

Research Paper

Hydro Geochemical Investigation of Groundwater in Miandoab Plain

Parisa Pashakhah¹, Hossein Babazadeh^{2*}, Shahram Shahmohammadi-Kalalagh³, Mahdi Sarai-Tabrizi⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 2021/12/06

Revised: 2022/01/31

Accepted: 2022/03/07

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2023.5829](https://doi.org/10.30495/wej.2023.5829)

Keywords:

Groundwater Quality, Interpolation, Langelier Index, Schoeller Method, Wilcox Method.

Abstract

Introduction: Knowing the spatial and temporal changes in groundwater quality is one of the important issues for optimal management of groundwater resources. In this study, the hydro geochemical properties of groundwater resources in Miandoab plain (West Azerbaijan province of Iran) were investigated

Methods: For this purpose, the data of 51 study wells during the time period (from 2014 to 2018) were used. The qualitative parameters such as the amount of Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} and the indexes such as TH (Total Hardness), TDS (Total Dissolved Solids), EC (Electrical Conductivity), SAR (Sodium Absorption Ratio) and pH were evaluated based on drinking, agriculture and industry water quality standards. Aquifer qualitative zoning maps were extracted by entering the descriptive layers obtained from the qualitative analysis in ArcGIS software and selecting the best interpolation method based on the validation technique.

Results: The groundwater hydro chemical analysis based on the drinking water standards of the Energy Ministry indicated that the groundwater of the plain is in a relatively acceptable condition. This was also obtained from groundwater analysis by the Schoeller method. It was found that the largest areas of this plain had saline groundwater, in terms of agriculture. Industrially, sedimentation in the plain was more pronounced than corrosion.

Conclusion: Results showed that the aquifer quality declined from 2014 to 2017 and improved in 2018. Zoning maps showed that Miandoab aquifer has better quality and condition in the feeding areas in terms of drinking, agriculture and industry. In other words, according to the geography of the plain, the aquifer feeding areas were less vulnerable than the areas located in the evacuation areas.

Citation: Pashakhah P, Babazadeh H, Shahmohammadi-Kalalagh SH, Sarai-Tabrizi M. Hydro Geochemical Investigation of Groundwater in Miandoab Plain. Water Resources Engineering Journal. 2023; 16(57): 1- 18.

***Corresponding author:** Hossein Babazadeh

Address: Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tell: +989126990105

Email: h_babazadeh@srbiau.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Groundwater quality is an important environmental issue that must be analyzed in terms of its spatial distribution. On the other hand, proper management of groundwater resources in Miandoab plain is very important and necessary, because about half of the surface flows entering Lake Urmia and about 20 percent of the total groundwater withdrawals in this watershed belong to this plain. Therefore, the main purpose of this study is to analyze hydro geochemical zoning maps of Miandoab plain that have been extracted by ArcGIS software for agricultural, drinking and industrial uses.

Materials and Methods

Alluvial aquifer of the Miandoab plain is the largest aquifer of the Lake Urmia watershed and the fourth most fertile plain in the country. Its Geographical location is $36^{\circ} 50'$ to $37^{\circ} 15'$ eastern Longitude and $45^{\circ} 50'$ to $46^{\circ} 15'$ northern Latitude. This zone is located in the northwestern part of Iran, inside the Lake Urmia watershed.

In order to study the hydro geochemical quality of the groundwater resources in the Miandoab plain, the statistics and quality data of the 51 wells from the groundwater monitoring network during the time period (from 2014 to 2018) were used, which were collected by the Regional Water Company of West Azerbaijan Province. Due to incompleteness or the lack of data collection in the final years of the study period, the most complete data (from 2014 to 2017) were evaluated. The amount of Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , CO_3^{2-} and the indicators such as TH (Total Hardness), TDS (Total Dissolved Solids), EC (Electrical Conductivity), SAR (Sodium Absorption Ratio) and pH were analyzed as qualitative parameters.

In this study, the aquifer quality parameter's changes in comparison with quality standards related to drinking water, agriculture, sedimentation and corrosion were investigated. In order to extract the zoning maps, the interpolations by Kriging method and the inverse distance weighting (IDW) were performed. In order to evaluate

and validate the interpolation methods, the cross-validation technique was used. To determine the best interpolation method for drawing the qualitative parameters map, RMSE and ME indices were used as error criteria and r index as correlation coefficient. Then, a qualitative zoning map was extracted by using ArcGIS software, for each of the effective parameters in each of the water quality classification methods. Finally, the final groundwater quality map of the plain for drinking, agriculture and industry uses was obtained by overlapping the maps.

Results

Analysis of various hydro chemical parameters showed that three parameters (TDS, Cl^{-} and SO_4^{2-}) of the five evaluated parameters in the standard table of the Energy Ministry had three classes; desirable, permissible and undesirable. But the other two parameters (TH and Mg^{2+}) had two classes; permissible and undesirable, during all studied years. Accordingly, the groundwater quality was in good condition in terms of Cl^{-} (62%), SO_4^{2-} (20%) and total soluble solids (7%). The amount of Mg^{2+} was permissible and undesirable in 58% and 42% of cases, respectively. The TH index was most undesirable in 96% cases with the lowest allowable level. Also, qualitative analysis of the aquifer groundwater based on the Schoeller method showed that during the statistical time period, five and six different quality conditions, in terms of drinking, have been conducted, respectively for time periods from 2014 to 2016 and from 2017 to 2018. The region's groundwater was in the desirable situation with the highest percentage in all studied years. Also the desirable, bad, temporarily drinkable, good and non-drinkable situations had occurred with decreasing percentages, respectively.

To analyze the region's groundwater situation in terms of agriculture, all available data of the plain were classified using Wilcox diagram classes. The results showed that the saline water had the highest frequency but the drinking water did not have a percentage during the studied time period. Also, the frequency of low and high saline water was below 10% and 50%, respectively. The groundwater quality evaluation results

showed that there was no corrosion and the plain had low to very high sedimentation in 2014 and 2017, in terms of industry. But, there were all four sedimentation situations in addition to corrosion in 2015, 2016 and 2018.

Conclusion

This study was conducted to analyze the hydro geochemical zoning maps of Miandoab plain. The results indicated a decline in groundwater quality from 2014 to 2017 and an improvement in 2018. Also, the evaluation of zoning maps showed that the feeding areas of Miandoab aquifer (east of the plain) had better qualities and less vulnerability compared to the discharged areas (west of the plain). Therefore, the discharged areas of the aquifer are considered as high-risk areas that can't be recommended for drinking, agriculture and industry. In the central part, if the use of groundwater is necessary, careful and necessary monitoring should be applied. The water quality in the eastern part of the plain was relatively good and desirable for these uses. The results of this research can be used to plan for water uses as well as to decide on digging the new wells or preventing them in restricted areas.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

Funding

This research received no external funding.

Authors' contributions

In this research, the authors contributed as follow: writing-original draft preparation, Parisa Pashakhah; writing-review and editing, Shahram Shahmohammadi-Kalalagh and project administration, Hossein Babazadeh and Mahdi Sarai-Tabrizi. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت میاندوآب

پریسا پاشاخواه^۱، حسین بابازاده^{۲*}، شهرام شاه‌محمدی کلانلق^۳ و مهدی سرائی‌تبریزی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۴. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

مقدمه: درک تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی یک جنبه مهم برای اعمال مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی است. در تحقیق حاضر، هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت میاندوآب در استان آذربایجان غربی، مورد بررسی قرار گرفت.

روش: بدین منظور، با استفاده از آمار و اطلاعات کیفی ۵۱ حلقه چاه مطالعاتی، طی دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۹۷، پارامترهای کیفی، شامل یون‌های Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Na^{+} ، K^{+} ، HCO_3^{-} ، SO_4^{2-} ، Cl^{-} و CO_3^{2-} و شاخص‌های PH، SAR، TDS، TH و EC، براساس استانداردهای کیفی آب شرب، کشاورزی و صنعت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. با وارد نمودن لایه‌های توصیفی حاصل از تحلیل‌های کیفی در نرم‌افزار ArcGIS و انتخاب بهترین روش درون‌یابی بر اساس تکنیک اعتبارسنجی، نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی آبخوان استخراج شدند.

یافته‌ها: تحلیل پارامترهای مختلف هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی بر اساس استانداردهای آب شرب وزارت نیرو، حاکی از وضعیت نسبتاً قابل قبول آب زیرزمینی دشت دارد، که این امر در نتایج حاصل از تحلیل آب زیرزمینی با روش شولر نیز حاصل گردید. از دیدگاه کشاورزی، مشخص شد که بیشترین وسعت دشت دارای مناطقی با کیفیت آب زیرزمینی شور می‌باشد. از لحاظ صنعتی نیز خاصیت رسوب‌گذاری در دشت بیشتر از خوردنگی نمایان شد.

نتیجه‌گیری: وضعیت کیفی آبخوان، حاکی از تنزل کیفیت آب زیرزمینی از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ و بهبود وضعیت آن در سال ۱۳۹۷، داشت. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که آبخوان میاندوآب از هر سه نظر شرب، کشاورزی و صنعت، در نواحی تغذیه دارای کیفیت و وضعیت‌های بهتری می‌باشد. به عبارتی با توجه به ژئوگرافی دشت، مناطق تغذیه آبخوان، در مقایسه با مناطق واقع در نواحی تخلیه، آسیب‌پذیری کمتری را داشته‌اند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

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



DOI:

[10.30495/wej.2023.5829](https://doi.org/10.30495/wej.2023.5829)

واژه‌های کلیدی:

درون‌یابی، روش شولر، روش ویلکاکس، شاخص لانژیلر، کیفیت آب زیرزمینی.

* نویسنده مسئول: حسین بابازاده

نشانی: استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۶۹۹۰۱۰۵

پست الکترونیکی: h_babazadeh@srbiau.ac.ir

مقدمه

کیفیت آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله لیتولوژی، تعامل سنگ و آب، دفع ضایعات خانگی، استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها در کشاورزی، و شرایط آب و هوایی است (۱). بنابراین کیفیت آب زیرزمینی یک جنبه مهم زیست‌محیطی است که باید بسته به توزیع فضایی آن تحلیل و مدیریت شود. برای بهترین کنترل و مدیریت کیفیت آب زیرزمینی، دانستن توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی مهم است. در این راستا، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند ابزار قدرتمندی برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی باشد (۲). دشت میان‌دوآب به عنوان اصلی‌ترین دشت حوضه آبریز دریاچه ارومیه، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در شمال غرب ایران محسوب می‌شود که گردش مالی و اقتصاد آن، به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم وابسته به بخش کشاورزی است و عمده آب مورد نیاز کشاورزی نیز از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. بنابراین مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی در دشت میان‌دوآب، که حدود نیمی از جریانات سطحی ورودی به دریاچه ارومیه را نیز از خود عبور داده و همچنین به دلیل اینکه حدود ۲۰ درصد از کل برداشته‌های آب زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه به این منطقه اختصاص دارد، امری بسیار مهم و ضروری است (۳). لذا هدف اصلی تحقیق حاضر، تحلیل و بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی هیدروژئوشیمیایی مستخرج از ArcGIS دشت میان‌دوآب جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد.

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در خصوص بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی و تحلیل و تفسیر آن انجام گرفته است. از جمله: *Jeihouni et al. (2014)* آب‌های زیرزمینی شهر تبریز را برای مصارف آشامیدنی با استفاده از نرم‌افزار GIS ارزیابی کردند (۴). نقشه‌های تهیه شده از ۷۰ حلقه چاه نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. *Sarhadi et al. (2015)* در تحقیقی کیفیت آب زیرزمینی دشت زاهدان برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت را در دوره‌های خشکسالی و نرمال بررسی نمودند. بدین منظور از داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی ۱۴ حلقه چاه استفاده شد. نتایج نشان داد کیفیت آب چاه‌های مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی بر مبنای نمودار ویلکاکس در رده شور و خیلی شور و طبق نمودار شولر برای شرب نامناسب می‌باشند. از لحاظ صنعتی نیز اکثر نمونه‌ها با خاصیت رسوبگذاری نشان داده شده‌اند (۵). مطلوبیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب در جنوب غربی هند توسط *Annapoorna and Janardhana (2015)* مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش بر اساس داده‌های کیفی مربوط به ۲۲ حلقه چاه گسترده در اطراف منطقه‌ای روستایی انجام شد. پارامترهای کیفی مورد بررسی در این تحقیق PH، EC، TH، TDS، F، NO_3^- ، HCO_3^- ، SO_4^{2-} ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ و K^+ می‌باشند. در این پژوهش، نتایج حاکی از آن بود که آب زیرزمینی بیشتر قسمت‌های منطقه، مطلوبیت آشامیدن را دارد (۶). *Khosravi et al. (2016)* در پژوهشی به بررسی

کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت مهران پرداختند. بدین منظور از آمار کیفی ۲۳ حلقه چاه عمیق واقع در دشت به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ، روش مناسب جهت تهیه نقشه نهایی تغییرات کاتیون و آنیون در این دشت است (۷). *Khan and Jhariya (2017)* برای ارزیابی آب‌های زیرزمینی شهر رایپور^۱ هند برای مصارف شرب از GIS استفاده کردند. بدین منظور هشت پارامتر کیفیت آب شامل PH، Cl⁻، F⁻، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، NO_3^- ، TH و قلیابیت ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که ۷۶ درصد از منطقه در کلاس‌های عالی، خیلی خوب و با کیفیت آب خوب و ۲۴ درصد از منطقه نیز در کلاس‌های ضعیف و خیلی ضعیف قرار می‌گیرند (۸). *Jafari et al. (2018)* کیفیت آب زیرزمینی شهر ابهر در شمال ایران را برای شرب ارزیابی نمودند. نتایج، غلظت‌های بالای هدایت الکتریکی (۱۰۰٪)، سختی کل (۶۶/۷)، کل جامدات محلول (۴۰٪)، منیزیم (۲۳٪) و سولفات (۱۳/۳٪) را نشان داد که این امر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی، نشان‌دهنده وضعیت وخیم آب‌های زیرزمینی منطقه برای مصارف شرب است (۹). *Ghamarnia and Roshandel (2019)* در تحقیقی به بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت چاردولی در استان کردستان پرداختند. بدین منظور از اطلاعات تجزیه شیمیایی ۲۲ حلقه چاه، طی سال‌های آماری ۱۳۸۱-۱۳۸۷ بهره گرفته و اقدام به بررسی تغییرات پارامترهای کیفی آبخوان در مقایسه با استانداردهای کیفی مربوط به آب شرب، کشاورزی، خورندگی و رسوب‌گذاری کردند. نتایج نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ کاهش یافته ولی سپس تا سال ۱۳۸۷، وضعیت بهبود داشته است. نقشه‌های پهنه-بندی نیز نشان‌دهنده افت کیفیت بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴ در مناطق خروجی آبخوان بوده و پس از آن تا سال ۱۳۸۷ رو به بهبود نهاده‌اند. بنابراین مناطق واقع در شمال دشت و نزدیک به خروجی آبخوان از کیفیت پایین‌تری برخوردارند (۱۰). *Feizi et al. (2019)*، به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی، از زمین‌آمار و مدل‌های قطعی برای مدلسازی و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت کاشان بهره جستند. در این پژوهش، پنج پارامتر کیفیت آب جهت تعیین شاخص آبیاری و همچنین کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از نمودار ویلکاکس تعیین شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب‌های زیرزمینی از شمال به جنوب منطقه افزایش یافته است (۱۱). *Elkashouty (2019)* در پژوهشی توزیع کیفی آب زیرزمینی را با استفاده از تحقیقات زمین‌آمار (GIS)، در دلتای نیل، واقع در شمال مصر بررسی کرد. نتایج نشان داد که کریجینگ پیش‌فرض، بهترین روش برای تهیه نقشه پارامترهای هیدروژئوشیمیایی است (۱۲). *Asadi et al. (2019)* در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری و آشامیدن پرداختند. برای این پژوهش، ۳۹ چاه مشاهداتی انتخاب شده و آنالیز پارامترهای EC، TDS، Cl⁻، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ ، K^+ ، SO_4^{2-} ، TH، HCO_3^- ، PH، CO_3^{2-} و SAR، انجام گرفت. نتایج نشان داد که بیشتر آب آشامیدنی برداشت

1 Raipur

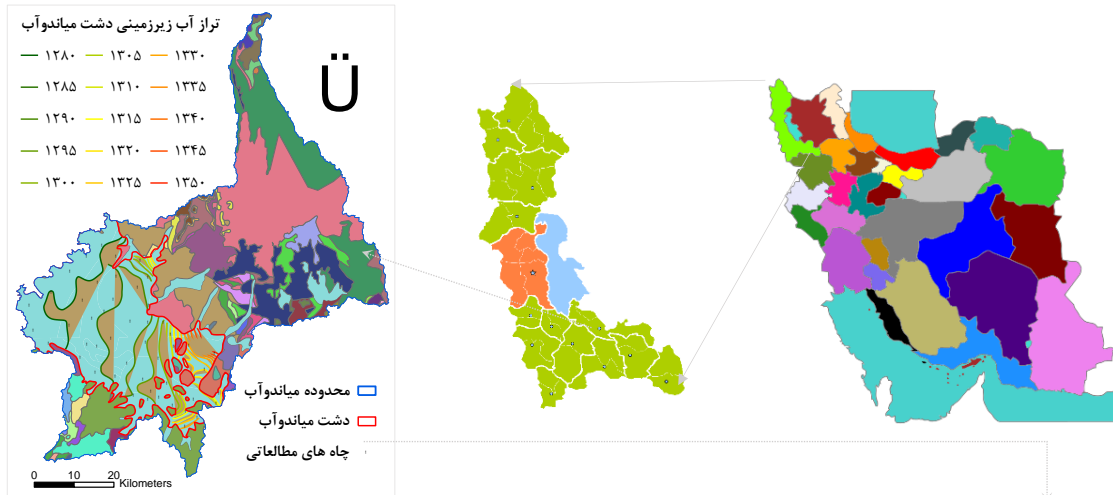
قوری چای نیز که به ترتیب از نواحی شمال شرقی و شرق وارد دشت شده‌اند، تقریباً در همان اوایل ورود به دشت، به رودخانه‌های لیلان چای و زرینه‌رود می‌پیوندند. وسعت دشت میان‌دوآب، برابر ۱۲۵۶ کیلومتر مربع بوده و جزء زون زمین ساختاری البرز- آذربایجان محسوب می‌شود، در تمام وسعت خود جلگه‌ای است و متوسط شیب دشت در حدود چهار در هزار است (۱۵). توپوگرافی کلی دشت میان‌دوآب بصورت یکنواخت و هموار بوده و فقط تعدادی تپه کوچک در قسمت مرکزی آن قرار گرفته است. متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا برابر ۱۲۹۶ متر است، همچنین پست‌ترین نقطه دشت دارای ارتفاع ۱۲۶۳ متر از سطح دریا و ارتفاع معادل با ۱۵۲۰ متر از سطح دریا، برای بلندترین نقطه دشت ثبت شده است (۲۰). منطقه میان‌دوآب دارای سازندهای زمین‌شناسی مختلفی است. ولی در این میان تشکیلات آبرفتی ساختمان اصلی دشت را تشکیل داده که به صورت مخروط افکنه و رسوبات رودخانه‌ای ظهور پیدا کرده‌اند. ضخامت آبرفت در گستره دشت متغیر است و از حدود چند متر در حوالی کوه‌های اطراف تا بیش از ۱۵۰ متر در حوالی شهرهای میان‌دوآب و ملکان می‌رسد. تقریباً در شمال ناحیه در بستر رودخانه مردوق چای ضخامت رسوبات آبرفتی حداکثر به ۸۰ متر می‌رسد. در شرق میان‌دوآب ضخامت آبرفت حدود ۳۰ متر با لایه‌های ریز همراه با رس است ولی به علت وجود رودخانه لیلان چای، ضخامت در این ناحیه به ۱۶۰ متر نیز می‌رسد (۳). این حوزه بر اساس روش تجربی آمبرژر^۲ (۲۱) و با استفاده از آمار ایستگاه میان‌دوآب، دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک است. آب و هوای منطقه بسیار مهم است چرا که منبع آب آبخوان از بارندگی تأمین می‌شود. مقدار بارندگی در منطقه، از دشت به سمت ارتفاعات افزایش می‌یابد. بر اساس آمار سی ساله (۱۳۶۷-۱۳۹۶)، میانگین بارندگی سالانه در محدوده مطالعاتی میان‌دوآب حدود ۲۸۴ میلی‌متر در سال است. همچنین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر از تشتک به ترتیب برابر با ۷۴۲ و ۱۶۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد (۱۶). لازم به ذکر است که بنابه آخرین آماربرداری‌های صورت گرفته، بر اساس بیان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت میان‌دوآب، میزان تغذیه آبخوان سالانه ۳۴۳/۲۷ میلیون مترمکعب و میزان تخلیه آن نیز سالانه ۳۴۴/۰۷ میلیون مترمکعب، که از این مقدار، ۲۸۰/۷۹ میلیون مترمکعب را برداشت از چاه‌ها به خود اختصاص داده است، می‌باشد. بنابراین آبخوان دارای تغییرات ذخیره ۰/۸- میلیون مترمکعب در سال است. همچنین مجموع مصارف آب در محدوده مطالعاتی میان‌دوآب، برابر ۹۹۹/۷۲ میلیون مترمکعب در سال است که ۹۶/۳۷ درصد از آن برای کشاورزی، ۲/۰۲ درصد برای شرب و مابقی برای صنعت استفاده می‌شود. حجم آب برگشتی از مصارف آب ۲۷۹/۹۲ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردیده است که مقداری از آن موجب تغذیه آبخوان آبرفتی شده و مابقی نیز به صورت زه‌آب به جریان‌های سطحی ملحق می‌شود. بنابراین حجم کل مصرف خالص برابر ۷۱۹/۸ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد (۲۰).

شده برای مناطق شهری و روستایی، آب عالی یا خوب است. همچنین حدود ۳۷٪ از آب‌های زیرزمینی دارای سازگاری بالایی هستند و ۶۳٪ از منطقه مورد مطالعه دارای سازگاری متوسط برای اهداف کشاورزی است (۱۳). Fallahati et al. (2020). در پژوهشی پارامترهای فیزیکی شیمیایی ۲۹ حلقه چاه را در شهرستان ساوه توسط شاخص استاندارد بارندگی در دوره خشکسالی ده ساله بررسی نمودند. در این مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب و کشاورزی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و از نرم‌افزار ArcGIS نیز برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۱۵، حدود ۹۰٪ از چاه‌ها در رده بسیار شور و نامناسب برای کشاورزی بودند. نمودار شولر نیز نشان داد که کیفیت آب از سطح استاندارد ملی ایران فراتر رفته است (۱۴). از پژوهش‌های اخیر انجام شده در دشت میان‌دوآب نیز می‌توان به Emami et al. (2018) و Noroozi-Qushbulaq et al. (2018) اشاره کرد، که به ترتیب، در خصوص مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی دشت، تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت به نترات، صورت گرفته‌اند (۳)؛ (۱۵)؛ (۱۶)). همچنین Dehghanipour et al. (2019, 2020). در زمینه ارائه و اعمال رویکردهای شبیه‌سازی بهینه در دشت آبی میان‌دوآب برای شناسایی استراتژی‌های مدیریت پایدار آب انجام دادند (۱۷)؛ (۱۸)). در این میان، تنها پژوهش اخیر Pashakhah et al. (2022). در زمینه ارزیابی فضایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت برای مصارف کشاورزی انجام گرفته است (۱۹). بنابراین براساس بررسی‌های صورت گرفته، علیرغم اهمیت موضوع کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت میان‌دوآب، تاکنون مطالعاتی که بر روی توزیع کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت مذکور از هر سه دیدگاه شرب، صنعت و کشاورزی متمرکز باشند، کافی نبوده و کمیابند، به علاوه، تجزیه و تحلیل فضایی این منابع آب نیز هنوز انجام نشده است. بدین منظور مطالعه حاضر با هدف تحلیل و بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت میان‌دوآب جهت هر سه مصارف مذکور انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات و موقعیت منطقه مورد مطالعه

آبخوان آبرفتی دشت میان‌دوآب یا قوشاچای که بزرگترین آبخوان حوضه آبگیر دریاچه ارومیه و چهارمین دشت حاصلخیز کشور است، با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی در قسمت شمال غربی ایران در داخل حوضه آبریز دریاچه ارومیه، واقع شده است (شکل ۱). تغذیه این آبخوان از نواحی شمال شرقی (مردوق چای)، شرق (لیلان چای)، جنوب شرقی (زرینه‌رود) و جنوب (سیمینه‌رود) دشت بوده و تخلیه آن نیز شامل نواحی شمال غربی (لیلان چای) و غرب (زرینه‌رود و سیمینه‌رود) دشت، می‌باشد. همچنین رودخانه‌های مردوق چای و



لیتولوژی	
سنگ آهک-آهک دولومیتی چرت دار و توده ای	ریولیت مهاباد- ریولیت
سنگ آهک	سازند باروت- شیل- سنگ آهک و دولومیت
سنگ های آتشفشانی جوان- بازالت- آندزیت و تراکیت	سازند بایندر- شیل و ماسه سنگ
سنگ های آذر آوری	سازند تیر کوه- سنگ آهک اوربیتولین دار به رنگ خاکستری
شیل ماسه سنگ کوارتزی	سازند روته- سنگ آهک
شیل- سنگ آهک و سنگ های آتشفشانی	سازند سلطانیه- دولومیت توده ای و شیل سیلت دار
لایه های استخوان دار مراغه توف- ماسه سنگ- سیلت و کنگ	سازند سلطانیه- شیل دولومیت
لایه های استخوان دار مراغه خاکسترهای آتشفشانی	سازند شمشک- شیل سبز با میان لایه ماسه سنگ
مارن- ماسه سنگ و سنگ آهک	سازند لالون- ماسه سنگ
مارن خاکستری و ماسه سنگ با سنگ آهک	سازند میلا- دولومیت سنگ آهک شیل
مارن زرد	سازند نجن- ماسه سنگ قرمز و کنگلومرا
مارن و سنگ آهک	سازند کرج: توف سبز رنگ
کنگلومرا	سازند کهر- شیل واسلیت
کنگلومرای نیمه سخت به همراه میان لایه هایی از مارن	سنگ آتشفشانی آندزیتی
سمازه جریان	سنگ آهک و آهک مارنی
	سنگ آهک (سازند قم)
	آبرفت
	آندزیت
	آندزیت و سنگ های متوسط و برش های آتشفشانی
	آندزیت- کوردیوریت- میکاشیست- آمفیبولیت- مرمر و متادیاپاز
	آهک و مارن
	آندزیت سبز توف
	تناوبی از شیل- دولومیت و سنگ آهک (سازند باروت)
	خاکستر و سنگ های آذر آوری تفکیک نشده
	داسیت همراه سنگ های فلسیک
	داسیت و توف اسیدی
	داسیت و سنگ های فلسیک
	دریاچه فصلی
	دیوریت و مونزونیت
	رادیولیت

شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی دشت میان‌دوآب

اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. برای تعیین بهترین روش درون‌یابی جهت ترسیم نقشه پارامترهای کیفی، از شاخص‌های RMSE و ME به عنوان معیارهای خطا و شاخص Γ به عنوان ضریب همبستگی استفاده شد و روشی که دارای کمترین مقادیر RMSE و ME و بیشترین مقدار Γ بود به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی انتخاب گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه پهنه‌بندی کیفی برای هر کدام از پارامترهای مؤثر در هر یک از روش‌های طبقه‌بندی کیفیت آب، استخراج شدند. در نهایت با همپوشانی نقشه‌های مذکور، نقشه نهایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت به دست آمد.

آنالیزهای زمین‌آماری

روش‌های زمین‌آمار به دلیل در نظر گرفتن همبستگی، موقعیت و آرایش داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در این روش‌ها علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی آن نیز مورد توجه قرار می‌گیرد (۱۰). در تحقیق حاضر، تخمین داده‌های مربوط به نقاط نمونه- برداری نشده با استفاده از درون‌یابی‌های کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس انجام شد.

روش کار

به منظور بررسی کیفیت هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت میان‌دوآب، از آمار و اطلاعات کیفی ۵۱ حلقه چاه شبکه پایش آب‌های زیرزمینی، برای دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۹۷، که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی برداشت شده بود، استفاده گردید. این آمار و اطلاعات بصورت نتایج آزمایشگاهی، املاح و پارامترهای لازم شامل کاتیون‌ها و آنیون‌ها ثبت شده بودند. که از میان آنها، یون‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^{+} ، K^{+} ، HCO_3^{-} ، SO_4^{2-} ، Cl^{-} و CO_3^{2-} و شاخص‌های pH، TDS، TH، EC و SAR، به عنوان پارامترهای کیفی، مورد تحلیل قرار گرفتند. در این پژوهش، اقدام به بررسی تغییرات پارامترهای کیفی آبخوان، در مقایسه با استانداردهای کیفی مربوط به آب شرب (بر اساس استاندارد آب شرب وزارت نیرو و همچنین بر مبنای روش شولر)، کشاورزی (بر مبنای روش ویلکاکس) و رسوب- گذاری و خوردگی (بر مبنای شاخص لائیلر) شد. به منظور استخراج نقشه‌های پهنه‌بندی، درون‌یابی‌ها به روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس انجام گرفت. جهت ارزیابی و صحت‌سنجی روش‌های درون‌یابی نیز از تکنیک

برآورد شده، می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد (۲۶).

از میانگین خطا^۷ برای تعیین درجه موربی^۷ در برآوردها استفاده شده و از رابطه زیر بدست می‌آید (۲۴):

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{Z}(x_i) - Z(x_i) \quad (3)$$

که در آن، n: تعداد نمونه‌ها، $\bar{Z}(x_i)$ و $Z(x_i)$ نیز به ترتیب مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده کیفیت آب می‌باشند.

ریشه میانگین مربعات خطا^۸، یک اندازه‌گیری مکرر از تفاضل بین مقادیر تخمین زده شده توسط یک مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده است (۲۴). RMSE نیز معیار خوبی برای سنجش دقت بوده و به عنوان پارامتری مهم جهت نشان دادن دقت تحلیل مکانی در ArcGIS بکار می‌رود (۲۳). این پارامتر از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۴):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\bar{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (4)$$

که در آن، n تعداد نمونه‌ها، $\bar{Z}(x_i)$ و $Z(x_i)$ نیز به ترتیب مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده کیفیت آب می‌باشند.

ضریب همبستگی^۹ معیاری برای ارتباط بین دو متغیر است و مقدار آن در بازه (+۱ و -۱) تغییر می‌کند. این روند محاسبات، یک روش جامع برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی، می‌باشد (۲۴): (۲۷).

در تحقیق حاضر، پس از انجام تمامی مراحل ارزیابی و صحت‌سنجی برای هر دو روش کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس، با در نظر گرفتن کمترین معیارهای خطا و بیشترین ضریب همبستگی، روش وزن‌دهی فاصله معکوس، به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای استخراج نقشه‌های پهنه‌بندی انتخاب گردید.

شاخص‌های بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی

شاخص‌های کیفی آب جهت مصرف شرب

یکی از موارد استفاده آب‌های زیرزمینی مصرف شرب می‌باشد. از اینرو بررسی کیفی آب جهت این نوع استفاده، از مهمترین و حیاتی‌ترین قسمت‌های یک طرح تحقیق و اکتشاف آب می‌باشد. استانداردهای مختلفی در نقاط مختلف دنیا برای ارائه کیفیت مناسب آب قابل شرب تدوین گردیده است. اما هر یک از این استانداردها، بنا به مکان و موقعیت جغرافیایی محل مصرف آب، متفاوت است. جدول استاندارد وزارت نیرو (جدول ۱) در ایران کارایی بیشتری دارد (۱۰).

کریجینگ^۳ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و به عنوان بهترین تخمین‌گر خطی ناریب شناخته می‌شود (۲۲). شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر اینصورت باید از روش کریجینگ غیرخطی استفاده کرده و یا به نحوی توزیع متغیر نرمال گردد (۲۳). رابطه کلی کریجینگ به صورت زیر است (۲۴):

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

که در آن، $Z(x_0)$: مقدار تخمین پهنه کیفیت آب، λ_i : وزن پهنه انتخاب شده برای به حداقل رساندن واریانس تخمین مربوط به نمونه i ام، $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده کیفیت آب و n نیز تعداد مشاهدات است.

روش زمین‌آمری وزن‌دهی فاصله معکوس^۴ نیز با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را بدست آورده و درون‌یابی را انجام می‌دهد. ضمناً چنین فرض می‌شود که نقاط نزدیک به یکدیگر شباهت بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند، بنابراین نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتری دارند. رابطه کلی وزن‌دهی فاصله معکوس با استفاده از رابطه (۲) بدست آمد:

$$Z = \frac{1/d_i^p}{\sum_{i=1}^n 1/d_i^p} \quad (2)$$

که در آن، d_i: فاصله میان X_0 و X_i ; p: توان پارامتر و n نیز تعداد کل نمونه‌ها می‌باشد (۲۳).

تفاوت اصلی روش‌های درون‌یابی مذکور در اینست که مدل وزن‌دهی فاصله معکوس یک روش آماری کلاسیک بوده که درون‌یابی آن بر اساس وزن نقاط می‌باشد ولی روش کریجینگ یک روش زمین‌آمری است و بیان می‌دارد که علاوه بر فاصله، کوواریانس داده‌ها نیز مهم است. برای انجام مراحل صحت‌سنجی، ارزیابی دقت برآوردها، میزان خطا و انتخاب بهترین روش میان‌یابی نیز از تکنیک اعتبارسنجی متقابل، میانگین خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی کیفیت آب، به شرح زیر، استفاده گردید (۲۴): (۲۵).

تکنیک اعتبارسنجی متقابل^۵ یکی از مهمترین و رایج‌ترین تکنیک‌ها برای انجام مراحل صحت‌سنجی می‌باشد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از سایر نقاط مشاهده‌ای باقیمانده، آن نقطه برآورد می‌گردد. این کار برای تمامی نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به گونه‌ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد از آنها وجود خواهد داشت و در پایان با داشتن مقادیر واقعی و

⁷ Bias

⁸ Root Mean Square Error

⁹ Correlation Coefficient

³ Kriging

⁴ Inverse Distance Weighting

⁵ Cross-Validation

⁶ Mean Error

جدول ۱- استاندارد کیفیت آب آشامیدنی وزارت نیرو

یون و شاخص (میلی‌گرم بر لیتر)	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
منیزیم	-	۱۵۰
سولفات	۲۵۰	۴۰۰
کلرید	۲۰۰	۶۰۰
کل مواد جامد محلول	۵۰۰	۲۰۰۰
سختی کل آب	-	۵۰۰

وجود کاتیون‌های کلسیم و منیزیم، عموماً انحلال‌پذیری مواد شوینده را در آب کاهش داده و اصطلاحاً آب را سخت می‌کنند. رابطه سختی آب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TH = 2.5Ca^{2+} + 4.1Mg^{2+} \quad (۵)$$

که در آن TH، سختی کل آب و Ca^{2+} و Mg^{2+} نیز بر حسب میلی‌گرم در لیتر می‌باشند. مقادیر استاندارد متعارف سختی بین ۷۵-

۵۰۰ می‌باشد. آب‌های دارای سختی کمتر از ۷۵، دارای خطر بیماری تصلب شرایین می‌باشند. آب‌های سخت با شیرابه ناشی از زباله‌ها، عمل تبادل کاتیونی انجام داده و کلسیم و منیزیم آنها با سدیم و پتاسیم جایگزین و سبب آلودگی آب می‌شود. همچنین آب‌های سخت دارای طعم نامطلوب‌تری نسبت به آب‌های نرم می‌باشند (۱۰). مقادیر بالای کل مواد جامد محلول^{۱۰} معرف مقادیر و حضور کاتیون‌ها و آنیون‌های بیشتری در آب می‌باشند و می‌تواند معرف شوری بالا باشد. حرکت آب از بین کانی‌های قابل حل، تبخیر آب در اثر بودن سطح آب زیرزمینی، ورود آلاینده‌های ناشی از پساب فاضلاب‌ها و زه‌آب کشاورزی، سبب بالا رفتن مقادیر TDS می‌شود (۱۰).

روش شولر^{۱۱} نیز از متداول‌ترین روش‌های تقسیم‌بندی کیفی آب‌های شرب بوده که براساس میزان تغییرات کل مواد جامد محلول، سختی کل و میزان آنیون‌ها و کاتیون‌ها، ابداع گردیده است (۱۰). در طبقه-بندی کیفی آب‌های شرب بر مبنای روش شولر، شش کلاس کیفیت آب (جدول ۲) ارائه می‌شود (۲۸). در پژوهش حاضر، برای تحلیل کیفی آبخوان از نظر شرب، علاوه بر استانداردهای وزارت نیرو، از روش شولر نیز بهره گرفته شده است.

جدول ۲- معیارهای کیفیت آب آشامیدنی طبق نظر شولر (۲۸)

کیفیت	So ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	TH (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	TDS (mg L ⁻¹)
خوب	<۱۴۵	<۱۷۵	<۱۱۵	<۲۵۰	<۵۰۰
قابل قبول	۱۴۵-۲۸۰	۱۷۵-۳۵۰	۱۱۵-۲۳۰	۲۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰
نامناسب	۲۸۰-۵۸۰	۳۵۰-۷۰۰	۲۳۰-۴۶۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
بد	۵۸۰-۱۱۵۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۴۶۰-۹۲۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰
موقتاً قابل شرب	۱۱۵۰-۲۲۴۰	۱۴۰۰-۲۸۰۰	۹۲۰-۱۸۴۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰
غیرقابل شرب	>۲۲۴۰	>۲۸۰۰	>۱۸۴۰	>۴۰۰۰	>۸۰۰۰

جدول ۴- رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس (۲۹)

ردیف	نوع کیفیت آب برای کشاورزی	رده آب
۱	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر	C ₁ S ₁
۲	کمی شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب	C ₂ S ₁ , C ₂ S ₂ , C ₁ S ₂
۳	شور- برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم	C ₃ S ₃ , C ₃ S ₂ , C ₃ S ₁ , C ₂ S ₃ , C ₁ S ₃
۴	خیلی شور- مضر برای کشاورزی	C ₄ S ₁ , C ₄ S ₂ , C ₄ S ₃ , C ₄ S ₄ , C ₃ S ₄ , C ₂ S ₄ , C ₁ S ₄

شاخص‌های کیفی آب جهت مصرف صنعت

شاخص‌های کیفی آب جهت مصرف کشاورزی

برای تعیین کیفیت آب کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکاکس^{۱۲} که یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه می‌باشد، استفاده شد. ضمناً این روش به روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا نیز موسوم است (۲۳). در این طبقه‌بندی، آب کشاورزی بر اساس میزان هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) به چهار گروه با کیفیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب (جدول ۳) و ۱۶ رده تقسیم‌بندی گردید (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳- معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی (۲۹)

کیفیت آب	EC (μmhos Cm ⁻¹)	رده	SAR (mmol L ⁻¹) ^{0.5}	رده
عالی	<۲۵۰	C ₁	<۱۰	S ₁
خوب	۲۵۰-۷۵۰	C ₂	۱۰-۱۸	S ₂
متوسط	۷۵۰-۲۲۵۰	C ₃	۱۸-۲۶	S ₃
نامناسب	>۲۲۵۰	C ₄	>۲۶	S ₄

¹² Wilcox

¹⁰ Total Dissolved Solids

¹¹ Schoeller

جدول ۵- پتانسیل رسوب گذاری کربنات کلسیم به ازاء مقادیر مختلف شاخص لانژیلر

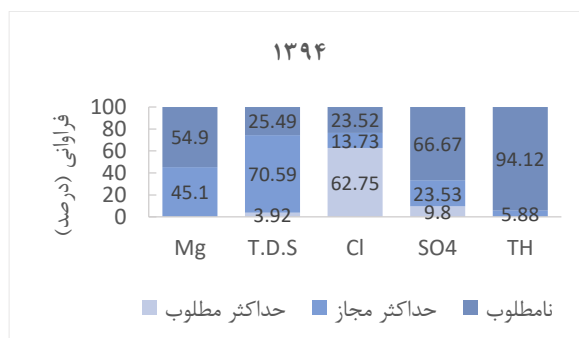
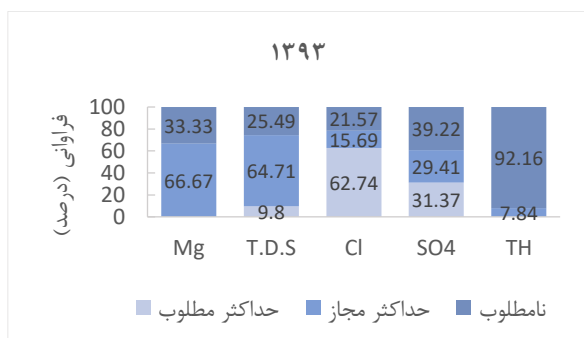
مقدار شاخص	توصیف
>۲	رسوب گذاری خیلی زیاد
۱ تا ۲	رسوب گذاری زیاد
۰/۵ تا ۱	رسوب گذاری متوسط
۰ تا ۰/۵	رسوب گذاری کم
<۰	عدم رسوب گذاری یا خورنده

نتایج

تحلیل کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب

فراوانی وضعیت های مختلف پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بر اساس جدول استاندارد وزارت نیرو، در شکل (۲) آمده است.

شکل (۲) نشان می دهد که طی تمامی سال های مطالعاتی، از پنج پارامتر مطرح در جدول استاندارد، سه پارامتر (شاخص TDS و یون های Cl^- و SO_4^{2-}) دارای هر سه وضعیت مطلوب، مجاز و نامطلوب ولی دو پارامتر دیگر (شاخص TH و Mg^{2+}) تنها دارای دو وضعیت مجاز و نامطلوب بوده اند، بدین ترتیب که؛ کیفیت آب زیرزمینی، به طور میانگین، در ۶۲ درصد موارد اندازه گیری شده از نظر میزان کلر، ۲۰ درصد از نظر سولفات و ۷ درصد نیز از نظر کل جامدات محلول، در وضعیت مطلوب قرار داشته است. برای یون منیزیم به ترتیب در ۵۸ درصد و ۴۲ درصد موارد مقادیر مجاز و نامطلوب گزارش شده است. شاخص سختی آب نیز با دارا بودن کمترین میزان مجاز، بیشترین وضعیت نامطلوب را در ۹۶ درصد موارد به خود اختصاص داده است.



جهت تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی، از روش های متعددی برای پیش بینی رسوب گذاری یا تمایل به ایجاد خوردگی استفاده می شود. این روش ها معمولاً بر مبنای تعادل شیمیایی استوار شده اند. ساده ترین روش ها برای بررسی این مسأله، بکارگیری آنالیز آب در سنجش تمایل به رسوب گذاری یا خوردگی با استفاده از شاخص های رایج می باشد (۱۰). بدین منظور، در پژوهش حاضر، پس از ارزیابی شاخص های متعدد، از شاخص معتبر اشباع لانژیلر^{۱۳} استفاده گردید. این شاخص (رابطه ۴)، یکی از روش های پیش بینی رسوب کربنات کلسیم است که توسط لانژیلر در سال ۱۹۴۶ ارائه شده است:

$$LSI = pH - pH_c \quad (۶)$$

$$pH_c = p(CO_3^{2-} + HCO_3^-) + p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + p(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) \quad (۷)$$

که در این روابط، LSI شاخص لانژیلر، pH آب اندازه گیری شده، pHc محاسباتی بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی آب با فرض اشباع بودن از کلسیت یا کربنات کلسیم، $p(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ نمایه کربنات و بی کربنات، $p(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ نمایه کلسیم و منیزیم و $p(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)$ نمایه کاتیون های آب می باشد (۱۰).

مؤلفه های معادله (۷) نیز، از جدول محاسبه مقادیر سه گانه p، مربوط به این شاخص تعیین می گردند. بزرگی این شاخص نشان دهنده شدت پتانسیل رسوب گذاری می باشد که معیار آن در جدول (۵) ارائه شده است. شاخص لانژیلر منفی باعث حل شدن کربنات کلسیم خواهد شد که در این حالت آب خورنده است (۳۰).

¹³ Langelier Saturation Index



شکل ۲- فراوانی وضعیت‌های مختلف پارامترهای کیفی، با توجه به استانداردهای آب شرب وزارت نیرو

در جدول (۶)، نتایج حاصل از تحلیل کیفی آب زیرزمینی آبخوان بر اساس روش شولر، بر حسب فراوانی، آورده شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که طی دوره آماری مذکور، برای سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵، پنج وضعیت و برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، شش وضعیت کیفی مختلف از نظر شرب، برای آبخوان مطالعاتی به وقوع پیوسته

است. آب زیرزمینی منطقه در تمامی سال‌ها، بیشترین درصد وقوع را برای وضعیت قابل قبول نشان داده است. همچنین وضعیت‌های نامناسب، بد، موقتاً قابل شرب، خوب و غیرقابل شرب نیز به ترتیب، با درصدهای وقوع کاهشی اتفاق افتاده‌اند.

جدول ۶- فراوانی وضعیت‌های مختلف آب زیرزمینی از نظر شرب به روش شولر

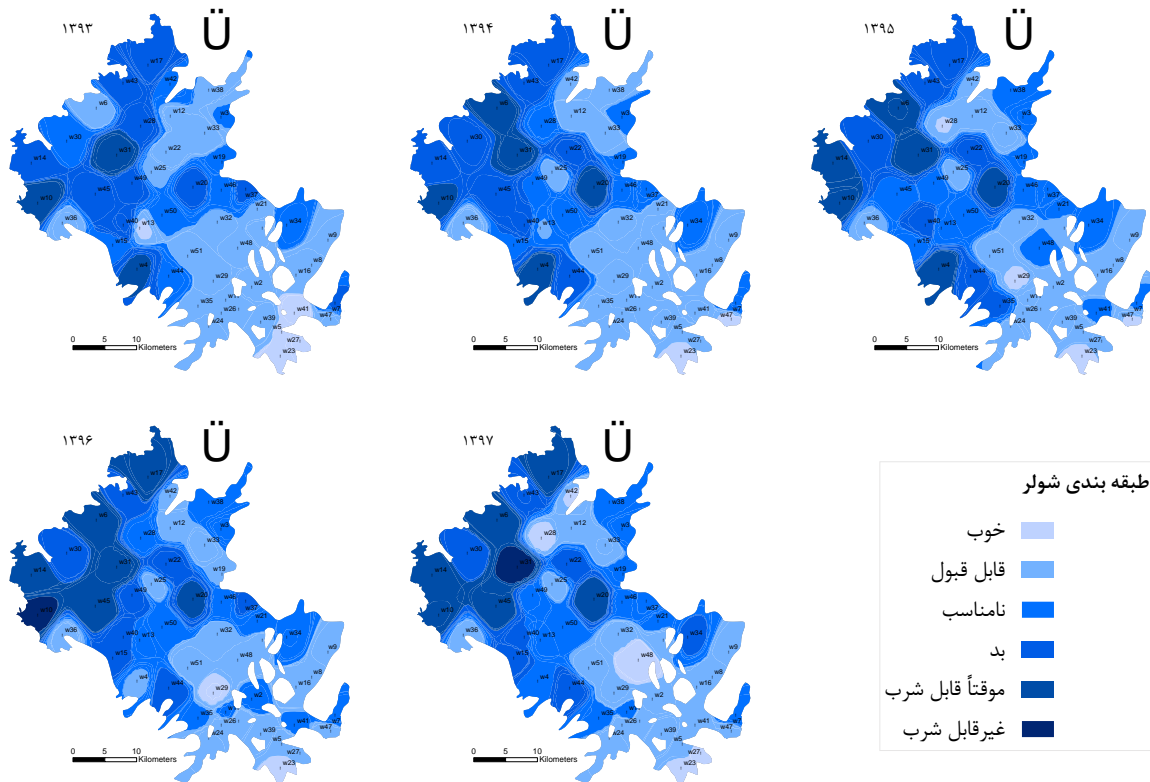
فراوانی (درصد)					کیفیت آب برای شرب	ردیف
سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹۴	سال ۱۳۹۵	سال ۱۳۹۶	سال ۱۳۹۷		
۹/۸	۳/۹۲	۷/۸۴	۳/۹۲	۹/۸	خوب	۱
۴۷/۰۶	۵۰/۹۸	۳۷/۲۵	۴۱/۱۸	۳۷/۲۵	قابل قبول	۲
۱۷/۶۵	۱۹/۶۱	۲۹/۴۱	۲۵/۴۹	۲۵/۴۹	نامناسب	۳
۱۹/۶۱	۱۵/۶۹	۱۳/۷۴	۱۵/۶۹	۱۳/۷۴	بد	۴
۵/۸۸	۹/۸	۱۱/۷۶	۱۱/۷۶	۱۱/۷۶	موقتاً قابل شرب	۵
.	.	.	۱/۹۶	۱/۹۶	غیرقابل شرب	۶

پهنه‌بندی کیفی آبخوان زیرزمینی جهت مصارف شرب با روش شولر انجام و نتایج مطابق شکل (۳) آورده شده است. موقعیت دقیق چاه‌هایی که از داده‌های کیفی آنها در این مطالعه استفاده شده است نیز در تمامی نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شده‌اند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). مطابق نقشه‌های پهنه‌بندی، در سال ۱۳۹۳، پنج وضعیت مختلف کیفی در سطح دشت بروز کرده است. قسمت‌هایی از مناطق شمالی، شرقی، جنوبی و مرکز دشت، وضعیت آب زیرزمینی برای شرب را خوب تا قابل

قبول گزارش داده‌اند. ولی با پیشروی به سمت خروجی آبخوان، غرب دشت، میزان کیفیت آب رفته رفته کاهش یافته و وضعیت آب زیرزمینی از نامناسب تا موقتاً قابل شرب تغییر کرده است. در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ نیز همانند سال ۱۳۹۳، پنج وضعیت مختلف کیفی قابل مشاهده است. با این تفاوت که در سال ۱۳۹۴، میزان وضعیت آب زیرزمینی در محدوده قابل قبول نسبت به سال ۱۳۹۳، افزایش یافته ولی این تغییر در سال ۱۳۹۵، روند کاهشی داشته است. همچنین در سال ۱۳۹۵، میزان وضعیت آب زیرزمینی نامناسب، نسبت به هر دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، افزایش را نشان می‌دهد. در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، علاوه بر

برگشته است. همچنین از وسعت مناطق با کیفیت آب زیرزمینی بد آن نیز نسبت به سال‌های پیش، تقریباً کاسته شده است. ولی با این وجود، در دو سال مطالعاتی اخیر، وضعیت غیرقابل شرب نیز بروز کرده است، که نیازمند مدیریت صحیح برای جلوگیری از پیشرفت این جبهه می‌باشد.

پنج وضعیت مختلف کیفی مذکور در سال‌های قبل، وضعیت کیفی غیرقابل شرب نیز در غرب دشت و به سمت خروجی آبخوان، رخ داده است. میزان وضعیت آب زیرزمینی خوب در سال ۱۳۹۷، نسبت به سال ۱۳۹۶، افزایش داشته ولی میزان وضعیت آب زیرزمینی قابل قبول آن نسبت به سال ۱۳۹۶، کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۷، میزان وضعیت آب زیرزمینی در محدوده خوب نسبت به سال‌های قبل افزایش یافته، بطوریکه به میزان آن در سال ۱۳۹۳



شکل ۳- پهنه‌بندی آبخوان مطالعاتی، از نظر مطلوبیت برای شرب به روش شولر

نشان می‌دهد که در طی دوره آماری مذکور، آب شور بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده ولی آب شیرین درصدهای خود اختصاص نداده است؛ همچنین فراوانی وضعیت‌های کمی شور و خیلی شور نیز به ترتیب زیر ۱۰ درصد و ۵۰ درصد حاصل شده است.

تحلیل کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی

برای تحلیل وضعیت آب زیرزمینی منطقه از نظر مطلوبیت کشاورزی، تمامی داده‌های موجود از دشت برای دوره آماری ۱۳۹۷-۱۳۹۳، با استفاده از کلاس‌های نمودار ویلکاکس طبقه‌بندی شده و نتایج بر حسب فراوانی ارائه شده است (جدول ۷). نتایج حاصل از این جدول

جدول ۷- فراوانی کلاس‌های مختلف آب زیرزمینی از نظر کشاورزی به روش ویلکاکس

فراوانی (درصد)					کیفیت آب برای کشاورزی	ردیف
سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹۴	سال ۱۳۹۵	سال ۱۳۹۶	سال ۱۳۹۷		
۰	۰	۰	۰	۰	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر	۱
۹/۸	۳/۹۲	۱/۹۶	۳/۹۲	۵/۸۸	کمی شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب	۲
۵۴/۹	۵۶/۸۶	۵۴/۹	۵۲/۹۴	۵۴/۹	شور- برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم	۳
۳۵/۳	۳۹/۲۲	۴۳/۱۴	۴۳/۱۴	۳۹/۲۲	خیلی شور- مضر برای کشاورزی	۴

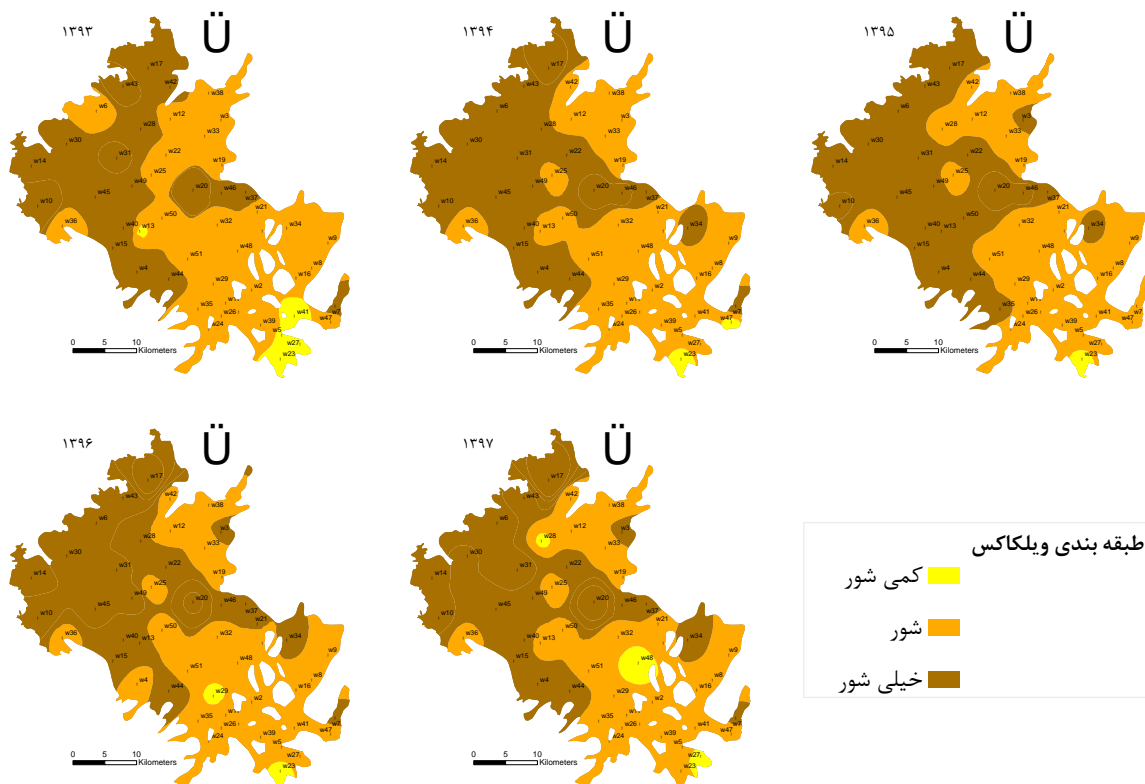
شده و اقدام به پهنه‌بندی آبخوان زیرزمینی از نظر کشاورزی گردید. نتایج مربوطه در شکل (۴) آورده شده است. مطابق نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج شده، در سال ۱۳۹۳، قسمت‌هایی از مناطق شمالی، غربی و

برای مشاهده فراوانی کلاس‌های مختلف آب زیرزمینی از نظر مطلوبیت کشاورزی و روند تغییرات آبخوان از این نظر، داده‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از نمودار ویلکاکس، به صورت سالانه دسته‌بندی

آن کاهش یافته و به مقدار سال ۱۳۹۴ رسیده است. همچنین نتایج نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۷، بیشترین میزان آب کمی شور، که مطلوب‌ترین گزارش در طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ است، را داشته است. همچنین از وسعت مناطق با کیفیت آب زیرزمینی خیلی شور آن نیز نسبت به سال‌های پیش کاسته شده است. بنابراین در بین تمامی سال‌های مورد مطالعه، تقریباً نزدیک‌ترین وضعیت را نسبت به سال ۱۳۹۳ دارا می‌باشد.

به عنوان یکی از دلایل تغییر کیفیت آب در طی سال‌های مطالعاتی، می‌توان به تغییرات بارش اشاره نمود. چراکه میزان بارندگی در دشت، برای سال‌های آبی ۹۴-۹۳ تا ۹۷-۹۶، به ترتیب با مقادیر ۳۰۰، ۳۳۱، ۳۰۰، ۱۹۷ و ۳۳۷ میلی‌متر گزارش شده است. بنابراین بیشترین میزان بارش برای سال‌های آبی ۹۷-۹۶ و ۹۴-۹۳ به ترتیب با ۳۳۷ و ۳۳۱ میلی‌متر بوده که می‌تواند یکی از دلایل کاهش مناطق خیلی شور در این سال‌ها باشد. به همین ترتیب، کمترین بارندگی نیز مربوط به سال آبی ۹۶-۹۵، با ۱۹۷ میلی‌متر بوده است که این امر نیز به نوبه خود باعث افزایش مناطق خیلی شور و بالتبع آن کاهش مناطق با شوری کمتر شده است (۲۰).

جنوب‌غربی دشت، که جزء مناطق تخلیه آبخوان می‌باشند، وضعیت آب خیلی شور را نشان داده‌اند. بیشتر مناطق دشت در این سال وضعیت شور را داشته و تنها قسمت‌های بسیار جزئی از جنوب‌شرقی دشت که جزء مناطق تغذیه آبخوان می‌باشد، دارای شوری کمی می‌باشند. در سال ۱۳۹۴، علاوه بر مناطق ذکر شده برای سال ۱۳۹۳، قسمت‌های جزئی از مرکز و شرق دشت نیز به این وضعیت خیلی شور اضافه شده‌اند. علاوه بر آن، وضعیت شور دشت نیز افزایش یافته است. بنابراین مساحت کمتری از آبخوان در این سال در مقایسه با سال ۱۳۹۳، وضعیت آب زیرزمینی را کمی شور نشان داده است. در سال ۱۳۹۵، قسمت‌های دیگری از مرکز دشت نیز به وضعیت خیلی شور اضافه شده و به تبع آن، از مناطق شور و کمی شور دشت نیز کاسته شده است. سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، وضعیتی تقریباً مشابه سال ۱۳۹۴ دارند. با این تفاوت، که در سال ۱۳۹۷، وضعیت مناطق کمی شور نسبت به سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶، بهبود یافته است. همچنین در هر دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، میزان مناطق شور نیز نسبت به سال ۱۳۹۴، کاهش یافته‌اند. در سال ۱۳۹۶، وضعیت خیلی شور دشت در مقایسه با سال ۱۳۹۴، افزایش داشت ولی در سال ۱۳۹۷، با بهبود در وضعیت کمی شور، میزان



شکل ۴- پهنه‌بندی آبخوان مطالعاتی، از نظر مطلوبیت برای کشاورزی با استفاده از نمودار ویلکاکس

تحلیل کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصرف صنعت

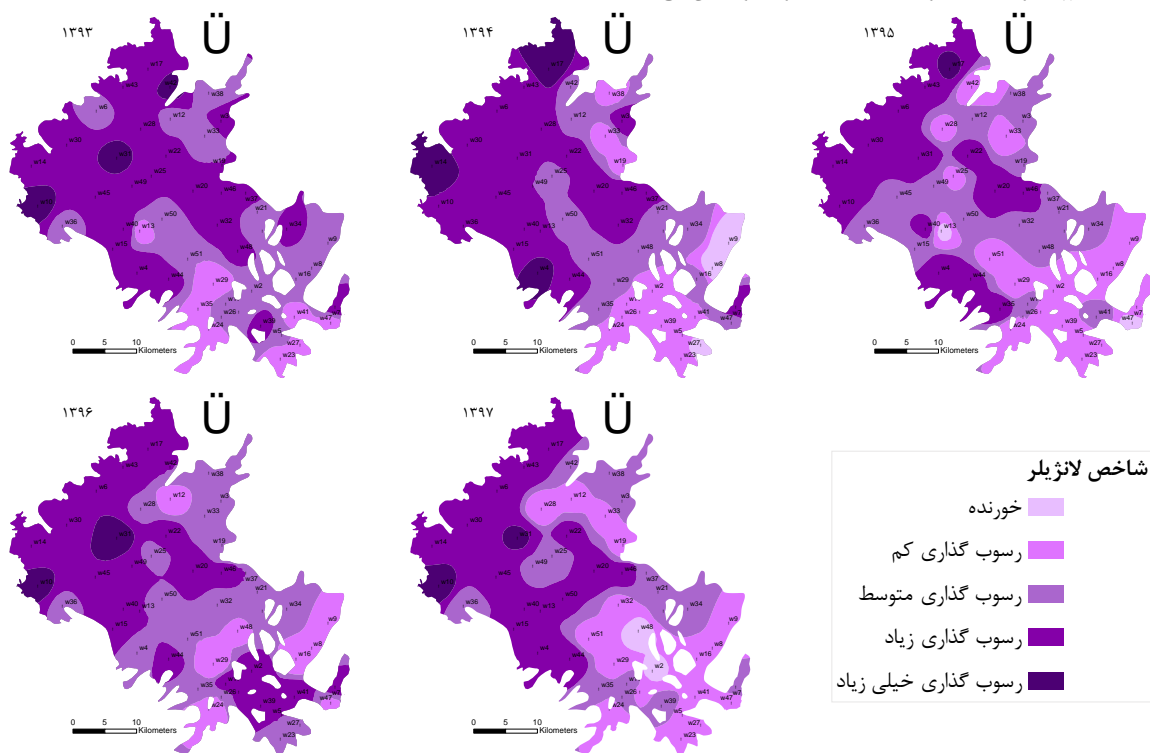
با استفاده از اطلاعات کیفی موجود و بهره گرفتن از شاخص رسوب-گذاری لائتریلر، میزان رسوب‌گذاری و خوردگی آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، محاسبه و نتایج بر حسب فراوانی مطابق جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸- فراوانی وضعیت‌های مختلف شاخص لانژیلر

ردیف	توصیف	فراوانی (درصد)				
		سال ۱۳۹۷	سال ۱۳۹۶	سال ۱۳۹۵	سال ۱۳۹۴	سال ۱۳۹۳
۱	عدم رسوب‌گذاری / خورنده	۳/۹۲	۰	۳/۹۲	۵/۸۸	۰
۲	رسوب‌گذاری کم	۳۳/۳۳	۱۵/۶۹	۳۳/۳۳	۲۳/۵۳	۱۵/۶۹
۳	رسوب‌گذاری متوسط	۲۹/۴۱	۳۷/۲۵	۳۵/۳	۲۵/۴۹	۳۳/۳۳
۴	رسوب‌گذاری زیاد	۲۹/۴۲	۴۳/۱۴	۲۵/۴۹	۳۹/۲۲	۴۵/۱
۶	رسوب‌گذاری خیلی زیاد	۳/۹۲	۳/۹۲	۱/۹۶	۵/۸۸	۵/۸۸

است. با تفکیک خروجی شاخص لانژیلر به صورت سالانه، نقشه پهنه-بندی آبخوان زیرزمینی از نظر رسوب‌گذاری و خوردگی رسم گردیده و نتایج در شکل (۵) ارائه شده است.

نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد که طی دوره آماری مذکور، در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶، میزان خوردگی وجود نداشته و دشت دارای رسوب-گذاری کم تا خیلی زیاد بوده است. ولی برای سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷، هر چهار وضعیت رسوب‌گذاری به علاوه خوردگی رخ داده



شکل ۵- پهنه‌بندی آبخوان مطالعاتی، از نظر رسوب‌گذاری با استفاده از شاخص لانژیلر

بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی (شکل ۵)، در سال ۱۳۹۳، قسمت عمده دشت را به ترتیب رسوب‌گذاری‌های زیاد و متوسط به خود اختصاص داده‌اند. بطوریکه به جز نواحی بسیار جزئی از غرب و قسمت‌هایی از جنوب دشت، پراکندگی این دو نوع رسوب‌گذاری، تقریباً در همه جای دشت گسترده شده است. رسوب‌گذاری خیلی زیاد تنها در قسمت‌های بسیار جزئی از غرب دشت به چشم خورده و قسمت‌هایی از جنوب دشت نیز رسوب‌گذاری از نوع کم را نشان می‌دهند. بطوریکه شدت این رسوب‌گذاری‌ها، از سمت شرق (تغذیه آبخوان) به سمت غرب (تخلیه آبخوان) دشت، افزایش یافته است. در سال ۱۳۹۴، نسبت به سال ۱۳۹۳، از میزان رسوب‌گذاری‌های متوسط و زیاد کاسته شده و به میزان رسوب‌گذاری کم اضافه شده است. میزان رسوب‌گذاری خیلی زیاد ثابت مانده ولی موقعیت آن به قسمت‌هایی از شمال، غرب و جنوب غربی

دشت تغییر یافته است. همچنین در این سال، علاوه بر وضعیت‌های مختلف رسوب‌گذاری، قسمت‌هایی از جنوب شرقی و شرق دشت، نشان-دهنده مقداری از خوردگی نیز می‌باشند. در این سال، بیشترین مساحت دشت را وضعیت رسوب‌گذاری زیاد به خود اختصاص داده است. در سال ۱۳۹۵، نسبت به سال قبل، مقادیر رسوب‌گذاری‌های زیاد، خیلی زیاد و خوردگی کاهش یافته ولی میزان رسوب‌گذاری‌های کم و متوسط افزایش یافته است. رسوب‌گذاری‌های کم و متوسط، با مساحت-های تقریبی یکسان، در قسمت‌هایی از شمال شرقی، شرق، جنوب، جنوب شرقی، مرکز و جنوب غربی دشت، گسترده شده‌اند. رسوب‌گذاری خیلی زیاد نیز به مقدار بسیار جزئی، تنها در شمالی‌ترین نقطه دشت به چشم می‌خورد. سال ۱۳۹۶، از لحاظ مقادیر، وضعیت تقریباً مشابهی را

با سال ۱۳۹۳ داشته ولی نحوه پراکندگی وضعیت‌های مختلف رسوب-گذاری در آنها متفاوت است. همچنین میزان رسوب‌گذاری‌های زیاد و خیلی زیاد در سال ۱۳۹۶، حدود ۲ درصد کمتر و رسوب‌گذاری متوسط آن حدود ۴ درصد بیشتر از سال ۱۳۹۳ می‌باشند. در سال ۱۳۹۷، با وجود اینکه بیشترین مساحت دشت را وضعیت رسوب‌گذاری کم به خود اختصاص داده است ولی میزان همین نوع رسوب‌گذاری نسبت به سال ۱۳۹۳، تقریباً افزایش دو برابری داشته و حدود ۴ درصد نیز به میزان خوردنگی آب زیرزمینی، در محدوده جنوب‌شرقی به طرف مرکز دشت، اضافه شده است. با این وجود میزان رسوب‌گذاری‌های خیلی زیاد، زیاد و متوسط آن، نسبت به سال ۱۳۹۳، کاهش را نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که در بین تمامی سال‌های مورد مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۵، با دارا بودن مقادیر بسیار جزئی از رسوب‌گذاری خیلی زیاد و همچنین مقادیر قابل قبولی از رسوب‌گذاری‌های کم، متوسط و زیاد، وضعیت نسبتاً مطلوبی را دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به منظور تحلیل و بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی هیدروژئوشیمیایی دشت میان‌دوآب، به عنوان اصلی‌ترین دشت حوضه آبریز دریاچه ارومیه، انجام شد. در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات پارامترهای کیفی آبخوان، در مقایسه با استانداردهای کیفی مربوط به آب شرب، کشاورزی و صنعت، توزیع فضایی تمامی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از آنالیزهای زمین‌آماري تولید شده و نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی نیز با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS استخراج شدند. کیفیت آب شرب دشت، از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ روند کاهشی داشته ولی در سال ۱۳۹۷ با افزایش میزان کیفیت آب در محدوده خوب و کاهش وسعت مناطق با کیفیت آب در محدوده بد، نسبتاً رو به بهبودی است. ولی با این وجود، برای جلوگیری از پیشرفت جبهه‌های غیرقابل شرب و نامناسب و همچنین تلاش برای افزایش میزان کیفیت آب در محدوده قابل قبول، نیازمند مدیریت صحیح و ضروری است. در بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی، مشخص شد که در طی دوره آماری مذکور، بیشترین وسعت دشت دارای مناطقی با کیفیت آب زیرزمینی شور می‌باشند. میزان این شوری، با پیشروی به سمت نواحی غربی، افزایش می‌یابد، که از دلایل آن، می‌توان به وجود دریاچه ارومیه در غرب دشت نیز اشاره نمود. به دلیل اینکه آبخوان، به دریاچه ارومیه که خود نیز عامل شوری است، تخلیه می‌شود، با افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی دشت، راه برای ورود آب شور از سمت دریاچه ارومیه به طرف آبخوان تسهیل شده، که این امر نیز به نوبه خود باعث تشدید شوری شده است. کیفیت کشاورزی آب زیرزمینی، از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶، کاهش یافته ولی با افزایش وسعت مناطق با کیفیت آب کمی شور در سال ۱۳۹۷، وضعیت نسبتاً رو به بهبودی است. در بررسی کیفیت آب از لحاظ صنعت، وضعیت رسوب‌گذاری دشت، از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵، با کاهش رسوب‌گذاری خیلی زیاد و افزایش رسوب‌گذاری‌های کم، متوسط و زیاد در سال ۱۳۹۵، رو به بهبود بوده است. از سال ۱۳۹۶ به بعد، با اینکه میزان رسوب‌گذاری خیلی زیاد افزایش یافته ولی در سال ۱۳۹۷، شرایط نسبتاً به سمت وضعیت مطلوب پیش می‌رود. بررسی

نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که آبخوان میان‌دوآب از هر سه نظر شرب، کشاورزی و صنعت، در نواحی تغذیه آن شامل نواحی شمال-شرقی، شرق، جنوب‌شرقی و جنوب دشت دارای کیفیت و وضعیت‌های بهتری نسبت به نواحی تخلیه، شامل نواحی شمال غربی و غرب دشت، به علاوه قسمت‌هایی از جنوب غربی، می‌باشد. با توجه به توپوگرافی و جهت جریان آب زیرزمینی دشت میان‌دوآب، مشاهده می‌شود که این مناطق واقع در ارتفاعات و به عبارتی سرچشمه‌های منابع قرار گرفته و در مقایسه با مناطق واقع در غرب دشت، آسیب‌پذیری کمتری را داشته‌اند. بنابراین مناطق تغذیه آبخوان (شرق دشت)، جزء مناطق کم‌خطر بوده و به سمت نواحی تخلیه (غرب دشت) به مناطق پرخطر تبدیل می‌گردد. نتایج مشابه در پژوهش‌های (Jeihooni et al (2014) برای دشت تبریز (۴)، (Feizi et al. (2019) برای دشت کاشان (۱۱) و (Ghamarnia and Roshandel (20۱۹) برای دشت چاردولی (۱۰) نیز گزارش شده است. بنابراین کیفیت آب‌های زیرزمینی ناحیه غرب دشت میان‌دوآب را نمی‌توان برای اهداف شرب، کشاورزی و صنعت توصیه کرد؛ در ناحیه مرکزی دشت، در صورت ضرورت استفاده از آب‌های زیرزمینی، باید نظارت دقیق و تمهیدات لازم اعمال گردد. ولی در ناحیه شرق دشت، کیفیت آب برای اهداف مذکور نسبتاً خوب تا متوسط بوده و قابل توصیه می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق، می‌تواند راه‌گشای سازمان‌های مرتبط برای برنامه‌ریزی‌های بخش شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی باشد. همچنین در شرایط بحرانی نیز، نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی مستخرج در این پژوهش، می‌تواند توسط شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی به عنوان سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای حفر چاه‌های جدید یا جلوگیری از حفر چاه در مناطق ممنوعه دشت، در نظر گرفته شود.

پیشنهادها

نتایج نشان داد هرچه میزان درآمد کشاورزان از کشاورزی کمتر باشد،

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر، فرم‌های رضایت‌نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

این تحقیق بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

آماده‌سازی پیش‌نویس اصلی: پریسا پاشاخواه؛ بررسی و ویرایش: شهرام شاهمحمدی کلالق و مدیریت پروژه: حسین بابازاده و مهدی سرائی-تبریزی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هر گونه تعارض منافع بوده است.

References

- 1 Tiwari K, Goyal R, Sarkar A. GIS-based spatial distribution of groundwater quality and regional suitability evaluation for drinking water. *Environ. Proc.* 2017; 4: 645-662.
- 2 Machiwal D, Madan KJ, Bimal C.M. GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard rock hilly terrain of Western India. *Environmental monitoring and assessment.* 2011; 174(1-4):645-63.
- 3 Emami S, Choopan Y, Parsa J. Modelling the groundwater level of the Miandoab Plain using artificial neural network method and election and genetic algorithms. *Iranian Journal Echohydrology.* 2018; 5(4): 1175-1189 [In Persian].
- 4 Jeihouni M, Toomanian A, Shahabi M, Alavipanah S.K. Groundwater quality assessment for drinking purposes using GIS modelling (case study: City of Tabriz). *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2014; 40, 163-168.
- 5 Sarhadi M, Nahtani M, Riki M. Assessment Groundwater quality of Zahedan plain for drinking, agricultural and industrial use during drought and normal periods. *Proceedings of the first National Conference on Water Quality and Sustainable Development, Arak.* 2015.
- 6 Annapoorna H, Janardhana M.R. Assessment of Groundwater Quality for Drinking Purpose in Rural Areas Surrounding a Defunct Copper Mine. *Aquatic Procedia.* 2015; (4): 685-692.
- 7 Khosravi H, Karimi K, Nakhaee Nejadfard S, Mesbahzadeh T. Investigation of Spatial Structure of Groundwater Quality Using Geostatistical Approach in Mehran plain, Iran. *Pollution.* 2016; 2(1): 57-65.
- 8 Khan R, Jhariya D. Groundwater quality assessment for drinking purpose in Raipur City, Chhattisgarh using water quality index and geographic information system. *J. Geol. Soc. India.* 2017; 90: 69-76.
- 9 Jafari KH, Baghal-Asghari F, Hoseinzadeh E, Heidari Z, Radfard M, Najafi-Saleh H, et al. Groundwater quality assessment for drinking and agriculture purposes in Abhar city, Iran. *Data Brief.* 2018; 9: 1033-1039.
- 10 Ghamarnia H, Roshandel F. Assessment of groundwater quality in Chardoley palin located in Kurdistan Province. *Water engineering.* 2019; 12(41); 145-160 [In Persian].
- 11 Feizi Z, Keshtkara A.R, Afzali A. Using geostatistical and deterministic modelling to identify spatial variability of groundwater quality. *International Desert Research Center.* 2019; 24(1):143-151.
- 12 ElKashouty M. (2019). Groundwater quality distribution by geostatistical investigation (GIS), Nile Delta, Northern Egypt. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology.* 2019; 11(1): 1-21.
- 13 Asadi E, Isazadeh M, Samadianfard S, Ramli M.F, Mosavi A, Nabipour N, et al. Groundwater Quality Assessment for Sustainable Drinking and Irrigation: sustainability. *MDPI;* 2019.
- 14 Fallahati A, Soleimani H, Alimohammadi M, Dehghanifard E, Askari M, Eslami F, et al. 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.* 2020; 192(1):64.
- 15 Jonubi R, Rezaverdinejad V, Behmanesh J, Abbaspour K. Investigation of quantitative changes in the groundwater table of the Miandoab Plain affected by surface and groundwater resources management using the MODFLOW-NWT mathematical model. *Iranian Journal of*

- Soil and Water Research. 2018; 49(2): 467-481 [In Persian].
- 16 Noroozi-Qushbulaq H, Asghari-Moghaddam A, Hateftabar S. Evaluation of Groundwater vulnerability of the Miandoab Plain to nitrate using the genetic algorithm. Ecology. 2019; 45(2): 301-315 [In Persian].
- 17 Dehghanipour A.H, Zahabiyoun B, Schoups G, Babazadeh H. A WEAP-MODFLOW surface water-groundwater model for the irrigated Miyandoab plain, Urmia lake basin, Iran: multi-objective calibration and quantification of historical drought impacts. Agric Water Manag. 2019; 223:105704.
- 18 Dehghanipour A.H, Schoups G, Zahabiyoun B, Babazadeh H. Meeting agricultural and environmental water demand in endorheic irrigated river basins: a simulation-optimization approach applied to the Urmia Lake basin in Iran. Agric Water Manag. 2020; 241:106353.
- 19 Pashakhah P, Babazadeh H, Shahmohammadi-Kalalagh SH, Sarai-Tabrizi M. Salinity-based spatial evaluation of groundwater quality for agricultural use. International Journal of Environmental Science and Technology. 2022.
- 20 Update studies of water resources balance Study areas of Urmia Lake catchment area. Iran Water Resources Management Company. Water Consulting Engineers and Sustainable Development. 2015.
- 21 Emberger L. Sur le quotient pluviothermique. C.R. Sciences. 1952; 234: 2508-2511.
- 22 Ghasemi-Ziarani A, faryadi Sh, Shaykh-Kazemi Sh. The pollution of the Karaj dam basin by using GIS software. The first environmental engineering conference. Tehran University, Faculty of Engineering. 2006.
- 23 Rafi Sharifabad J, Zehtabian Gh.R. Tracking temporal and spatial changes in underground water quality for potable and agricultural purpose (Case study: Yazd, Ardakan Plain). Desert management. 2017; 5(9): 107-119 [In Persian].
- 24 Delgado C, Pacheco J, Cabrera A, Batllori C.E, Orellana R, Bautista F. Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatan, Mexico. Agricultural Water Management. 2010; 97(10): 1423-1433.
- 25 Hernandez-Stefanoni J.L, Ponce-Hernandez R. Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: comparison of spatial interpolation methods. Environ. Monit. Assess. 2006; 117, 307-334.
- 26 Bagheri R, Mohammadi S. Comparing different interpolation methods to investigate the spatial changes in the water-table of Kerman Plain. The 1st National Conference on Groundwater. Behbahan, Iran. 2009. (In Persian).
- 27 Gharbia A.S, Gharbia S.S, Abushbak T, Wafi H, Aish A, Zelenakova M, et al. Groundwater Quality Evaluation Using GIS Based Geostatistical Algorithms. Journal of Geoscience and Environment Protection. 2016; 4: 89-103.
- 28 Schoeller H. La classification geochimique des eaux. LASH Publication no. 64, Gen. Assembly of Berkeley. 1964; 4: 16-24.
- 29 Wilcox L.V. Classification and Use of Irrigation Waters. US DA, Circular 969, Washington; 1955.
- 30 Ghobadina M, Rahimi H, Sohrabi T. Evaluation of potential calcium carbonate precipitation in agricultural tile drains. Iranian Journal of irrigation and drainage. 2009; 3(1): 1-12 [In Persian].

