

Research Paper

Assessment of Status, Processes, and Geochemical Sources of Aquifer Using Water Quality Index, Graphical Approaches, and Multivariate Statistical Analyses- A Case Study: Shabestar Plain

Mohammadreza Pashaeifar ¹, Reza Dehghanzadeh ², Mohammad Ebrahim Ramazani^{3*}, Omid Rafieyan³, Arezoo Nejaei³

1. Ph.D. Student, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Iran.

2. Ph.D., Professor, Health and Environment Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

3. Ph.D., Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Iran.

Received: 2021/05/11

Revised: 2022/01/06

Accepted: 2022/01/13

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2023.28012.2315

Keywords:

Groundwater, Drinking water, Water quality, Statistical analysis

Abstract

Introduction: Proper knowledge of groundwater geochemistry and identification of the risk factors for the aquifer system is very important to control and improve the management of groundwater resources in arid and semi-arid regions.

Methods: Sampled data during six years from 2014 to 2019 were used to assess the temporal variation of geochemical parameters of the wells in the study area. Water quality index (WQI), Piper diagram, Wilcox Diagram, and Gibbs Diagram were employed for evaluating the status of groundwater using sampled data in 2019.

Results: The results showed that the total hardness (TH) exceeded the standard value proposed by WHO for six years. The study area is categorized in a moderate range in terms of drinking water quality. Calcic-bicarbonate and temporary hardness (Ca-Mg-HCO₃) were obtained as the hydrochemical factor and type of the groundwater in most of the samples, respectively. A little salty and salty water were identified as the status of groundwater quality for agricultural purposes. Rock dominance was also determined as the controlling factor in groundwater of the study area. The results of multivariate statistical analyses indicated that wastewater, fertilizers, agricultural effluents, and geological structures were the most important sources of entering the hydrochemical parameters.

Conclusion: The results of this study indicated that anthropogenic activities, geology structures, and the effects of Urmia lake are the most important factors to the concentration of physicochemical parameters in the groundwater.

Citation: Pashaeifar M, Dehghanzadeh R, Ramazani ME, Rafieyan O, Nejaei A. Assessment of status, processes, and geochemical sources of aquifer using water quality index, graphical approaches, and multivariate statistical analyses- A case study: Shabestar plane. Water Resources Engineering Journal. 2023; 16(56): 15-30.

***Corresponding author:** Mohammad Ebrahim Ramazani

Address: Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Iran.

Tell: 09144145272

Email: ramazani@iaut.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Due to the arid and semi-arid climate, Iran is one of the most critical countries in the world in terms of water supply. In recent decades, mainly due to an increased water consumption, over-withdrawal of water resources, and the lack of optimal use of available water, the phenomenon of water shortage has appeared. Groundwater is an important resource in the supply of drinking, agricultural and industrial water and its monitoring is important in terms of water quality. The importance of groundwater as an alternative source has dramatically increased due to surface water pollution. Population growth, unplanned urban development, rivers mining, accumulation of polluted water in unsuitable areas, and use of chemical fertilizers in agriculture and industry increase harmful compounds and change in the number of physicochemical parameters in groundwater. Therefore, Proper knowledge of groundwater geochemistry and identification of the risk factors for the aquifer system is very important to control and improve the management of groundwater resources.

Methods:

In the present study, in order to evaluate the quality of groundwater in Shabestar plain, 38 groundwater wells were selected. Sampling was performed in 2019 and the values of hydrochemical water parameters from 2014 to 2018 were obtained from the regional water organization of East Azerbaijan province to evaluate the temporal changes of the parameters. Sampling of wells was performed at least half an hour after pumping and the samples were collected in 250 ml polyethylene container and stored at 4 ° C and then transferred to the laboratory for chemical analysis. The values of pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solid (TDS), sulfate (SO_4^{2-}), nitrate (NO_3^-), chloride (Cl^-), bicarbonate (HCO_3^-), fluoride (F^-), total hardness (TH), potassium (K^+), sodium (Na^+), magnesium (Mg^{2+}) and calcium (Ca^{2+}) were measured. Drinking Water Quality Index (WQI) was used to assess the quality

of groundwater for drinking. Wilcox analysis was employed to evaluate the water quality of the study area in terms of agricultural purposes. Piper diagram was applied to determine the type and chemical type of water. In this classification, groundwater divided into three facies based on cations including magnesium, calcium and sodium. According to anions groundwater was classified into three types including bicarbonate, sulfate and chloride. Gibbs diagrams based on $\text{Na} / (\text{Na} + \text{Ca})$ and $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{HCO}_3)$ versus TDS ratios were used to identify water chemistry inhibitory processes. For statistical analysis, Pearson correlation matrix and principal component analysis (PCA) method for stations were calculated and presented by SPSS software. In order to perform statistical analysis, the normality of the data is required and according to the Kolmogorov-Smerinov method, the normality of the data was confirmed.

Results:

According to the results, from 2014 to 2019, the values of all measured parameters except for TH are within the allowable range provided by the WHO standard. In addition, the average levels of NO_3^- and Cl^- in the last three years have increased compared to the first three years. The value of groundwater quality index (WQI) from 2014 to 2019 has changed in the range of 68.12 to 49.95, with an average of 57.65, which indicates medium quality during six years. The variation in the water quality index from 2014 to 2019 has decreased. It changed from the medium to the good quality in 2016. However, the value of the water quality index has increased in 2019. According to the regression of the results, which is in descending line, it can be seen that the groundwater quality for drinking purposes in Shabestar plain is improving. According to the Wilcox diagram, the majority of stations are in the C2S1 and C2S2 classes, with low salinity and almost suitable for agriculture. A number of stations were classified as C3S2, C3S3, and C2S3, indicating saline but usable water for agriculture. Seven stations were placed in classes C3S4 and C4S4, which indicate high sodium in the region as well as high EC, and indicate very salty and harmful water for

agriculture. The results of the cation type are chloride-bicarbonate, but the anion type is calcium-sodium. Anion and cation types are predominant in some stations without type. Due to the accumulation of stations on the left side of the diagram, the main type is temporary hardness (Ca-Mg-HCO₃), but in some stations there is a saline type (Na-Cl-SO₄) and in others without the dominant type. The results showed that groundwater quality is affected by the water-rock interaction. It can also be found that anions also show a slight tendency to evaporate and this can be due to the shallow depth of groundwater water table in the region. On the other hand, increasing the water level of groundwater that occurs due to irrigation can lead to the effect of evaporation in controlling the water chemistry of the region. The results of multivariate statistical analysis show that the use of chemical fertilizers, agricultural effluents, municipal wastewater, and geological structures are major sources of parameters. Spatial distribution maps of the parameters confirm the results of the correlation matrix and principal component analysis.

Conclusion:

Total hardness (TH) values over 6 years are higher than the permissible value recommended by WHO. The temporal assessment of WQI over six years indicated that the drinking water quality is improving. The drinking water quality was also in the medium range. Regarding the suitability of groundwater for agricultural purposes, it can be concluded that the status of water for irrigation is in an unsuitable condition and most stations were specified by low salinity or salinity water. The chemical type of water was obtained as temporary hardness (Ca-Mg-HCO₃) and the chemistry of groundwater in this area is affected by erosion and weathering of geological formations together with evaporation. The results of this study indicated that anthropogenic activities, geology structures, and the effects of Urmia lake are the most important factors to the concentration of physiochemical parameters in the groundwater.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Mohammadreza Pashaeifar, Reza Dehghanzadeh.

Methodology and data analysis: Mohammad Ebrahim Ramazani.

Supervision and final writing: Mohammad Ebrahim Ramazani, Omid Rafieyan, Arezoo Nejaei.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی وضعیت، فرایندها و منابع ژئوشیمیایی آبخوان با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی، روش های گرافیکی و تحلیل های آماری چند متغیره - مطالعه موردی: دشت شبستر

محمد رضا پاشایی فرا^۱، رضا دهقان زاده^۲، محمد ابراهیم رضانی^{۳*}، امید رفیعیان^۳، آرزو نجایی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

۲. دکتری تخصصی، استاد، گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

۳. دکتری تخصصی، استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

چکیده

مقدمه: شناخت صحیح ژئوشیمی آب های زیرزمینی و شناسایی عوامل خطر سیستم آبخوان، برای کنترل و بهبود طرح مدیریت منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مهم است. در تحقیق حاضر، وضعیت ژئوشیمیایی آب های زیرزمینی دشت شبستر در استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گرفت.

روش شناسی: در این راستا از داده های نمونه برداری شده در ۶ سال آب زیرزمینی از سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۸ جهت بررسی تغییرات زمانی پارامترهای ژئوشیمیایی چاه های منطقه استفاده شد. همچنین از داده سال ۱۳۹۸ و با استفاده از شاخص WQI، دیاگرام های پایپر، ویلکاکس و گیبس، وضعیت آب زیرزمینی منطقه بررسی شد. یافته ها و بحث: نتایج نشان داد که مقادیر سختی کل (TH) در طول ۶ سال از مقدار استاندارد سازمان جهانی بهداشت بیشتر است. منطقه مورد مطالعه به جهت کیفیت آب آشامیدنی به لحاظ میانگین در محدوده متوسط قرار گرفت. اکثریت نوع و رخساره کاتیون ها و آنیون ها کلسیک- بی کربناته بوده و تیپ شیمیایی آب از نوع سختی موقت (Ca-Mg-HCO₃) بدست آمد. به لحاظ مصارف کشاورزی وضعیت آب زیرزمینی در حالت شوری کم و یا شور می باشند. کیفیت آب زیرزمینی بر اساس دیاگرام گیبس تحت تاثیر واکنش آب و سنگ می باشد. نتایج آنالیز آماری چند متغیره نشان داد که مهمترین منشا ورود پارامترهای هیدروشیمیایی به آبخوان منطقه، فاضلاب، کود ها، پساب کشاورزی و ساختارهای زمین شناسی می باشند.

نتیجه گیری: وضعیت آب زیرزمینی دشت شبستر به جهت مصارف آشامیدنی در وضعیت مناسب و برای مصارف کشاورزی در وضعیت نامطلوب قرار دارد. تاثیر شوری دریاچه ارومیه در منطقه دیده می شود و افزایش پارامترهای ژئوشیمیایی تحت تاثیر فعالیت های انسانی و فعالیت های زمین زاد و دریاچه ارومیه قرار دارند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2023.28012.2315

واژه های کلیدی:

آب زیرزمینی، آب آشامیدنی، کیفیت آب، تحلیل آماری

* نویسنده مسؤل: محمد ابراهیمی رضانی

نشانی: گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

تلفن: ۰۹۱۴۴۱۴۵۲۲۲

پست الکترونیکی: ramazani@iaut.ac.ir

مقدمه

حفاظت از آب های زیرزمینی یک مسئله مهم زیست محیطی است که اثر کیفیت آب بر سلامتی انسان سال ها توجه بسیاری را برای مطالعه کیفیت آب های زیرزمینی در کشورهای در حال توسعه و برنامه ریزی برای حفاظت از آبخوان ها و طراحی منابع آب به خود جلب نموده است (الصباحی و همکاران، ۲۰۰۹). اهمیت آب های زیرزمینی به عنوان منبع جایگزین به طور فزاینده ای در پاسخ به افزایش هزینه و آلودگی آب های سطحی افزایش یافته است (بارکر و همکاران، ۱۹۹۸). کیفیت آب زیرزمینی به اندازه ی کمیت آن مهم می باشد. تغییرات در کیفیت آب زیرزمینی تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است که به شدت تحت تأثیر ساختار زمین شناسی منطقه و فعالیت های انسانی می باشد. ساختار خاک و کیفیت آب های سطحی در یک منطقه تعیین کننده ی ترکیبات و کیفیت آب زیرزمینی است. همچنین کیفیت شیمیایی آب های زیرزمینی بستگی به کیفیت آب در محل برداشت و همچنین فرایندهای ژئوشیمیایی که زیر زمین اتفاق می افتد، دارد. (راتو، ۲۰۱۰). افزایش رشد جمعیت، شهرسازی بدون طرح و برنامه، برداشت مصالح از رودخانه ها، انباشته شدن آب های آلوده در محل های نامناسب، استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی و صنعت باعث افزایش ترکیبات مضر و تغییر در مقادیر پارامترهای فیزیکی شیمیایی در آب می شوند (بریندها و همکاران، ۲۰۱۶؛ ازوگوا و همکاران، ۲۰۱۹؛ حق نظر و صانعی ۲۰۱۹؛ حق نظر و همکاران، ۲۰۲۰) از این رو کیفیت آب آشامیدنی در مکان های مختلف برای مصارف مختلف ضروری می باشد که با استفاده از شاخص های کنترل کیفیت و یا نمودارهای گرافیکی تعیین می گردد. (لاسن، ۲۰۱۱؛ سوجاتا، ۲۰۱۱). کشور ایران به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، از این لحاظ در زمره کشورهای بحرانی دنیا در زمینه ی تأمین آب می باشد و در دهه های اخیر، عمدتاً به علت افزایش مصرف آب از سویی، برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب (خصوصاً منابع آب زیرزمینی) از سویی دیگر و در نهایت عدم استفاده بهینه از آب در دسترس، پدیده کمبود آب در آن نمایان گردیده است. آب های زیرزمینی از منابع مهم در تأمین آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی می باشد و پایش آن به لحاظ کیفیت آب حائز اهمیت می باشد. در این راستا مطالعات گسترده ای در سطح جهان و از جمله ایران انجام شده است. مطالعه ای توسط باغوند و همکاران (۲۰۱۰) در بخش مرکزی ایران صورت گرفت که در این مطالعه کیفیت آب زیرزمینی یک آبخوان در نزدیکی دشت کویر انجام شده است. از جمله نتایج این مطالعه می توان به بالا بودن غلظت یون های کلرور، سولفات، سدیم و پتاسیم در محدوده ی مورد مطالعه اشاره کرد که مناسب برای شرب نمی باشد. همچنین گزارش شده است به علت بالا بودن میزان هدایت الکتریکی در این محدوده بیشتر چاه ها برای کشاورزی نیز مناسب نمی باشد. جمشیدی و میرباقری (۲۰۱۱) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در شهرستان کاشان پرداختند. با مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی گزارش شده است که بیشتر نمونه های آب غیرقابل شرب می باشند. با استفاده از نمودار پایپر در این مطالعه تیپ و رخساره آب به ترتیب کلروره و سدیک مشخص شده است. همچنین با استفاده از دیاگرام ویلکاکس

مشخص شد که ۵۳٪ از آب این منطقه مناسب برای کشاورزی می باشد. گیرویهوت و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از شاخص WQI به بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان Hantebet در اتیوپی پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات WQI برای نمونه های آب زیرزمینی، بین ۵۴/۴۱ و ۸۶/۲۴ درصد بوده و تمام نمونه های آب زیرزمینی در رده خوب قرار گرفته و برای اهداف شرب مناسب هستند. الحدیتی (۲۰۱۲) با استفاده از شاخص کیفیت آب به بررسی کیفیت آب حوضه Ratmao- Pathri Rao هندوستان پرداخت و نتایج نشان داد که ۴۸ درصد از نمونه های آب زیرزمینی در رده عالی، ۴۸ درصد در رده خوب و ۴ درصد در رده خیلی بد از نظر آشامیدن قرار دارند. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی کمی و کیفی آب زیرزمینی و نفوذ آب شور حوضه دامغان نشان دادند که افت سطح آب بین سال های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۰ بطور متوسط ۷/۴ متر بوده و به کمک دیاگرام م پایپر رخساره هیدروشیمیایی آب منطقه Na-Cl تعیین شد. همچنین همه نمونه ها در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی غیرقابل استفاده برای مصارف شرب شناخته شد. ربیعی (۲۰۱۸) به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی در استان سوهاگ مصر پرداخت. نتایج حاصل نشان داد که ۲۰ درصد از نمونه های آب زیرزمینی در سطح عالی هستند، ۷۵ درصد در سطح خوب، ۸ درصد دارای کیفیت پایین و ۱ درصد برای نوشیدن نامناسب بود. فرچیچی و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان دلتای در شمال شرقی تونس نشان داد که که میزان شوری به سمت خط ساحلی همراه با افزایش یون های Na و Cl که ممکن است مربوط به نفوذ آب دریا و انحلال سنگ های هالیت باشد رخ داده است. در بعضی نقاط، غلظت نیترات بالاتر مربوط به فعالیت های کشاورزی است که ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و آبیاری با فاضلاب تصفیه شده می باشد. همچنین آلودگی آب های زیرزمینی عمدتاً توسط نفوذ آب دریا (۷۵٪) و منبع انسانی (۲۱٪) می باشد. مطالعه ترابلسی و زوئری (۲۰۱۹) نشان داد که استفاده بیش از حد از کود شیمیایی باعث تغییر الگوی شیمیایی نمونه های آب زیرزمینی و افزایش مقدار نیترات در ۸۴٪ از چاه های واقع شده در منطقه آبی Takelsa در شمال شرقی تونس شده است. در مطالعه حاضر کیفیت آب زیرزمینی دشت شبستر از لحاظ مصارف کشاورزی و آشامیدنی بررسی شده است. همچنین با آنالیز آماری چند متغیره، منابع پارامترهای ژئوشیمیایی آب زیرزمینی شناسایی شده است. اهداف این تحقیق عبارتند از:

بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه جهت مصارف آشامیدنی و کشاورزی
تعیین پراکندگی مکانی پارامترهای ژئوشیمیایی در آب های زیرزمینی منطقه
تعیین منابع ورود پارامترهای ژئوشیمیایی به آبخوان در منطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

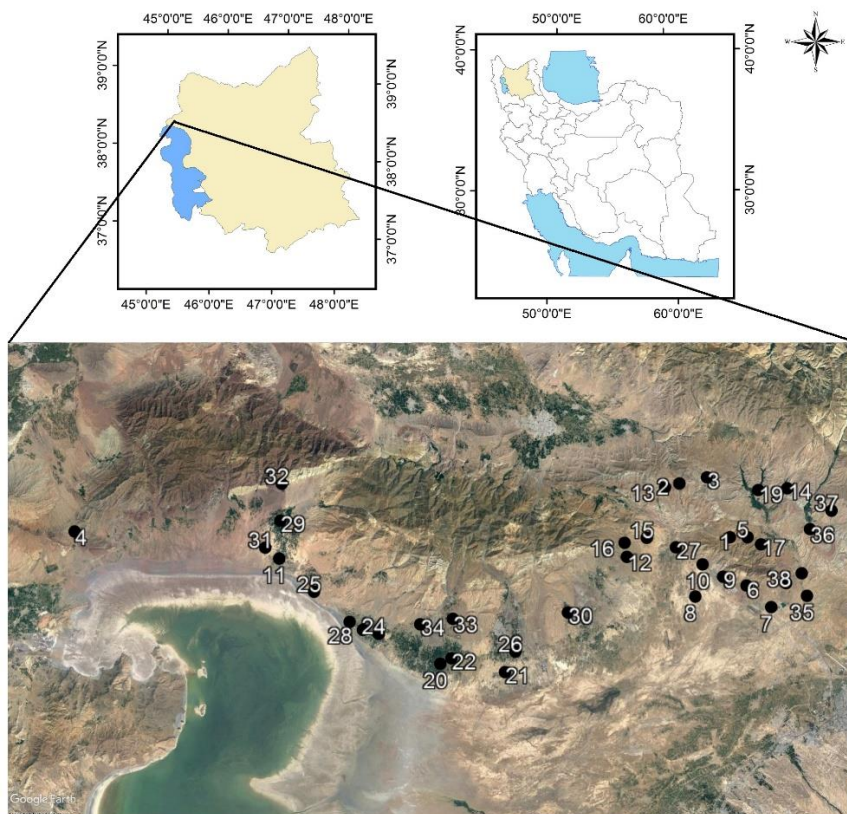
منطقه مورد مطالعه

در سال های اخیر سطح آب زیرزمینی در دشت شبستر بدلیل برداشت بی رویه برای فعالیت های کشاورزی به شدت کاهش یافته است.

روش تحقیق

در مطالعه حاضر به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی در دشت شبستر، مطابق شکل ۱، ۳۸ حلقه چاه آب زیرزمینی انتخاب شد. علت انتخاب این ایستگاهها براساس تاثیرپذیری از دریاچه و سهولت دسترسی جهت نمونه برداری می باشد. نمونه برداری در سال ۱۳۹۸ انجام شد و مقادیر پارامترهای هیدروشیمیایی آب از سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۷ جهت ارزیابی تغییرات زمانی پارامترها از آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی بدست آمد.

دشت شبستر در شمال غربی ایران و در استان آذربایجان شرقی در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه، ۴ دقیقه و ۴۸ ثانیه شمالی و ۴۶ درجه، ۱۷ دقیقه و ۳۱ ثانیه شرقی واقع شده است. دشت شبستر در ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریای آزاد داشته و در ۶۰ کیلومتری جنوب تبریز واقع شده است. کوه میشو با جهت شرقی- غربی با طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر مانند دیواری سرتاسر شمال منطقه را می پوشاند و این دشت را از شهرستان های مرند و خوی جدا می کند. میانگین بارش سالانه دشت شبستر حدود ۳۰۰ میلیمتر و این میانگین برای دمای سالانه در حدود ۱۱ درجه سانتیگراد است. بدلیل نزدیک بودن دشت شبستر به دریاچه ارومیه و عدم تعادل بین تبخیر و بارش در منطقه، مصرف آب در این ناحیه کاملاً وابسته به آب زیرزمینی است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری در دشت شبستر

تعیین وزن هر مولفه های آب زیرزمینی. دامنه وزن هر مولفه بین ۱ تا ۵ تغییر میکند؛ وزن ۱ برای مولفه ای است که کمترین اهمیت و وزن ۵ برای مولفه ای است که بیشترین اهمیت را در کیفیت آب زیرزمینی دارد. وزن نسبی از معادله ی زیر محاسبه می شود:

$$RW_i = \frac{W_i}{\sum W_i} \quad (1)$$

که در آن: RW_i : وزن نسبی هر مولفه، W_i : وزن هر مولفه و $\sum W_i$: مجموع وزن های n مولفه می باشد.

کیفیت نسبی (Q_i) برای هر مولفه بر اساس معادله زیر محاسبه می شود:

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

که در آن: C_i : غلظت یا مقدار هر در نمونه آب و S_i : استاندارد WHO برای همان مولفه است.

نمونه برداری از چاه ها حداقل نیم ساعت پس از پمپاژ انجام شد و نمونه ها در ظروف پلی اتیلن ۲۵۰ میلی لیتری جمع آوری و در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگه داری شده و سپس جهت انجام آنالیز های شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد و مقادیر پارامترهای pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل جامد محلول (TDS)، سولفات (SO_4^{2-})، نیترات (NO_3^-)، کلراید (Cl^-) بی کربنات (HCO_3^-)، فلوراید (F^-)، سختی کل (TH)، پتاسیم (K^+)، سدیم (Na^+)، منیزیم (Mg^{2+}) و کلسیم (Ca^{2+}) اندازه گیری شد.

کیفیت آب های زیرزمینی جهت شرب

برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای آشامیدن از شاخص کیفیت آب آشامیدنی (WQI) استفاده شد که مراحل آن به شرح زیر است (حق نظر و همکاران، ۲۰۲۲):

در نهایت شاخص کیفیت آب (WQI) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$WQI = \sum RW_i \times Q_i \quad (3)$$

وزن مولفه های مورد بررسی و طبقه بندی نوع کیفیت آب براساس شاخص WQI در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است:

جدول ۱- وزن مولفه های مورد بررسی در شاخص WQI

مولفه ها	pH	EC	TDS	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	TH	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	وزن
	۴	۴	۴	۵	۵	۴	۳	۵	۳	۲	۳	۲	۲	

جدول ۲- طبقه بندی کیفیت آب شرب براساس WQI

شاخص WQI	۲۵- <	۵۰-۲۶	۷۵-۵۱	> ۷۵
طبقه بندی کیفی آب	عالی	خوب	متوسط	ضعیف

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{0.5 \times (Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \quad (4)$$

مختصات مربوط به هر آب در منطقه ای قرار می گیرد که با حروف C از نظر شوری و S از نظر سدیم مشخص می گردد. مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می باشد. طبقه بندی ویلکاکس در جدول ۳ ارائه شده است. (فلاحی و همکاران، ۲۰۲۰)

جدول ۳- طبقه بندی آب زیرزمینی بر اساس روش ویلکاکس

کیفیت آب برای مصارف کشاورزی	طبقه بندی ویلکاکس
شیرین - کاملاً مناسب برای کشاورزی	C1S1
شوری کم - تقریباً خوب برای کشاورزی	C1S2-C2S2-C2S1
شور-قابل استفاده برای کشاورزی	C1S3-C2S3-C3S1-C3S2-C3S3
خیلی شور- نامناسب برای کشاورزی	C1S4-C2S4-C3S4-C4S4-C4S3- C4S2 -C4S1

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی

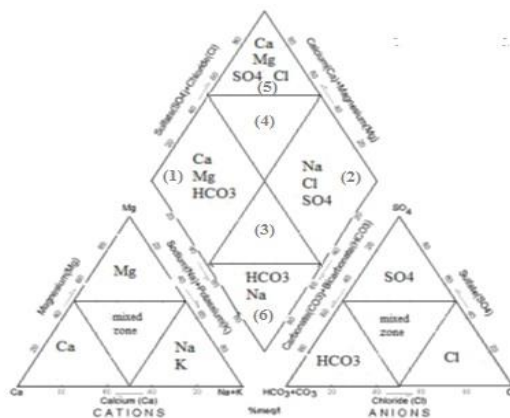
برای بررسی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی از تحلیل ویلکاکس استفاده شد. مهم ترین معیارهای کیفی در طبقه بندی آب از نظر کشاورزی، شوری (هدایت الکتریکی) و مقدار سدیم موجود در آن است. در نمودار ویلکاکس محور افقی به شوری آب (بر حسب میکرو موس بر سانتی متر و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد که از رابطه ۴ زیر بدست می آید:

ناحیه (۶) در تیپ کلیاییت کربنات می باشد (زارع گاریزی و همکاران، ۱۳۸۸).

نمودارهای گیبس که براساس نسبت های $Na/(Na+Ca)$ و $Cl/(Cl+HCO_3)$ در مقابل TDS ترسیم می شوند، از جمله نمودارهای پرکاربرد در زمینه ی شناخت فرآیندهای مهارکننده شیمی آب هستند. نمودارهای گیبس می تواند در شناسایی روند غالب کنترل فرآیندهای شیمیایی آب کمک کند. بر این اساس، عوامل کنترل کننده ی شیمی آنها، ریزشهای جوی، هوازدگی سنگها و تبخیر و تبلور معرفی شده اند (محمد و حسن، ۲۰۱۶)

تعیین تیپ و عوامل مهار کننده شیمی آب زیرزمینی

جهت تعیین نوع و تیپ شیمیایی آب از نمودار پایپر مطابق شکل ۲ استفاده میشود. در این طبقه بندی، آنها براساس کاتیون ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون ها به سه تیپ بی کربناته، سولفات و کلروره تقسیم بندی میشوند. در صورتی که ایستگاه ها در ناحیه میانی مثلث قرار بگیرند به عنوان ناحیه ترکیب شده شناخته شده و تیپ آن بصورت بدون تیپ غالب در نظر گرفته می شود. در قسمت لوزی، ناحیه (۱) در تیپ سختی موقت، ناحیه (۲) در تیپ شور، ناحیه (۳) و (۴) بدون تیپ غالب، ناحیه (۵) در تیپ سختی دائم و



شکل ۲- تیپ بندی آب زیرزمینی بر اساس دیاگرام پایپر

نتایج و بحث

تغییرات زمانی پارامترهای شیمیایی و کیفیت آب

زیرزمینی

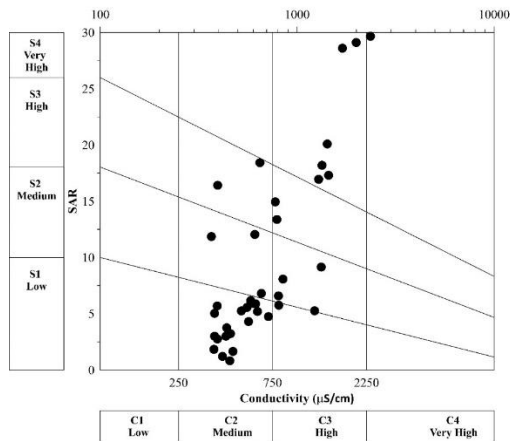
براساس نتایج بدست آمده، از سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۸، مقادیر همه پارامترهای اندازه گیری شده به جز TH در محدوده مجاز ارائه شده توسط استاندارد جهانی WHO قرار دارند. بر طبق جدول ۴ کمترین و بیشترین مقدار سختی کل در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ معادل ۲/۱۴ و ۲/۵۵ برابر مقدار مجاز می باشد. Mg^{2+} و Ca^{2+} در سال ۱۳۹۳ مقادیری بیشتر از حد مجاز و به ترتیب ۱/۹۲ و ۱/۸۱ برابر مقدار استاندارد بدست آمده است در حالی که مقادیر متوسط Mg^{2+} و Ca^{2+} در سال های بعد به ترتیب ۴ و ۲/۵ برابر کاهش یافته است. همچنین متوسط مقادیر NO_3^- و Cl^- در سه سال آخر نسبت به سه سال اول افزایش یافته است.

تحلیل آماری چند متغیره

جهت انجام آنالیز آماری، ماتریس همبستگی پیرسون و روش تحلیل مولفه های اصلی (PCA) برای ایستگاه ها توسط نرم افزار SPSS محاسبه و ارائه شده است. روش PCA تعداد متغیرها را بوسیله ترکیب دو یا چند متغیر به داخل یک فاکتور، کاهش میدهد. بنابراین کاربرد اصلی آن کاستن تعداد متغیرها و همچنین یافتن ساختار در ارتباط بین متغیرها میباشد. همچنین ماتریس همبستگی با محاسبه ضریب همبستگی ارتباط بین متغیرها را در سه سطح ضعیف (۰/۳-۰)، متوسط (۰/۵-۰/۷) و قوی (۰/۷-۱) نشان می دهد (حق نظر و همکاران، ۲۰۲۱a). جهت انجام تحلیل آماری نیاز به نرمال بودن داده ها است و با توجه به روش کلموگروف-اسمرینوف نرمال بودن داده ها تایید شد (حق نظر و همکاران، ۲۰۲۱b).

جدول ۴- تغییرات زمانی پارامترهای اندازه گیری شده آب زیرزمینی دشت شبستر

۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	WHO (2011)	
۷/۲۱	۷/۲	۷/۴	۷/۷	۷/۵	۷/۶	۶/۵ - ۸/۵	pH
۷۹۴/۲۱	۶۵۴/۶	۷۲۲/۲	۶۲۳/۸	۷۱۵/۵	۷۰۸/۸	۱۵۰۰	EC
۵۰۸/۲۹	۴۱۸/۴	۴۶۲/۲	۳۹۹/۳	۴۵۷/۹	۴۵۳/۷	۱۰۰۰	TDS
۶۶/۸۶	۶۱/۶	۵۷/۲	۵۹	۵۳/۷	۸۱/۲	۲۵۰	SO_4^{2-}
۱۳/۲۶	۱۳/۹	۱۳/۱	۹	۱۶/۳	۱/۳	۴۵	NO_3^-
۱۰۲/۲۴	۶۶/۶	۷۸/۱	۵۳/۱	۹۴/۴	۷۶/۸	۲۵۰	Cl^-
۲۳۲/۹۶	۲۱۴	۲۳۸/۷	۲۲۰/۱	۲۱۶/۳	۲۳۰	۵۰۰	HCO_3^-
۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۴	۱/۵	F^-
۲۵۵/۰۵	۲۲۸	۲۱۴/۷	۲۳۶/۱	۲۱۴/۱	۲۵۱/۳	۱۰۰	TH
۲/۸۸	۲/۵	۲/۷	۳/۱	۲/۸	۴/۷	۱۲	K^+
۶۵/۸۷	۴۵/۹	۶۶/۸	۳۴/۶	۶۷	۱۷۰	۲۰۰	Na^+
۲۶/۰۷	۲۲/۳	۲۰/۴	۲۵/۵	۲۲/۷	۹۶	۵۰	Mg^{2+}
۵۸/۳۳	۵۴/۴	۵۱/۸	۵۲	۴۸/۱	۱۳۶	۷۵	Ca^{2+}



شکل ۴- طبقه بندی آب زیرزمینی بر اساس روش ویلکاکس

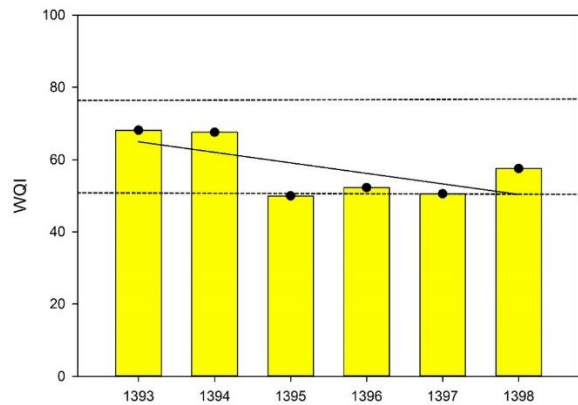
تعیین تیپ شیمیایی و عوامل مهارکننده شیمی آب زیرزمینی

با توجه به شکل ۵، نتایج حاصل از تیپ کاتیون ها کلروره و بی کربناته بوده اما تیپ آنیون ها بصورت کلسیک-سدیک می باشد. تیپ آنیون ها و کاتیون ها در تعدادی از ایستگاه ها، بدون تیپ غالب می باشد. بدلیل تجمع ایستگاه ها در سمت چپ لوزی، تیپ اصلی در دیاگرام لوزی، سختی موقت ($Ca-Mg-HCO_3$) بوده اما در برخی از ایستگاه ها تیپ شور ($Na-Cl-SO_4$) و در برخی دیگر بدون تیپ غالب نیز وجود دارند. با توجه به شکل ۶ مشخص شد که هم برای کاتیون ها و هم برای آنیون ها، کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر واکنش آب و سنگ می باشد. این امر نشان می دهد که شیمی آب های زیرزمینی در این ناحیه متأثر از فرسایش و هوازدگی تشکیلات زمین شناسی است. همچنین میتوان مشاهده نمود که آنیون ها تمایل اندک نیز به سمت تبخیر نشان می دهند و این امر می تواند ناشی عمق کم سطح ایستابی آب زیرزمینی در منطقه باشد. از طرفی افزایش سطح ایستابی آب زیرزمینی که به واسطه آبیاری اتفاق می افتند میتواند موجب تاثیر تبخیر در کنترل شیمی آب منطقه باشد. (رضایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۱۹).

ارتباط و منشا پارامترهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی

نتایج تحلیل مولفه های اصلی و ضرایب همبستگی پارامترهای آب زیرزمینی دشت شبستر جهت تعیین ارتباط و منشا پارامترهای هیدروشیمیایی در جدول ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج تحلیل PCA بیانگر چهار مولفه اصلی برای این شهرستان می باشد که به ترتیب ۴۹/۶، ۱۰/۸، ۸/۶ و ۷/۷ درصد از واریانس را مشخص می کند و ۷۶/۷ درصد از کل واریانس را شامل می شود. مولفه اول که مهم ترین مولفه است و بیشتر درصد را بخود اختصاص داده است شامل پارامترهای HCO_3 ، SO_4 ، Ca ، Mg ، EC ، TDS و TH است. این پارامترها میتواند مستخرج از ورود پساب و رواناب کشاورزی به منابع آب زیرزمینی دشت شبستر و همچنین ساختارهای زمین شناسی و عوامل

مقدار شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI) از سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۸ در محدوده ۶۸/۱۲ الی ۴۹/۹۵ تغییر کرده که میانگین شش سال برابر ۵۷/۶۵ می باشد که نشان دهنده وضعیت کیفیت متوسط در طول شش سال می باشد. بر اساس شکل ۳ تغییرات شاخص کیفیت آب از سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۸ بصورت کاهشی بوده و از وضعیت متوسط به مرز خوب در سال ۱۳۹۵ رسیده است اما در سال ۱۳۹۸ مقدار شاخص WQI افزایش یافته است. باتوجه به رگرسیون نتایج که بصورت خط نزولی است میتوان دریافت که وضعیت آب زیرزمینی در دشت شبستر رو به بهبود است.



شکل ۳- کیفیت آب شرب زیرزمینی بر اساس WQI

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی

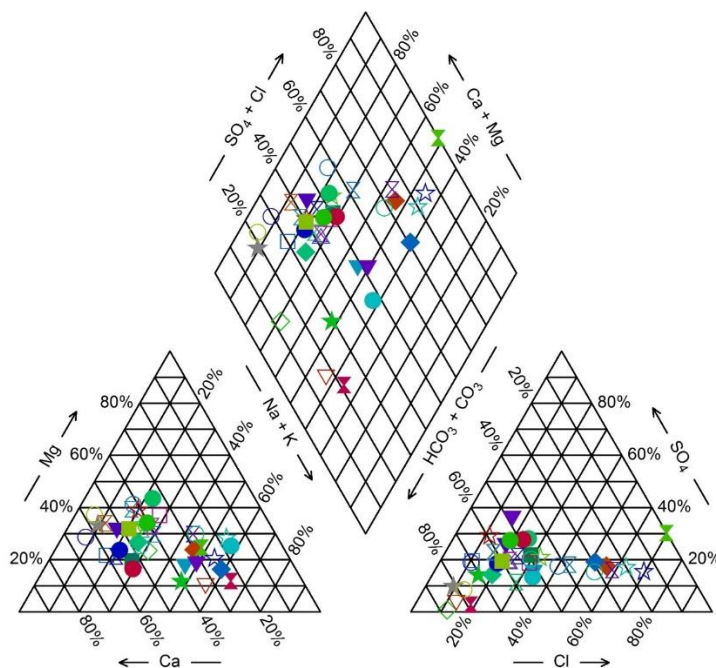
بر طبق دیاگرام ویلکاکس ارائه شده در شکل ۴ اکثریت ایستگاه ها در کلاس $C2S1$ و $C2S2$ قرار دارند که وضعیت آب با شوری کم و تقریباً مناسب برای کشاورزی است. تعدادی از ایستگاه ها در کلاس های $C3S2$ ، $C3S3$ و $C2S3$ قرار گرفتند که آب شور اما قابل استفاده برای کشاورزی را نشان می دهد. هفت ایستگاه در کلاس های $C3S4$ و $C4S4$ قرار گرفتند که نشانگر سدیم بالا در منطقه و همچنین EC بالا می باشد و بیانگر آب خیلی شور و مضر برای کشاورزی است. بطور کلی وضعیت آب زیرزمینی دشت شبستر از نظر مصارف کشاورزی در حالت مطلوب نبوده و اکثر ایستگاه ها دارای با شوری کم و یا شور می باشند. نتایج حاصل از روش ویلکاکس نشان میدهند که وضعیت آب زیرزمینی آبخوان های شهرستان شبستر مشابه نتایج حاصل از آبخوان های لنجانان و نجف آباد توسط ترابی پوده و همکاران (۱۳۹۸) و آبخوان های اردبیل توسط رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) می باشد.

ماتریس همبستگی نشان می دهد که رابطه EC و TH با SO₄، Cl، Ca و Mg بیانگر این است که این پارامترها از مهم ترین پارامترهای تعیین کننده مقدار EC و TH هستند. از طرفی همبستگی متوسط بین Cl و Mg وجود دارد که میتواند ناشی از ورود پساب های حاوی نمک و شوینده های حاوی MgCl₂ باشد (باب الحکمی و غلامی سفید کوهی، ۱۳۹۷: ۲۵۰). همبستگی Ca و Mg بیانگر انحلال کانیهای کلسیمی و منزیمی است و همبستگی قوی Mg و SO₄ را میتوان به استفاده از کودهای شیمیایی ارتباط داد (رضایی و صیادی، ۲۰۱۵). از طرفی همبستگی بین Mg با HCO₃ را میتوان به سازندهای فرسایش پذیر و واکنش آب با آنها نسبت داد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). مولفه دوم شامل Na، K، EC و TDS می باشد. همبستگی قوی EC با TDS میتواند به دلیل افزایش هدایت الکتریکی بر اثر املاح موجود در TDS باشد. همچنین همبستگی Na و K را میتوان به وجود سازندهای منطقه و انحلال کانی های سدیمی و پتاسیمی منطقه است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). مولفه سوم فقط شامل NO₃ بوده که میتواند ناشی از ورود فاضلاب شهری و یا پساب حاصل از کود شیمیایی به سفره آب زیرزمینی باشد (مظفری زاده و سجادی، ۱۳۹۳). مولفه چهارم شامل F و pH بوده که مرتبط با ساختار زمین شناسی منطقه و وجود کانی های فلئوئردار است (اغنیایی و همکاران، ۱۳۹۶).

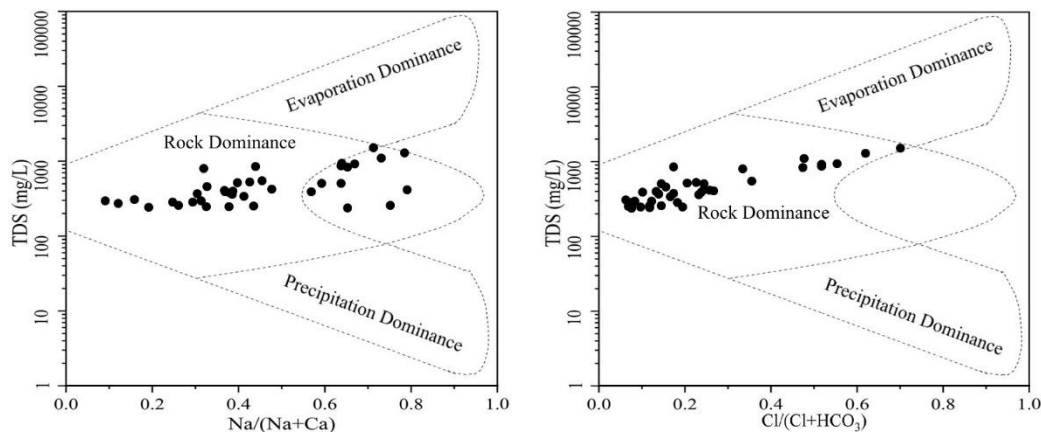
طبیعی باشد (باب الحکمی و غلامی سفید کوهی، ۱۳۹۷؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۵- مولفه های اصلی پارامترهای آب زیرزمینی شهرستان شبستر

پارامترها	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم
HCO ₃	+۰/۶۲۸	-۰/۲۴۱	-۰/۴۴۲	-۰/۰۵۸
NO ₃	-۰/۲۵۲	-۰/۰۲۷	+۰/۸۵۷	-۰/۰۱۹
SO ₄	+۰/۷۴۴	-۰/۳۵۶	-۰/۰۵۶	-۰/۲۹۸
Cl	+۰/۷۷۹	-۰/۲۶۳	-۰/۱۹۰	-۰/۲۶۷
F	-۰/۰۲۷	-۰/۳۵۷	-۰/۳۸۹	+۰/۷۳۶
Ca	+۰/۹۱۱	-۰/۲۱۰	-۰/۰۴۴	-۰/۰۸۰
Mg	+۰/۷۴۴	-۰/۲۵۹	-۰/۰۰۴	-۰/۲۸۳
Na	-۰/۲۲۳	+۰/۸۰۹	-۰/۱۸۶	-۰/۰۴۴
K	-۰/۳۰۱	+۰/۶۵۳	-۰/۳۶۸	-۰/۲۸۴
EC	+۰/۷۳۴	+۰/۵۰۸	-۰/۲۴۶	-۰/۰۷۷
pH	-۰/۱۴۹	-۰/۱۶۱	-۰/۲۰۹	+۰/۷۵۵
TDS	+۰/۵۰۱	+۰/۶۹۰	-۰/۱۰۰	-۰/۰۴۷
TH	+۰/۸۷۱	-۰/۰۸۴	-۰/۲۹۲	-۰/۰۵۶



شکل ۵- تیپ آب زیرزمینی دشت شبستر بر اساس دیاگرام پایپر



شکل ۶- عوامل کنترل کننده شیمی آب های زیرزمینی دشت شبستر

دوم شامل Na، K، EC و TDS می باشد. همبستگی قوی EC با TDS میتواند به دلیل افزایش هدایت الکتریکی بر اثر املاح موجود در TDS باشد. همچنین همبستگی Na و K را میتوان به وجود سازندهای منطقه و انحلال کانی های سدیمی و پتاسیمی منطقه است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). مولفه سوم فقط شامل NO₃ بوده که میتواند ناشی از ورود فاضلاب شهری و یا پساب حاصل از کود شیمیایی به سفره آب زیرزمینی باشد (مظفری زاده و سجادی، ۱۳۹۳). مولفه چهارم شامل F و pH بوده که مرتبط با ساختار زمین شناسی منطقه و وجود کانی های فلئوئوردار است (اغنیایی و همکاران، ۱۳۹۶).

ماتریس همبستگی نشان می دهد که رابطه EC و TH با SO₄، Cl، Ca و Mg بیانگر این است که این پارامترها از مهم ترین پارامترهای تعیین کننده مقدار EC و TH هستند. از طرفی همبستگی متوسط بین Cl و Mg وجود دارد که میتواند ناشی از ورود پساب های حاوی نمک و شوینده های حاوی MgCl₂ باشد (باب الحکمی و غلامی سفید کوهی، ۱۳۹۷: ۲۵۰). همبستگی Ca و Mg بیانگر انحلال کانیهای کلسیمی و منزیمی است و همبستگی قوی Mg و SO₄ را میتوان به استفاده از کودهای شیمیایی ارتباط داد (رضایی و صیادی، ۲۰۱۵). از طرفی همبستگی بین Mg با HCO₃ را میتوان به سازندهای فرسایش پذیر و واکنش آب با آنها نسبت داد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). مولفه

جدول ۶- ماتریس همبستگی پیرسون پارامترهای آب زیرزمینی شهرستان شبستر

	HCO ₃	NO ₃	SO ₄	Cl	F	Ca	Mg	Na	K	EC	PH	TDS	TH
HCO ₃	۱												
NO ₃	۰/۴۱۵	۱											
SO ₄	۰/۴۶۵	۰/۲۵۵	۱										
Cl	۰/۶۵۵	۰/۳۳۶	۰/۷۰۶	۱									
F	۰/۳۹۸	۰/۲۰۴	۰/۳۸۸	۰/۴۲۷	۱								
Ca	۰/۶۴۶	۰/۱۹۱	۰/۶۸۵	۰/۷۱۹	۰/۰۶۸	۱							
Mg	۰/۵۴۲	۰/۲۱۰	۰/۷۰۸	۰/۶۳۵	۰/۳۳۴	۰/۶۶۱	۱						
Na	۰/۲۸۹	۰/۲۹۲	۰/۴۷۱	۰/۳۳۸	۰/۲۲۰	۰/۳۶۶	۰/۳۸۴	۱					
K	۰/۲۶۸	-۰/۱۱۴	۰/۴۵۵	۰/۴۸۹	۰/۳۱۱	۰/۴۰۸	۰/۴۸۸	۰/۳۹۹	۱				
EC	۰/۶۸۶	۰/۳۹۵	۰/۷۷۱	۰/۷۳۵	۰/۳۰۳	۰/۷۶۳	۰/۶۴۸	۰/۶۶۵	۰/۳۸۲	۱			
pH	-۰/۰۸۷	-۰/۰۵۶	۰/۲۴۰	۰/۱۴۲	۰/۲۱۸	۰/۰۵۰	۰/۱۸۸	۰/۰۱۷	۰/۱۱۶	۰/۱۴۰	۱		
TDS	۰/۵۰۱	۰/۲۲۶	۰/۶۰۵	۰/۵۶۱	۰/۲۴۰	۰/۵۷۵	۰/۴۵۷	۰/۶۱۰	۰/۵۵۲	۰/۷۷۰	۰/۰۱۴	۱	
TH	۰/۵۸۳	۰/۴۷۶	۰/۷۰۷	۰/۷۴۴	۰/۱۲۸	۰/۷۴۹	۰/۶۳۸	۰/۳۸۱	۰/۱۸۷	۰/۷۰۲	۰/۰۲۹	۰/۵۲۴	۱

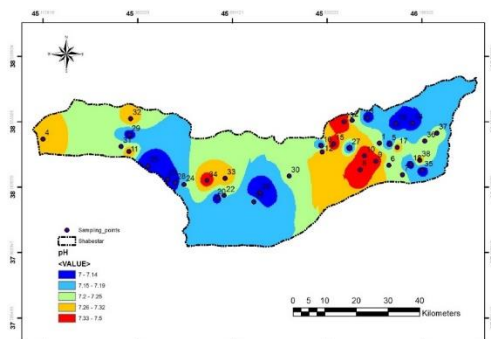
ارائه شده است. با توجه به شکل ۷، نتایج نشان میدهد که الگوهای توزیع مکانی SO₄، Ca، Mg، EC، TDS، Cl و TH مشابه هم بوده و حداکثر مقدار این پارامترها در ناحیه شرقی و غربی می باشد. با توجه به نتایج تحلیل مولفه های اصلی و ماتریس همبستگی میتوان دریافت که افزایش TH و EC در ناحیه شرقی و غربی تحت تاثیر پارامترهای SO₄، Ca، Mg و Cl قرار دارد. بدلیل همبستگی Mg با SO₄، Ca

بررسی تغییرات مکانی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی

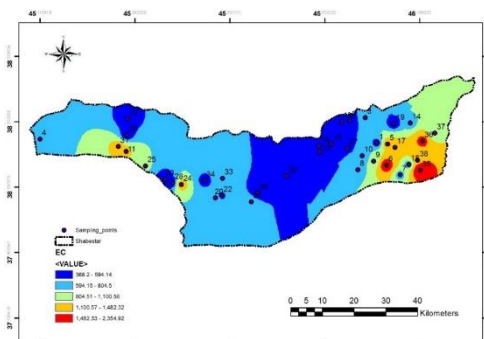
تغییرات مکانی پارامترهای در نظر گرفته شده در این تحقیق در ایستگاه های نمونه برداری در سال ۱۳۹۸ بصورت نقشه های کانتوری ارائه شده است. برای ترسیم نقشه ها از نرم افزار ArcGIS بهره گرفته شد. نقشه های مکانی برای پارامترهای هیدروشیمیایی و WQI در ذیل

است (اغنیایی و همکاران، ۱۳۹۶). توزیع پارامتر NO_3 متفاوت بوده و مقادیر آن در ناحیه مرکزی و سپس شرقی حداکثر می باشد. با توجه به اینکه نواحی شهری در این قسمتها واقع شده اند میتوان دریافت که این امر نشان دهنده تاثیر فاضلاب شهری و یا پساب کشاورزی بر افزایش نیترات در این ناحیه ها است(اسلامی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مظفری زاده و سجادی، ۱۳۹۳). نتایج شاخص کیفیت آب WQI نشان می دهد که بیشتر ایستگاه ها در محدوده متوسط قرار گرفته اند. در ناحیه شرقی در دو ایستگاه کاهش شدید کیفیت آب مشاهده می شود که وضعیت ضعیف را نشان میدهد. همچنین ناحیه غربی در دو ایستگاه از کیفیت خوبی برخوردار نمی باشد. بررسی نقشه های پراکنش پارامترها در منطقه نشان می دهد تاثیر شوری دریاچه ارومیه در منطقه دیده می شود و افزایش پارامترهای ژئوشیمیایی تحت تاثیر فعالیت های انسانی و فعالیت های زمین زاد و دریاچه ارومیه قرار دارند.

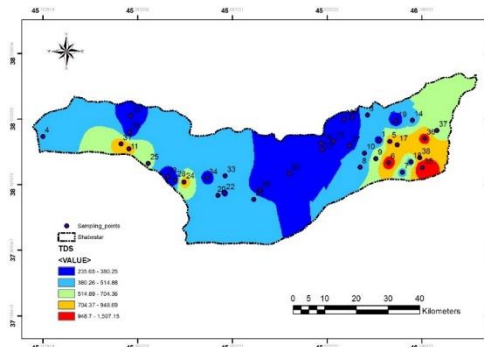
و Cl افزایش پارامترهای مذکور در نواحی شرقی و غربی را می توان به انحلال پساب های حاوی نمک های کلسیمی و منیزیمی و همچنین کودهای شیمیایی در این نواحی مرتبط دانست (باب الحکمی و غلامی سفید کوهی، ۱۳۹۷). پارامتر pH نیز شرایطی مشابه پارامترهای ذکر شده دارد اما تغییرات آنچنان محسوس نیست و در محدوده ۷ الی ۷/۵ می باشد. HCO_3 فقط در ناحیه غربی مقادیر زیادی را نشان می دهد که میتواند به علت فرسایش سازندها در این ناحیه و انحلال با آب زیرزمینی باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). توزیع مکانی پارامترهای Na ، K و F مشابه هم بوده و افزایش زیادی را در شرق دشت نشان میدهد و با توجه به همبستگی این دو پارامتر Na ، K و دور بودن منطقه شرقی دشت از دریاچه ارومیه، میتوان دریافت که علت افزایش Na ، K در این ناحیه سازندهای حاوی سدیم و پتاسیم می باشد. همچنین علت افزایش F در شرق منطقه ناشی از آزاد شدن فلوئور از سازندهای منطقه



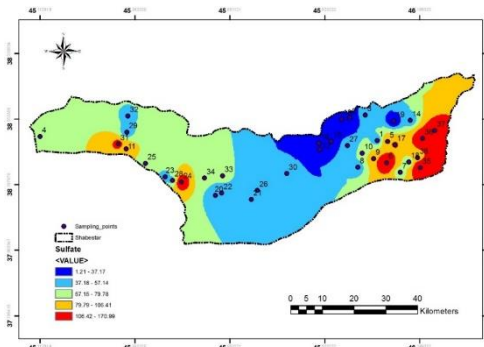
pH



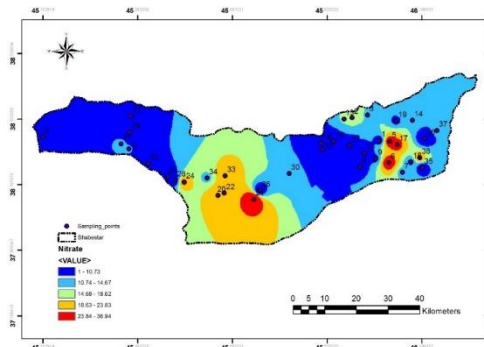
EC



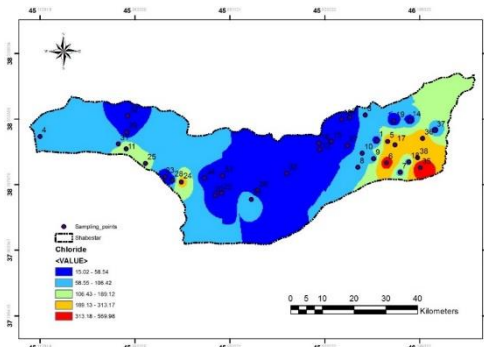
TDS



SO_4^{2-}

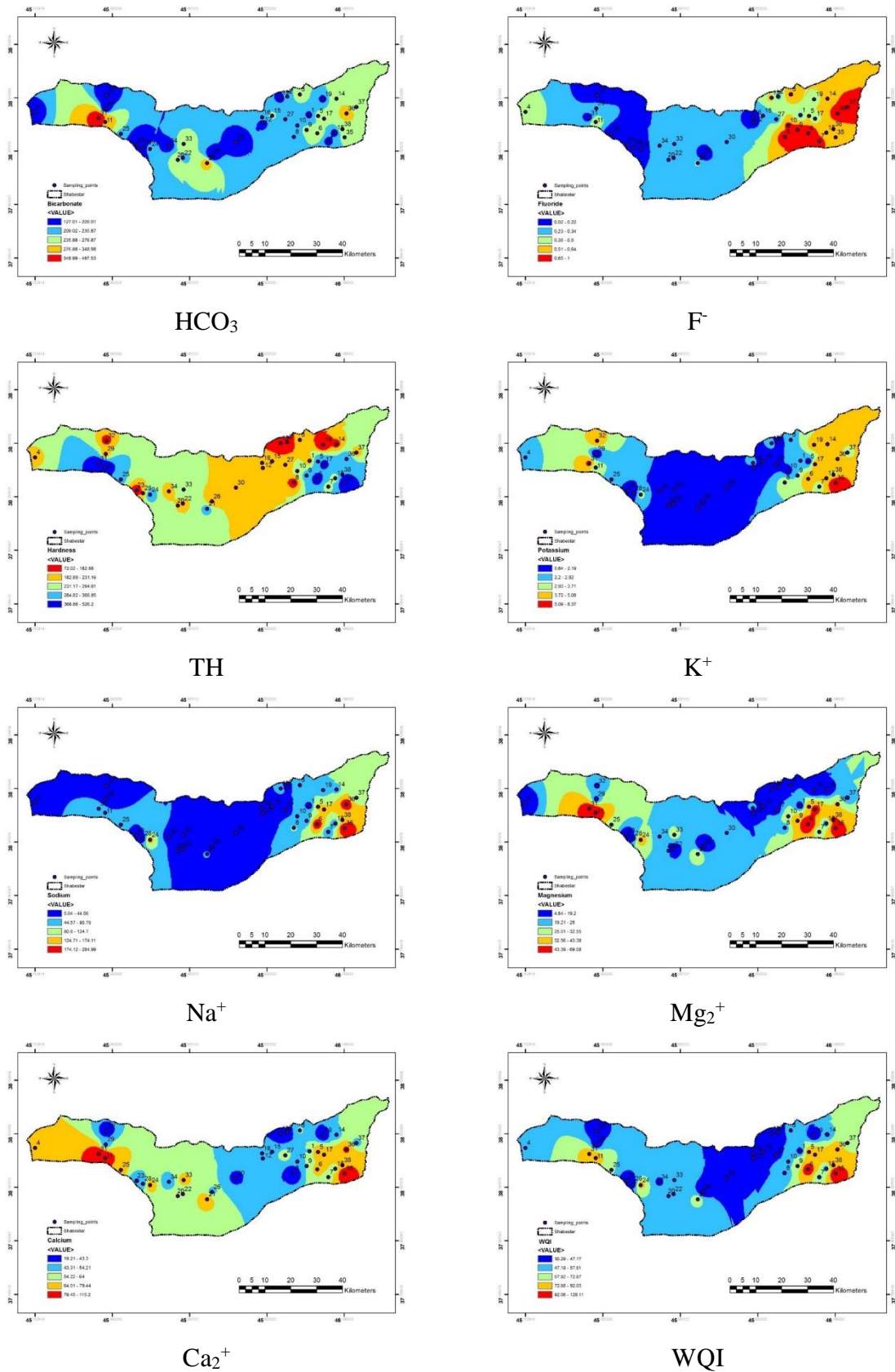


NO_3^-



Cl^-





شکل ۷- تغییرات مکانی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی در دشت شبستر

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، کیفیت آب زیرزمینی و فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر پارامترهای شیمیایی در آب های زیرزمینی دشت شبستر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از داده های نمونه برداری شده در ۶ سال آب زیرزمینی از سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۸ جهت بررسی تغییرات زمانی پارامترهای ژئوشیمیایی چاه های منطقه استفاده شد. همچنین از داده سال ۱۳۹۸ به منظور سایر ارزیابی ها استفاده شد. نتایج نشان می دهد که:

- مقادیر سختی کل (TH) در طول ۶ سال از مقدار مجاز سازمان جهانی بهداشت بیشتر است که نشان دهند تاثیر افزایش آنیون ها و کاتیون ها در افزایش سختی است.
- روند تغییرات WQI در طول ۶ سال نشان میدهد که وضعیت کیفیت آب آشامیدنی رو به بهبود است.
- نوع و رخساره کاتیون ها و آنیون ها در اکثریت ایستگاه ها کلسیک- بی کربناته بوده و تیپ شیمیایی آب از نوع سختی موقت (Ca-Mg-HCO₃) بدست آمد.
- در خصوص مناسب بودن آب شهرستان ها برای مصارف کشاورزی میتوان گفت که وضعیت آب کشاورزی در حالت نا مطلوب بوده و اکثر ایستگاه ها دارای آب با شوری کم و یا شور می باشند.
- شیمی آب های زیرزمینی منطقه متأثر از فرسایش و هوازدگی تشکیلات زمین شناسی بدست آمد.
- نتایج آنالیز آماری چند متغیره نشان می دهد که در منطقه مورد مطالعه استفاده از کودهای شیمیایی، ورود رواناب

کشاورزی، فاضلاب شهری و ساختارهای زمین شناسی از منابع مهم پارامترها می باشند.

- بر طبق الگوهای مکانی، فعالیت های انسانی و زمین زاد و دریاچه ارومیه به عنوان عوامل اصلی افزایش پارامترهای هیدروشیمیایی تعیین شدند.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: محمد رضا پاشایی فر، رضا دهقان زاده
روش شناسی و تحلیل داده ها: محمد ابراهیم رضانی
نظارت و نگارش نهایی: امید رفیعیان، آرزو نجایی

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

- 1- Aghniaei, F., Zarei, M., Asadi, S. (2017). Investigation of the Origin of Fluoride in Groundwater Resources in Southern Iran, Larestan, Sahara-i-Bagh. *Journal of Advanced Applied Geology*; 7(2): 38-48.
- 2- Al-Hadithi, M. 2012. Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Ratmao-Pathri Rao watershed, Haridwar District, India. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 3(6), 395-402.
- 3- Al-Sabahi, E., Rahim, S. A., Wan Zuhairi, W. Y., Al-Nozaily, F., Alshaebi, F. 2009. The characteristics of leachate and groundwater pollution at municipal solid waste landfill of Ibb City, Yemen. *American Journal of Environmental Sciences*, 5(3), 256-266.
- 4- Babolhakami, A., Gholami Sefidkouhi, M. A. (2019). Analyze of Talar River Water Quality using Multivariate Techniques. *Journal of Watershed Management Research*. 9 (18):250-259
- 5- Baghvand, A., Nasrabadi, T., Bidhendi, G. N., Vosoogh, A., Karbassi, A., Mehrdadi, N. 2010. Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. *Desalination*, 260(1-3), 264-275.
- 6- Barker, A. P., Newton, R. J., Bottrell, S. H., Tellam, J. H. 1998. Processes affecting groundwater chemistry in a zone of saline intrusion into an urban sandstone aquifer. *Applied Geochemistry*, 13(6), 735-749.
- 7- Brindha, K., Pavelic, P., Sotoukee, T., Douangsavanh, S., Elango, L. 2017.

- Geochemical characteristics and groundwater quality in the Vientiane Plain, Laos. *Exposure and Health*, 9(2), 89-104.
- 8- Ebrahimi, M., Kazemi, H., Ehtashemi, M., Rockaway, T. D. 2016. Assessment of groundwater quantity and quality and saltwater intrusion in the Damghan basin, Iran. *Geochemistry*, 76(2), 227-241.
- 9- Eslami, H., Tajik, R., Esmaeili, M., Esmaeili, A., Mobini, M. (2020). Assessment of the Quality of Rafsanjan Drinking Water Resources using Water Quality Index (WQI) Model in 2018: A Descriptive Study. *JRUMS*; 18 (10) :996-985
- 10- Ezugwu, C. K., Onwuka, O. S., Egbueri, J. C., Unigwe, C. O., Ayejoto, D. A. 2019. Multi-criteria approach to water quality and health risk assessments in a rural agricultural province, southeast Nigeria. *HydroResearch*, 2, 40-48.
- 11- Fallahati, A., Soleimani, H., Alimohammadi, M., Dehghanifard, E., Askari, M., Eslami, F., Karami, L. 2020. Impacts of drought phenomenon on the chemical quality of groundwater resources in the central part of Iran—Application of GIS technique. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), 64.
- 12- Ferchichi, H., Hamouda, M. B., Farhat, B., Mammou, A. B. 2018. Assessment of groundwater salinity using GIS and multivariate statistics in a coastal Mediterranean aquifer. *International journal of environmental science and technology*, 15(11), 2473-2492.
- 13- Gebrehiwot, A. B., Tadesse, N., Jigar, E. 2011. Application of Water Quality Index to Assess Suitability of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Hantebet watershed, Tigray, Northern Ethiopia, *Journal of Food and Agriculture Science*. 1(1): 22-30.
- 14- Haghazadeh, H., & Saneie, M. (2019). Impacts of pit distance and location on river sand mining management. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1463-1472.
- 15- Haghazadeh, H., Sangsefidi, Y., Mehraein, M., Tavakol-Davani, H. 2020. Evaluation of infilling and replenishment of river sand mining pits. *Environmental Earth Sciences*, 79(14), 1-18.
- 16- Haghazadeh, H., Hudson-Edwards, K. A., Kumar, V., Pourakbar, M., Mahdavianpour, M., & Aghayani, E. (2021a). Potentially toxic elements contamination in surface sediment and indigenous aquatic macrophytes of the Bahmanshir River, Iran: Appraisal of phytoremediation capability. *Chemosphere*, 285, 131446.
- 17- Haghazadeh, H., Pourakbar, M., Mahdavianpour, M., & Aghayani, E. (2021b). Spatial distribution and risk assessment of agricultural soil pollution by hazardous elements in a transboundary river basin. *Environmental monitoring and assessment*, 193(4), 1-17.
- 18- Haghazadeh, H., Johannesson, K. H., González-Pinzón, R., Pourakbar, M., Aghayani, E., Rajabi, A., & Hashemi, A. A. (2022). Groundwater geochemistry, quality, and pollution of the largest lake basin in the Middle East: Comparison of PMF and PCA-MLR receptor models and application of the source-oriented HHRA approach. *Chemosphere*, 288, 132489.
- 19- Jamshidzadeh, Z., Mirbagheri, S. 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination*; 270(1-3):23-30.
- 20- 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.
- 21-Lawson E. P. 2011. Hysico-chemical parameters and heavy metal contents of water from the Mangrove Swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Advances in biological research*. 5(1):8-21.
- 22-Mohamed, M. M., Hassane, A. B. 2016. Hydrochemistry assessment of groundwater quality in Al-Ain city, UAE. *Environmental Earth Sciences*, 75(4), 353.
- 23-Mohammadi, S., Maleki, A., Karimi, H., Zintizadeh, A.(2018). Qualitative analysis of karst springs in Kermanshah province using statistical and hydrochemical models (Case study: karst aquifer of Parav-Biston and Alvand basins). *Natural Geography*, 11 (40): 63-83.
- 24-Mozafarizadeh, J., Sajadi, Z. (2014). Survey of groundwater chemical pollution in the Borazjan plain. *Iran South Med J*; 17 (5) :927-937
- 25-Rabei, R.E., 2017. Assessment and modeling of groundwater quality using WQI and GIS in Upper Egypt area. *Environmental Science and Pollution Research*. 25 (31): 808-817.
- 26-Rahimi, M., Besharat, S., & Verdinejad, V. (2016). Quality evaluation of groundwater resources of Ardabil aquifer for agricultural and drinking uses. *Environment and Water Engineering*, 2(4), 360-375.
- 27-RAO, C. H. 2010. Assessment and mapping of ground water quality using geographical information systems. *ASSESSMENT*, 2(11), 6035-6046.
- 28-Rezaei, A., Sayadi, M. H. 2015. Long-term evolution of the composition of surface water from the River Gharasoo, Iran: a case study using multivariate statistical techniques. *Environmental geochemistry and health*, 37(2), 251-261.
- 29-Rezaei, M., Zivari, R., Ashjari, J., Kaboli, A. (2017). Geochemical processes affecting groundwater chemistry in Khosh_yailagh carbonate formation, north of Iran. *Journal of Environmental Studies*; 43(2): 219-231.
- 30-Sujata, S., Paul, M. K., Madhab, B. 2011. Study of some physico-chemical parameters of pond and river water with reference to correlation study. *International Journal of ChemTech Research*, 3(4), 1802-1807.
- 31-Torabipoudeh, H., Yonesi, H., Haghizadeh, A., & Arshia, A. (2020). Assessment of groundwater quality changes and evaluation of IRWQIGC in Lenjanat-Najafabad Aquifers area. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8(25), 53-66.
- 32-Trabelsi, R., Zouari, K. 2019. Coupled geochemical modeling and multivariate statistical analysis approach for the assessment of groundwater quality in irrigated areas: A study from North Eastern of Tunisia. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 413-427.
- 33-Zare Garizi, A., Bardi Sheikh, A., Saad Al-Din, A., Salman Mahini, A. (2010). Evaluation of chemical quality of surface water and study of its seasonal changes. *National Conference on Water Crisis Management*, Islamic Azad University, Marvdasht Branch.