



# Groundwater quality assessment using fuzzy inference system for drinking purposes (Case study: Sardasht city, West Azerbaijan province, Iran)

Hemen Mahmoodpour<sup>1</sup> | Esfandyar Abassnovinpour<sup>2✉</sup> | Homayoun Moghimi<sup>3</sup>

1. Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: [hmahmoudpour1988@gmail.com](mailto:hmahmoudpour1988@gmail.com)
2. Corresponding Author, Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: [e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir](mailto:e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir)
3. Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: [homayounmoghimi@pnu.ac.ir](mailto:homayounmoghimi@pnu.ac.ir)

## Article Info

### Article type:

Research Article

### Article history:

Received 4 February 2022

Received in revised form 6

August 2022

Accepted 26 September 2022

Published online 5 May 2023

### Keywords:

*Drinking water optimization,*

*Fuzzy inference system,*

*Sardasht city,*

*Water quality.*

## ABSTRACT

Assessing water quality is an important step toward the optimal and appropriate use of drinking water resources. Therefore, the necessity of studying water quality characteristics in water resource management programs has been highly considered. Ambiguity and lack of inherent certainty governing water resources in the evaluation of goals, criteria, and decision-making units, as inconsistency and carelessness in the opinions and judgments of decision-makers have led to the tendency towards theories of fuzzy sets and, as a result, fuzzy logic as an efficient and useful tool for planning and making decisions. In the present water quality water underground was first classified by international standard methods (definitive evaluation method) for drinking purposes. Then classification was modeled and compared using Mamdani fuzzy inference. For this purpose, the four-year average of quality parameters of underground water sources related to 33 sources including 10 well rings, 22 spring mouths, and an aqueduct in operation in Sardasht City used as inputs in two cases. In the deterministic evaluation method (Schoeller diagram), the characteristics and the water quality determination diagram were determined. In the four-year average fuzzy inference model, eight water quality parameters were classified into three groups, in the first group the parameters of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ , and  $\text{Mg}^{+2}$ , in the second group the parameters of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  and  $\text{Cl}^-$  were placed in the third group of two TH and TDS parameters. After determining each group with two input parameters, each input parameter was considered including three membership functions, so that the rules considered for it were estimated as nine (3x3). The results based on the deterministic method showed that all the studied samples were in the good to acceptable group. But Mamdani's fuzzy findings showed that two samples with a confidence level of 50% were in the acceptable category and other samples with a confidence level of 83-87% were placed in the desirable category for drinking.

**Cite this article:** Mahmoodpour, H., Abassnovinpour, E., & Moghimi, H. (2023). Groundwater quality assessment using fuzzy inference system for drinking purposes (Case study: Sardasht City, West Azerbaijan province, Iran). *Journal of Natural Environment*, 76 (1), 149-160. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2022.338554.2388>





## پهنه‌بندی فازی کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: شهرستان سردشت، استان آذربایجان غربی، ایران)

هیمن محمودپور<sup>۱</sup> | اسفندیار عباس نوین پور<sup>۲</sup> | همایون مقیمی<sup>۳</sup>

۱. گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [hmahmoudpour1988@gmail.com](mailto:hmahmoudpour1988@gmail.com)

۲. نویسنده مسئول، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir](mailto:e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir)

۳. گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: [homayounmoghimi@pnu.ac.ir](mailto:homayounmoghimi@pnu.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	ارزیابی کیفیت آب گامی مهم در جهت استفاده بهینه و مناسب از منابع آب برای شرب است. از این رو، ضرورت مطالعه ویژگی‌های کیفی آب در برنامه‌های مدیریت منابع آب به شدت مورد توجه قرار گرفته است. ابهام و نبود قطعیت ذاتی حاکم بر منابع آب در ارزیابی اهداف، معیارها و واحدهای تصمیم‌گیری، ناسازگاری و بی‌دقتی در نظرها و قضاوت افراد تصمیم‌گیرنده سبب گرایش به نظریه‌های مجموعه‌های فازی و به دنبال آن، منطق فازی به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در منابع آب شده است. در مطالعه حاضر کیفیت آب زیرزمینی ابتدا با روشهای استاندارد جهانی (روش ارزیابی قطعی) برای مصارف شرب طبقه بندی شد. سپس طبقه‌بندی با استفاده از استنتاج فازی ممدانی مدل سازی و مقایسه شد. بدین منظور، از میانگین چهار ساله پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی مربوط به ۳۳ منبع شامل ۱۰ حلقه چاه، ۲۲ دهنه چشمه و یک رشته قنات در حال بهره‌برداری شهرستان سردشت برای در دو حالت به عنوان ورودی مورد استفاده قرار گرفت. در روش ارزیابی قطعی (دیاگرام شولر)، ویژگی‌ها و نمودار تعیین کیفیت آب تعیین شد. در مدل استنتاج فازی میانگین چهار ساله هشت پارامتر کیفی آب به سه گروه طبقه‌بندی گردید، در گروه اول پارامترهای $Na^+$ ، $Ca^{2+}$ و $Mg^{2+}$ در گروه دوم پارامترهای $HCO_3^-$ ، $SO_4^{2-}$ و $Cl^-$ در گروه سوم دو پارامتر TH و TDS قرار داده شد. بعد از تعیین هر گروه با دو پارامتر ورودی، هر پارامتر ورودی شامل سه تابع عضویت در نظر گرفته شد، به طوری که قوانین در نظر گرفته شده برای آن برابر با نه (۳×۳) برآورد شد. نتایج براساس روش قطعی نشان داد که تمامی نمونه‌های مورد مطالعه در گروه خوب تا قابل قبول قرار گرفتند. اما یافته‌های فازی ممدانی نشان داد که تعداد دو نمونه با سطح اطمینان ۵۰ درصد در رده قابل قبول و دیگر نمونه‌ها با سطح اطمینانی برابر با ۸۷-۸۳ درصد در رده مطلوب برای آشامیدن قرار گرفتند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۴	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵	
کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی آب شرب، سیستم استنتاج فازی، شهرستان سردشت، کیفیت آب.	

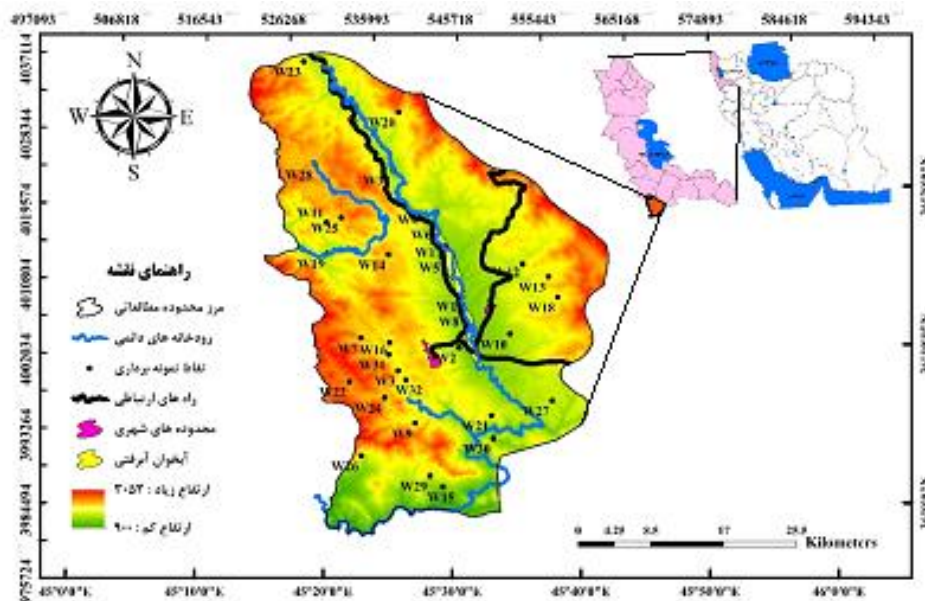
استناد: محمودپور، هیمن؛ عباس نوین پور، اسفندیار؛ و مقیمی، همایون (۱۴۰۲). پهنه‌بندی فازی کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: شهرستان سردشت، استان آذربایجان غربی، ایران). *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۱)، ۱۶۰-۱۴۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2022.338554.2388>



## مقدمه

ارزیابی کیفی منابع آب از جمله آب‌های زیرزمینی یکی از مباحث مهم در طرح‌های توسعه منابع آب کشور است و حفظ کیفیت منابع آب با توجه به روند تخریبی روبه رشدشان امری اجتناب‌ناپذیر است (Jahangir et al., 2018). رفتارسنجی و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده یکی از مشکلات مهندسان محیط زیست و آب‌شناس‌ها می‌باشد، چراکه در همه مراحل، از نمونه‌برداری تا بررسی و تحلیل نتایج، با انواع عدم قطعیت‌ها مواجه هستند (Zamani and Mahmodi, 2013). استانداردهایی برای آلودگی‌ها و آلاینده‌های مختلف در آب شرب توسط سازمان‌هایی نظیر سازمان بهداشت جهانی و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ارائه شده است (Iran Institute of Standards and Industrial Research, 1993; World Health Organization, 2011). این استانداردها به دلیل عواملی از جمله تغییرات در میزان آب ورودی در فصول مختلف سال، دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. از سوی دیگر، استانداردهای تعیین شده توسط هر سازمان نیز شامل عدم قطعیت می‌باشند. به منظور جلوگیری از مخاطرات آبی و برنامه‌ریزی‌های مناسب برای حفظ منابع آبی، بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی از موارد ضروری به‌شمار می‌آید (Rahbar, 2008). با توجه به اینکه روش‌های قطعی در تقسیم‌بندی کیفیت آب چندان مناسب نیست؛ تحقیقات زیادی در زمینه بررسی پارامترهای مختلف با استفاده از روش‌های بهینه و عدم قطعی به پهنه‌بندی و پیش‌بینی انجام شده است. سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) را برای پیش‌بینی ضریب پراکندگی طولی کیفیت آب رودخانه توسعه دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مدل ANFIS توسعه‌یافته بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی با شاخص‌های خطا  $R^2=0/95$  و  $RSME=0/055$  برای پیش‌بینی مناسب است. در طول توسعه مدل ANFIS، پنج نورون به کانال عرض، چهار نورون به عمق جریان، چهار نورون به سرعت و دو نورون به سرعت برشی اختصاص داده شد. تابع سیگموئید مماس هیپربولیک (Tansig) به‌عنوان تابع عضویت برای نورون‌ها در نظر گرفتند (Parsi et al., 2018). Bahmani و همکاران (۲۰۲۱) تخلیه روزانه فاضلاب شهری (UWD) را با استفاده از دو مدل هوشمند مصنوعی شامل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLPNN) و برنامه‌ریزی ژنتیکی (GP) پیش‌بینی نمودند. الگوی ورودی مدل‌ها، به‌صورت تأخیر تا چهار زمان در نظر گرفته شد. نتایج هر دو مدل بیانگر آن بود که دو واحد تأخیر برای مدل‌سازی و پیش‌بینی UWD کافی است. نتایج مدل‌های نشان داد که دقت مدل‌سازی برنامه‌ریزی ژنتیکی قابل قبول است. خصوصیات فیزیکوشیمیایی تیره آب رودخانه حوضه کرخه را مورد ارزیابی قرار داده شد. بدین منظور، ۱۴ نمونه ایستگاه‌های اندازه‌گیری خواص فیزیکوشیمیایی رودخانه تیره در امتداد دو شهر اصلی (بروجرد و دورود) استفاده شد. نتایج نشان داد که به‌جز (سولفات)، منیزیم، کلسیم، سایر آنیون‌ها و کاتیون‌ها دارای غلظت زیر محدودیت استاندارد WHO هستند. در مقایسه با استاندارد کشاورزی (استاندارد فائو)، و پتانسیل آب مناسب برای اهداف آبیاری، براساس نمودار ویلکاکس، نمونه‌ها در طبقه‌های C2-S1 و C3-S1 به ترتیب ۷۸ درصد و ۲۱/۵٪ بودند. نمودار پایپر نشان داد که اکثر نمونه‌ها دارای رخساره‌های بی‌کربنات و کلسیمی هستند (Qashqaei et al., 2017). Haghiabi و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی عملکرد تکنیک‌های هوش مصنوعی از جمله شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، روش گروهی مدیریت داده (GMDH) و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) برای پیش‌بینی مؤلفه‌های کیفی آب رودخانه تیره واقع در جنوب غربی ایران پرداختند. برای توسعه ANN و SVM، به ترتیب انواع مختلف توابع انتقال و کرنل را مورد آزمایش قرار دادند. بررسی نتایج ANN و SVM نشان داد که هر دو مدل عملکرد مناسبی برای پیش‌بینی دارند. اجزای کیفیت آب در طول فرآیند توسعه ANN و SVM، نشان داد که Tansig و RBF به‌عنوان توابع انتقال و هسته بهترین عملکرد را در بین موارد مورد بررسی دارند. مقایسه نتایج مدل GMDH با سایر مدل‌های استفاده شده نشان داد که اگرچه این مدل برای پیش‌بینی مؤلفه‌های کیفیت آب، دقت آن عملکرد قابل قبولی دارد اما مقدار آن کمتر از ANN و SVM است. در ارزیابی دقت مدل‌های کاربردی با توجه به شاخص‌های خطا، اعلام کردند که SVM دقیق‌ترین مدل است. Nezaratiana و همکاران (۲۰۲۱) برای شبیه‌سازی ضریب اختلاط عرضی (TMC) از ماشین بردار پشتیبانی و برنامه‌ریزی ژنتیکی استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که دقت الگوریتم GA-SVM به‌طور قابل توجهی به تعداد پارامترهای ورودی بستگی دارد به‌طوری‌که با حذف پارامترهای نامرتب و کاهش ورودی‌ها، پیچیدگی مسئله کاهش می‌یابد و تخمین TMC بهتر می‌شود.



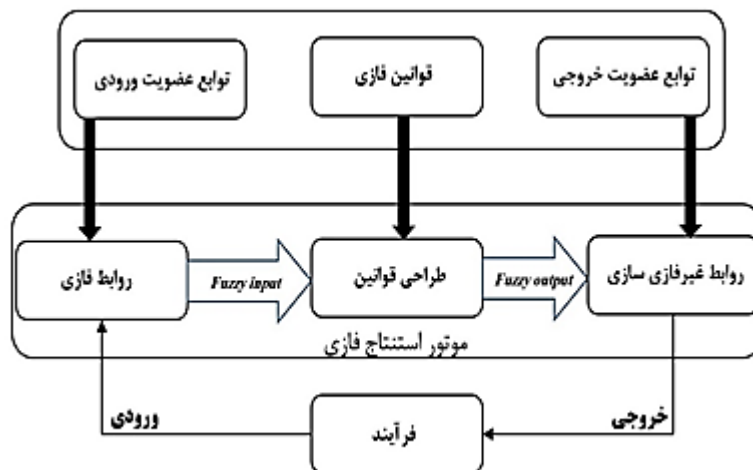
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

شهرستان سردشت یکی از پر بارش‌ترین شهرستان‌های استان آذربایجان غربی و دارای آبخوان قابل بهره‌برداری ضعیفی است. تأمین قسمت اعظم آب شرب و کشاورزی در محدوده مورد مطالعه از چشمه‌هایی با دبی زیاد و چاه‌های نیمه عمیق و قنات‌ها از یک سو و عدم داشتن سوابق مطالعاتی کیفی پیشین از سوی دیگر لزوم توجه به تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. در رابطه آب‌های زیرزمینی منطقه، می‌توان بیان کرد که آهک‌های حفره‌دار که بیش‌ترین بخش سفره آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند، عاملی برای گسترش آلودگی‌های احتمالی به مسافت‌های دورتر از منبع آلاینده می‌باشد. این پژوهش ابتدا با استفاده از استانداردهای جهانی برای مصارف شرب و کشاورزی، نمودارهای کیفی ترسیم و سپس با توجه به قابلیت‌های روش فازی با مدل استنتاج فازی ممدانی (خروجی تک متغیره) پهنه‌بندی و رده‌بندی آب زیرزمینی سردشت انجام شد.

## روش‌شناسی پژوهش

**منطقه مورد مطالعه:** شهرستان سردشت واقع در استان آذربایجان غربی، حوضه آبریز مرزی غرب با موقعیت جغرافیایی ۱۴-۴۵° الی ۴۲-۴۵° طول شرقی و ۵۸-۳۵° الی ۲۸-۳۶° عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱). وسعت کل محدوده مطالعاتی سردشت ۱۸۰۵/۷۷ کیلومترمربع است که ۱۷۸۸/۹۳ کیلومترمربع آن را ارتفاعات و ۱۶/۸۴ کیلومترمربع را دشت تشکیل می‌دهد. دشت سردشت بزرگ‌ترین پهنه آبرفتی است که آبخوان قابل بهره‌برداری ضعیفی در آن ایجاد شده است و از نظر تقسیمات آبی جزء حوضه آبریز غرب مرزی کشور می‌باشد. چند پهنه کوچک آبرفتی دیگر نیز در شاخه‌های متصل به رودخانه‌ی زاب تشکیل شده است. ۹۹ درصد وسعت محدوده مطالعاتی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. از جمله رودخانه‌های مهم واقع در این ورقه می‌توان به رودخانه گلاس، چم‌تازان، شوره‌چم و چم‌وزینه اشاره کرد. رودخانه گلاس یکی از اصلی‌ترین و پرآب‌ترین رودهای منطقه است که تقریباً از بخش شمالی ورقه سرچشمه می‌گیرد و از بخش جنوب باختری حوالی روستای سنجوه وارد کشور عراق می‌گردد.

مطابق با بررسی آمار درازمدت دوره شاخص ۱۵ ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۲) مربوط به ایستگاه سینوپتیک، سردشت دارای متوسط درجه حرارت سالانه ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد، بارش ۸۲۶/۵ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۴۹/۵ درصد است، اقلیم منطقه به روش دومارتن که براساس درجه حرارت و مقدار بارش می‌باشد، محدوده مورد مطالعه با ضریب خشکی ۳۴/۱۵ در رده اقلیم جزء مناطق مرطوب تعیین گردید. حداکثر ارتفاع محدوده مطالعاتی ۳۰۵۳ متر و حداقل ارتفاع آن ۹۰۰ متر در حوالی روستای سنجوه است. برای انجام این تحقیق از میانگین چهار ساله پارامترهای کیفی (۱۴۰۰-۱۳۹۷) مربوط به ۳۳ منبع آب شامل ۱۰ حلقه چاه، ۲۲ دهنه چشمه و



شکل ۲. ساختار کلی سیستم استنتاج فازی

یک رشته قنات در حال بهره‌برداری استفاده شد (Rural Water and Sewerage Company of West Azerbaijan Province, 2020; Regional Water Company of West Azerbaijan Province, 2020).

**دیاگرام شولر:** نمودار گرافیکی شولر (روش قطعی) با وجود اینکه معمول‌ترین روش برای بررسی کیفیت آب شرب است ولی نتایج آن به‌صورت کیفی منطبق با استاندارد سازمان بهداشت جهانی است، در دیاگرام شولر از میان تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب، تنها عناصر اصلی آب شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، کلرور، سولفات و سختی کل لحاظ می‌شوند و نمی‌توان سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب (کل مواد جامد محلول و ...) را دخیل کرد، ولی در روش ارزیابی فازی سایر پارامترهای هیدروشیمیایی آب نیز در نظر گرفته می‌شوند.

**سیستم استنتاج فازی:** یک سیستم استنتاج فازی، فرآیندی است که استدلال زبان انسان را با استفاده از منطق فازی (براساس قوانین اگر-آن‌گاه فازی) به‌صورت فرمول ارائه می‌دهد. سیستم استنتاج فازی عموماً متشکل از چهار بخش اصلی فازی‌سازی، قوانین فازی، موتور استنتاج فازی و غیرفازی سازی است (Monjezi and Rezaei, 2011). در شکل ۲، ساختار کلی سیستم استنتاج فازی ارائه شده است. در جعبه ابزار فازی می‌توان از روش‌های سیستم استنتاج فازی ممدانی (خروجی فازی) و سیستم TSK (شامل روش‌های تاکاگی، سوگنو و کانگ می‌باشد که معمولاً برای آن دسته از توابعی که خروجی چند متغیره دارند) استفاده کرد. ممکن است محققان برای یک فرمول خاص، حدهای مختلف آن فرمول با تابع را بررسی و برای عبارتی از چند روش قابل حل استفاده کنند.

فازی‌سازی عبارت است از تبدیلی که مقادیر اندازه‌گیری شده را با متغیرهای زبانی ب‌کار رفته در قسمت شرط قوانین فازی تبدیل می‌کند، به‌طوری که فازی‌سازی با استفاده از توابع عضویت انجام می‌شود. یک تابع عضویت در مجموعه‌های فازی ممکن است شکل‌های مختلفی مانند دوزنقه‌ای، مثلثی، گوسی و... داشته باشد که در این پژوهش با توجه به استاندارد سازمان بهداشت جهانی و نظر کارشناسی، نوع توابع عضویت و دامنه هر یک از توابع برای پارامترهای مورد استفاده برای هدف مدنظر مشخص شد و از توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای استفاده شد. در این پژوهش نیز با توجه به ماهیت پارامترهای کیفی و نظر کارشناسان خبره از توابع عضویت با حدود تعیین شده و استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۱) برای اهداف شرب استفاده شد. دو نوع تابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای به‌دلیل سادگی رابطه و بهینه بودن محاسبات، به‌صورت گسترده‌ای در سازمان‌های استنتاج فازی کاربرد دارند (Kia, 2010). در مطالعه ذکر شده نیز از این دو تابع استفاده شده است. توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای در رابطه‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ or } c < x \\ \frac{(a-x)}{(a-b)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & b \leq x \leq c \end{cases} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ or } d < x \\ \frac{(a-x)}{(a-b)} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \leq x \leq d \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

با توجه به شکل ۳، برای پارامتر کل مواد جامد محلول (TDS)، متغیرهای زبانی «قابل قبول» با توابع عضویت دوزنقه‌ای کامل (رابطه ۴) و برای مقادیر «مطلوب» و «غیرقابل قبول» از توابع عضویت دوزنقه‌ای ناقص (رابطه‌های ۳ و ۵) استفاده شده است.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow \text{if } x \leq 0 \\ \frac{(x-0)}{(400-0)} \rightarrow \text{if } x \in (0-400) \\ \frac{(600-x)}{(600-400)} \rightarrow \text{if } x \in (400-600) \\ 0 \rightarrow \text{if } x > 600 \end{cases} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow \text{if } x \leq 400 \\ \frac{(x-400)}{(600-400)} \rightarrow \text{if } x \in (400-600) \\ 1 \rightarrow \text{if } x \in (600-1900) \\ \frac{(2100-x)}{(2100-1900)} \rightarrow \text{if } x \in (1900-2100) \\ 0 \rightarrow \text{if } x > 2100 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow \text{if } x \leq 1900 \\ \frac{(x-1900)}{(2100-1900)} \rightarrow \text{if } x \in (1900-2100) \\ \frac{(3000-x)}{(3000-2100)} \rightarrow \text{if } x \in (2100-3000) \\ 0 \rightarrow \text{if } x > 3000 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵}$$

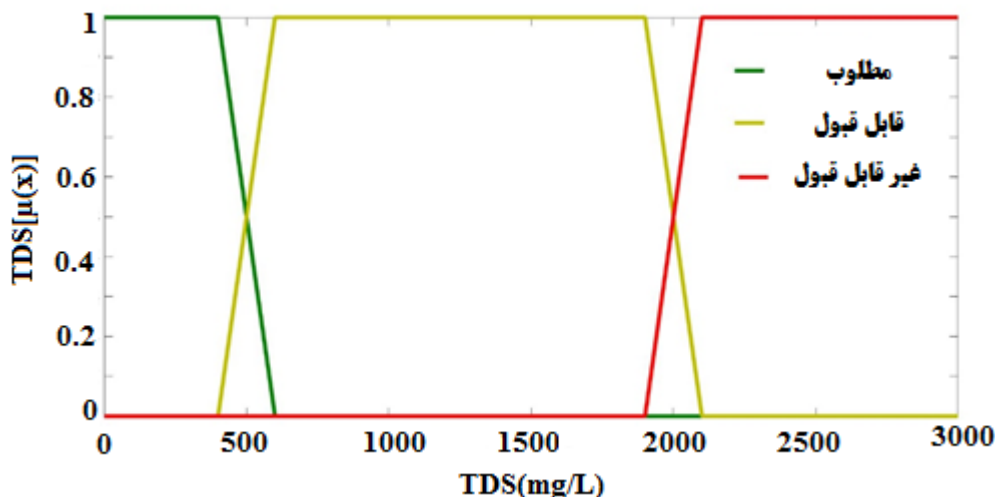
قوانین فازی، یک قانون استنتاج فازی نشان‌دهنده ارتباط بین مجموعه‌های ورودی و خروجی است که با استفاده از قوانین اگر-آن‌گاه انجام می‌شود. عملگرهای فازی مانند اشتراک (AND)، اجتماع (OR) و نفی (NOT) در سیستم‌های مبتنی بر اساس منطق فازی کاربرد زیادی دارند، که به صورت زیر تعریف می‌شوند (رابطه ۶):

$$\text{AND: } \mu_{A \cap B} = \mu_A \cap \mu_B = \min(\mu_A, \mu_B) \quad \text{رابطه ۶}$$

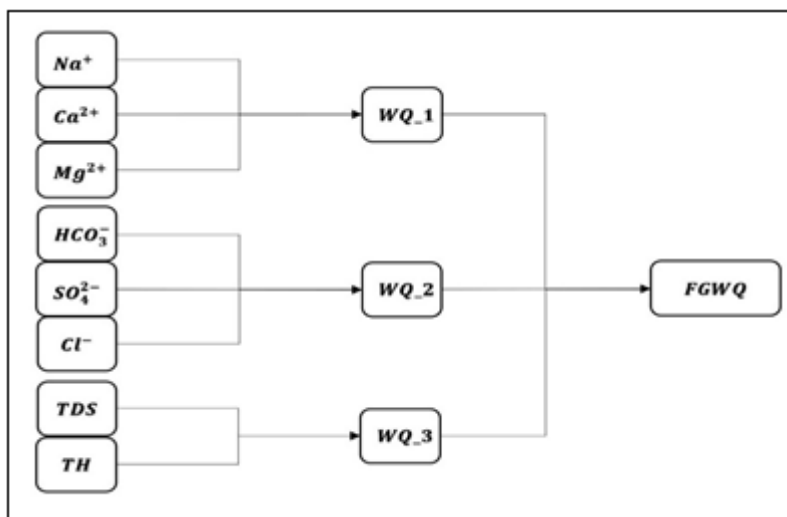
Or:

$$\text{NOT: } \mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A$$

در این پژوهش، با توجه به تأثیر همزمان پارامترها بر کیفیت آب و حضور اغلب آن‌ها از عملگر AND استفاده شده است. با توجه به تعداد پارامترها و متغیرهای زبانی بکار برده شده، نیاز به تعریف قوانین است. قوانین با توجه به نظریه کارشناسی اخذ می‌گردد. در تحقیق حاضر، به منظور کاهش پیچیدگی در طراحی قوانین برای اهداف شرب، میانگین چهار سال آماری هشت پارامتر کیفی



شکل ۳. تابع عضویت کل مواد جامد محلول



شکل ۴. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی شاخص‌های کیفی آب شرب

آب به سه گروه طبقه‌بندی گردید، در گروه اول پارامترهای  $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$ ، در گروه دوم پارامترهای  $HCO_3^-$ ،  $SO_4^{2-}$  و  $Cl^-$  در نهایت در گروه سوم دو پارامتر TH و TDS قرار داده شد. سپس با تعریف قوانین فازی در سیستم استنتاج فازی ممدانی نتایج حاصل از سه گروه، یک عدد خروجی محاسبه و بعد عدد خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۴، الگوریتم‌های طراحی شده برای پارامترهای ورودی و خروجی شاخص‌های کیفی آب شرب محدوده مورد مطالعه ارائه شد. پارامترهای کیفی استفاده شده در این پژوهش به استناد از پارامترهای معیار کیفی دیاگرام شولر استفاده شده است که از مهم‌ترین معیارهای کیفی برای طبقه‌بندی آب شرب است (Dindarlo and Farshidfar, 2006).

غیر فازی سازی این فرآیند شامل تبدیل خروجی فازی به یک خروجی قطعی نهایی است که در این پژوهش با استفاده از روش مرکز سطح کمیت فازی با استفاده از رابطه ۷ به کمیت قطعی تبدیل می‌شود (Akgun et al., 2011).

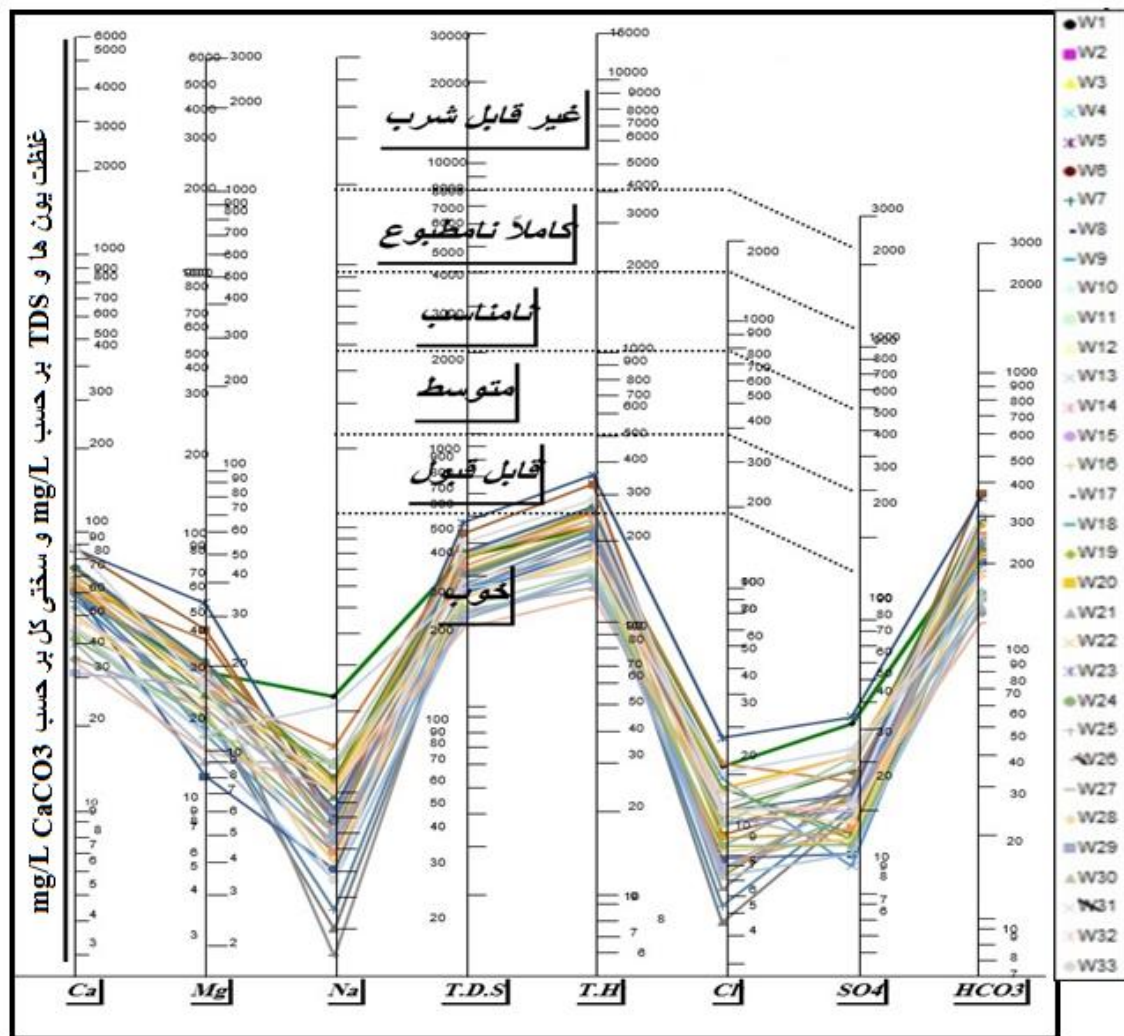
$$\text{رابطه ۷} \quad ZCOA = \frac{\int \mu_A(z)zdz}{\int \mu_A(z)dz}$$

که در آن ZCOA: مقدار قطعی برای خروجی  $z$ ،  $\mu_A(z)$ : تابع عضویت خروجی است. در این پژوهش، مقادیر فازی نتایج کیفیت آب بین صفر تا ۱۰۰ طبقه‌بندی شدند، مقدار ۱۰۰ بهترین و مقدار صفر بدترین کیفیت را داشته و مقادیر کیفیت با توجه به مقدار پارامتر ورودی بین این دو مقدار قرار گرفته است. نام مراحل طراحی مشابه استنتاج فازی در محیط MATLAB نسخه ۲۰۰۹ انجام شد. در جدول ۱ حدود تعیین شده برای پارامترهای کیفی آب شرب ارائه شده است.

جدول ۱. حدود تعیین شده پارامترهای کیفی بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۱)

پارامتر	حد مطلوب	حد مجاز
کلسیم	۷۵	۲۰۰
منیزیم	۵۰	۱۵۰
سدیم	۷۵	۲۰۰
بیکربنات	۲۰۰	۵۰۰
سولفات	۲۵۰	۴۰۰
کلرور	۲۰۰	۶۰۰
کل مواد جامد محلول	۵۰۰	۲۰۰۰
سختی کل	۳۰۰	۶۰۰

\*غلظت تمامی پارامترها بر حسب میلی گرم بر لیتر می باشد.



شکل ۵. تعیین کیفیت آب برای مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر

### یافته‌های پژوهش و بحث

تعیین کیفیت آب برای مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر (Schoeller) و پنج پارامتر مؤثر شامل سدیم، کلر، سولفات، کل مواد جامد محلول و سختی کل صورت گرفت (Schoeller, 1955). بر این اساس، کیفیت آب شرب منطقه در دو طبقه (خوب و کاملاً بی‌مزه، قابل قبول برای شرب و دارای کمی طعم) است (شکل ۵).



جدول ۲. حدود تعیین شده مربوط به توابع عضویت پارامترهای کیفی آب (بر اساس نظر کارشناسی و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۱)

پارامتر	مطلوب	قابل قبول	غیر قابل قبول
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	[۰.۰۶۵ ۸۵]	[۶۵ ۸۵ ۱۸۰ ۲۲۰]	[۱۸۰ ۲۲۰ ۳۰۰ ۳۰۰]
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	[۰.۰۴۰ ۶۰]	[۴۰ ۶۰ ۱۴۰ ۱۶۰]	[۱۴۰ ۱۶۰ ۳۰۰ ۳۰۰]
Na <sup>+</sup> (mg/L)	[۰.۰۶۵ ۸۵]	[۶۵ ۸۵ ۱۸۰ ۲۲۰]	[۱۸۰ ۲۲۰ ۳۰۰ ۳۰۰]
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	[۰.۰۱۸۰ ۲۲۰]	[۱۸۰ ۲۲۰ ۴۸۰ ۵۲۰]	[۴۸۰ ۵۲۰ ۸۰۰ ۸۰۰]
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	[۰.۰۳۳۰ ۲۷۰]	[۲۳۰ ۲۷۰ ۳۸۰ ۴۲۰]	[۳۸۰ ۴۲۰ ۸۰۰ ۸۰۰]
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	[۰.۰۱۸۰ ۲۲۰]	[۱۸۰ ۲۲۰ ۵۸۰ ۶۲۰]	[۵۸۰ ۶۲۰ ۸۰۰ ۸۰۰]
TDS(mg/L)	[۰.۰۴۰۰ ۶۰۰]	[۴۰۰ ۶۰۰ ۱۹۰۰ ۲۱۰۰]	[۱۹۰۰ ۲۱۰۰ ۳۰۰۰ ۳۰۰۰]
TH(mg/L)	[۰.۰۲۸۰ ۳۲۰]	[۲۸۰ ۳۲۰ ۵۸۰ ۶۲۰]	[۵۸۰ ۶۲۰ ۸۰۰ ۸۰۰]
Fuzzy index	[۶۵ ۸۵ ۱۰۰ ۱۰۰]	[۳۰ ۵۰ ۷۰]	[۰ ۱۵ ۳۵]

5. If (Cl is Desirable) and (So4 is Acceptable) and (HCO3 is Acceptable) then (WQ-2 is Acceptable) (1)  
 6. If (Cl is Desirable) and (So4 is Acceptable) and (HCO3 is Not-Acceptable) then (WQ-2 is Not-Acceptable) (1)  
 7. If (Cl is Desirable) and (So4 is Not-Acceptable) and (HCO3 is Desirable) then (WQ-2 is Not-Acceptable) (1)  
 8. If (Cl is Desirable) and (So4 is Not-Acceptable) and (HCO3 is Acceptable) then (WQ-2 is Not-Acceptable) (1)  
 9. If (Cl is Desirable) and (So4 is Not-Acceptable) and (HCO3 is Not-Acceptable) then (WQ-2 is Not-Acceptable) (1)  
 10. If (Cl is Acceptable) and (So4 is Desirable) and (HCO3 is Desirable) then (WQ-2 is Acceptable) (1)  
 11. If (Cl is Acceptable) and (So4 is Desirable) and (HCO3 is Acceptable) then (WQ-2 is Acceptable) (1)

#### شکل ۶. تعدادی از قوانین طراحی شده طبق نظر کارشناسی برای گروه دوم

در این پژوهش، برای دقت بیشتر و ارزیابی دقیق‌تر کیفیت آب زیرزمینی پارامترهای مورد استفاده به سه گروه تقسیم‌بندی شد به طوری که ورودی‌ها به ترتیب گروه اول: EC و SAR، گروه دوم: TH و RSC گروه سوم: Na و Cl تعیین شد و سپس به‌ازای هر پارامتر ورودی سه تابع عضویت تعریف شد و با عملگر "و" قوانین در نظر گرفته شده برای آن‌ها برابر نه (۳×۳) به دست آمد. بدین منظور از میانگین چهار ساله هشت پارامتر کیفی آب، استفاده و برای هر گروه و هر یک از پارامترها حدود آن‌ها تعیین شد (جدول ۲). در نهایت نتایج حاصل از سه گروه با تعریف تعداد ۳۳=۲۷ قوانین فازی در تعیین کیفیت نهایی آب با داده خروجی به دست آمده، انجام شد.

ارزیابی ۳۳ نمونه منابع آب محدوده مورد مطالعه با مرزهای تعیین شده در دو روش قطعی و فازی جهت مصرف شرب انجام گردید. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، یافته‌های فازی نشان داد که تعداد دو نمونه با سطح اطمینان ۵۰ درصد در رده قابل قبول و دیگر نمونه‌ها با سطح اطمینانی برابر با ۸۷-۸۳ درصد در رده مطلوب قرار گرفتند اما در روش قطعی تمامی نمونه‌ها در محدوده قابل قبول می‌باشند.

از آن‌جا که در محدوده مورد مطالعه سازند شورکننده‌ای که موجب شوری آب‌های سطحی و زیرزمینی شود وجود ندارد (Shahidi, 2003) بنابراین براساس نتایج مطالعه حاضر، کیفیت تمامی منابع آب محدوده مورد مطالعه به جزء دو نمونه که در گروه قابل قبول قرار دارند، در گروه مطلوب قرار گرفتند. مطابق نقشه توزیع کیفی منابع آب شهرستان ارومیه با روش فازی به جز بخش خیلی کم که نزدیک رودخانه است، بقیه منطقه دارای کیفیت مطلوب برای مصرف شرب هستند. از آنجا که رودخانه‌ها با کاهش بارندگی، فرآیندهای زمین‌شناختی مؤثر در توزیع عناصر سمی و ورود فاضلاب‌ها در رودخانه‌ها در زمان کاهش آبدی آن‌ها باعث کاهش کیفیت می‌گردند بنابراین کیفیت آب رودخانه منطقه دارای عدم قطعیت و متغیر می‌باشد و روش فازی با از بین بردن این عدم قطعیت‌ها و کمی کردن آن باعث شد آب زیرزمینی منطقه در دو رده قرار گیرد. مطابق نقشه شکل ۳، در نواحی نزدیک رودخانه وجود کیفیت آب از حالت مطلوب به قابل قبول تبدیل شده است. بنابراین با توجه به اینکه رودخانه از شاخه‌های اصلی تأمین‌کننده آب شرب شهرستان می‌باشد بنابراین تحلیل و بررسی رسوبات بستر رودخانه، نمونه‌های سنگی، خاک‌های کشاورزی، رسوبات آبراه‌های آلوده به مواد شیمیایی بمباران، گیاهان و جانوران، نمونه‌برداری و تجزیه‌های شیمیایی بایستی توسط کارشناسان آب در منطقه با جدیت بیشتری صورت گیرد.

جدول. مقایسه نتایج روش ارزیابی فازی و روش قطعی جهت مصارف شرب (بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۱) (\* عدد داخل پرانتز سطح اطمینان (درصد قابلیت شرب) را نمایش می‌دهد)

شماره نمونه	X	Y	ارزیابی به روش فازی	ارزیابی به روش قطعی		
				مطلوب	قابل قبول	غیر قابل قبول
W <sub>۱</sub>	۵۴۵۹۸۴	۴۰۰۷۹۵۲	(% ۸۷/۱۰) مطلوب	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۲</sub>	۵۴۵۹۲۵	۴۰۰۲۶۱۷	قابل قبول (% ۵۰)	Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS	Ca <sup>2+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۳</sub>	۵۳۸۸۲۸	۳۹۹۹۹۱۲	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۴</sub>	۵۴۱۴۵۱	۴۰۱۸۰۱۴	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۵</sub>	۵۴۳۹۶۱	۴۰۱۳۱۷۵	قابل قبول (% ۵۰)	Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS	Ca <sup>2+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۶</sub>	۵۴۳۰۳۲	۴۰۱۶۹۹۶	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۷</sub>	۵۳۴۴۶۰	۴۰۰۳۷۳۷	مطلوب (% ۸۵/۴۱)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۸</sub>	۵۴۶۲۶۳	۴۰۰۶۸۵۶	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۹</sub>	۵۴۰۸۰۰	۳۹۹۳۸۰۰	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۰</sub>	۵۵۱۸۵۹	۴۰۰۴۲۰۹	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۱</sub>	۵۳۰۴۸۲	۴۰۱۷۲۳۳	مطلوب (% ۸۴/۴۳)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۲</sub>	۵۵۳۲۵۴	۴۰۱۲۳۶۲	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۳</sub>	۵۵۵۳۴۸	۴۰۱۰۸۸۷	مطلوب (% ۸۵/۰۱)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۴</sub>	۵۳۷۶۶۶	۴۰۱۳۴۷۴	مطلوب (% ۸۶/۶۱)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۵</sub>	۵۴۴۰۲۷	۳۹۸۶۳۵۳	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۱۶</sub>	۵۳۷۸۳۱	۴۰۰۳۲۰۵	مطلوب (% ۸۵/۵۳)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۷</sub>	۵۴۴۲۹۳	۴۰۱۴۴۶۹	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۱۸</sub>	۵۵۷۴۳۴	۴۰۰۸۴۹۲	مطلوب (% ۸۶/۰۵)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۱۹</sub>	۵۳۰۵۷۰	۴۰۱۳۶۲۲	مطلوب (% ۸۳/۸۶)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۲۰</sub>	۵۳۸۸۶۵	۴۰۳۰۰۹۴	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۲۱</sub>	۵۴۹۷۲۸	۳۹۹۴۶۸۵	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۲۲</sub>	۵۳۳۱۳۰	۳۹۹۸۶۳۵	مطلوب (% ۸۶/۵۷)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۲۳</sub>	۵۲۷۸۲۵	۴۰۳۵۹۹۳	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۲۴</sub>	۵۳۷۲۵۱	۳۹۹۶۷۷۴	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۲۵</sub>	۵۳۲۱۸۱	۴۰۱۷۷۸۵	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۲۶</sub>	۵۳۴۵۲۵	۳۹۸۹۹۹۸	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۲۷</sub>	۵۵۶۷۸۶	۳۹۹۶۴۱۲	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
W <sub>۲۸</sub>	۵۲۹۱۷۷	۴۰۲۳۹۶۴	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۲۹</sub>	۵۴۲۵۵۰	۳۹۸۷۶۳۴	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۳۰</sub>	۵۴۹۹۳۱	۳۹۹۲۰۱۳	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۳۱</sub>	۵۳۷۷۳۵	۴۰۰۱۸۰۰	مطلوب (% ۸۷/۱۰)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۳۲</sub>	۵۳۹۷۱۸	۳۹۹۸۸۴۷	مطلوب (% ۸۶/۹۴)	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , TDS, TH	-	-
W <sub>۳۳</sub>	۵۳۸۲۶۲	۴۰۲۳۳۷۰	مطلوب (% ۸۶/۶۶)	Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TDS, TH	Ca <sup>2+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-



شکل ۷. نقشه توزیع کیفی منابع آب شهرستان سردشت براساس ارزیابی نتایج سیستم فازی

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای کاهش عدم قطعیت‌های روش قطعی، از سیستم استنتاج فازی که روشی مناسب برای کار با داده‌های دارای عدم قطعیت است، استفاده شد. در مقایسه نتایج این دو مدل علاوه بر قابل قبول بودن هر دو روش، مزیت‌ها و کاستی‌های روش فازی آشکار شد. مزایای روش فازی که دلیل برتری بر روش قطعی می‌باشد، بدین شرح است: در روش قطعی، کیفیت آب به صورت کیفی بیان می‌شود، درحالی‌که در روش فازی، کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، با اختصاص درصد سطح اطمینان به هر یک از نمونه‌ها، کیفیت آب به رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول مشخص می‌گردد یعنی خروجی مدل به صورت کمی و کیفی است. روش فازی شرایط مرزی را بهتر پوشش می‌دهد به طوری که مشخصه‌های زبانی هر پارامتر را از حالت صفر یا یک مطلق خارج می‌کند و برای هر کدام از آن‌ها یک تابع عضویت بین اعداد صفر تا یک تعریف می‌کند ولی در روش قطعی هر پارامتر، فقط حالت صفر یا یک دارد. کاستی احتمالی روش فازی نیز نتایج سخت‌گیرانه و دور از انتظار ناشی از افزایش پیچیدگی مدل است.

### References

- Akgun, A., Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Pradhan, B., 2011. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computer Geosciences*.
- Dindarlo, K., Farshidfar, G., 2006. Chemical quality of drinking water in Bandarabbas city. *Hormozgan Medical Journal* 10(1), 57-65.
- Haghiabi, A.H., Nasrolahi, A.H., Parsaie, A., 2018. Water quality prediction using machine learning methods. *Water Quality Research Journal* 53(1), 3-13.
- Iranian Institute of Standards and Industrial Research. 1993. Daily Standard Water Sampling Method No. 2348, Second Edition, Commission of Sampling Methods and Water Testing. (In Persian)
- Jahangir, M.H., Haghghi, P., Sadati Nejad, S.J., 2018. Evaluation of groundwater quality in Marvdasht plain for drinking purposes using fuzzy inference system model. *Iranian journal of Ecohydrology* 2, 663-673. (In Persian)
- Kia, M., 2010. *Fuzzy logic in MATLAB*. Kian Publication Green. 240 p.
- Mansour-Bahmani, A., Haghiabi, A.H., Shamsi, Z., Parsaie, A., 2021. Predictive modeling of the discharge of urban wastewater using artificial intelligent models (case study: Kerman city). *Modeling Earth Systems and Environment* 7, 1917-1925.
- Monjezi, M., Rezaei, M., 2011. Developing a new fuzzy model to predict burden from rock geomechanical properties. *Expert Systems with Applications* 38(12), 9266-9273.

- Nezaratiana, H., Zahirib, J., Fatehi Peykanic, M., Haghiabi, A.H., Parsaie, A.A., 2021. Genetic algorithm-based support vector machine to estimate the transverse mixing coefficient in streams. *Water Quality Research Journal* 56(3), 127-142.
- Parsaie, A., Emamgholizadeh, S., Azamathulla, H.M., Haghiabi, A. H., 2018. ANFIS-based PCA to predict the longitudinal dispersion coefficient in rivers. *P International Journal of Hydrology Science and Technology* 8(4), 410-424.
- Parsaie, A., Haghiabi, A.H., 2017. Computational Modeling of Pollution Transmission in Rivers. *Applied Water Science* 7, 1213-1222
- Qishlaqi, A., Kordian, S., Parsaie, A., 2017. Hydrochemical evaluation of river water quality—a case study. *Applied Water Science* 7: 2337-2342
- Rahbar, A., 2008. Estimation of hydrological parameters of closed aquifers by Fuller-Cooper-Jacob method and modified fuzzy linear regression. Tarbiat Modares University Master Thesis. 5 p. (In Persian)
- Regional Water Company of West Azerbaijan Province, 2020. Basic Studies of Water Resources. 10 p. (In Persian)
- Rural Water and Sewerage Company of West Azerbaijan Province, 2020. Quality Control Laboratory. 20 p. (in Persian)
- Schoeller, H., 1955. Geochimie des eaux souterraines. *Revue de l'Institut Francais du Petrole Paris* 10(3), 181- 213.
- Shahidi, A. 2003. Geological report of Sardasht 1: 100000 map. Geological Survey of Iran. 15p. (In Persian)
- WHO. Guidelines for drinking water quality 2011. 4th ed. Geneva: World Health Organization.
- Zamani, H., Mahmoudi, A., 2012. Application of artificial neural network - Statistics and optimized using genetic algorithm for groundwater leveling, M.Sc., Shahid Chamran University of Ahvaz. 122 p. (In Persian)