Environ. Water Eng., 2024, 10(2), 290-298 DOI: 10.22034/EWE.2023.406671.1879

Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

Short Paper

Evaluation of Drinking Quality of Groundwater Using Fuzzy Logic and Deterministic Method

Sedigheh Shakour[1*], Manouchehr Chitsazana[2] and Seyed Yahya Mirzaee[3]

[1]PhD Scholar, Department of Geology, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

[2]Professor, Department of Geology, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

[3]Assoc. Professor, Department of Geology, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Article information

Received: July 15, 2023
Revised: September 25, 2023
Accepted: September 26, 2023

Keywords:
Deterministic Method
Fuzzy Model
Groundwater
Schoeller

*Corresponding author**:**
sed_shakur@scu.ac.ir

Abstract

Groundwater is the main source of drinking water in the northern Dezful-Andimeshk plain, Iran which has become saline in some cases. To check the drinking quality of groundwater, in October 2019, 16 samples were taken from different parts of the plain. The samples were analyzed for the concentration of major cations, anions, and nitrates.Two methods were used to evaluate water quality: the Schoeller deterministic method and the Fuzzy logic. The Schoeller method categorized water quality from good to bad and determined that 56.81, 20.83, 18.77, and 3.57% of the area had good, acceptable, inappropriate, and bad water quality, respectively. On the other hand, the Fuzzy method showed that 21.60% of the area had desirable groundwater with a confidence level of 70-81, 75.23% had acceptable water quality with a confidence level of 32-70, and 3.69% had non-acceptable quality with a confidence level of 20-22%. The Fuzzy method was found to be better in evaluating water quality as it provided a more comprehensive, accurate, and efficient assessment by covering uncertainties better.

How to cite this paper: Shakour, S., Chitsazan, M., & Mirzaee, Y. (2024). Evaluation of drinking quality of groundwater using the fuzzy logic and deterministic method. *Environ. Water Eng.*, *10*(2), 290-298. https://doi.org/10.22034/ewe.2023.406671.1879 (In Persian)

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Due to the lack of groundwater sources and the importance of maintaining the health of the residents of the region, it is very important to investigate the quality of drinking water and zoning the quality of groundwater in Northern Dezful-Andimeshk. Water researchers have conducted extensive research in the field of quality assessment and classification of surface water and groundwater for drinking purposes, and often for this purpose, they have used deterministic methods such as the Schoeller diagram, water quality index and groundwater quality index. Groundwater quality assessment is a difficult task due to inherent uncertainties in the sampling and analysis stages; therefore, the use of artificial intelligence methods, especially fuzzy inference systems, is effective in evaluating groundwater quality in ambiguous and complex considering that, until now in Dezful-Andimeshk Plain, the study of drinking water quality has only been done using the deterministic method. Moreover, success of other researchers in using artificial intelligence methods. Therefore, in this research, this issue has been investigated, and the quality of groundwater for drinking has been evaluated first by using Schoeller deterministic method and then by using a fuzzy inference system and, finally, for further comparison of the two methods, the zoning map of drinking quality of groundwater has been drawn in the GIS environment.

Material and Methods

Northern Dezful- Andimshek study area with an area of approximately 475 Km^2 is located in Dezful and Andimshek cities. According to the field visits and the map 1/250000 of Khuzestan , this plain in terms of stratigraphy includes present-day alluviums, conglomerates of Bakhtiari formation (Paleocene), and Aghajari chalk and marl formation (Pliocene and Miocene).

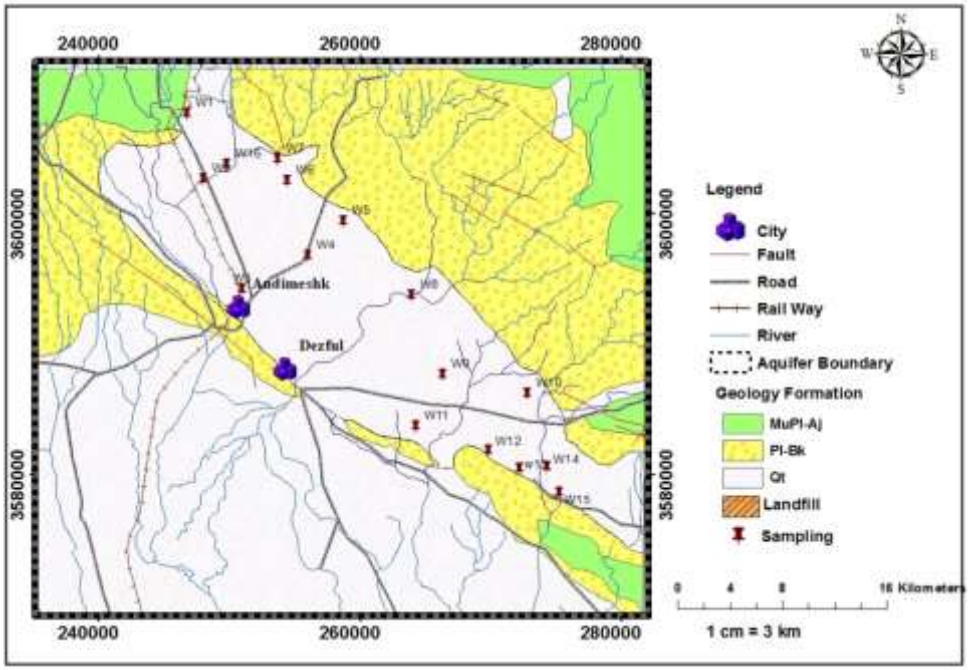


Fig. 1 Base map and sampling points of Northern Dezful- Andimeshk plain.

In October 2020, 16 samples of groundwater were taken from different parts of the plain. The base map and sampling location are shown in Fig (1). For sampling, polyethylene plastic bottles were used to check groundwater quality in Northern Dezful-Andimeshk plain. The pH and Electrical Conductivity (EC) were measured using digital conductivity meters. So the samples were transferred to the Khorramabad hydrology laboratory and concentration of Sodium (Na^+), Magnesium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}), Chloride (Cl^-), Bicarbonate (HCO_3^-), Sulfate (SO_4^{2-}), Nitrate (NO_3^-), Total Dissolved Solids (TDS), and Total Hardness (TH), based on standard methods American Public Health Association (APHA) were measured. The standard and logarithmic Schoeller diagram in the GWW software environment then was used Mamdani Fuzzy system in the MATLAB software environment, and finally, the results of both

methods were used for the zoning of the area from the opinion drinking of view was done using Arc GIS 10.5 software.

Results

In the Schoeller method, there are good, acceptable, inappropriate and bad areas. So 270.36 km2 of the area has good quality, 99.14 km^2 has acceptable quality, 89.37 km^2 has inappropriate quality, and 17 km^2 has bad quality. Based on the results obtained from the fuzzy method, the groundwater in 100.34 km^2 with a confidence percentage of more than 75% has desirable quality, in 358.28 km^2 with a confidence percentage of 25 to 75% it has acceptable quality, and 17.62 km^2 of the plain with a confidence percentage of less than 25% have non-acceptable quality. Based on the zoning maps resulting from the two methods, the quality zones in the two methods differ to a relative extent.

One of the reasons for this difference is that, due to the ability of the fuzzy method to involve a greater number of effective parameters in water quality, it is more compatible with environmental realities, so in the fuzzy method in places where the water quality is shown to be non-acceptable, in fact, Nitrate contamination has been detected. This issue shows the accuracy and comprehensiveness of the fuzzy method. Because, in the fuzzy method, only a few effective parameters are considered in water evaluation. Another advantage of the fuzzy method over the deterministic method is that in the fuzzy method, in addition to expressing the water quality category, it provides the portability percentage, but in the deterministic method, this capability is not present. In threshold conditions of quality categories, the fuzzy method is more flexible due to considering the membership function between zero and 1 and applying expert opinion.

Conclusions

1. According to Schoeller method, the plain total area had 3.6%, 18.8%, 20.8%, and 56.8% of bad, inappropriate, acceptable, and good water quality, respectively.

2. The Fuzzy method classified groundwater in the plain as non-acceptable in 3.69% of the total area with a confidence level of 20% to 22%, acceptable in 75.23% of the total area with a confidence level of 32 to 70%, and desirable in 21.6% of the total area with a confidence level of 70 to 81%.

3. The research showed that the Fuzzy method performed better than the deterministic method, providing a more comprehensive evaluation.

Acknowledgment

The authors would like to thank the Iranian National Science Foundation (INSF) for their support.

Data Availability

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request (sed_shakur@scu.ac.ir).

Conflicts of Interest

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

DOI: 10.22034/EWE.2023.406671.1879

دوره ۱۰، شماره ۲، صفحات: ۲۹۰-۲۹۸

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

مقاله کوتاه

ارزیابی کیفیت شرب آب‌های زیرزمینی با استفاده ازمنطق فازی و روش قطعی

صدیقه شکور[1*]، منوچهر چیت‌سازان[2] و سیدیحیی میرزایی[3]

[1]دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

[2]استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

[3]دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تامین آب شرب دشت دزفول اندیمشک شمالی هستند که در برخی موارد شور شده اند. بنابراین برای بررسی کیفیت شرب آن ها، در مهرماه ۱۳۹۹ تعداد ۱۶ نمونه از نقاط مختلف دشت برداشته شد. نمونه‌ها از نظر غلظت کاتیون‌های اصلی، آنیون‌ها و نیترات‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند. برای ارزیابی کیفیت آب از دو روش استفاده شد: روش قطعی شولر و منطق فازی. روش شولر کیفیت آب را از خوب به بد طبقه بندی کرد و مشخص کرد که به ترتیب ۵۶/۸۱، ۲۰/۸۳، ۱۸/۷۷، و ۳/۵۷٪ از سطح منطقه دارای کیفیت خوب، قابل قبول، نامناسب و بد هستند. از سوی دیگر، روش فازی نشان داد، کیفیت آب در ۲۱/۶٪ از سطح منطقه دارای کیفیت مطلوب با سطح اطمینان ۷۰ تا ۸۱٪، در ۷۵/۲۳٪ دارای کیفیت قابل قبول با سطح اطمینان ۳۲ تا ۷۰٪ و در ۳/۶۹٪ با سطح اطمینان ۲۰ تا ۲۲ ٪ دارای کیفیت غیر قابل قبول هستند. نتایج، نشان داد، ارزیابی با روش فازی در مقایسه با روش قطعی شولر، بهتر است، چون، هم عدم قطعیت‌ها را بهتر پوشش می‌دهد و هم ارزیابی جامع‌تر، دقیق‌تر و کارآمدتری ارائه می‌دهد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۴/۱۴]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۷/۰۳]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۷/۰۴]

واژه‌های کلیدی:

آب زیرزمینی

روش قطعی

شولر

مدل فازی

***نویسنده مسئول:**

sed_shakur@scu.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:

شکور، صدیقه، چیت‌سازان، منوچهر.، & میرزایی، یحیی. (۱۴۰۳). ارزیابی کیفیت شرب آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و روش قطعی. *محیط‌زیست و مهندسی آب*. *10*(2) 290-298 https://doi.org/10.22034/ewe.2023.406671.1879

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، توسعه صنایع و کشاورزی باعث آلودگی آب زیرزمینی و کاهش کیفیت این منبع ارزشمند شده است، از طرفی، عدم بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌تواند باعث پنهان ماندن آلودگی احتمالی آنها و منجر به بروز بیماری‌های انسانی شود. برای مثال، غلظت بالای نیترات در آب شرب باعث بیماری سیانوزیس در کودکان، اختلالات تنفسی، بیماری‌های گوارشی و انواع سرطان می‌شود، یا غلظت بالای کلرید و سدیم ممکن است باعث، سقط‌جنین، بیماری‌های چشم، مغز و اعصاب شود (WHO 2011).

به دلیل کمبود منابع آب زیرزمینی و اهمیت حفظ سلامت ساکنان منطقه، بررسی کیفیت آب شرب و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دزفول - اندیمشک شمالی بسیار مهم است. پژوهشگران آب، تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه ارزیابی کیفیت و طبقه‌بندی آب سطحی و آب زیرزمینی برای مصارف شرب انجام داده و اغلب برای این منظور، از روش‌های قطعی مانند نمودار شولر (Igibah et al. 2020; Hounsinou 2022) و یا از شاخص کیفیت آب (Water Quality Index) استفاده کرده‌اند (Kumar & Krishna 2021, Shakeri et al. 2022). ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی به دلیل عدم‌قطعیت‌های ذاتی در مراحل نمونه‌برداری و تجزیه‌وتحلیل، یک وظیفه دشوار است؛ لذا استفاده از روش‌های هوش مصنوعی، به‌خصوص سیستم‌های استنتاج فازی، در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در سیستم‌های هیدروژئولوژی مبهم و پیچیده مؤثر هستند و علاوه بر کاهش عدم قطعیت‌ها، مزایای روش‌های متداول را با هم ترکیب می‌کنند (Vadiati et al. 2016). باتوجه به توانایی روش فازی در کاهش عدم‌قطعیت‌ها و سایر مزایای آن، برخی دیگر از محققان سعی کرده‌اند روش‌های متداول را با سیستم استنتاج فازی ترکیب یا مقایسه کنند، به‌طوری‌که گروهی از محققین هم از شاخص کیفیت آب شرب و هم از سیستم استنتاج فازی استفاده کرده‌اند. Vadiati et al. (2016) و Jha et al. (2020) از ترکیب شاخص کیفیت آبهای زیرزمینی و منطق فازی، برای ارزیابی کیفیت آب شرب استفاده کرده اند و همچنین Azimi et al. (2019) برای پیش بینی کیفیت آب زیرزمینی از روش فازی و شاخص کیفیت آب استفاده کرده اند. Chaudhary (2020) به مطالعه ی مقایسه ای کیفیت آب های زیرزمینی با استفاده از روش شاخص کیفیت آب های زیرزمینی و روش منطق فازی پرداخته است، ولی با وجود، مطالعات گسترده‌ای که با استفاده از روش‌های ترکیبی یا مقایسه فازی و شاخص کیفیت آب زیرزمینی، انجام شده است، مطالعات در زمینه مقایسه و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با دو روش قطعی شولر و فازی کم‌تر انجام شده است. در این پژوهش نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب براساس هر دو روش قطعی شولر و فازی ترسیم شد تا روش بهتر و کارآمدتر برای ارزیابی کیفیت شرب آب معرفی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-منطقه موردمطالعه

محدوده مطالعاتی دزفول- اندیمشک شمالی با مساحت تقریبی ۴۷۵ Km^2 در شهرستان‌های دزفول و اندیمشک قرار دارد و از نظر هیدروژئولوژیکی از زیر حوضه‌های کارون بزرگ محسوب می‌شود و منبع اصلی آب شرب در آن، منابع آب زیرزمینی است. بر اساس بازدیدهای میدانی و نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ خوزستان، این دشت از نظر چینه‌شناسی شامل: آبرفت‌های عهد حاضر، گنگلومراهای سازند بختیاری (پالئوسن) و سازند گچی و مارنی آغاجاری (پلیوسن و میو سن) است.

۲-۲- آنالیز نمونه‌ها و روش پژوهش

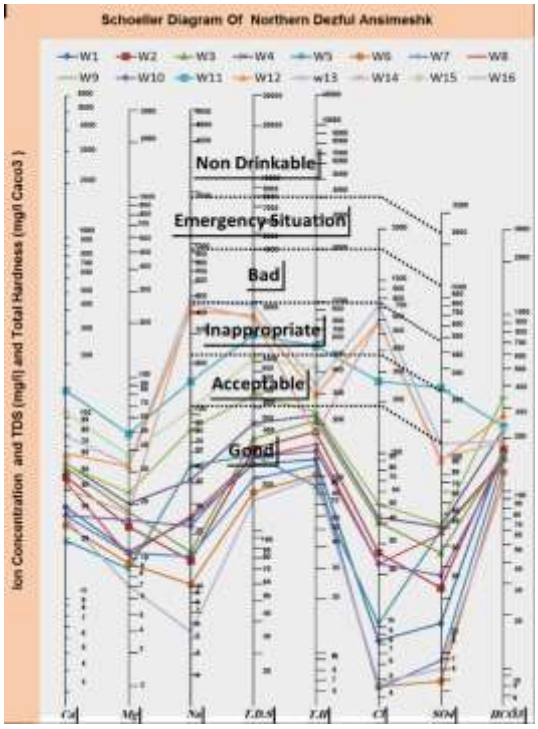
جهت انجام پژوهش، در آبان ماه سال ۱۳۹۹ عملیات میدانی انجام شد. تعداد ۱۶ نمونه از منابع آب زیرزمینی منطقه برداشته شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه آب شناسی شهرستان خرم‌آباد منتقل شدند. غلظت کلسیم (Ca^{2+}) منیزیم (Mg^{2+})، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلرید (Cl^-) سدیم (Na^+)، سولفات (SO_4^{2-})، نیترات (NO_3^-)، سختی کل (TH) و کل مواد جامد محلول (TDS) بر اساس روش‌های استاندارد انجمن بهداشت عمومی آمریکا (APHA) اندازه‌گیری شدند. مقادیر Ca^{2+}، HCO_3^-، Cl- و TH با استفاده از روش‌های حجم سنجی، مقدار Mg^{2+} با توجه به محتوای TH و مقدار Ca^{2+}، مقدار Na^+ با استفاده از فلیم فوتومتر (Flame Photometer)، مقدار SO_4^{2-} با استفاده از روش رنگ‌سنجی، NO_3^- با استفاده از اسپکتروفتومتر

(Spectrophotometer) اندازه‌گیری شدند. برای بررسی صحت کلی داده‌های به‌دست‌آمده از روش محاسبه تعادل یونی استفاده شد. نمونه‌هایی با خطای بیشتر از ۵٪ مجدداً مورد آزمایش قرار گرفتند. جهت ارزیابی و پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی منطقه از نظر کیفیت شرب، نخست از استاندارد و نمودار شولر در محیط نرم‌افزار GWW و سپس از سیستم فازی ممدانی در محیط نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. در نهایت از نتایج حاصل از هر دو روش برای پهنه بندی منطقه، در نرم‌افزار Arc GIS 10.5 استفاده شد. اساس کار روش شولر، استاندارد شولر است که در آن، براساس غلظت پارامترهای Na^+، Cl^-، SO_4^{2-}، TDS وTH، کیفیت آب نوشیدنی، به شش گروه خوب، قابل قبول، نامناسب، بد، در صورت اضطرار قابل مصرف و غیرقابل شرب، طبقه‌بندی می‌کند .برای رسم نمودار شولر پارامترهای: Ca^{2+}،Mg^{2+} ، Na^+، Cl^-، HCO_3^-، SO_4^{2-}، به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار GWW (Ground Water software for Windows) داده می‌شوند و نرم‌افزار نیز کیفیت آب شرب را (به‌عنوان خروجی) در قالب نمودار شولر ارائه می‌دهد. یک سیستم استنتاج فازی فرایندی است که استدلال انسان را با استفاده از قوانین فازی به‌صورت توابع ریاضی درمی‌آورد و غالباً متشکل از چهار بخش اصلی شامل: ۱- فازی‌سازی ۲- تعیین قوانین. ۳- اعمال عملگر مناسب. ۴- غیر فازی سازی است. لذا در این پژوهش نه پارامتر مؤثر بر کیفیت آب شامل Na^+، Cl^-، HCO_3^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، SO_4^{2-}، NO_3^-، TDS و TH برای ارزیابی آب شرب با استفاده از روش فازی انتخاب شدند. برای کاهش خطا و پیچیدگی مدل، این نه پارامتر به سه گروه تقسیم شدند و برای هر گروه تعدادی ورودی و یک خروجی تعیین شد که عبارتند از: گروه اول: Ca^{2+}، Mg^{2+}، HCO_3^- ،SO_4^{2}. گروه دوم: Na^+، Cl^-، TDS، و TH گروه سوم: NO_3^-، خروجی گروه اول و خروجی گروه دوم. برای هر گروه تعدادی قانون با متغیرهای زبان‌شناختی و مشخصه‌های زبانی تعریف شد و عملگر "And" و از غیر فازی ساز مرکز ثقل (Centroid) استفاده شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- ارزیابی به‌روش قطعی شولر

نمودار شولر منطقه نشان‌می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی از خوب تا بد متغیر است. نمونه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۶ برای شرب مناسب هستند، نمونه‌های ۹ و ۱۵ قابل قبول، نمونه‌های ۱۱، ۱۲، نامناسب و نمونه‌های ۱۳ و ۱۴ کیفیت بد دارند. این نتایج در شکل(۱) نشان داده‌شده‌است.



شکل ۱- نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دزفول-اندیمشک شمالی

Fig 1 Schoeller diagram of groundwater samples of Northern Dezful Andimeshk plain

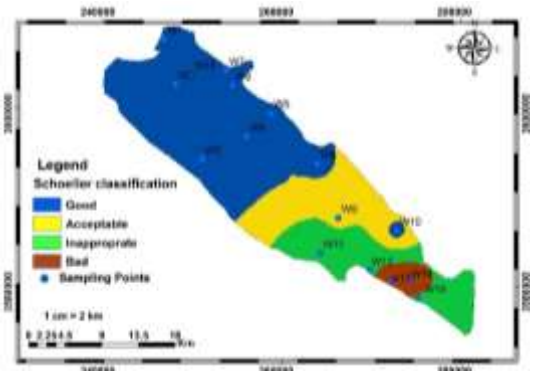
در ادامه، به‌منظور پهنه‌بندی دشت، با توجه به نمودار ترسیم شده و حدود استاندارد شولر، برای هر نمونه یک رده آب، بین ۱ تا ۴ تعلق گرفته است (جدول ۱). سپس با استفاده از رده های تعلق گرفته به نمونه‌ها، در محیط Arc GIS به‌روش IDW (Inverse Distance Weighting) درون یابی انجام شده‌است و نقشه ی آن در شکل (۲) نمایش دادشده‌است. در نقشه‌ی زون‌بندی شده به‌روش شولر چهار گستره‌ی خوب، قابل‌قبول، متوسط و بد وجود دارد به‌طوری‌که در km^2 ۲۷۰،۳۶ از منطقه دارای کیفیت خوب، km^2 ۹۹/۱۴ دارای کیفیت قابل‌قبول، و km^2 ۸۹/۳۸ دارای کیفیت متوسط و $17km^2$ دارای کیفیت بد است. با توجه به این زون‌بندی، روند تغییرات کیفیت آب تا حد زیادی از نظر هیدروژئولوژیکی و زمین شناسی قابل توجیه است، به‌طوری‌که متناسب با جهت جریان منطقه کیفیت آب از ورودی‌های دشت (شمال شرق و حاشیه شرقی) دارای کیفیت خوب و قابل‌قبول است و به‌سمت خروجی دشت (حاشیه غربی و جنوب‌غربی)، کیفیت نامناسب و بد پیدا می‌کند. علاوه بر این در جنوب غربی به‌دلیل وجود میان لایه‌های گچ و مارن سازند

آغاجاری، مقدار Na^+ و Cl^- و SO_4^{2-} از حد مجاز شولر فراتر است.
رفته و باعث شوری و کیفیت بد در نمونه‌های ۱۳ و ۱۴ شده

های قطعی شولر و فازی در دشت و نتایج روش WHO 2011 جدول ۱. نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های آب زیر زمینی، حدود استاندارد

Table 1 .Laboratory results of groundwater samples, WHO 2011 standard limits and the results of fuzzy and deterministic methods of the plain

Samples	Results of laboratory analysis (mg/l)									Water Quality by Fuzzy	Water Quality by Schoeller
	TH	T.D.S	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-		
W1	136.56	257.28	35.2	11.8	27	190.5	9.2	16.2	16.3	75%	1
W2	195.42	313.6	51.5	16.2	15.5	187.5	29.5	25.5	86.11	20%	1
W3	224	358.4	57.5	19.5	17.3	178.5	44	40	39	50%	1
W4	241.39	435.2	61	21.6	45.3	242.5	47	56	75	22%	1
W5	96.845	288	23.1	9.5	55	163.2	11.5	53.3	11.2	76.2%	1
W6	111.98	179.2	28	10.2	11.3	141	5	7.7	12.27	76%	1
W7	126.23	211.2	31.5	11.6	16.4	167.5	4.9	10	10.73	78%	1
W8	166.59	278.4	48.2	11.2	28.1	164.5	25.5	51.2	6	81%	1
W9	251.65	624	60	24.7	88.6	366.2	56	58	19.85	50%	2
W10	151.43	282.88	31.6	17.6	24.5	166.3	25.5	30	14.04	71%	1
W11	592.49	1360	151.4	52	169	252.2	285	335	40.3	32.6%	3
W12	314.48	1763.2	69	34.5	432	292	622	131	22	35%	3
W13	359.02	2012.8	85.5	35.3	499	209	767.8	163	27	32.1%	4
W14	189.76	1702.4	44.3	19.2	475.2	208.3	626	135	17.6	38.2%	4
W15	452.11	998.4	115	40	115.7	210.3	241.5	183.1	34.2	39%	2
W16	107.94	160.64	30.5	7.7	6	120.6	5.3	9	16.6	75.1%	1
WHO Standard			Desirable (——)			Acceptable (- - -)			Non-Acceptable ( ) ═══		
Water Quality by Fuzzy			Desirable (70-100%)			Acceptable (30-70%)			Non-Acceptable (0-30%)		
Water Quality by Schoeller			Desirable (1)			Acceptable (2)		Inappropriate (3)	Bad (4)		



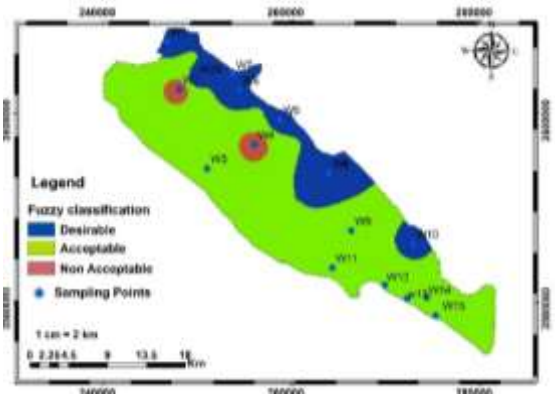
شکل ۲- نقشه پهنه بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک شمالی بر مبنای روش شولر

Fig. 2 Zoning map of groundwater quality of Norhtern Dezful- Andimeshk plain by Schoeller diagram

۲-۳- ارزیابی به‌روش فازی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش فازی، ۱۲٫۵٪ از نمونه‌ها با درصد اطمینان کمتر از ۲۵٪ در گروه غیرقابل‌قبول، ۴۳٫۷۵٪ نمونه‌ها با درصد اطمینان ۲۵ ٪ تا ۷۵٪ در رده ی قابل‌قبول و ۴۳٫۷۵٪ دیگر از نمونه‌ها با درصد اطمینان ۷۵٪ تا ۸۱٪ در رده‌ی مطلوب برای شرب قرار گرفتند. در ادامه، جهت زون‌بندی منطقه، از داده‌های درصد اطمینان قابلیت شرب حاصل از سیستم استنتاج فازی استفاده شد و نقشه پهنه‌بندی ترسیم شد، که در شکل(۳) آورده شده است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی به‌روش فازی سه گستره مطلوب، قابل قبول و غیر قابل‌قبول وجود دارد. نمونه‌های ۲، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۶ در محدوده‌ی کیفیت مطلوب، نمونه‌های ۳، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ در محدوده‌ی قابل‌قبول و نمونه‌های ۲ و ۴ در محدوده‌ی غیر قابل‌قبول واقع‌شده‌اند و همچنین مشخص شد که ۱۰۰٫۳۴ km^2 از گستره‌ی دشت دارای کیفیت مطلوب، ۳۵۸٫۲۸ km^2 دارای کیفیت قابل‌قبول و ۱۷٫۶۲ km^2 از دشت دارای کیفیت غیر قابل‌قبول هستند. در این نقشه، بهترین کیفیت آب، مربوط به ورودی‌های آبخوان، واقع در شرق و شمال شرق دشت است و به‌سمت غرب دشت با روندی نزولی به‌حالت قابل‌قبول گرایش پیدا می‌کند ولی در میانه‌ی دشت این روند به‌هم خورده است و آب‌های زیرزمینی به کیفیت غیر قابل‌قبول تغییر پیدا کرده‌اند. این موضوع به‌دلیل وجود مقادیر بیش از حد نیترات (ناشی از

فعالیت کشاورزی و زباله‌های شهرک دوکوهه) در شمال دشت است.



شکل ۳- نقشه زون‌بندی توزیع کیفیت منابع آب زیر زمینی دشت دزفول- اندیمشک شمالی بر مبنای روش فازی

Fig. 3 Zoning map of groundwater quality of Norhtern Dezful- Andimeshk plain by the fuzzy method

۳-۳- مقایسه دو روش قطعی و فازی

براساس مطالعات قبلی که توسط سازمان آب و برق خوزستان انجام شده‌است (KWPO 2011)، آلودگی نیترات در برخی از مناطق محرز شده و در ارزیابی به‌روش شولر کیفیت آب شرب در برخی از نقاط نامناسب نشان داده‌بود. لذا در این پژوهش علاوه بر روش قطعی، برای منظور نمودن نیترات در ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی از روش فازی نیز استفاده شد، تا ارزیابی جامع‌تری از کیفیت آب به عمل آید. همین امر باعث حصول نتایج قابل‌توجهی شد، به‌طوری‌که براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی، نمونه‌های ۱، ۶ و ۲ از لحاظ جایگاه مقدار واقعی پارامترها در شاخص‌های مطلوب، قابل‌قبول و غیرقابل قبول به‌هم شبیه هستند و تنها در مقدار نیترات متفاوت هستند، اما با وجود این شباهت نمونه ۲ با درصد اطمینان ۲۰٪ نامناسب برای شرب است و نمونه‌های ۱ و ۶ با درصد اطمینان ۷۵ تا ۷۶٪ مطلوب هستند. این تفاوت به‌دلیل غلظت زیاد نیترات در نمونه شماره ۲ است که در ارزیابی با روش قطعی در نظر گرفته نشده است . به عبارتی روش فازی از جامعیت بیشتری برخوردار است و بر اساس غلظت پارامترها در نمونه‌ها، درصدهای اطمینان قابلیت شرب ارائه کرده است، اما روش قطعی این کارایی را ندارد. برتری روش فازی نسبت به‌روش قطعی با مقایسه سطح اطمینان در نمونه‌های آب زیرزمینی بیش‌تر مشخص می‌شود به‌عنوان مثال، نمونه شماره ۱ و ۳ در مورد قرارگیری پارامترها در رده های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل‌قبول دقیقاً دارای جایگاه مشابه هستند، در حالی که در روش قطعی هر دو نمونه کیفیت مشابه نشان می دهند و هر دو در رده ی کیفیت خوب قرار می‌گیرند (شکل ۱ و ۲) ، اما بر اساس روش فازی، درصد اطمینان شرب آنها به ترتیب ۷۵٪ و ۵۰٪ است و به‌ترتیب در رده‌های مطلوب و قابل قبول قرار می‌گیرند، به‌عبارتی، در روش فازی کیفیت نمونه‌ها هم به‌صورت عددی و هم به‌صورت کیفی ارزیابی می‌شوند (جدول ۱) ولی در روش قطعی اینگونه نیست. براساس مطالعات برخی از پژوهش‌گران (Vadiati et al. 2016, Chaudhary 2020) روش فازی ابزار مناسبی برای کاهش عدم قطعیت‌ها بوده است و در مقادیر آستانه‌ای انعطاف پذیری بیشتری نشان داده است. در این پژوهش نیز این موضوع ثابت شد، به‌طوری‌که در نمونه‌های ۱۳ و ۱۴، مقدار Cl^- و Na^+ تنها اندکی از آستانه‌ی رده ی نامناسب عبور کرده‌اند و این باعث شده‌است که این نمونه‌ها در رده ی بد نمودار شولر قرار گیرند (شکل ۱ و ۲)، ولی در روش فازی، به‌دلیل در نظر گرفتن تابع عضویت بین صفر و ۱ برای مشخصه‌های زبانی، تعدی جزئی Na^+ و Cl^- از مرز رده نامناسب نمودار شولر در نظر گرفته نشده است و این نمونه‌ها در رده‌ی کیفیت قابل‌قبول قرار گرفته‌اند (شکل ۳). در نقشه‌های پهنه‌بندی هر دو روش تفاوت وجود دارد به طوری که روش قطعی شولر، ۵۶/۲٪ از کل منطقه دشت کیفیت خوبی دارد، اما در روش فازی، ۲۱٪ از دشت کیفیت مطلوب دارد. در روش قطعی، ۲۰/۸۵٪ از کل منطقه کیفیت قابل‌قبول دارد، اما در روش فازی، ۷۵/۲۹٪ از کل منطقه با درصد اطمینانی بین ۳۲ تا ۷۰ دارای کیفیت قابل‌قبول هستند. در روش قطعی، ۱۸/۷۷٪ از منطقه دارای کیفیت نامناسب هستند، اما در روش فازی، این رده از کیفیت اصلاً وجود ندارد. هم‌چنین در روش قطعی، ۳/۵۷٪ و در روش فازی ۳/۷۱٪ از منطقه، آب دارای کیفیت بد است. در روش تعیین‌شده، کیفیت آب نامطلوب در جنوب غرب دشت قرار دارد، در حالی که در روش فازی، آب‌های با کیفیت نامناسب در شمال تا مرکز دشت قرار دارند، به‌خصوص در نمونه‌های ۲ و ۴، و احتمالاً این مسئله به‌دلیل غلظت بالای نیترات در شهرک دوکوهه است که در آن کشاورزی گسترده‌ای وجود دارد، در حالی که در روش قطعی، نیترات در ارزیابی لحاظ نمی‌شود. یکی از معایب احتمالی روش فازی این است که افزایش پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب ممکن است دقت مدل

فازی را کاهش دهد، اما خوشبختانه در پژوهش حاضر هیچ نتیجه غیرمنتظره‌ای به‌دست نیامد و نقص احتمالی روش فازی بی‌اثر بود.

۴- نتیجه‌گیری

۱- بر اساس روش شولر ، مساحت کل دشت به ترتیب دارای ۳/۶، ۱۸/۸، ۲۰/۸ و ۵۶/۸٪ کیفیت آب بد، نامناسب، قابل قبول و خوب بود.

۲- روش فازی، آب های زیرزمینی دشت را در ۳/۶۹٪ از کل مساحت به عنوان غیرقابل قبول با سطح اطمینان ۲۰ تا ۲۲٪، قابل قبول در ۷۵/۲۳٪ از کل مساحت با سطح اطمینان ۳۲ تا ۷۰٪ طبقه بندی و در ۲۱/۶٪ کل مساحت با سطح اطمینان ۷۰ تا ۸۱٪ مطلوب است.

۳-این پژوهش نشان داد که ارزیابی کیفیت آب به روش فازی بهتر از روش قطعی عمل می‌کند و ارزیابی جامع‌تری ارائه می-دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) به‌خاطر حمایت آنها قدردانی می‌کنند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل (sed_shakur@scu.ac.ir) قابل ارسال می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Azimi, S., Moghaddam, M. A., & Monfared, S. H. (2019). Prediction of annual drinking water quality reduction based on Groundwater Resource Index using the artificial neural network and fuzzy clustering. *J. Contam. Hydrol.*, *220*, 6-17. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2018.10.010

Chaudhary, J. K. (2020). A comparative study of fuzzy logic and WQI for groundwater quality assessment. *Procedia Comput. Sci.*, *171*, 1194-1203. DOI: 10.1016/j.procs.2020.04.128

Hounsinou, S. P. (2022). Use of graphical and multivariate statistical methods to show a marine intrusion and salinization of a coastal water table: case study of the township of Abomey-Calavi, Benin. *Heliyon*, *8*(11), e11588. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11588

Igibah, E. C., Agashua, L. O., & Sadiq, A. A. (2020). Hydro-geochemical features and groundwater attribute evaluation in North-central Abuja, Nigeria. *Sci. Africa.*, *8*, e00324. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00324

Jha, M. K., Shekhar, A., & Jenifer, M. A. (2020). Assessing groundwater quality for drinking water supply using hybrid fuzzy-GIS-based water quality index. *Water Res.*, *179*, 115867. DOI: 10.1016/j.watres.2020.115867

Khuzestan Water and Power Organization. (2019). Report on the project of determining the quality zone of Dezful-Andimeshk aquifer. Iran. [In Persian].

Kumar, A., & Krishna, A. P. (2021). Groundwater quality assessment using geospatial technique based water quality index (WQI) approach in a coal mining region of India. *Arab. J. Geosci.*, *14*(12), 1126.

Shakeri, A., Hosseini, H., Rastegari Mehr, M., & Dashti Barmaki, M. (2022). Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) and human health risk (HHR) assessment in Herat aquifer, west Afghanistan. *Hum. Ecol. Risk Assess.: Int. J.*, *28*(7), 711-733. DOI: 10.1080/10807039.2022.2075316

Vadiati, M., Asghari-Moghaddam, A., Nakhaei, M., Adamowski, J., & Akbarzadeh, A. H. (2016). A fuzzy-logic based decision-making approach for identification of groundwater quality based on groundwater quality indices. *J. Environ. Manage*, *184*, 255-270. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.09.082

World Health Organization. (2011). Guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization.