



Short Paper

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

Sedigheh Shakour^{1*}, Manouchehr Chitsazana² and Seyed Yahya Mirzaee³

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

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

³Assoc. 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 Km² is located in Dezful and Andimeshk 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).

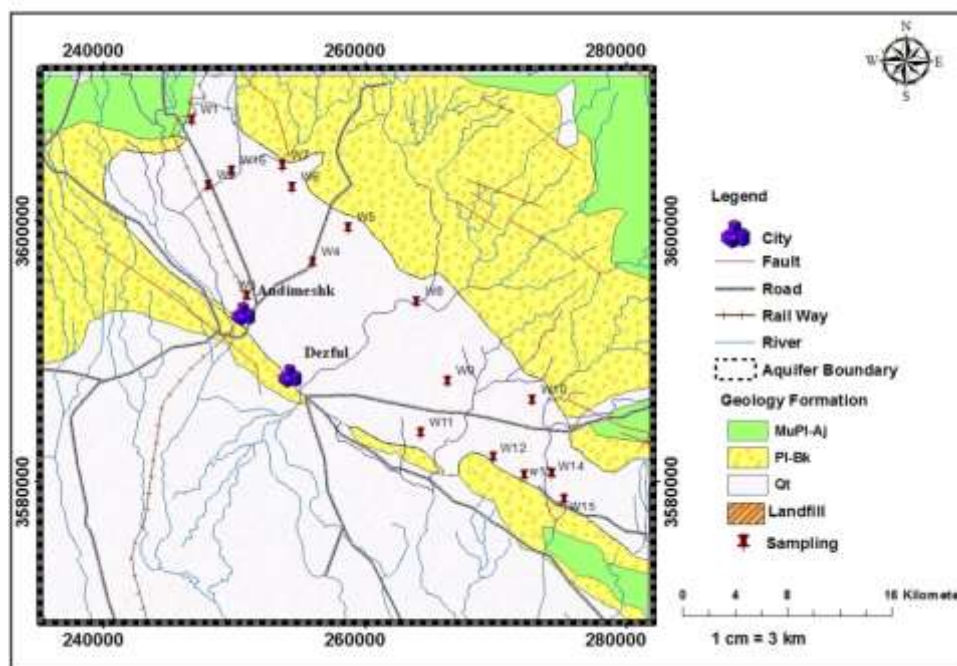


Fig. 1 Base map and sampling points of Northern Dezful- Andimeshk plain.

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 (Mg²⁺), Calcium (Ca²⁺), Chloride (Cl⁻), Bicarbonate (HCO₃⁻), Sulfate (SO₄²⁻), Nitrate (NO₃⁻), 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 km² has acceptable quality, 89.37 km² has inappropriate quality, and 17 km² has bad quality. Based on the results obtained from the fuzzy method, the groundwater in 100.34 km² with a confidence percentage of more than 75% has desirable quality, in 358.28 km² with a confidence percentage of 25 to 75% it has acceptable quality, and 17.62 km² 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.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله کوتاه

ارزیابی کیفیت شرب آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و روش قطعی

صدیقه شکور^{۱*}، منوچهر چیت‌سازان^۲ و سیدیحیی میرزایی^۳

^۱دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۲استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۳دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۴/۱۴]	آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تامین آب شرب دشت دزفول اندیمشک شمالی هستند که در برخی موارد شور شده اند. بنابراین برای بررسی کیفیت شرب آن‌ها، 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.
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 نترات 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 سقط جنین، 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 (Igbah 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 عدم قطعیت‌های ذاتی در مراحل نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل، 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). با توجه به توانایی روش فازی در کاهش عدم قطعیت‌ها و سایر مزایای آن، برخی دیگر از محققان سعی کرده‌اند روش‌های متداول را با سیستم استنتاج فازی ترکیب یا مقایسه کنند، به طوری که 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). برای ارزیابی کیفیت آب شرب زیرزمینی و منطق فازی، برای ارزیابی کیفیت آب شرب استفاده کرده‌اند و همچنین (Azimi et al. (2019) برای پیش بینی کیفیت آب زیرزمینی از روش فازی و شاخص

کیفیت آب استفاده کرده‌اند. (Chaudhary 2020) به مطالعه‌ی مقایسه‌ای کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش شاخص کیفیت آب‌های 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

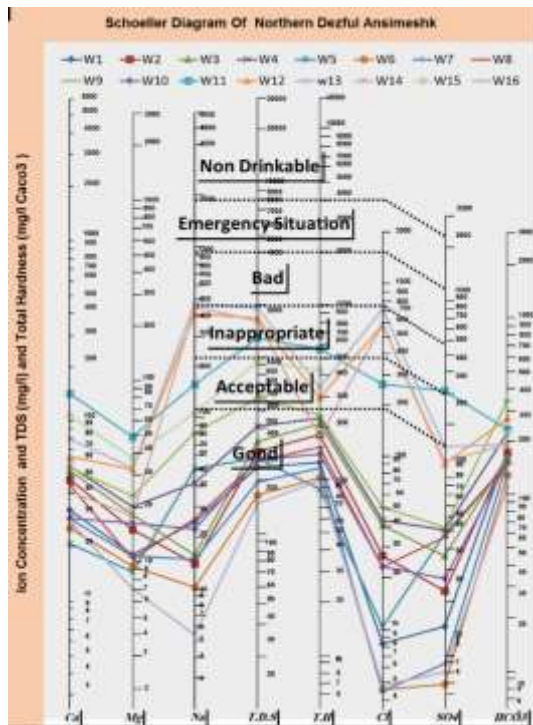
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دزفول- اندیمشک شمالی با مساحت تقریبی 475 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 $1/250000$ خوزستان، این دشت از نظر چینه‌شناسی شامل: آبرفت‌های عهد حاضر، گنگلومراهای سازند بختیاری (پالوسن) و سازند گچی و مارنی آغاچاری (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-})، نترات (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 اسپکتروفوتومتر

قبول، نمونه‌های ۱۱، ۱۲، نامناسب و نمونه‌های ۱۳ و ۱۴ کیفیت بد دارند. این نتایج در شکل (۱) نشان داده شده است.



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، به منظور 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 رده‌های تعلق گرفته به نمونه‌ها، در محیط Arc GIS به روش IDW (Inverse Distance Weighting) درون یابی انجام شده است و نقشه‌ی آن در شکل (۲) نمایش داده شده است. در نقشه‌ی زون‌بندی شده به روش شولر چهار گستره‌ی خوب، قابل قبول، متوسط و بد وجود دارد به طوری که در ۲۷۰،۳۶ km² از منطقه دارای کیفیت خوب، ۸۹/۱۴ km² دارای کیفیت قابل قبول، و ۸۹/۳۸ km² دارای کیفیت متوسط و ۱۷ km² دارای کیفیت بد است. با توجه به این زون‌بندی، روند تغییرات کیفیت آب تا حد زیادی از نظر هیدروژئولوژیکی و زمین شناسی قابل توجه است، به طوری که متناسب با جهت جریان منطقه کیفیت آب از ورودی‌های دشت (شمال شرق و حاشیه شرقی) دارای کیفیت خوب و قابل قبول است و به سمت خروجی دشت (حاشیه غربی و جنوب غربی)، کیفیت نامناسب و بد پیدا می‌کند. علاوه بر این در جنوب غربی به دلیل وجود میان لایه‌های گچ و مارن سازند

(Spectrophotometer) اندازه‌گیری شدند. برای بررسی صحت کلی داده‌های به دست آمده 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 پهنه‌بندی 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 و TH، 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: Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Na^+ ، Cl^- ، HCO_3^- ، SO_4^{2-} ، به عنوان ورودی به نرم‌افزار GWW (Ground Water software for Windows) داده می‌شوند و نرم‌افزار نیز کیفیت آب شرب را (به عنوان خروجی) در قالب نمودار شولر ارائه می‌دهد. یک سیستم استنتاج فازی فرایندی است که استدلال انسان را با استفاده از قوانین فازی به صورت 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^- و 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: Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- ، 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 به روش قطعی شولر

نمودار شولر منطقه نشان می‌دهد 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

آجاجاری، مقدار Na^+ و Cl^- و SO_4^{2-} از حد مجاز شولر فراتر است.

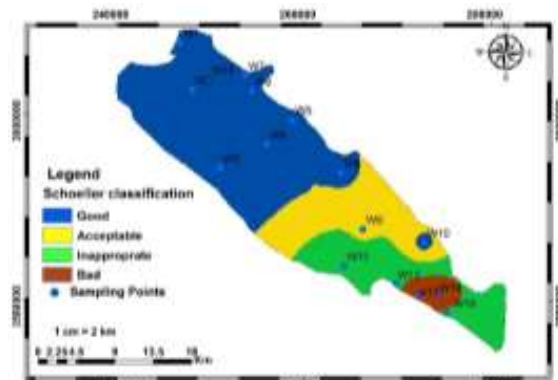
رفته و باعث شوری و کیفیت بد در نمونه‌های ۱۳ و ۱۴ شده

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

Sample s	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)			

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 قابل قبول 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 قابل قبول و نمونه‌های ۲ و ۴ در محدوده‌ی غیر قابل قبول واقع شده‌اند و همچنین مشخص شد که $100,34 \text{ km}^2$ از گستره‌ی دشت دارای کیفیت مطلوب، $358,28 \text{ km}^2$ دارای کیفیت قابل قبول و $17,62 \text{ km}^2$ از دشت دارای کیفیت غیر قابل قبول هستند. در این نقشه، بهترین کیفیت آب، مربوط به ورودی‌های آبخوان، واقع در شرق و شمال شرق دشت است و به سمت غرب دشت با روندی نزولی به حالت قابل قبول گرایش پیدا می‌کند ولی در میانه‌ی دشت این روند به هم خورده است و آب‌های زیرزمینی به کیفیت غیر قابل قبول تغییر پیدا کرده‌اند. این موضوع به دلیل وجود مقادیر بیش از حد نترات (ناشی از



شکل ۲- نقشه پهنه بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت

دزفول- اندیمشک شمالی بر مبنای روش شولر

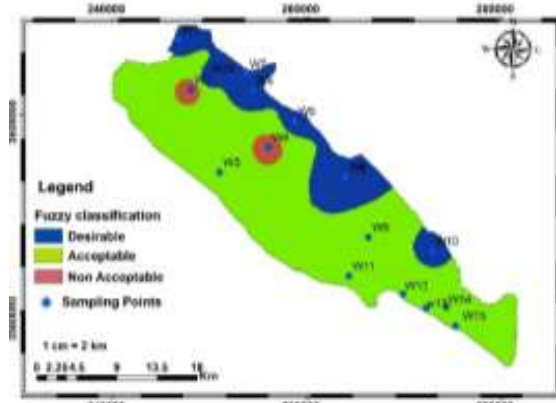
Fig. 2 Zoning map of groundwater quality of Northern Dezful- Andimeshk plain by Schoeller diagram

۲-۳- ارزیابی به‌روش فازی

بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش فازی، ۵، ۱۲٪ از نمونه‌ها با درصد اطمینان کمتر از ۲۵٪ در گروه غیر قابل قبول، ۴۳، ۷۵٪ نمونه‌ها با درصد اطمینان ۲۵٪ تا ۷۵٪ در رده‌ی قابل قبول و ۴۳، ۷۵٪ دیگر از نمونه‌ها با درصد اطمینان ۷۵٪ تا ۸۱٪ در رده‌ی مطلوب برای شرب قرار گرفتند. در ادامه،

قبول و غیر قابل قبول دقیقاً دارای جایگاه مشابه هستند، در حالی که در روش قطعی هر دو نمونه کیفیت مشابه نشان می‌دهند 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 به ترتیب در رده‌های مطلوب و قابل قبول قرار می‌گیرند، به عبارتی، در روش فازی کیفیت نمونه‌ها هم به صورت عددی و هم به صورت 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، به طوری که در نمونه‌های ۱۳ و ۱۴، مقدار Na^+ و Cl^- 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، به دلیل 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 قابل قبول قرار گرفته‌اند (شکل ۳). در نقشه‌های پهنه‌بندی هر دو روش تفاوت وجود دارد به طوری که روش قطعی شولر، ۵۶٪ از کل منطقه دشت کیفیت خوبی دارد، اما در روش فازی، ۲۱٪ از کل دشت کیفیت مطلوب دارد. در روش قطعی، ۲۰٪ از کل منطقه کیفیت قابل قبول دارد، اما در روش فازی، ۷۵٪ از کل منطقه با درصد اطمینانی بین ۳۲ تا ۷۰ دارای کیفیت قابل قبول هستند. در روش قطعی، ۱۸٪ از منطقه دارای کیفیت نامناسب هستند، اما در روش فازی، این رده از کیفیت اصلاً وجود ندارد. همچنین در روش قطعی، ۳۵٪ و در روش فازی ۳۷٪ از منطقه، آب دارای کیفیت بد است. در روش تعیین شده، 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، به خصوص در نمونه‌های ۲ و ۴، و احتمالاً این مسئله به دلیل 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

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 Northern 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 به روش 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 قابل توجهی شد، به طوری که براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی، نمونه‌های ۱، ۶ و ۲ از لحاظ جایگاه مقدار واقعی پارامترها در شاخص‌های مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول به هم 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 به دلیل 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 به روش قطعی با مقایسه سطح اطمینان در نمونه‌های آب زیرزمینی بیش‌تر مشخص می‌شود به عنوان مثال، نمونه شماره ۱ و ۳ در مورد قرارگیری پارامترها در رده های مطلوب، قابل

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

سپاسگزاری

نویسندگان از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) به خاطر 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 منافی 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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.128)
- Hounsino, 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.082)
- World Health Organization. (2011). Guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization.