Gonbad Kavous University

Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment

Online ISSN: 2981-0280

Homepage: https://nawee.gonbad.ac.ir

A survey on spatial and temporal variations of Agricultural water quality in Gorganrood River using fuzzy rules

Ali Heshmatpoor[1*], Sayed Javad Sajadi[2]

[1] Department of Range and Watershed management, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

[2] Department Plant Production, Faculty of Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbadkavos, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Article history:
Received
20 Aprial 2024
Received in revised form
15 July 2024
Accepted 25 July 2024
Published online
29 January 2024

Keywords
Fuzzy, Water Quality, Agriculture, ANFIS

ABSTRACT

Objective: Knowledge of water quality plays a decisive role in its management. Currently, deterministic models such as Wilcox are used to classify agricultural water quality into non-overlapping classes, but these models do not reflect the fuzzy concept of water quality and uncertainty in the boundaries of classes. Therefore, in this research, the development of a fuzzy model is proposed to enhance the Wilcox classification system.

Methods: The data recorded by the regional water organization of Golestan province from 1961 until 2014 at eight stations of the Gorganrood River were used for two inputs (SAR and EC), one output (water quality class), and 16 fuzzy rules developed in this research.

Results: The results showed that the proposed and developed model was highly compatible with the Wilcox model. The developed model functioned effectively in determining the agricultural water quality classes. It is expected to predict the possibility of the risk of river water for use in the agricultural sector based on the proposed system, thereby enabling users to have a proper explanation for the changes in water quality in overlapping classes during the study period. In addition, the developed model can see temporal and spatial changes in water quality classes ahead of time and earlier than forecast.

Conclusions: The proposed system can classify water quality into 16 classes and assign a grade to each class created in a fuzzy form between the intervals [0,1] whereas Wilcox's model classifies them in only one class. In other words, the 16 different water quality classes of the Wilcox model have overlapping boundaries in the real world, which is clearly shown by the proposed fuzzy system.

*Corresponding Author, Email: heshmatpoura@gmail.com

Cite this article: Heshmatpoor, A., & Sajjadi, S.J. (2024). A survey on spatial and temporal variations of Agricultural water quality in Gorganrood River using fuzzy rules. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 3(1), 1-20. http//doi.org/

© The Author(s).

Publisher: Gonbad Kavous University.
DOI: http//doi.org/10.22034/nawee.2024.460627.1086

رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست
شاپا الکترونیکی: ۰۲۸۰-۲۹۸۱
Homepage: https://nawee.gonbad.ac.ir

بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب کشاورزی در رودخانه گرگان رود با استفاده از قوانین فازی

علی حشمت‌پور[1*]، سیدجواد سجادی[2]

[1] گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

[2] گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۳/۲۵

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۱۱/۱۰

کلیدواژه‌ها:
فازی، کیفیت آب، کشاورزی، FIS.

چکیده

هدف: آگاهی ازکیفیت آب در مدیریت آن نقش تعیین‌کننده دارد. در حال حاضر از مدل‌های قطعی مانند ویلکاکس برای طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی به کلاس‌های غیرهمپوشان استفاده می‌شود، اما این مدل‌های مفهوم فازی کیفیت آب و عدم قطعیت در مرزهای کلاس‌ها را منعکس نمی‌کنند. بنابراین در این تحقیق، توسعه یک مدل فازی برای افزایش سیستم طبقه‌بندی ویلکاکس پیشنهاد شده است.

مواد و روش‌ها: داده‌های ثبت شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان در سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۳ در هشت ایستگاه رودخانه گرگان‌رود برای دو وردی (SAR و EC)، یک خروجی(کلاس کیفیت آب) و ۱۶ قانون فازی مورد توسعه در این تحقیق استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد که مدل توسعه‌یافته پیشنهادی سازگاری خوبی با مدل ویلکاکس داشته، توانایی آن در تعیین کلاس کیفیت آب کشاورزی خوب است. انتظار می‌رود احتمال پیش‌بینی خطر آلودگی آب رودخانه‌ها برای استفاده در بخش کشاورزی بر اساس سیستم پیشنهادی، کاربران را قادر سازد تا برای تغییرات کیفیت آب در کلاس‌های همپوشان در طول دوره مطالعه توضیح مناسبی داشته باشند. به‌علاوه، تغییرات زمانی و مکانی آلودگی را در کلاس‌های کیفی آب پیش از زمان و به‌طور زودهنگام پیش‌بینی نمایند.

نتیجه‌گیری: سیستم پیشنهادی قادر است کیفیت آب را به ۱۶ کلاس طبقه‌بندی کند و به هر کلاس یک درجه اختصاص می‌دهد که به‌صورت فازی بین فاصله [۰،۱] به‌وجود می‌آید. درحالی‌که مدل ویلکاکس آنها را فقط در یک کلاس طبقه‌بندی می‌کند. به عبارت دیگر، ۱۶ کلاس مختلف کیفیت آب مدل ویلکاکس مرزهای همپوشانی در دنیای واقعی دارند که به‌وضوح توسط سیستم فازی پیشنهادی نشان داده شده است.

* نویسنده مسئول، Email: heshmatpoura@gmail.com

استناد: حشمت پور، ع؛ و سجادی، س.ج. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب کشاورزی در رودخانه گرگان رود با استفاده از قوانین فازی. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۳ (۱)، ۲۰-۱.

http//doi.org/10.22034/nawee.2024.460627.1086

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.

© نویسندگان.

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از منابع اصلی آب کشاورزی هستند. امروزه به دلیل ورود پساب‌های صنعتی و شهری به رودخانه‌ها، ارزیابی کیفیت آب آن‌ها برای استفاده در بخش کشاورزی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. همچنین آگاهی از کیفیت آب رودخانه‌ها می‌تواند کمک شایانی به مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کند (آقایی و همکاران، ۱۳۹۸). مدل‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت آب کشاورزی (AWQ[1]) معرفی شده است که در حال حاضر در وزارت نیرو به‌عنوان متولی منابع آب ایران، از مدل ویلکاکس استفاده می‌شود. در مدل ویلکاکس با استفاده از نسبت جذب سدیم (SAR[2]) و هدایت الکتریکی (EC[3]) به عنوان ورودی مدل، کیفیت آب کشاورزی به پنج کلاس مختلف طبقه‌بندی می‌شود. LV (۱۹۴۸) اعلام کرد که مدل ویلکاکس مدلی شکننده است که قوانین حاکم در آن کیفیت آب کشاورزی را به‌صورت قطعی طبقه‌بندی می‌کند. این در حالی است که کیفیت آب کمیتی فازی است. سیستم طبقه‌بندی فازی هر ورودی را به چندین کلاس با مقادیر عضویت ارزش‌گذاری می‌کند که در آن ارزش عضویت هر کلاس نشان‌دهنده درجه عضویت در آن کلاس است. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در خصوص سیستم طبقه‌بندی فازی در بهبود ارزیابی کیفیت آب انجام شده است (Alizadeh et al., 2017 ؛Li et al., 2017 ؛Liu and Zou, 2012).

Tabrez(۲۰۲۳) در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی با هدف آبیاری در منطقه تامکور هند از رویکرد منطق فازی استفاده کردند. در این تحقیق کیفیت آب با استفاده از تکنیک فازی و بر اساس حداکثر اصل عضویت و نسبت کلاس فازی (FCR[4]) ارزیابی شد. در این مطالعه از ۱۰۴ نمونه آب زیرزمینی در ارزیابی کیفیت آب استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۳/۸درصد از نمونه‌های آب برای استفاده کشاورزی نامناسب طبقه بندی شدند. این محققان نتیجه گرفتند که روش FCR در برخورد با مبهم بودن داده‌ها در نزدیکی مرزهای کلاس موثر عمل کرده است. اخیراً Mia (۲۰۲۳) ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری در حوضه حور بنگلادش از آنتروپی تلفیقی شانون (منطق فازی FIWQI و مدل خطی خودکارEWQI) استفاده نمودند. باتوجه به EWQI[5]، حدود ۵۵ درصد از نمونه‌های مورد تجزیه و تحلیل کیفیت خوب و ۴۵ درصد کیفیت متوسط داشتند. مدل‌های ادغام شده EWQI و FIWQI[6] نشان داد که نزدیک به ۳۰ درصد از آب محل‌های نمونه برداری قبل از استفاده نیاز به تصفیه دارد. در تحقیقی دیگر Dhaoui (۲۰۲۳) در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک با هدف آبیاری از مدل منطق فازی و ریچاردز استفاده کردند. در این مطالعه از ۳۶ نمونه آب زیرزمینی برای ارزیابی کیفیت آب زیر زمینی استفاده نمودند. بر اساس نمودار ریچاردز رابطه بین SAR و EC نشان می‌دهد که تقریباً نمونه‌های آب زیرزمینی کیفیت نامناسبی دارند. علاوه بر این، مدل منطق فازی با ارزیابی شش پارامتر مهم مانند EC، SAR، SSP[7]، MAR[8]، KR[9] و PI[10] نشان می‌دهد که سه درصد از نمونه‌ها در کلاس بسیارخوب، سه درصد در کلاس خوب، ۳۳درصد در کلاس متوسط، ۳۶درصد در کلاس نامناسب و ۲۵ درصد در کلاس بسیارنامناسب قرار دارند. همچنین این محققان اظهار داشتند که استفاده از تکنیک‌های منطق فازی با غلبه بر عدم قطعیت‌های تصمیم‌گیری منتسب به روش‌های مرسوم با ایجاد کلاس‌های جدید نتایج قابل اعتمادتر و قوی‌تری دارد. در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی حکمت‌زاده و آسی (۱۳۹۳) با استفاده از سیستم استنتاجی فازی به طبقه‌بندی کیفیت آب چاه‌های دشت زرقان برای آبیاری پرداختند. در این مطالعه ۳۴ حلقه چاه را در نظر گرفتند. سپس با اندازه گیری پارامترهای شیمیایی آب و استفاده سیستم فازی کیفیت آب چاه‌ها را ارزیابی کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شاخص کیفی ارائه‌شده ابزار مناسبی

[1] Agricultural Water Quality
[2] Sodium adsorption ratio
[3] Electrical conductivity
[4] Fuzzy Class Ratio
[5] Entropy-weighted water quality index
[6] fuzzy irrigation water quality index
[7] Soluble sodium percentage
[8] Magnesium absorption ratio
[9] Kelly ratio
[10] permeability index

برای طبقه‌بندی کیفیت آب است. این روش به‌خصوص در اندازه‌گیری‌های نزدیک به مرزهای استاندارد دارای قدرت زیادی در طبقه‌بندی کیفیت آب است. همچنین هاشمی و همکاران (۱۳۸۹) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب از سیستم فازی استفاده نموده‌اند. در این مطالعه ۲۹ نمونه آب زیرزمینی که از نه شهر مختلف اصفهان به‌دست آمده است، در نظر گرفتند. سپس با استفاده از قوانین فازی و آنالیز ۱۱ پارامتر شیمیایی آب به تعیین سطح کیفیت آب چاه‌ها اقدام کردند. نتایج آنالیزها نشان داد که ۱۰ نمونه از آب‌های مورد مطالعه با سطح اطمینانی بین ۸۴ تا ۹۷ درصد در گروه مطلوب، ۹ نمونه با سطح اطمینان ۵۰ تا ۱۰۰ درصد در گروه قابل قبول و ۱۰ نمونه با سطح اطمینان ۵۰ تا ۹۵ درصد در گروه نامطلوب برای آشامیدن قرار دارند. همچنین، ۶۵ درصد از نمونه‌های مورد آزمایش درحد مطلوب یا قابل قبول برای آشامیدن هستند. در مطالعات گذشته علوی و همکاران (۲۰۱۰) از سیستم ANFIS[1] و به‌کارگیری دو پارامتر EC و SAR نسبت به ارزیابی کیفیت آب آبیاری کردند. در این مطالعه، مقادیرEC و SAR در نمودار آزمایشگاهی شوری ایالات متحده[2](USSL) از طریق ANFIS با هم ترکیب می‌شوند تا یک روش جدید تولید کنند، که در این صورت می‌توان ANFIS را به‌جای نمودار USSL استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس روش ANFIS در مقایسه با طبقه‌بندی نمودار USSL دقیق‌تر است و جایگزینی امیدوارکننده برای رویکرد سنتی است. همچنین نتایج نشان داد که مدل‌سازی ANFIS اثرات خطا در آزمایش‌های هیدروشیمیایی و زمان محاسبه برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری را کاهش می‌دهد. در راستای این نتایج، هاشمی و همکاران (۱۳۸۹) اعلام کردند که مدل‌های فازی برای داده‌های اولیه و خام گروه‌های مختلف مطابق استانداردهایی که قبلا برای کیفیت تعیین شده‌اند، طراحی می‌گردند و به‌طور معمول برای حذف مرز دقیق موجود بین حدود تعیین‌شده در استانداردها استفاده می‌شود.

با توجه به موقعیت مکانی کشور در خاورمیانه که باعث شده در بیشتر سال‌ها قسمت عمده‌ای از مساحت آن در معرض خطر وقوع خشکسالی باشد، و با در نظر گرفتن این موضوع که داشتن منابع آب سالم و کافی پیش‌نیاز ضروری و اساسی در جهت حفظ محیط زیست، رشد و توسعه اقتصادی، فعالیت‌های کشاورزی و غیره است، کنترل کیفی و پایش آب‌های سطحی برای مصارف مختلف امری ضروری است تا آب با کیفیت مناسب در دسترس عموم قرار گیرد (حشمت‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). ازطرفی وضعیت منابع آبی گلستان در شرایط خوبی قرار ندارد و با شروع فصل گرما تنش آبی در این استان شمالی تشدید می‌شود(حشمت پور و محمدیان، ۱۴۰۳). از سویی دیگر به‌علت بروز پدیده خشک‌سالی در بعضی از ماه‌های سال، کشاورزان با کمبود منابع آب مواجه هستند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۳). لذا لازم است مسئولان راهکارهای جدی برای این مسأله بیندیشند. بنابراین باتوجه به موارد ذکرشده و نظر به استفاده گسترده از طبقه‌بندی کیفیت آب به روش ویلکاکس توسط محققان و متولیان امور آب در بخش کشاورزی، لازم شد تا در توسعه مدل قطعی ویلکاکس به فازی در این تحقیق پرداخته شود و نتایج حاصل از کاربرد مدل توسعه‌یافته به روش فازی به اطلاع صاحب‌نظران رسانده شود.

مواد و روش‌ها

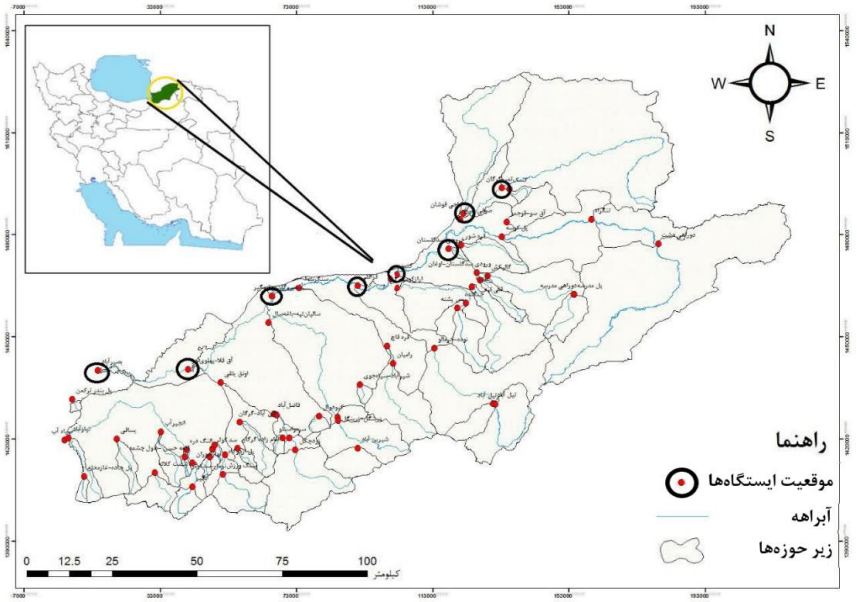
منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

رودخانه گرگان‌رود از ارتفاعات گلی داغ و پارک ملی گلستان سرچشمه می‌گیرد و پس از گذشتن از گنبدکاووس و آق‌قلا در غرب خواجه‌نفس به دریای خزر می‌ریزد. این رودخانه در قسمت جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است. جهت جریان آب رودخانه یادشده از شرق به غرب است(قاضیانی و همکاران، ۱۳۹۹). از نظر موقعیت ریاضی این حوضه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی تا ۳۷ درجه و۴۵ دقیقه شمالی و در طول ۵۴ درجه و ۳ دقیقه الی ۵۶ درجه و۱۳ دقیقه شرقی قرار دارد. در این حوضه حداکثر ارتفاع در حدود ۳۶۰۰ متر و حداقل آن ۲۶ متر از سطح دریا است. مساحت این حوضه در حدود ۱۰۵۷۰ کیلومترمربع است. آب‌های سطحی در این حوضه با رژیم برفی ـ بارانی همراه هستند، به‌طوری که رودخانه‌های

[1] adaptive network- fuzzy inference system
[2] United States Salinity Laboratory

آن‌ها از کوه‌هایی که بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر ارتفاع دارند سرچشمه می‌گیرند. شایان ذکر است که آبدهی این رودخانه در ماه‌های فروردین و اردیبهشت که فصل ذوب برف است، به حداکثر می‌رسد (گزارش امور آب استان گلستان، ۱۳۸۱).

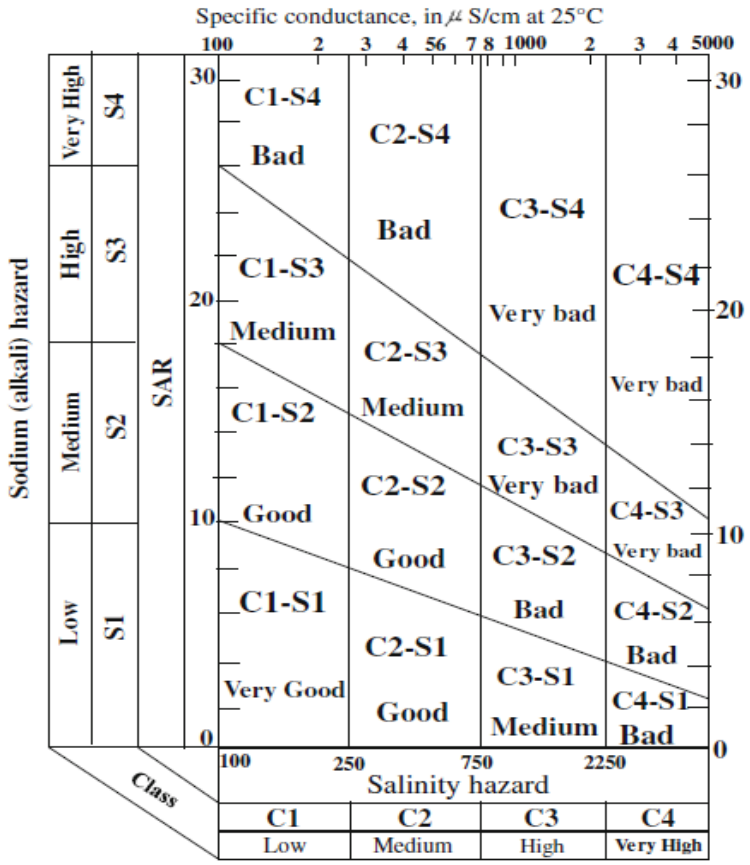
داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان در طی سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۳ در هشت ایستگاه رودخانه گرگان‌رود (تمر، حاجی قوشان، سد گلستان، گنبد، قزاقلی، سد وشمگیر(گرگان)، آق‌قلا، بصیر آباد) که داده کامل‌تری داشتند، انتخاب شدند. از بین داده‌های انتخابی ایستگاه‌ها ۱۴۵۴۴ داده برای انجام آنالیز و استفاده در این مطالعه استفاده شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه محل هشت ایستگاه انتخابی در رودخانه گرگان رود

طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی

نمودار ویلکاکس توسط وزارت کشاورزی امریکا در سال ۱۹۴۸ ارائه گردید و در سال ۱۹۵۱ توسط تورن تکمیل گردید (شکل ۲).



شکل ۲-نمودار ویلکاکس برای طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی

در این سیستم نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی به‌عنوان ورودی مدل استفاده می‌شوند که هر فاکتور به چهار قسمت تقسیم شده اند و در ارتباط با هم از بالا به پایین با معادلات خطی زیر از هم متمایز می‌شوند:

معادله خط بالا : $S = 43.75 - 8.87 (\text{Log } C)$ (۱)

معادله خط وسط : $S = 31.31 - 6.66 (\text{Log } C)$ (۲)

معادله خط پایین : $S = 18.87 - 4.44 (\text{log } C)$ (۳)

که S در آن نشان‌دهنده ارزش SAR و C ارزش EC است.

SAR از غلظت های Na^{+}[13]، Ca^{2+}[14] و Mg^{2+}[15] با استفاده از معادله (۴) به‌دست‌می‌آید:

(۴)

$$SAR = \frac{(Na^{+})}{\sqrt{1/2[(Ca^{2+}) + (Mg^{2+})]}}$$

[1] Sodium [3]

[1] Calcium [4]

[1] Magnesium [5]

مقادیر SAR و EC در نمودار ویلکاکس به چهار گروه کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم می‌شوند (جدول۱).

جدول۱-رده‌بندی آب برای مصارف کشاورزی با استفاده از نمودار ویلکاکس

طبقه	حدود EC(ds/m)	طبقه	حدود SAR(mgr/li)
کم C1	۲۵۰-۰	کمS1	۰-۱۰
متوسط C2	۲۵۰-۷۵۰	متوسطS2	۱۰-۱۸
زیاد C3	۷۵۰-۲۲۵۰	زیادS3	۱۸-۲۶
خیلی زیادC4	۲۲۵۰-۵۰۰۰	خیلی زیاد S4	۲۶-۳۲

با رسم مقادیر SAR در مقابل EC با استفاده از نمودار ویلکاکس کیفیت آب کشاورزی به ۵ کلاس با کیفیت آب بسیار خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد طبقه بندی می‌شود (جدول۲).

جدول۲- کیفیت و رده آب براساس نمودار ویلکاکس

ردیف	رده آب	نوع کیفیت آب برای کشاورزی
۱	C1S1	بسیار خوب
۲	C2S1, C1S2, C2S2	خوب
۳	C3S1, C1S3, C2S3	متوسط
۴	C4S1, C3S2, C4S2, C1S4, C2S4	بد
۵	C3S3, C4S3, C3S4, C4S4	خیلی بد

سیستم استنتاج فازی

سیستم استنتاج فازی[1] FIS که بر اساس منطق فازی معرفی شده توسط لطفعلی‌زاده است، کاربردهای زیادی در مسائل طبقه‌بندی، کنترل و مدل‌سازی دارد (Zadeh, 1996). در منطق فازی، متغیرهای زبانی غیرعددی مقادیر فیزیکی را بیان می‌کنند. منطق فازی یکی از کاربردهای موفق در زمینه مجموعه‌های فازی است که متغیرها زبانی هستند و عددی نیستند. منطق فازی مخالف منطق دودویی یا قطعی است که همه چیز را فقط به دو روش می‌بینند: بله یا نه، سیاه و سفید، صفر و یک. یک مثال خوب از متغیر زبانی "کیفیت" است که به عنوان بد، متوسط، خوب و بسیار خوب بیان می‌شود. ایده منطق فازی برای کاربردهای کیفیت آب بسیار مناسب است که در آن نمایش دقیقی از نمایش دنیای واقعی طبقه‌بندی آب ارائه می‌دهد (عراقی نژاد، ۲۰۱۳).

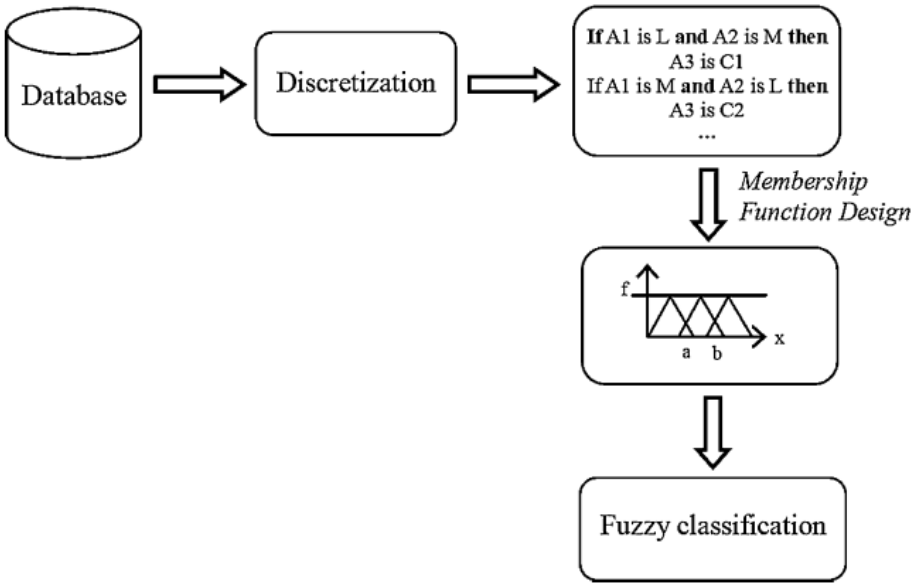
فرآیند تبدیل متغیرهای قطعی به متغیرهای فازی، فازی‌سازی نامیده می‌شود. موتور استنتاج قوانین را با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج ارزیابی و استنباط می‌کند و پس از جمع‌آوری قوانین خروجی، خروجی توسط واحد فازی به یک مقدار صریح یا عددی تبدیل می‌شود. اسا سیستم استنتاج فازی بر پایه قوانین منطقی if–then است که با استفاده از رابطه (۵) به‌دست‌می‌آید:

$$If\ x_1\ is\ A_1\ and\ x_2\ is\ A_2\ then\ y\ is\ in\ B \qquad (۵)$$

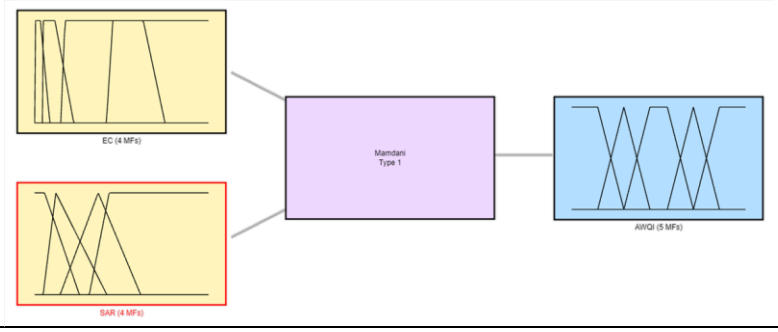
[1] fuzzy inference system [6]

که X_1 و X_2 متغیرهای ورودی هستند ، y متغیر خروجی است و A، B و C مقادیر زبانی تعریف‌شده توسط منطق فازی هستند. به‌طورکلی، ورودی‌های یک قانون if–then مقادیر عددی هستند و خروجی آن یک مجموعه فازی است. سیستم استنتاج فازی با استفاده از مراحل زیر ساخته می شود: فازی سازی هر متغیر ورودی به کلاس‌های مورد نظر؛ تعریف قوانین if–then ؛ ترکیبی از قوانین if–then برای انجام طبقه بندی و دی فازی سازی نتایج.

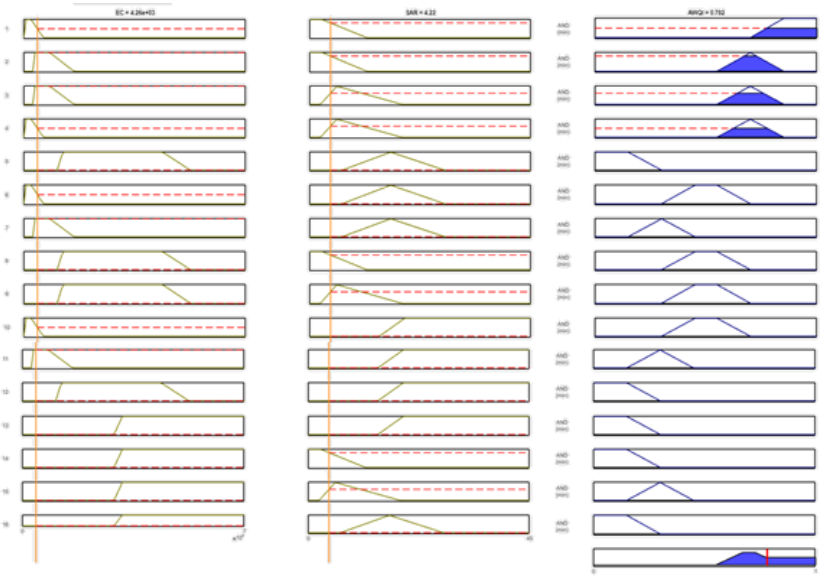
ساختار FIS در شکل (۴-a)، قوانین FIS در شکل (۴-b) و سطح FIS در شکل (۴-C) ارائه شده است. همان‌طورکه در شکل‌های(۴-a)، (۴-b) و (۴-c) نشان داده شده است. توابع عضویت مورد استفاده در سیستم طبقه‌بندی فازی شامل (a) توابع عضویت برای EC و (b) توابع عضویت برای SAR و (c) توابع عضویت برای شاخص کیفیت آب کشاورزی از نوع توابع عضویت مثلثی و هم ذوزنقه‌ای بوده است. در این مطالعه نیز از توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده گردید.



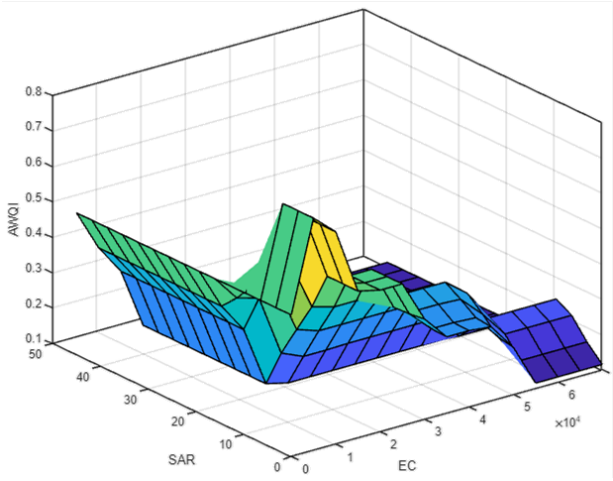
شکل ۳ -سیستم استنتاج فازی



A



B



C

شکل ۴-سیستم استنتاج فازی ممدانی: الف) ساختار FIS، ب) قوانین FIS، ج) سطوح FIS

در این مطالعه مراحل ذکرشده را به شرح زیر اعمال می‌کنیم؛

۱ . فازی سازی ورودی: SAR و مقدار EC با استفاده از توابع عضویت مثلثی.

۲. ایجاد قوانین فازی: قوانین فازی به صورت زیر تعریف شد:

If SAR is A_1 AND EC is A_2 then AWQ is W with Z

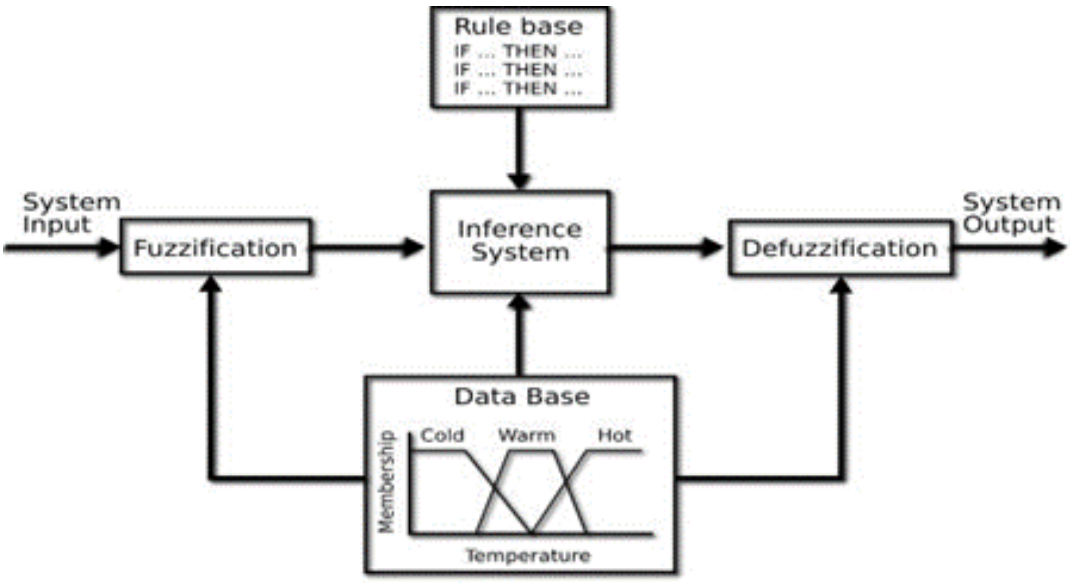
در این رابطه A_1 و A_2 مقادیر فازی مربوط به مقادیر SAR و EC هستند، W کلاس AWQ و Z درجه عضویت کلاس مربوط است. مقدار Z از رابطه زیر به‌دست‌می‌آید:

$$Z_i = \{\mu_i\,(SAR) \times \mu_i\,(EC)\}$$

جایی که μ_i (SAR) و μ_i (EC) درجه عضویت ورودی‌های SAR و EC هستند.

۳. ترکیبی از قوانین if–then برای انجام طبقه‌بندی: در سیستم ارائه شده از روش ممدانی برای ترکیب قوانین if-then استفاده شد. برای هر کلاسAWQ یک مقدار Z متناظر به‌دست‌می‌آید. مجموع تمام درجه عضویت مربوط به یک کلاس AWQ یک است.

٤. دی‌فازی‌سازی نتایج: دی‌فازی‌سازی فرآیند تولید یک نتیجه قابل اندازه‌گیری در منطق فازی، با توجه به مجموعه‌های فازی و درجه عضویت مربوط است. در این پژوهش از تکنیک دی‌فازی‌سازی مرکز ثقل (Centroid) استفاده شده است. شکل (۵) نمودار سیستم فازی را نشان می‌دهد.

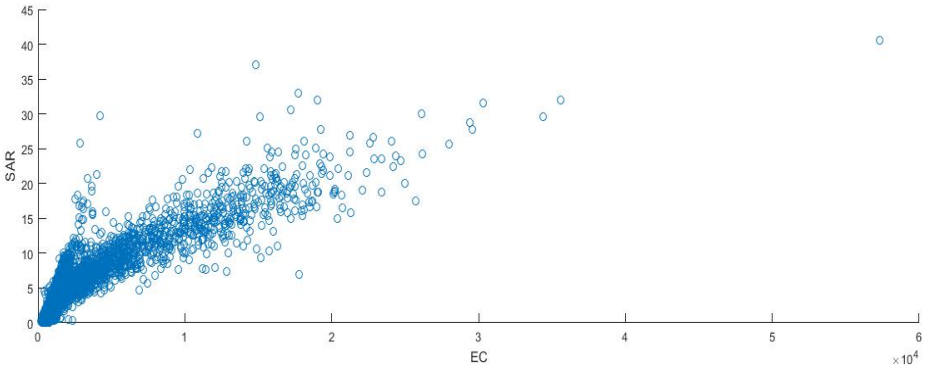


شکل۵-اجزاء یک سیستم فازی

نتایج و بحث

ویژگی‌های هیدروشیمیایی آب زیرزمینی

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل مقادیر زوجی EC و SAR با 14544 داده انتخابی بود. یک طرح از این داده‌ها در شکل (۶) نشان داده شده است. در این شکل، محور افقی نشان‌دهنده EC و محور عمودی نشان‌دهنده پارامتر SAR است.



شکل ۶ -مقادیر SAR ترسیم شده در مقابل مقادیر EC

جزئیات آمار داده‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول ۸ ایستگاه از جمله اقلا، بصیر، غزاقلی، گنبد، حاج، سد گلستان، سدگرگان و تمر ارائه شده است. داده‌ها شامل حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف استاندارد پارامترهای EC و SAR است. محدوده داده‌ها شامل سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۴۵ برای ایستگاه‌های آق‌قلا، بصیرآباد، گنبد، سدگرگان و تمر، ۱۳۹۳-۱۳۵۰ برای ایستگاه قزاقلی، ایستگاه حاجی قوشان، ۱۳۶۱-۱۳۹۳ و ایستگاه سد گلستان از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱ است.

جدول ۳- جزئیات داده های EC و SAR در هشت ایستگاه در فواصل زمانی مختلف

Station	Time Interval	EC				SAR			
		Max	Min	Average	Std	Max	Min	Average	Std
Tamar	1345-1393	3524.00	406.00	1438.44	586.78	5.9097	0.4133	3.4838	1.0159
Haji Ghoushan	1361-1393	12599.25	1472.11	4115.0	2963.85	12.1938	3.7506	6.7839	2.1654
Sad Golestan	1380-1391	2690.00	976.25	1413.81	521.82	5.2298	1.9752	3.0975	1.0267
Gonbad	1345-1393	6654.75	580.33	2390.86	1403.04	8.9970	2.0744	4.4947	1.8148
Ghazaghly	1361-1393	5355.00	509.83	1848.79	1047.68	9.8342	0.6166	3.9236	1.7164
SadGorgan	1345-1393	7568.00	921.55	2239.46	1281.76	11.6908	1.9067	4.9029	1.7871
Agh Ghala	1345-1393	15084.55	0.00	4692.64	2547.50	16.4170	0.0000	7.5656	2.5570
BasirAbad	1345-1393	11747.50	1412.00	4542.86	2321.69	12.3015	3.4091	7.5485	2.1864

متغیرهای ورودی و خروجی با استفاده از قوانین IF-THEN و ترکیبات آن به عنوان قانون نگاشت شدند. هنگامی که متغیرها با نام و فرم تابع عضویت مناسب نامگذاری می‌شوند، باید یک روش برای ارتباط اعضای متغیر ورودی با اعضای متغیر خروجی ارائه شود. بدین منظور از جعبه ابزار منطق فازی نرم افزار MATLAB برای ایجاد و اعمال قوانین فازی استفاده شد. در این مقاله ۱۶ قانون فازی توسعه داده شد (جدول۴). دو نمونه از این قوانین به شرح زیر است:

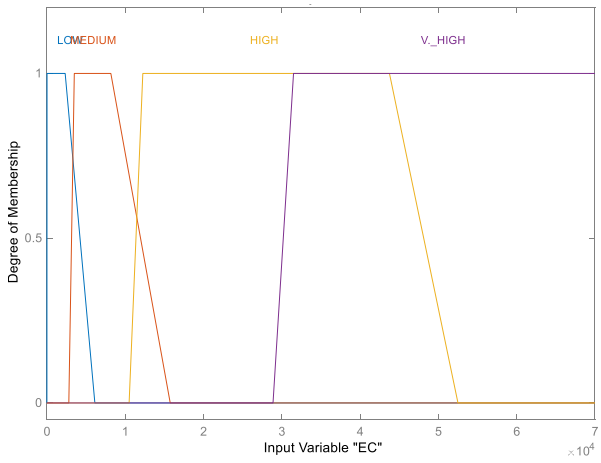
قانون اول: اگر مقدار EC آب کم و SAR کم باشد، آنگاه کیفیت آب برای کشاورزی خیلی خوب است.

قانون دوم: اگر مقدار EC آب متوسط و SAR کم باشد، آنگاه کیفیت آب برای کشاورزی خوب است.

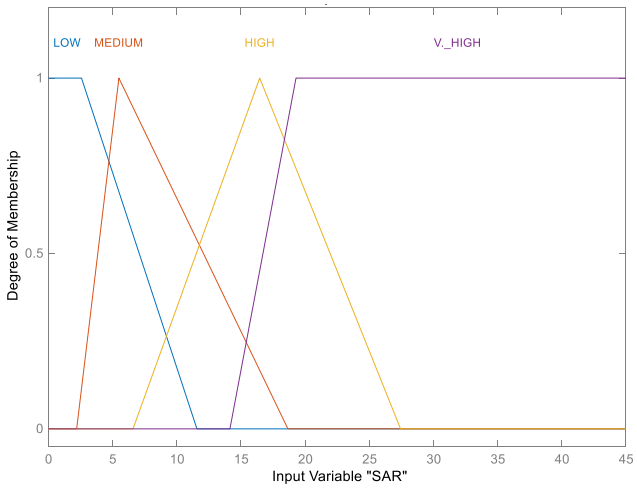
جدول۴- ارزیابی کیفیت آب کشاورزی با استفاده از روش FIS

ردیف	EC	SAR	نوع کیفیت برای کشاورزی
۱	کم (۰-۲۵۰)	کم (۰-۱۰)	خیلی خوب
۲	متوسط (۲۵۰-۷۵۰)	کم (۰-۱۰)	خوب
۳	متوسط (۲۵۰-۷۵۰)	متوسط (۱۰-۱۸)	خوب
۴	کم (۰-۲۵۰)	متوسط (۱۰-۱۸)	خوب
۵	زیاد (۷۵۰-۲۲۵۰)	زیاد (۱۸-۲۶)	خیلی بد
۶	کم (۰-۲۵۰)	زیاد (۱۸-۲۶)	متوسط
۷	متوسط (۲۵۰-۷۵۰)	زیاد (۱۸-۲۶)	کم
۸	زیاد (۷۵۰-۲۲۵۰)	کم (۰-۱۰)	متوسط
۹	زیاد (۷۵۰-۲۲۵۰)	متوسط (۱۰-۱۸)	متوسط
۱۰	کم (۰-۲۵۰)	خیلی زیاد (۲۶-۳۲)	متوسط
۱۱	متوسط (۲۵۰-۷۵۰)	خیلی زیاد (۲۶-۳۲)	بد
۱۲	زیاد (۷۵۰-۲۲۵۰)	خیلی زیاد (۲۶-۳۲)	خیلی بد
۱۳	خیلی زیاد (۲۲۵۰-۵۰۰۰)	خیلی زیاد (۲۶-۳۲)	خیلی بد
۱۴	خیلی زیاد (۲۲۵۰-۵۰۰۰)	کم (۰-۱۰)	خیلی بد
۱۵	خیلی زیاد (۲۲۵۰-۵۰۰۰)	متوسط (۱۰-۱۸)	بد
۱۶	خیلی زیاد (۲۲۵۰-۵۰۰۰)	زیاد (۱۸-۲۶)	خیلی بد

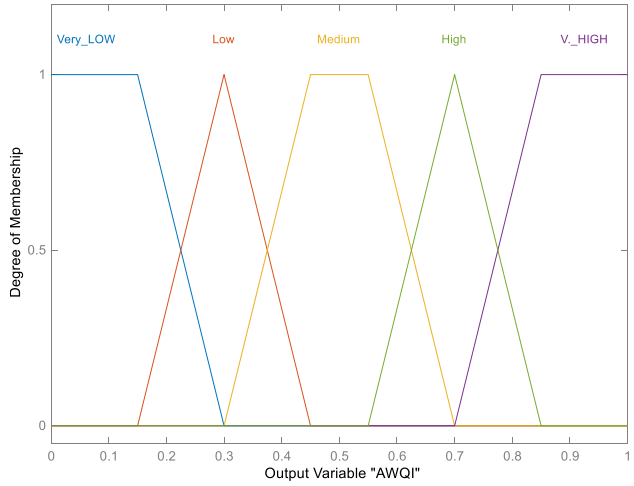
توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای برای ورودی‌ها (SAR و EC) همان‌طورکه در شکل ۷ نشان داده شده است، استفاده شد. برای هر پارامتر، چهار تابع عضویت تعریف شد، از جمله کم، متوسط، بالا و بسیار بالا. تابع عضویت خروجی شامل پنج کلاس بسیار پایین، پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا بود. این کلاس‌ها بر اساس طبقه بندی USSL و Wilcox تعریف شده‌اند.



a



b



c

شکل ۷ – توابع عضویت مورد استفاده در سیستم طبقه‌بندی فازی: (الف) توابع عضویت برای EC و (ب) توابع عضویت برای SAR و (ج) توابع عضویت برای شاخص کیفیت آب کشاورزی AWQI

بر اساس نمودار تابع عضویت متغیرهای خروجی، خروجی سیستم استنتاج فازی (FIS) به‌دست‌آمده‌است. پس از تجزیه و تحلیل، نمرات FIS به کلاس‌هایی برای ارزیابی کارایی آب آبیاری تبدیل می‌شود. با توجه به نمره FIS ، پنج کلاس به عنوان کلاس کیفیت آب انتخاب شدند.

در این تحقیق کیفیت آب فازی با استفاده از مقادیر تابع عضویت خروجی FIS تعیین شد. با در نظر گرفتن ایستگاه آق‌قلا در فاصله زمانی اول به عنوان مثال، نتیجه خروجی فازی برای هر کلاس(۰، ۰، ۰، ۰، ۰، ۰، ۰، ۰/۳۳۷، ۰/۱۵۳، ۰، ۰، ۰/۱۲۲، ۰/۳۸۰، ۰/۰۰۸، ۰) است. پس از اصل درجه حداکثر عضویت برای به‌دست‌آوردن سطح کیفیت آب، مقدار ۰/۳۸۰ از کل ۱۶ ارزش کلاس بیشتر است. بنابراین با توجه به جدول (۵) کیفیت آب این ایستگاه که در اولین فاصله زمانی در نظر گرفته شد، به عنوان C4S2 طبقه‌بندی گردید. از سوی دیگر، کیفیت آب بد بود. همچنین درجه حداقل عضویت در این ایستگاه ۰/۰۰۸ است که در کلاس C4S3 طبقه‌بندی شد. در نتیجه کیفت آب در طبقه خیلی بد لحاظ گردید. بر این اساس، کلاس کیفیت آب ایستگاه‌های باقی‌مانده در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مربوط در جدول ۵ قابل مشاهده است. با توجه به جدول ۵، نتایج ارزیابی فازی در فواصل زمانی اول از ایستگاه‌های باقی‌مانده نشان داد که کیفیت آب‌های سطحی قزاقلی، گنبد، سد گرگان و تمر به ترتیب ۰/۸۸۰، ۰/۵۹۵، ۰/۶۶۴، ۰/۸۵۰ است. این وزن‌ها متعلق به کلاس C3S1 هستند که به‌عنوان متوسط

طبقه‌بندی می‌شود. همچنین این کلاس بیشترین فراوانی را در بین کلاس‌ها به خود اختصاص داده است. از سوی دیگر حداقل وزن این ایستگاه‌ها به ترتیب ۰/۰۱۹، ۰/۰۱۰، ۰/۰۴۸، ۰/۰۰۷ است. بدین ترتیب کیفیت آب ایستگاه‌های قزاقلی و سدگرگان در کلاس C3S2 و C4S1 هستند که بد طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین کیفیت آب ایستگاه گنبد و تمر در کلاس C2S2 است و خوب لحاظ شده است.

با توجه به اینکه روند جریان روخانه از تمر شروع و به بصیرآباد ختم می‌شود، کیفیت آب در ایستگاه تمر در تمامی فواصل زمانی C3S1 (متوسط) است، اما در خروجی ایستگاه بصیرآباد کیفیت آب به C4S2 (بد) تغییر کرده است (با در نظر گرفتن حداکثر عضویت). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب روخانه طی فرایندهای طبیعی یا انسانی دچار آلودگی گردیده است. همچنین با بررسی ایستگاه‌ها، کیفیت آب از ایستگاه آق‌قلا به بعد به C4S2 تغییرکرده است. براین اساس، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روش منطق فازی، کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه متوسط و بد برای اهداف کشاورزی بود که نشان می‌دهد روش ارزیابی منطق فازی می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند و مفید در تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود. روش ارزیابی منطق فازی تاثیر هر عامل ارزیابی را بر نتیجه ارزیابی‌شده در نظر می‌گیرد و آلاینده‌های اصلی را بر اساس وزن عوامل ارزیابی تعیین می‌کند و بنابراین عینی‌تر و علمی‌تر است. که در تایید این مطلب می‌توان به مطالعات انجام‌شده(تابرز و پاریمالارینگانایکی، ۲۰۲۳؛ حکمت زاده و آسی، ۱۳۹۳؛ دائویی و همکاران، ۲۰۲۳؛ علوی و همکاران، ۲۰۱۰) در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی برای مصارف شرب، کشاورزی از سیستم استنتاج فازی استفاده نموده‌اند اشاره کرد.

با توجه به ارزیابی فازی، شاخص‌ها به این واقعیت اشاره می‌کنند که کیفیت آب ایستگاه تمر به عنوان کلاسC3S1 طبقه‌بندی شده، برای مصارف کشاورزی قابل قبول بود. با این حال، همچنین مشخص شد که ایستگاه آق‌قلا متعلق به کلاس C4S2 (بد) بود (در همه فواصل زمانی). پدیده مشاهده‌شده مربوط به ایستگاه آق‌قلا به‌دلیل غلظت بالای عنصر EC فراتر از حد مجاز(میانگین ۴۶۹۲,۶۴) را می‌توان به وجود نمک در مسیر رودخانه توضیح داد. با در نظر گرفتن دلایل ذکرشده در بالا، ایستگاه آق‌قلا مستعد شوری بود و بنابراین باید در زمان‌های دوره‌ای مشاهده شود و از آلودگی مورد انتظار بیشتر محافظت شود. آبیاری با EC بالا می‌تواند غلظت نمک خاک را افزایش دهد. از سوی دیگر کشاورزان بیشتر اوقات به اندازه‌گیری میزان مقادیر فسفات، نیترات، پتاسیم و کلسیم در خاک می‌پردازند و بر روی میزان مقادیر این پارامترها حساس هستند؛ چراکه این عناصر نقش مهمی در حیات گیاهان دارند. در همین ارتباط حشمت‌پور و همکاران (۱۳۹۷) اظهار داشتند که هرساله مقدار قابل توجهی از سموم و کودهای مورد استفاده در کشاورزی وارد آب‌های سطحی می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بررسی و کنترل آب‌های سطحی در مدیریت عناصر گیاهی و آب‌های سطحی نقشی تعیین‌کننده دارد. اندازه‌گیری فوق در درازمدت به لحاظ اقتصادی به نفع کشاورزان است؛ چون محصولی با کیفیت و سالم را به بار می‌آورد و همچنین موجب بهره‌وری بیشتر، یعنی محصولی بیشتر در مقدار مشخصی از مساحت زمین خواهد شد. همچنین در این پژوهش، با توسعه ۱۶ قانون و به‌کارگیری روش ممدانی سطح کیفیت آب رودخانه به ۱۶ کلاس طبقه‌بندی گردید، اما علوی و همکاران (۲۰۱۰) کیفیت آب را در چهار کلاس لحاظ نمودند. همچنین این محققان اظهار داشتند که سیستم فازی مبتنی بر شبکه تطبیقی قابلیت پیش‌بینی بسیار بهتری نسبت به سیستم استنتاج فازی ممدانی دارد. با به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی ممدانی در این پژوهش، نتیجه گرفته شد که روش ممدانی نیز دارای قابلیت ارزیابی و پیش‌بینی خوبی است. بنابراین استفاده از روش پیشنهادی برای ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی توصیه می‌گردد.

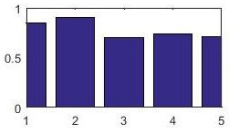
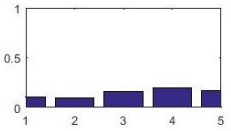
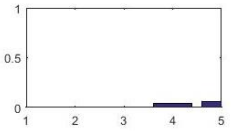
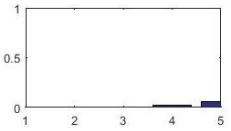
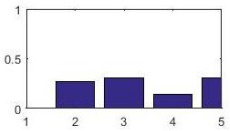
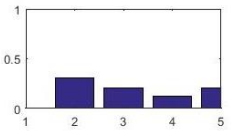
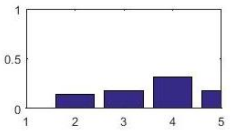
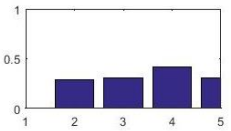
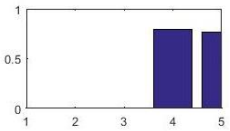
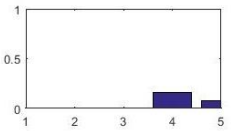
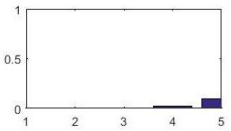
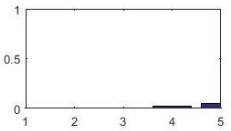
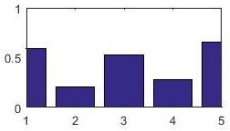
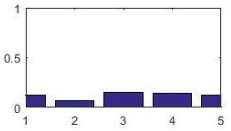
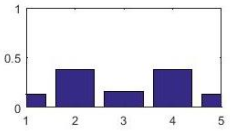
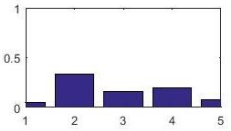
شایان ذکر است که روش ارزیابی منطق فازی نتایج کامل و دقیقی در ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی به‌دست‌می‌دهد. در این مطالعه، مقایسه‌ای بین روش‌های سنتی و ارزیابی منطق فازی انجام شده است که نشان‌دهنده برتری روش فازی در ارائه نتایج جامع‌تر برای ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی می‌باشد. روش ارزیابی منطق فازی به عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی عمل می‌کند و می‌تواند نواقص روش‌های سنتی را که معمولاً به تمامی پارامترهای کیفیت آب و مقادیر استاندارد آن‌ها وابسته‌اند، برطرف نماید. اشکال اصلی این نوع ارزیابی ، توانایی پایین آن در ارائه یک تصویر جامع از کیفیت آب بود. روش‌های متعارف بر اساس میانگین‌های وزنی است، اما قوانین یک سیستم فازی را می‌توان به گونه‌ای ساخت که کیفیت

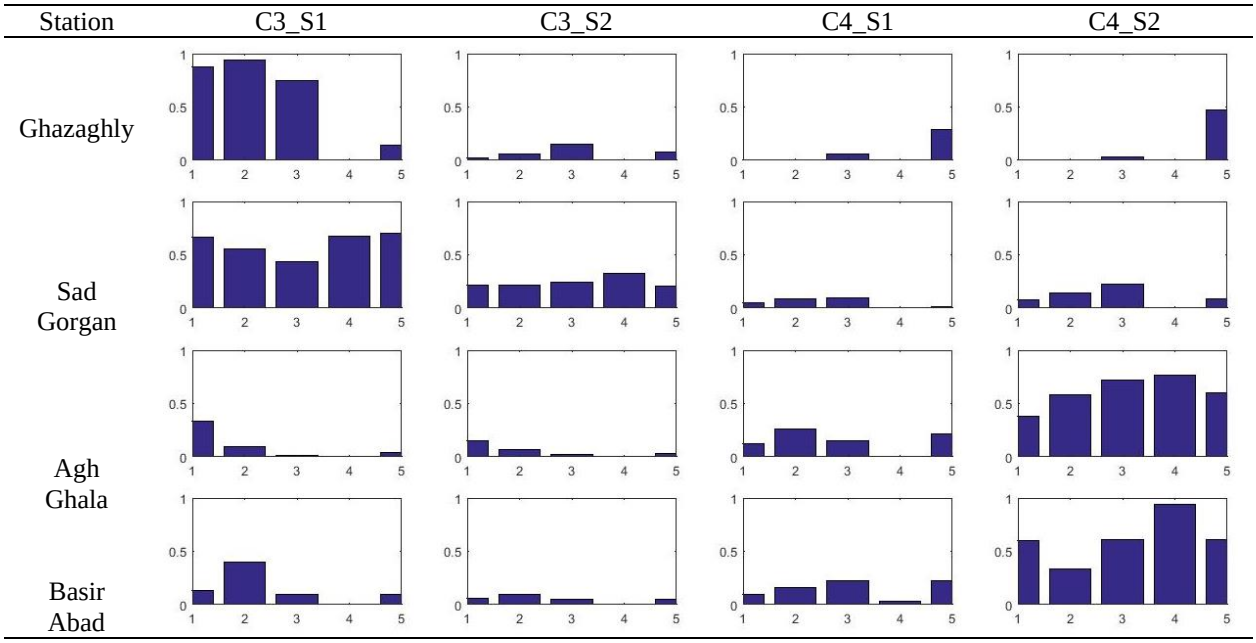
خوب در یک پارامتر کیفیت بد را در دیگری پنهان نکند. با وجود ضعف‌های مرتبط با روش‌های سنتی، این روشها ابزار لازم برای دانستن ویژگی‌های شیمیایی آبی آب‌های سطحی هستند که نتایج روش‌های قوی تر مانند منطق فازی را برای ارزیابی جامع کیفیت آب‌های سطحی تکمیل می‌کنند. به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده، عملی بودن و انعطاف‌پذیری مدل‌های مبتنی بر دانش، مانند تکنیک منطق فازی، برای ترکیب دانش متخصص و مدل‌سازی عدم‌قطعیت‌های فعلی مرتبط با منابع آب و زیست محیطی را تایید می‌کند. نسبت به روش‌های سنتی، منطق فازی می‌تواند برای فرموله کردن سطح کیفیت آب یک منطقه با استفاده از پارامترهای کیفیت آب موجود استفاده شود. با توجه به مزایای منطق فازی،این روش برای مسائل پیچیده نظارت بر کیفیت آب که حل آن‌ها با روش‌های متعارف دشوار است، پیشنهاد می‌شود. شکل (۸) نمودار نتایج طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی را نشان می‌دهد. در این شکل، محور افقی نشان‌دهنده فاصله زمانی و محور عمودی نشان‌دهنده مقدار فازی است.

جدول ۵ - نتایج طبقه‌بندی فازی

Time Interval	C1S1	C1S2	C1S3	C1S4	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4	C3S1	C3S2	C3S3	C3S4	C4S1	C4S2	C4S3	C4S4	Total
									Agh Station								
44_55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.337	0.153	0	0	0.122	0.380	0.008	0	1.000
55-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0.092	0.067	0	0	0.259	0.582	0	0	1.000
65-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.018	0.020	0	0	0.152	0.720	0.089	0	1.000
75-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.769	0.231	0	1.000
85_93	0.100	0	0	0	0	0	0	0	0.044	0.031	0	0	0.212	0.602	0.012	0	1.000
									Basir Station								
44_55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.130	0.059	0	0	0.096	0.598	0.117	0	1.000
55-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0.399	0.101	0	0	0.161	0.339	0.000	0	1.000
65-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.097	0.055	0	0	0.221	0.614	0.014	0	1.000
75-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0	0	0.028	0.943	0.029	0	1.000
85_93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.097	0.055	0	0	0.221	0.614	0.014	0	1.000
									Ghaza Station								
44_55	0	0	0	0	0.101	0	0	0	0.880	0.019	0	0	0.000	0.000	0.000	0	1.000
55-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0.938	0.062	0	0	0.000	0.000	0.000	0	1.000
65-75	0	0	0	0	0.011	0	0	0	0.747	0.152	0	0	0.060	0.029	0.000	0	1.000
85_93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.146	0.074	0	0	0.288	0.476	0.016	0	1.000
									Gonbad Station								
44_55	0	0	0	0	0.090	0.010	0	0	0.595	0.123	0	0	0.133	0.049	0.000	0	1.000
55-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0.206	0.072	0	0	0.385	0.337	0.000	0	1.000
65-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.528	0.147	0	0	0.161	0.163	0.000	0	1.000
75-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.282	0.144	0	0	0.377	0.197	0.000	0	1.000
85_93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.659	0.127	0	0	0.132	0.082	0.000	0	1.000

Time Interval	C1 S1	C1S2	C1S3	C1S4	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4	C3S1	C3S2	C3S3	C3S4	C4S1	C4S2	C4S3	C4S4	Total
Haj Station																	
55-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0.272	0.306	0	0	0.138	0.284	0.000	0	1.000
65-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.304	0.209	0	0	0.181	0.306	0.000	0	1.000
75-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.138	0.127	0	0	0.321	0.414	0.000	0	1.000
85_93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.304	0.209	0	0	0.181	0.306	0	0	1.000
Sad_Gol Station																	
75-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.794	0.165	0	0	0.022	0.019	0	0	1.000
85_93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.769	0.077	0	0	0.100	0.054	0	0	1.000
SadGor																	
44_55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.664	0.211	0	0	0.048	0.077	0	0	1.000
55-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0.552	0.217	0	0	0.091	0.140	0	0	1.000
65-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.439	0.244	0	0	0.093	0.224	0	0	1.000
75-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.672	0.328	0	0	0.000	0.000	0	0	1.000
85_93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.698	0.202	0	0	0.017	0.083	0	0	1.000
Tamar																	
44_55	0	0	0	0	0.041	0.007	0	0	0.850	0.102	0	0	0.000	0.000	0	0	1.000
55-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0.906	0.094	0	0	0.000	0.000	0	0	1.000
65-75	0	0	0	0	0.137	0.002	0	0	0.698	0.163	0	0	0.000	0.000	0	0	1.000
75-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.736	0.202	0	0	0.044	0.018	0	0	1.000
85_93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.707	0.171	0	0	0.062	0.061	0	0	1.000

Station	C3_S1	C3_S2	C4_S1	C4_S2
Tamar				
Haji Ghoushan				
Sad Golestan				
Gonbad				



شکل۸.-نمودار نتایج طبقه بندی فازی

نتیجه‌گیری

سیستم پیشنهادی قادر به طبقه‌بندی AWQ به ۱۶ کلاس است و به هر کلاس یک درجه اختصاص می‌دهد. این درجه نمایشی از AWQ است و بین فاصله [۰،۱] به‌وجود می‌آید. درحالی‌که سیستم Wilcox AWQ را تنها در یک کلاس طبقه‌بندی می‌کند. به عبارت دیگر، ۱۶ کلاس مختلف مرزهای همپوشانی در دنیای واقعی دارند که به‌وضوح توسط FIS پیشنهادی نشان داده شده است، اما مدل Wilcox قادر به نشان دادن همپوشانی کلاس‌های AWQ نیست.

سیستم منطق فازی توسط علوی و همکاران (۲۰۱۰) برای طبقه بندی AWQ استفاده شده است. اما سیستم انها AWQ را فقط در ۴ کلاس طبقه‌بندی می‌کند. FIS پیشنهادی در این مطالعه AWQ را به۱۶ کلاس طبقه‌بندی می‌کند که نمایش بهتری از AWQ واقعی ارائه می دهد. بر اساس FIS به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش نتیجه گرفته شد که کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه در شش ایستگاه تمر، حاجی قوشان، سد گلستان، گنبد، قزاقلی، سد وشمگیر(گرگان) در تمام دوره‌های زمانی قابل استفاده بود، اما ایستگاه آق‌قلا، بصیرآباد به‌دلیل غلظت بالای سدیم کیفیت لازم برای کشاورزی را نداشت. همچنین نتیجه گرفته شد که کیفیت آب کشاورزی می‌تواند از طریق یک سیستم منطقی، مشابه منطق انسانی، مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

آقایی، م.، حشمت پور، ع.، قره محمودلو، م.، و سیدیان، س.م. ۱۳۹۹. بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای با استفاده از شاخص IRWQIsc . *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۵ (پیاپی ۹۶))، ۱۵۳-۱۶۶.

قاضیانی، س.، حشمت‌پور،ع.، فراستی، م.، و رستمی، ف. ۱۳۹۹. ارزیابی کیفی رودخانهٔ گرگان‌رود با استفاده از شاخص *NSFWQI* در منطقهٔ شهری گنبدکاووس. *اکوهیدرولوژی*، ۷(۲)، *pp. 373-382. doi: 10.22059/ije.2020.296008.1276*

حکمت زاده، ع.ا.، و آسی، پ. ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از سیستم استنتاجی فازی – مطالعه موردی دشت زرقان. *آب و فاضلاب*.

حشمت پور، ع.، جندقی، ن.، قره محمودلو، م.، پسند، س. ۱۳۹۹. اثر خشکسالی بر کیفیت منابع آب‌های سطحی استان گلستان جهت اهداف آبیاری، مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود. *جغرافیای طبیعی*،۴۸(۱۳)،۸۸-۷۵.

Aghaee, M., Heshmatoor, A., Seyedind, S. M. 2020. Investigation of Water Quality of Chehelchay River Using IRWQIsc Index. .(In Persian).

Alavi, N., Nozari, V., Mazloumzadeh, S. M., Nezamabadi-pour, H. 2010. Irrigation water quality evaluation using adaptive network-based fuzzy inference system. *Paddy and Water Environment*, *8*, 259-266.

Alizadeh, M. R., Nikoo, M. R., Rakhshandehroo, G. R. 2017. Hydro-environmental management of groundwater resources: A fuzzy-based multi-objective compromise approach. J*ournal of Hydrology*, 551. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.011

Araghinejad, S. 2013. Data-driven modeling: Using Matlab in water resources and environmental engineering. Springer Science & Business Media.

Ahmadi, S H, Heshmatpour, A, Seydian, S M, Komaki, C B. 2024. Locating and prioritizing the suitable place to build a pond with analytic hierarchy process (Northern region of Gorgan). *Journal of Rainwater Catchment Systems* ; 12 (1) : 7

Dhaoui, O., Agoubi, B., Antunes, I. M., Tlig, L., Kharroubi, A. 2023. Groundwater quality for irrigation in an arid region—Application of fuzzy logic techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 29773–29789. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24334-5

Ghaziani, S., Heshmatpour, A., Ferasati, M., Rostami, F. 2020. Quality Assessment of Gorganrood River Using NSFWQI Index in Gonbad kavus Urban Area. *Iranian journal of Ecohydrology*, *7*(2), 373-382. (In Persian).

Hashemi, S.E, Mousavi, S,F., Taheri, S.M., Qarachahi, A. 2011. Evaluation of underground water quality in 9 cities of Isfahan province for drinking purposes using fuzzy inference system. *Iran Water Resources Research*, 6(3), 25-34.

Hekmatzadeh, A., Asi, P. 2013. Water and Wastewater: Groundwater Quality Assessment Using Fuzzy Inference System - A Case Study of Zarghan Plain. *National Congress of Civil Engineering*.(In Persian)

Heshmatpour, A., Jandaghi, N., Ghareh Mahmoodlu, M., Pasand, S. 2020. Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River. *Physical Geography Quarterly*, *13*(48), 75-88. .(In Persian)

Heshmatpour, A., Mohammadian, Y. 2024. Selecting the best location for constructing a reservoir to supply agricultural water using a combination of Boolean and fuzzy logic (case study: Qoyijq watershed), *Water Management in Agricultur*,(Accepted for publication).

Heshmatpour, A., Pasand, S., Sabouri, H., Rostami, F. 2019. Evaluation of water pollution from rice cultivation using Nitrogen fertilizer in North of Iran. *Environmental Resources Research*, *7*(1), 20-28.

Li, B., Yang, G., Wan, R., Hörmann, G. 2017. Dynamic water quality evaluation based on fuzzy matter–element model and functional data analysis, a case study in Poyang Lake. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(23). https://doi.org/10.1007/s11356-017-9371-0

Liu, D., Zou, Z. 2012. Water quality evaluation based on improved fuzzy matter-element method. *Journal of Environmental Sciences*, 24(7), 1210–1216. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60938-8

LV, W. 1948. The Quality of Water for Irrigation Use. *Technical Bulletin*, 962(962), 40.

Mia, M. Y., Islam, A. R. M. T., Jannat, J. N., Jion, M. M. M. F., Sarker, A., Tokatli, C., Siddique, M. A. B., Ibrahim, S. M., Senapathi, V. 2023. Identifying factors affecting irrigation metrics in the Haor basin using integrated Shannon's entropy, fuzzy logic and automatic linear model. *Environmental Research*, 226, 115688.

Thabrez, M., Parimalarenganayaki, S. 2023. A Fuzzy Synthetic Evaluation based groundwater quality classification for the Irrigation purpose: A case study from Tumkur district, Karnataka, India. https://www.researchsquare.com/article/rs-2964486/latest

Zadeh, L. A. 1996. Fuzzy sets. In Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A Zadeh (pp. 394–432). World Scientific.