 32/76 | 24/19 | 32/19 | 21/45 |
| 2 | 72/95 | 48/66 | 75/15 | 44/67 |
| 3 | 44/97 | 31/77 | 47/40 | 30/82 |
| 4 | 37/18 | 27/05 | 39/60 | 26/89 |
| 5 | 25/26 | 19/79 | 28/02 | 21/15 |
| 6 | 81/49 | 52/96 | 82/75 | 46/95 |
| 7 | 37/12 | 26/96 | 39/60 | 26/85 |
| 8 | 49/42 | 34/06 | 51/12 | 31/86 |
| 9 | 27/88 | 21/37 | 30/54 | 22/37 |
| 10 | 28/91 | 21/65 | 32/50 | 23/38 |
| 11 | 34/99 | 25/80 | 37/67 | 26/14 |
| 12 | 46/86 | 32/74 | 49/76 | 32/05 |
| 13 | 33/82 | 24/64 | 36/40 | 24/88 |
| 14 | 27/84 | 21/48 | 30/59 | 22/61 |
| 15 | 32/59 | 23/51 | 36/93 | 25/54 |
| 16 | 47/34 | 33/54 | 50/02 | 32/70 |
| 17 | 37/40 | 27/72 | 40/20 | 28/05 |
| 18 | 46/86 | 32/74 | 49/76 | 32/05 |
| 19 | 43/93 | 30/82 | 46/28 | 29/82 |
| 20 | 39/00 | 28/15 | 42/33 | 28/72 |
| 21 | 37/22 | 27/81 | 39/93 | 28/12 |
| 22 | 36/93 | 26/94 | 39/43 | 26/89 |
| 23 | 36/41 | 26/86 | 38/94 | 26/95 |
| 24 | 30/50 | 23/71 | 33/94 | 25/42 |
| 25 | 44/22 | 31/05 | 46/22 | 29/70 |
| 26 | 44/89 | 33/00 | 48/40 | 33/48 |
| 27 | 41/76 | 29/13 | 45/40 | 29/54 |
| 28 | 24/08 | 19/13 | 26/95 | 20/74 |

بزرگتر از ۷۵ نشان دهنده کیفیت ضعیف است و آن نمونه برای مصارف شرب نامناسب خواهد بود (Sharma and Patel, 2010).

بر طبق جدول (۶) بیشترین مقدار شاخص کیفیت آب GWQI برابر با ۸۲/۷۵ و کمترین آن برابر با ۲۰/۷۴ می‌باشد. با توجه به جدول اکثر نمونه‌ها برای هر دو استاندارد در طبقه با کیفیت عالی و خوب قرار دارند. در ادامه به بررسی ضرایب همبستگی پارامترهای مورد آزمون در این تحقیق و شاخص‌های WQI و GWQI با استفاده از نرم افزار SPSS20.0 پرداخته شد. ضرایب همبستگی پارامترهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه و شاخص WQI در جدول (۶) و شاخص GWQI در جدول (۷) ارائه شده است.

طبقه‌بندی WQI برای نقاط نمونه آب زیرزمینی در جدول (۳) ارائه شده است. اگر WQI کمتر از ۵۰ باشد، آب مورد نظر کیفیت عالی دارد. آبی با شاخصی بین ۵۰ تا ۱۰۰ کیفیت مناسب و خوبی را مشخص می‌کند. میزان شاخص در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ نشان دهنده کیفیت پایین آب و شاخص بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ و بیشتر، نشان دهنده کیفیت بسیار ضعیف است و این آب آشامیدنی نخواهد بود (Sadat-Noori et al, 2014). بر طبق جدول (۶) بیشترین مقدار شاخص کیفیت آب WQI برابر با ۸۱/۴۹ و کمترین آن برابر با ۱۹/۱۳ می‌باشد. در خصوص شاخص GWQI اگر این شاخص کمتر از ۲۵ باشد، آب مورد نظر در طبقه بسیار خوب قرار دارد. آبی با شاخصی بین ۲۶ تا ۵۰ کیفیت مناسب و خوبی را مشخص می‌کند. میزان شاخص در محدوده ۵۱ تا ۷۵ نشان دهنده کیفیت متوسط و شاخص

جدول (۶): ماتریس همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص WQI نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

| | pH | EC | K | Mg | HCO ₃ | TDS | Na | Ca | Cl | SO ₄ | WQI |
|------------------|---------|---------|--------|---------|------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|-----|
| pH | 1 | | | | | | | | | | |
| Ec | -0/368 | 1 | | | | | | | | | |
| k | -0/306 | 0/414* | 1 | | | | | | | | |
| Mg | -0/065 | 0/856** | 0/282 | 1 | | | | | | | |
| Hco ₃ | -0/067 | 0/893** | 0/347 | 0/876** | 1 | | | | | | |
| TDs | -0/360 | 0/988** | 0/405* | 0/851** | 0/871** | 1 | | | | | |
| Na | -0/052 | 0/505** | 0/141 | 0/319 | 0/557** | 0/469* | 1 | | | | |
| Ca | -0/271 | 0/968** | 0/416* | 0/824** | 0/928** | 0/948** | 0/613** | 1 | | | |
| Cl | -0/447* | 0/738** | 0/354 | 0/526** | 0/441* | 0/737** | 0/461* | 0/720** | 1 | | |
| So ₄ | -0/312 | 0/013 | -0/077 | 0/038 | -0/085 | -0/002 | -0/196 | -0/064 | 0/060 | 1 | |
| WQI | -0/301 | 0/989** | 0/459* | 0/872** | 0/8901** | 0/982** | 0/542** | 0/980** | 0/765** | -0/012 | 1 |

**معنی‌دار در سطح ۱ درصد - * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

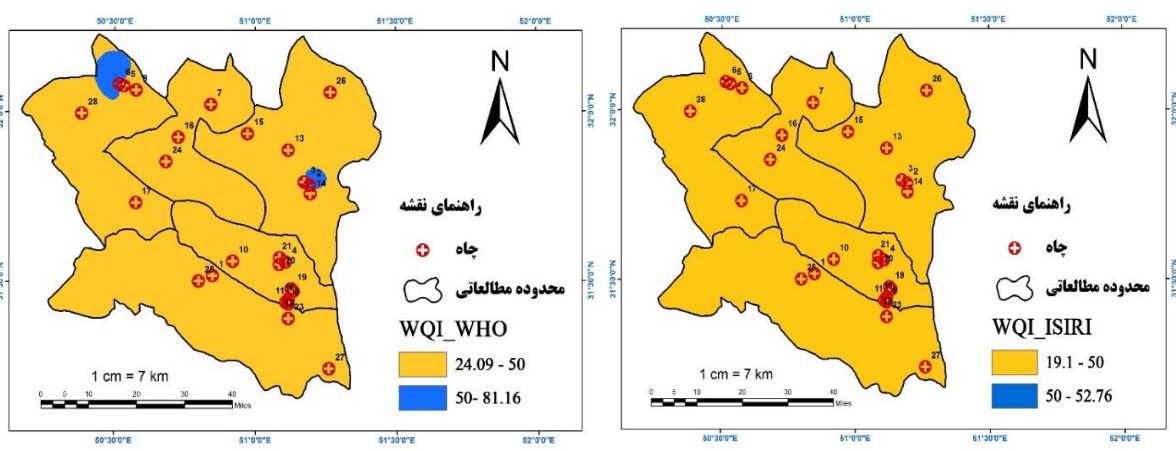
جدول (۷): ماتریس همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص GWQI نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

| | pH | k | Mg | TDS | Na | Ca | Cl | SO ₄ | GWQI |
|-----------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|------|
| pH | 1 | | | | | | | | |
| k | -0/306 | 1 | | | | | | | |
| Mg | -0/065 | 0/282 | 1 | | | | | | |
| TDS | -0/360 | 0/405* | 0/851** | 1 | | | | | |
| Na | -0/052 | 0/141 | 0/319 | 0/469* | 1 | | | | |
| Ca | -0/271 | 0/416* | 0/824** | 0/948** | 0/613** | 1 | | | |
| Cl | -0/447* | 0/354 | 0/526** | 0/737** | 0/461* | 0/720** | 1 | | |
| SO ₄ | -0/312 | -0/077 | 0/038 | -0/002 | -0/196 | -0/064 | 0/060 | 1 | |
| GWQI | -0/280 | 0/474* | 0/869** | 0/975** | 0/554** | 0/979** | 0/768** | -0/019 | 1 |

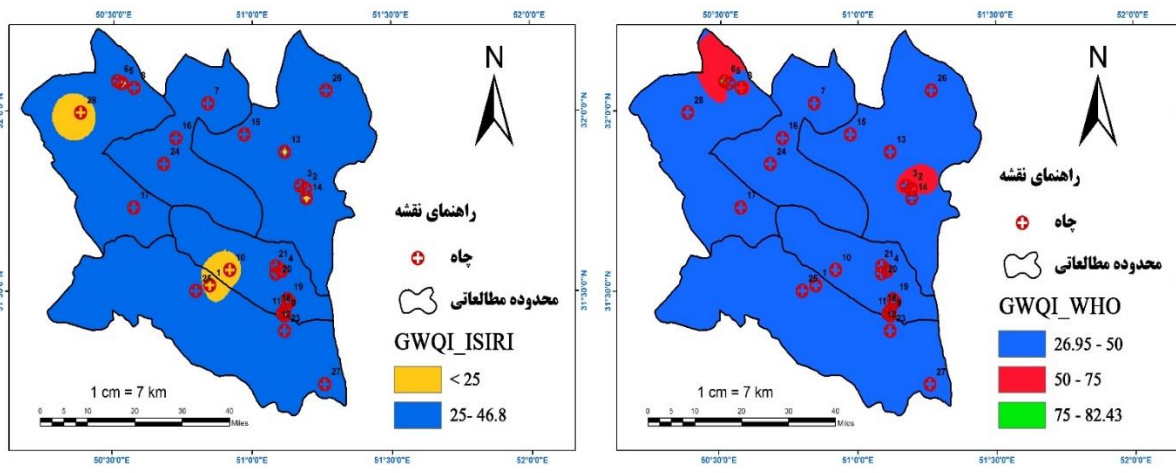
**معنی‌دار در سطح ۱ درصد - * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

مطالعه را نشان می‌دهد. بر طبق جدول فوق پارامترهای TDS، Ca، Mg و Cl با ضرایب ۰/۹۷۵، ۰/۹۷۹، ۰/۸۶۹ و ۰/۷۶۸ بیشترین همبستگی را در سطح یک درصد با شاخص GWQI دارند. همچنین هر دو شاخص WQI و GWQI با pH همبستگی منفی دارند و رابطه آنها معنی دار نمی‌باشد. میزان کلسیم با پارامترهای Mg و TDS به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۸۲۴، ۰/۹۴۸ رابطه معناداری دارند. همچنین Mg همبستگی بالایی با پارامتر TDS را در سطح یک درصد نشان می‌دهد. برای بهتر مشخص شدن تغییرات در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) نقشه تغییرات مکانی شاخص WQI و GWQI برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 ترسیم شد (شکل ۳ و ۴).

جدول (۶) ماتریس همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص WQI نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه را میان پارامترها نشان می‌دهد. بر طبق جدول فوق دو پارامتر TDS و EC با ضرایب ۰/۹۸۲ و ۰/۹۸۹ بیشترین همبستگی را با شاخص WQI در سطح یک درصد دارند که نشان‌دهنده وجود الگوی تغییرات مکانی یکسان و قوی با همدیگر و تاثیرگذاری این پارامترها در تعیین کیفیت آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی است. همچنین شاخص WQI با Ca و Mg و Cl در سطح اطمینان ۹۹ درصد همبستگی بالایی دارند. میزان کلسیم با پارامترهای EC، HCO₃ و TDS به ترتیب با ضرایب ۰/۹۶۸، ۰/۹۲۸ و ۰/۹۴۸ همبستگی معناداری دارد. همچنین Mg همبستگی بالایی با پارامتر EC را در سطح یک درصد نشان می‌دهد. جدول (۷) ماتریس همبستگی میان پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص GWQI نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده مورد



شکل (۳): نقشه تغییرات مکانی شاخص WQI با روش وزن دهی عکس فاصله



شکل (۴): ک نقشه تغییرات مکانی شاخص GWQI با روش وزن دهی عکس فاصله

است و مقادیر بیشینه شاخص در استاندارد جهانی ۸۲/۱۶ و در استاندارد ملی ۵۲/۷۶ محاسبه شده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی در شکل (۴) مشخص شد که مقدار شاخص GWQI بر طبق استاندارد WHO در بخش اعظمی از سطح منطقه مورد مطالعه در محدوده ۲۶ تا ۵۰ و در بخش اندکی از شرق و شمال غربی سطح مورد مطالعه در محدوده ۵۰ تا ۷۵ می‌باشد، همچنین این شاخص بر طبق استاندارد ISIRI در بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه در طبقه ۲۵ تا ۴۶ با کیفیت خوب و در بخش اندکی از مرکز سطح مورد مطالعه در طبقه کمتر از ۲۵ یا با کیفیت عالی می‌باشد. در مقایسه کلی برای مقادیر شاخص‌ها، نقشه های پهنه بندی نشان می دهند شاخص WQI نسبت به شاخص GWQI کلاس کیفی آب را ضعیف تر نشان می دهد. بنابراین می توان گفت استاندارد بهداشت جهانی با استفاده

آب زیرزمینی منبع قابل توجهی برای مصرف انسان است و حفظ آن از نظر کیفیت و در دسترس بودن برای نسل های آینده از اهمیت بالایی برخوردار است (Khalid, 2019). با توجه به نقشه های پهنه بندی شاخص WQI و GWQI می توان با وضوح بهتری مکان های مناسب را برای مصارف شرب مشخص نمود. درک وضعیت منابع آب زیرزمینی منجر به برنامه ریزی اصولی و مدیریت دقیق استفاده از این منابع می شود. با توجه به نقشه پهنه بندی در شکل (۳) در پهنه بندی شاخص کیفی WQI بر مبنای استاندارد جهانی WHO شاهد قرار گیری محدوده مطالعاتی در طبقه عالی و خوب خواهیم بود. بر مبنای استاندارد جهانی مقدار شاخص در بخش اعظمی از محدوده بین ۲۴ تا ۵۰ می باشد. کمترین مقدار شاخص در نقشه پهنه بندی WQI مطابق با استاندارد جهانی مقدار ۲۴ و بر مبنای استاندارد ملی ۱۹/۱۳ بوده

شرب مناسب است (Hagan et al, 2022). در تحقیقی در منطقه دیمپور ایالت ناگالند هند به ارزیابی فیزیکوشیمیایی و پایداری کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی با استفاده از روش همبستگی آماری و شاخص WQI پرداخته شد. بر اساس این تحقیق، TDS و EC دو پارامتر مهم فیزیکوشیمیایی هستند که کیفیت آب را تعیین می‌کنند (Pamei et al, 2022). پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی محدوده کل استان و در تعداد نمونه‌های بیشتر بررسی و از منابع آب سطحی و چشمه‌ها نیز نمونه‌برداری شده و از شاخص‌های دیگر جهت بررسی کیفیت منابع آب برای مصارف شرب استفاده شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به کاهش بارندگی‌ها، خشکسالی‌های متناوب اخیر، افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش چشم‌گیر منابع آب سطحی، بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی ضروری است. شاخص کیفیت آب به عنوان ابزاری ارزشمندی برای تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود تا بتوانند وضعیت کیفیت آب در یک منبع را درک کنند و فرصت تصمیم‌گیری مناسب برای استفاده بهتر در آینده را داشته باشند. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی برخی از مناطق استان چهارمحال و بختیاری جهت مصارف شرب بر مبنای شاخص‌های GWQI و WQI بر اساس استانداردهای تحقیقات صنعتی کشور و استاندارد WHO می‌باشد. نتایج نشان داد که بر طبق شاخص GWQI و WQI اکثر نمونه‌ها در طبقه با کیفیت مناسب قرار گرفتند. با بررسی همبستگی پیرسون بین شاخص‌های WQI و GWQI و پارامترهای مورد استفاده، مشخص شد که دو پارامتر TDS و EC با ضرایب $0/982$ و $0/989$ بیشترین میزان همبستگی را با شاخص WQI در سطح معنی داری یک درصد دارند. همچنین پارامترهای TDS و Ca با ضرایب $0/975$ و $0/979$ بیشترین همبستگی را با شاخص GWQI در سطح یک درصد دارند. این تحقیق و نتایج آن، استفاده ترکیبی از GIS و شاخص GWQI را در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی مناسب نشان داد. طبقه‌بندی کیفی آب با توجه به پارامترهای تحلیل شده و تعیین شاخص کیفی در سطح محدوده مطالعاتی می‌تواند

از متغیرهای بیشتر، حساسیت بالاتری در بررسی کیفی آب برای مصرف شرب قائل است. نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام شده در سایر نقاط کشور و دنیا همخوانی دارد. در تحقیقی ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص کیفیت آب و تکنیک GIS در حوضه رودخانه مدجو، اتیوپی مرکزی پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که بر طبق شاخص WQI، $3/23$ درصد و $93/54$ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی به ترتیب دارای کیفیت آب عالی و خوب هستند (Kawo and Karuppanan, 2018). در تحقیقی بهرامی و دستورانی (۲۰۱۹) به ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت سرایان با استفاده از شاخص کیفی WQI، در سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶ برای مصارف شرب پرداختند. نتایج نشان داد پمپاژ بیش از حد از آب‌های زیرزمینی چاه‌ها و عدم مدیریت مناسب در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۱ باعث کاهش کیفیت منابع آب گردیده است و اجرای طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب با هدف کنترل و مدیریت برداشت منابع آب و در نتیجه برقراری تعادل بین تغذیه و برداشت، کاهش برداشت و مدیریت مناسب در بهره‌برداری باعث افزایش کیفیت در سال ۱۳۹۶ شده است. جعفری و همکاران (۱۴۰۰) به ارزیابی کیفی منابع آب جهت مصارف شرب و کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز گاماسیاب، استان کرمانشاه) پرداختند. نتایج محاسبه شاخص‌های کیفیت آب نشان دهنده‌ی کیفیت عالی آب برای آب‌های سطحی و زیرزمینی این حوضه می‌باشد. نادری اشکفتکی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت فرادانبه برای استفاده در مصارف شرب و صنعت پرداخت. نتایج نشان داد که بر طبق دیاگرام شولر اکثر متغیرهای کیفی که در تعیین رده کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ قابلیت مصارف شرب تاثیرگذار هستند در رده خوب و قابل قبول قرار دارند و به همین دلیل کیفیت آب زیرزمینی اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مورد بررسی در رده خوب و قابل قبول قرار می‌گیرد و موردی برای مصارف شرب ندارد. در تحقیقی در کشور غنا به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در حومه شهری آکرا برای مصارف شرب و آبیاری پرداخته شد. در این مطالعه ۳۶ نمونه از آب زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای اهداف آبیاری و



نقشی ارزنده را در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. نتایج این مطالعه کمک می‌نماید تا تصمیم‌گیران با داشتن دیدی روشن با توجه به نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی، بتوانند در خصوص بهره‌برداری و نگهداری از منابع آب زیرزمینی برنامه‌ریزی جامع و مفیدی داشته باشند.

در شناسایی نقاط حساسی که دارای پتانسیل آلودگی هستند، کمک نموده تا منشأ گسترش آن را بیابند و نسبت به ریشه‌یابی و رفع مشکل، برنامه‌ریزی شایسته نمایند. توجه به اهداف توسعه پایدار و پهنه‌بندی مناسب با لحاظ نمودن کیفیت آب موجود از جمله مواردی هستند که در تغییر الگوی استقرار جمعیت و بهبود آن نقش دارند. بنابراین تهیه نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی،

منابع

- احمدی، ع. ۱۴۰۰. بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در دشت ورامین تهران. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره دوم، شماره ۱، ص ۲۶-۱۴.
- اسماعیلی، ر و م. م.، حسین‌زاده. (۱۳۹۷). ارزیابی و تحلیل پارامترهای شیمیایی در شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI) مطالعه موردی: جلگه ساحلی شهرستان نور، استان مازندران. جغرافیای طبیعی. دوره ۱۱ شماره ۴۱، ص ۶۳-۴۹.
- باززاد، ح و ح.، محب‌زاده. ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن- قهاوند برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی با استفاده از GIS. فضای جغرافیایی، جلد ۱۲ شماره ۳۸، ص ۹۹-۱۱۰.
- بهرامی، ف.، و م. م.، دستورانی. ۱۳۹۸. ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت سرایان با استفاده از شاخص کیفی WQI. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۳، شماره ۴، ص ۱۰۶۴-۱۰۷۴.
- جعفری، ن.، م. حافظ‌پرست و ب.، فرهادی. ۱۴۰۰. ارزیابی کیفی منابع آب جهت مصارف شرب و کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز گاماسیاب، استان کرمانشاه). مطالعات علوم محیط زیست، دوره ششم، شماره ۲، ص ۳۵۳۲-۳۵۲۵.
- حسینی، ه.، ع. شاکری، م. رضایی، م. دشتی برمکی و م.، شهرکی. ۱۳۹۷. کاربرد شاخص کیفیت آب (WQI) و هیدروژئوشیمی در ارزیابی کیفی آب سطحی، مخازن چاه نیمه استان سیستان و بلوچستان. سلامت و محیط‌زیست، دوره ۱۱، شماره ۴، ص ۵۸۶-۵۷۵.
- دولت کردستانی، م. ا. نوحه گر و س.، جانی‌زاده. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش WQI و روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سیلوه). مهندسی اکوسیستم بیابان، دوره ۸، شماره ۲۴، ص ۱۰۸-۹۵.
- عابسی، ع و م.، سعیدی. ۱۳۹۰. توسعه شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی در سطح استان قزوین. علوم محیطی، دوره ۸، شماره ۳، ص ۱۲۸-۱۱۷.
- قره محمودلو، م.، ع. حشمت‌پور، ن. جندقی، ع. زارع و ح.، مهرابی. ۱۳۹۸. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق برای هدف‌های آبیاری و شرب. علوم محیطی، دوره ۱۷، شماره ۳، ص ۱۰۶-۸۹.
- کریمی، م. ۱۳۷۱. آب و هوای اصفهان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی اصفهان. ۹۷ ص.
- معمدی راد، م.، ل. گلی مختاری، ش. بهرامی و م. ع.، زنگنه اسدی. ۱۴۰۰. ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲۱، شماره ۶۲، ص ۹۳-۷۳.
- نادری اشکفتکی، م.، م. ع.، نصر اصفهانی، ر. میرعباسی نجف‌آبادی، ر. فتاحی نافچی، و م.، نجفی. ۱۴۰۱. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سفیددشت برای استفاده در مصارف شرب و صنعت، چهارمین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد.
- Adimalla, N., & Qian, H. (2019). Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) for drinking purposes and human health risk (HHR) assessment in an agricultural region of Nanganur, south India. *Ecotoxicology and environmental safety*, 176, 153-161.



- Adimalla, N., Li, P., & Venkatayogi, S. (2018). Hydrogeochemical evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and integrated interpretation with water quality index studies. *Environmental Processes*, 5, 363-383.
- Badeenezhad, A., Tabatabaee, H. R., Nikbakht, H. A., Radfard, M., Abbasnia, A., Baghapour, M. A., & Alhamd, M. (2020). Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100435.
- chbmet.ir
- Das, C. R., Das, S., & Panda, S. (2022). Groundwater quality monitoring by correlation, regression and hierarchical clustering analyses using WQI and PAST tools. *Groundwater for Sustainable Development*, 16, 100708.
- Dutta, N., Thakur, B. K., Nurujjaman, M., Debnath, K., & Bal, D. P. (2022). An assessment of the water quality index (WQI) of drinking water in the Eastern Himalayas of South Sikkim, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 17, 100735.
- Hagan, G. B., Minkah, R., Yiran, G. A., & Dankyi, E. (2022). Assessing groundwater quality in peri-urban Accra, Ghana: implications for drinking and irrigation purposes. *Groundwater for Sustainable Development*, 17, 100761.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1988). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical geology*, 20, 313-341.
- Kawo, N. S., & Karuppanan, S. (2018). Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, central Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 147, 300-311.
- Khalid, S. (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14-26.
- Kundzewicz, Z. W. (1997). Water resources for sustainable development. *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), 467-480.
- Masoud, A. M., & Ali, M. H. (2020). Coupled multivariate statistical analysis and WQI approaches for groundwater quality assessment in Wadi El-Assiuty downstream area, Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 172, 103982.
- Naderi Eshkaftaki, M., Mirabbasi, R., Nasr Esfahani, M., A and Fatahi, R. 2022. Evaluation of the quality of groundwater in the Faradenbeh plain for use in drinking and industry, The fourth national hydrology conference of Iran shahrekord.
- Nas, B., & Berktaf, A. (2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental monitoring and assessment*, 160, 215-227.
- Nordin, N. F. C., Mohd, N. S., Koting, S., Ismail, Z., Sherif, M., & El-Shafie, A. (2021). Groundwater quality forecasting modelling using artificial intelligence: A review. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100643.
- Pamei, M., Hemso, B. E., & Puzari, A. (2022). Evaluation of the Physico-Chemical and the sustainability of ground and surface water quality using statistical correlation method and Water Quality Index in Dimapur District, Nagaland. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 18, 100699.
- Prasad, M., Sunitha, V., Reddy, Y. S., Suvarna, B., Reddy, B. M., & Reddy, M. R. (2019). Data on water quality index development for groundwater quality assessment from Obulavaripalli Mandal, YSR district, AP India. *Data in brief*, 24, 103846.
- Sadat-Noori, S. M., Ebrahimi, K., & Liaghat, A. M. (2014). Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 71, 3827-3843.
- Shabbir, R., & Ahmad, S. S. (2015). Use of geographic information system and water quality index to assess groundwater quality in Rawalpindi and Islamabad. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40, 2033-2047.

- Shahnawaz, H., Kirpalni, C., & Iqbal, M. A. (2021). Investigation & assessment on groundwater water quality index from sanganer tehsil jaipur (rajasthan). *Materials Today: Proceedings*, 42, 1732-1736.
- Sharma, N., and Patel, J.N. (2010). Evaluation of groundwater quality index of the urban segments of Surat City, India. *International Journal of Geology*, 1(4), 1-4.
- Soleimani, H., Nasri, O., Ojaghi, B., P Asalari, H., Hosseini, M., Hashemzadeh, B., ... & Feizabadi, G. K. (2018). Data on drinking water quality using water quality index (WQI) and assessment of groundwater quality for irrigation purposes in Qorveh&Dehgolan, Kurdistan, Iran. *Data in brief*, 20, 375-386.
- Udeshani, W. A. C., Dissanayake, H. M. K. P., Gunatilake, S. K., & Chandrajith, R. (2020). Assessment of groundwater quality using water quality index (WQI): A case study of a hard rock terrain in Sri Lanka. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100421.
- Varol, S., Şener, Ş., & Şener, E. (2021). Assessment of groundwater quality and human health risk related to arsenic using index methods and GIS: A case of Şuhut Plain (Afyonkarahisar/Turkey). *Environmental Research*, 202, 111623.
- Vasanthavigar M, Srinivasamoorthy K, Vijayaragavan K, Rajiv Ganthi R, Chidambaram S, Anandhan P, Manivannan R, Vasudevan S (2010): Application of Water Quality for Groundwater Quality Assessment: Thirumanimuttar Sub basin, Tamil Nadu, India. *Environ Monit Assess* 171(1-4):595-609.
- World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition.