

توسعه شاخص فازی کیفیت آب در ارزیابی کیفی

آب بالا و پایین دست سد مخزنی مهاباد

- ❖ شیوا صفاری‌نیا؛ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ایران.
- ❖ هیراد عبقری*؛ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران.
- ❖ مهدی عرفانیان؛ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران.

چکیده

تمامی شاخص‌های تعیین کیفیت آب دارای جواب قطعی برای کیفیت آب ایستگاه‌ها می‌باشند. استفاده از سیستم استنتاج فازی، محدودیت قطعی بودن جواب‌ها و در نظر گرفته نشدن فاصله پارامترهای تعیین کیفیت آب از استانداردها را، برطرف کرده است. در این مقاله از داده‌های سال ۹۰-۸۹ در ۱۲ ایستگاه در محدوده بالا و پایین دست سد مخزنی مهاباد و از هفت پارامتر کدورت، هدایت الکتریکی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، سختی کل، آمونیم و فسفات، استفاده شده است. تمامی داده‌ها به صورت آماده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی دریافت شده‌اند. از نرم‌افزار MATLAB برای انجام تحلیل‌ها استفاده شده است. از مدل ممدانی برای طبقه‌بندی کیفی آب و توابع عضویت مثلثی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مدل بهره گرفته شده است. توابع عضویت ورودی‌ها سه‌تایی و توابع عضویت خروجی‌ها پنج‌تایی است. از استاندارد سازمان جهانی بهداشت و استانداردهای موجود برای کیفیت منابع آب سطحی در ایران برای تعیین محدوده مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول برای پارامترهای ورودی و همچنین از عملگر and برای تعریف قوانین استفاده و با کمک سیستم استنتاج فازی شاخص کیفیت آب (FWQI) توسعه داده شده است. ایستگاه SW9 آلوده‌ترین و ایستگاه SW6 با کمترین آلودگی برآورد شده است. نتایج نشان دهنده مناسب بودن شاخص فازی در برآورد کیفیت آب سطحی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

کلید واژگان: سد مخزنی مهاباد، شاخص FWQI، منطق فازی، نرم افزار MATLAB.

۱. مقدمه

تغییرات اکوسیستم‌های طبیعی در سال‌های اخیر اثرات زیادی بر کیفیت آب سطحی مناطق مختلف کشور داشته است [۱۲]. بنابراین از مهم‌ترین عوامل مؤثر در توسعه پایدار یک حوزه آبخیز، فراهم کردن منابع آب مناسب از نظر کمی و کیفی می‌باشد. با توجه به اهمیت آب‌های سطحی، مطالعه در جهت آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب سطحی برای مدیریت آب رودخانه‌ها ضرورت دارد [۵]. بررسی کیفیت آب، از گذشته مورد توجه محققین بوده است. رفتار سنجی و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب، براساس اطلاعات جمع‌آوری شده، یکی از مشکلات مهندسان محیط زیست و آب‌شناسان است، چرا که در همه مراحل، از نمونه‌برداری تا بررسی و تحلیل نتایج، با انواع عدم قطعیت‌ها روبرو می‌باشند [۱۴]. شاخص‌های زیادی جهت مطالعه کیفیت منابع آب ارائه شده‌اند. شاخص‌های کیفیت آب در سه گروه فیزیکی، شیمیایی و زیستی طبقه‌بندی می‌شوند، که هر کدام از این گروه‌ها دارای تعداد قابل توجهی از متغیرهای کیفیت آب می‌باشند [۱۷]. در استانداردهای آب شرب معمولاً مرزهایی قطعی برای مطلوب بودن، قابل قبول بودن و غیر قابل قبول بودن آلاینده‌ها توصیه می‌گردد؛ اما در این تقسیم بندی‌ها، اهمیت دوری و نزدیکی غلظت‌های آلاینده‌ها از مرزهای استاندارد منظور نمی‌گردد. همچنین یکی از مشکلات سنجش کیفیت آب با استانداردهای ارائه شده عدم قطعیت در همه مراحل اندازه‌گیری آنالیز و تحلیل نتایج می‌باشد. در ضمن مقادیر مرزهای ارائه شده در استانداردها نیز دارای عدم قطعیت می‌باشند زیرا بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، میدانی و موردی تعیین شده‌اند [۹، ۱۱]. در سالیان اخیر سیستم منطق فازی با توجه به توانایی تحلیل عدم قطعیت‌ها در علوم مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. طبقه‌بندی فازی شاخص سنجش کیفیت آب یکی از کاربردهای اخیر سیستم منطق فازی می‌باشد که قادر به حل مشکلات سیستم‌های مرسوم طبقه‌بندی کیفیت آب می‌باشد [۱۰]. با معرفی

اعداد فازی، سیستم‌هایی تحت عنوان سیستم‌های طبقه‌بندی فازی نیز متولد شدند تا بتوانند براساس داده‌های ورودی قوانینی را تبیین کنند که در شرایط معینی قابل تعمیم باشند و بدین ترتیب سیستمی جایگزین سیستم طبقه‌بندی سلیقه‌ای انسان شود. در این سیستم‌ها روش‌های مختلفی برای تعامل با داده‌های ورودی پیشنهاد می‌شود تا بتوانند نرخ دقت طبقه‌بندی را نسبت به گذشته ارتقاء دهند؛ بنابراین گام برداشتن در جهت بهبود این روش‌ها، به ایجاد مبانی قابل اعتمادی برای افراد در حوزه مورد کاربرد آن‌ها، یعنی طبقه‌بندی، منجر خواهد شد [۲]. در این تحقیق از سیستم استنتاج فازی در ارزیابی کیفیت آب بالا و پایین دست سد مخزنی مهاباد استفاده می‌شود. محققان زیادی با استفاده از سیستم استنتاج فازی به ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی پرداخته‌اند. [۱۰] از سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه کر استفاده کردند. در این پژوهش شاخص فازی کیفیت آب با شاخص WQI مقایسه شد. نتایج نشان داد که منطق فازی ابزار مناسبی برای سنجش کیفیت آب می‌باشد. [۱۷] ارزیابی کیفیت آب رود کارون را با استفاده از سیستم استنتاج فازی انجام دادند. نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌دهد که شبیه استنتاج فازی می‌تواند به‌عنوان روش مناسبی جهت ارزیابی کیفیت آب رود در نظر گرفته شود. [۱۶] با استفاده از سیستم استنتاج فازی به ارزیابی کیفیت آب سطحی برای اهداف شرب پرداختند. در این تحقیق یک شاخص کیفیت آب سطحی با استفاده از سیستم استنتاج فازی معرفی شده است. شاخص کیفیت آب با شاخص FWQI ارزیابی شد و نتایج نشان داد که وزن‌های WQI و FWQI دارای مشخصات مشابهی در رابطه با شاخص کیفیت آب است. مقادیری که شاخص کیفیت آب محاسبه می‌کند با مقادیر به دست آمده از شاخص کیفیت آب فازی متفاوت است. این تفاوت به دلیل این است که سیستم استنتاج فازی مقادیر مربوط به کیفیت آب را گسترده تر در نظر می‌گیرد. به عنوان مثال اگر ایستگاهی از نظر شاخص

تغذیه می‌شوند. شاخه بیطاس از کوه مام‌سواره سرچشمه می‌گیرد و از سمت شرق به سد مهاباد می‌ریزد و شاخه کوتر یا شاخه اصلی نیز از کوه ابراهیم‌جلال سرچشمه می‌گیرد و به سد مهاباد می‌ریزد. این رودخانه پس از عبور از روستاهای دارلک، خورخوره، گردیعقوب و داشخانه و نیز آبیاری مزارع و زمین‌های کشاورزی سر راه خود از طریق کانال، به باتلاق‌های جنوب دریاچه ارومیه می‌ریزد. در این مطالعه از ۱۲ ایستگاه که پنج ایستگاه در بالادست سد و هفت ایستگاه در پایین‌دست سد قرار گرفته‌اند؛ استفاده شده است. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به سد مخزنی مهاباد نشان داده شده است (جدول ۱).

۲.۲. سیستم استنتاج فازی

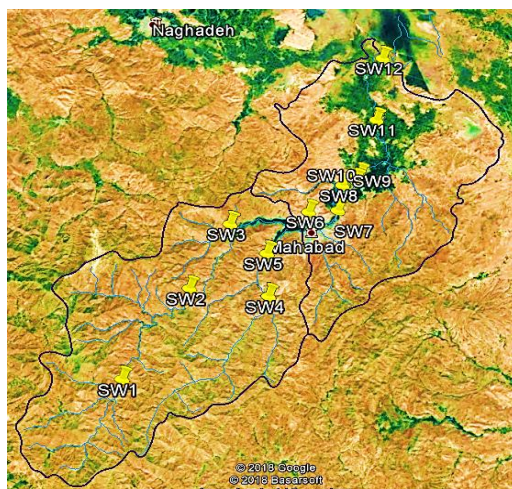
روش فازی برای اولین بار توسط لطفی‌زاده در سال (۱۹۶۵) به‌عنوان یک روش جدید برای طبقه‌بندی ارائه گردید، او به وسیله تعریف تابع عضویت هر یک از اشیاء و یا پدیده‌های موجود در زمین را در بازه‌ای از ۰ تا ۱ تعریف نمود. تابع عضویت مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد، تابع عضویت گویند [۷].

کیفیت آب در محدوده عالی قرار بگیرد در قسمت فازی شده شاید در محدوده خوب و نزدیک به خیلی خوب قرار بگیرد. پس بنابراین سیستم استنتاج فازی محدوده محاسباتی را گسترده‌تر در نظر می‌گیرد. در سیستم استنتاج فازی، منطق فازی با سیستم‌های خبره ادغام می‌شود. در میان مدل‌های فازی معرفی شده ممدانی مهمترین آن‌ها هستند. از سیستم فازی ممدانی به دلیل سادگی و مناسب بودن آن در مباحث مربوط به کیفیت آب، در این تحقیق استفاده می‌شود. از هفت پارامتر کدورت، هدایت الکتریکی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، سختی کل، آمونیم و فسفات، برای توسعه شاخص فازی کیفیت آب استفاده شدند.

۲. روش شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی مهاباد در ارتفاع ۱۳۳۱ متری از سطح دریا و بین $46^{\circ} 0'$ و $45^{\circ} 30'$ طول شرقی و $36^{\circ} 0'$ و 37° عرض شمالی قرار گرفته است. مخزن سد توسط دو رودخانه کوتر و بیطاس که در بالادست واقع شده‌اند،



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به سد مخزنی مهاباد

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
SW1	۵۵-۰۶۱۰	۴۰-۴۶۷۴
SW2	۵۵-۳۴۴۵	۴۰-۵۴۸۷۶
SW3	۵۵-۴۷۷۴	۴۰-۶۴۹۱۷
SW4	۵۶-۲۸۰۶	۴۰-۵۷۳۲۱
SW5	۵۶-۰۴۸۲	۴۰-۶۲۷۲۲
SW6	۵۶-۳۱۷۲	۴۰-۶۹۹۹۰
SW7	۵۶-۶۴۵۴	۴۰-۷۱۵۰۵
SW8	۵۶-۵۷۲۲	۴۰-۷۵۰۳۲
SW9	۵۶-۷۰۹۳	۴۰-۷۶۲۵۴
SW10	۵۶-۷۲۱۵	۴۰-۷۷۱۷۹
SW11	۵۶-۶۳۸۲	۴۰-۸۵۴۳۴
SW12	۵۶-۳۹۲۵	۴۰-۹۴۳۰۲

توابع عضویتی که در سیستم استنتاج فازی استفاده می‌شود به شکل دوزنقه‌ای، مثلثی، گاوسی و ... است.

دو نوع تابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای به سبب سادگی رابطه و بهینه بودن محاسبات، به صورت گسترده‌ای در سازمان‌های استنتاج فازی کاربرد دارند.

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

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

روابط بالا توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای را نشان می‌دهند.

مدل‌های فازی مختلفی توسط محققین ارائه گردیده است. مهمترین این مدل‌ها، مدل ممدانی و ساگنو هستند. سامانه فازی ممدانی به علت سادگی، کارایی و متناسب بودن آن برای مسائل زیست محیطی، در مسائل کیفی استفاده زیادی دارد [۳، ۴، ۱۳]. به همین دلیل در این

هر سیستم فازی شامل سه بخش اصلی است [۸]:

الف) فازی کردن داده‌ها که این با تعریف تابع عضویت انجام می‌شود، ب) ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی که این کار نیز با یکسری قوانین مانند اگر آنگاه انجام می‌شود، ج) مرحله آخر، مرحله تجمیع نتایج سیستم و غیرفازی‌سازی است که به وسیله عملگرهای فازی که شامل AND، OR و NOT است؛ انجام می‌شود.

تابع عضویت در مدل فازی به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود [۷]:

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$$

اگر X را مجموعه‌ای از x ها در نظر بگیریم، آن گاه مجموعه فازی A در X به صورت مجموعه‌ای از زوج‌های مرتب زیر تعریف می‌شود:

$$A = \{x, \mu_A(x) \text{ for each } x \in X \dots\}$$

μ_A تابع عضویتی است که درجه عضویت x را در مجموعه A تعریف می‌کند. مقداری که این تابع عضویت‌ها اتخاذ می‌کنند بین ۰ تا ۱ است [۱۵].

به منظور تعریف قوانین فازی برای کیفیت آب از استانداردهای کیفیت آب استفاده می‌شود.

Z: متغیر خروجی (نتیجه) است.

در مدل ممدانی (شکل ۲) بایستی بر اساس دانش متخصص برای هر متغیر یک یا چندین تابع عضویت، تعریف شود. مقدار عددی متغیر در هر تابع عضویت، دارای یک درجه عضویت است، که بر اساس این درجه عضویت، تأثیر مقدار آن در خروجی قانون نوشته شده مشخص می شود. برای هر یک از پارامترها بایستی توابع عضویت مناسبی انتخاب شود.

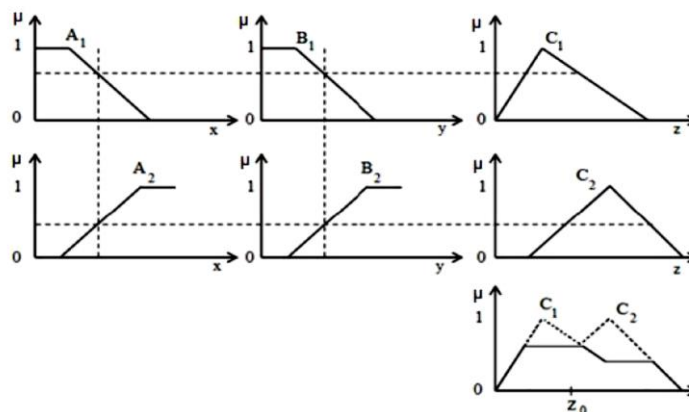
تحقیق از مدل فازی ممدانی برای طبقه‌بندی کیفی آب استفاده می‌شود.

قوانین یک FIS بر اساس استلزام ممدانی به صورت کلی زیر قابل بیان هستند:

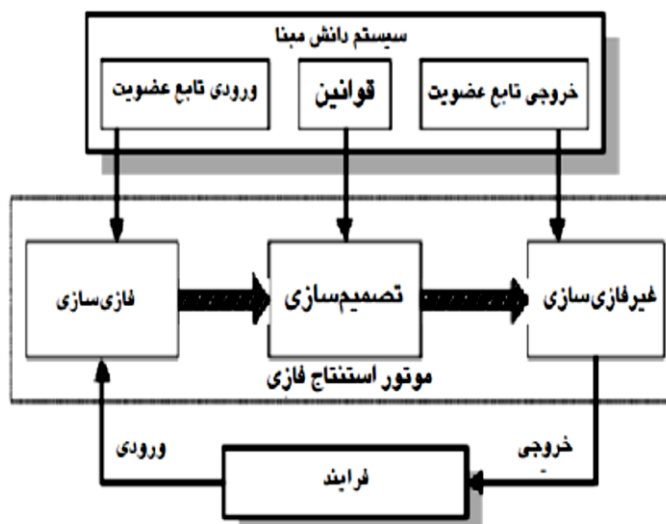
$$\text{Rule}_i = \text{if } x \text{ is } A_i \text{ and } y \text{ is } B_i \text{ Then } z \text{ is } C_i$$

$$\forall i, \dots, n$$

در این رابطه، Rule_i : قانون شماره i ام، x و y : متغیرهای ورودی، A_i ، B_i و C_i مجموعه‌های فازی و



شکل ۲. مدل استنتاج ممدانی [۱]



شکل ۳. ساختار اصلی سیستم‌های استنتاج فازی [۶]

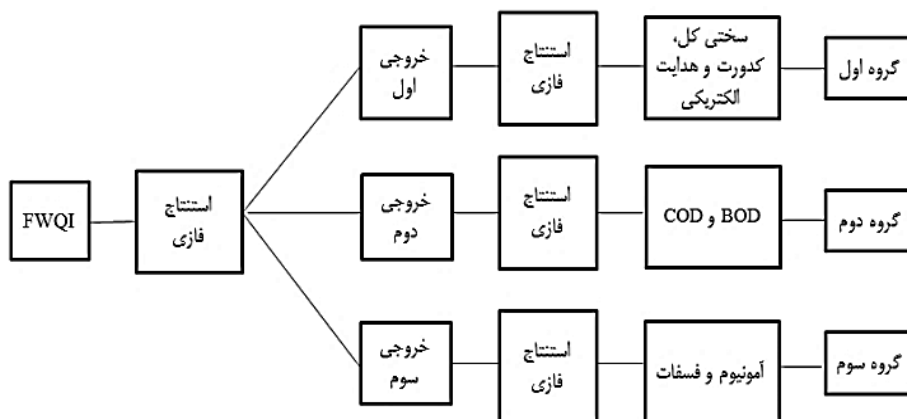
۲.۳. توسعه شاخص کیفیت آب فازی (FIS)^۱

$$\text{Fuzzy WQI} = \frac{\int x\mu_{\text{out}}(x)dx}{\int \mu_{\text{out}}(x)dx}$$

از توابع عضویت مثلثی برای ورودی‌ها و خروجی در این پژوهش استفاده می‌شود. در توابع عضویت مقادیر مربوط به شروع، اوج و انتهای مثلث به ترتیب با حروف a، b و c مشخص می‌شوند. توابع عضویت پارامترهای کیفی آب سه تایی و توابع عضویت خروجی پنج تایی می‌باشد. از استاندارد سازمان جهانی بهداشت و استانداردهای موجود برای کیفیت منابع آب سطحی در ایران برای تعیین محدوده مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول برای پارامترهای ورودی و همچنین از عملگر and برای تعریف قوانین استفاده و

پارامترها در سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. گروه اول شامل کدورت، هدایت الکتریکی و سختی کل؛ گروه دوم شامل اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و گروه سوم شامل آمونیوم و فسفات است. گروه اول شامل ۲۷ قانون (۳۳)، گروه دوم شامل نه قانون (۳۲) و گروه سوم نیز شامل نه قانون (۳۲) است. از خروجی‌های گروه اول (WQI1)، دوم (WQI2) و سوم (WQI3) به عنوان ورودی گروه چهارم و از ۱۲۵ قانون (۵۳) برای گروه چهارم استفاده می‌شود. و در نهایت با استفاده از ۱۷۰ قانون، خروجی آخر (FWQI) که همان شاخص کیفیت آب فازی شده است؛ به دست می‌آید (شکل ۴).

در جدول (۲) استانداردهای مربوط به پارامترهای استفاده شده در ارزیابی این شاخص آورده شده است.



شکل ۴. نحوه محاسبه شاخص FWQI

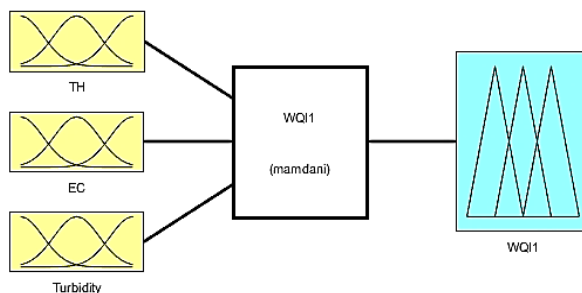
جدول ۲. استاندارد سازمان جهانی بهداشت برای پارامترهای استفاده شده در ارزیابی شاخص WQI

پارامتر	استاندارد سازمان جهانی بهداشت
EC	۲۵۰
COD	۱۰
BOD	۵
TH	۵۰۰
NH4	۱/۵
PO4	۵
Turbidity	۵

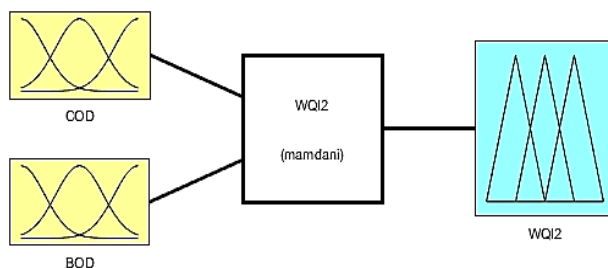
۳. نتایج

اردیبهشت، مرداد و آبان ماه ۱۳۹۰ انجام شده است. با استفاده از توابع عضویت و قوانین استفاده شده نتایج حاصل از استنتاج فازی برای برآورد کیفیت آب ایستگاه‌های بالا و پایین دست سد مهاباد در جدول (۷) و (۸) آورده شده است.

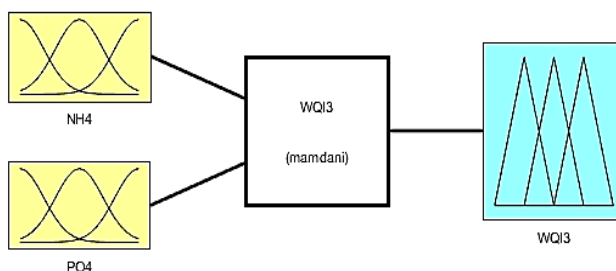
نمونه‌برداری از پارامترهای کیفی در طول رودخانه از بالادست حوضه مهاباد تا پایین‌دست آن و ورودی به دریاچه ارومیه به صورت فصلی و در ماه‌های بهمن ۱۳۸۹،



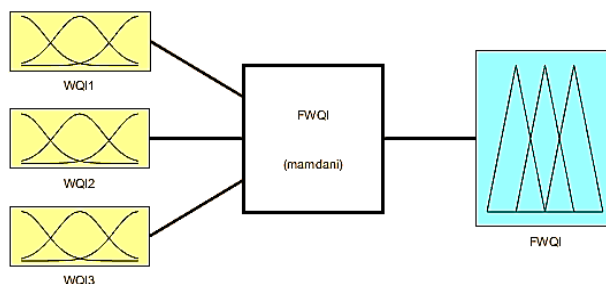
شکل ۵. ورودی‌ها و خروجی شبیه سامانه استنتاج فازی طراحی شده برای گروه اول



شکل ۶. ورودی‌ها و خروجی شبیه سامانه استنتاج فازی طراحی شده برای گروه دوم



شکل ۷. ورودی‌ها و خروجی شبیه سامانه استنتاج فازی طراحی شده برای گروه سوم



شکل ۸. ورودی‌ها و خروجی شبیه سامانه استنتاج فازی طراحی شده برای گروه چهارم

در جدول (۳) تعدادی از قوانین استفاده شده برای ورودی‌ها و خروجی‌ها آورده شده است.

جدول ۳. برخی قوانین استفاده شده در توسعه شاخص FWQI

گروه اول	<p>اگر سختی کل مطلوب و کدورت مطلوب و هدایت الکتریکی مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب عالی می‌باشد.</p> <p>اگر سختی کل مطلوب و کدورت قابل قبول و هدایت الکتریکی مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب خوب می‌باشد.</p> <p>اگر سختی کل مطلوب و کدورت غیرقابل قبول و هدایت الکتریکی مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب متوسط می‌باشد.</p> <p>اگر سختی کل مطلوب و کدورت غیرقابل قبول و هدایت الکتریکی غیرقابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب ضعیف می‌باشد.</p> <p>اگر سختی کل غیرقابل قبول و کدورت غیرقابل قبول و هدایت الکتریکی غیرقابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب بد می‌باشد.</p>
گروه دوم	<p>اگر COD مطلوب و BOD مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب عالی می‌باشد.</p> <p>اگر COD مطلوب و BOD قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب خوب می‌باشد.</p> <p>اگر COD مطلوب و BOD غیرقابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب متوسط می‌باشد.</p> <p>اگر COD غیرقابل قبول و BOD غیرقابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب بد می‌باشد.</p> <p>اگر COD غیرقابل قبول و BOD قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب ضعیف می‌باشد.</p>
گروه سوم	<p>اگر NH₄ مطلوب و PO₄ مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب عالی می‌باشد.</p> <p>اگر NH₄ مطلوب و PO₄ قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب خوب می‌باشد.</p> <p>اگر NH₄ مطلوب و PO₄ غیرقابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب متوسط می‌باشد.</p> <p>اگر NH₄ غیرقابل قبول و PO₄ غیرقابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب بد می‌باشد.</p> <p>اگر NH₄ غیرقابل قبول و PO₄ قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب ضعیف می‌باشد.</p>
گروه چهارم	<p>اگر WQI1 بد و WQI2 بد و WQI3 بد باشد آنگاه FWQI بد می‌باشد.</p> <p>اگر WQI1 بد و WQI2 ضعیف و WQI3 خوب باشد آنگاه FWQI ضعیف می‌باشد.</p> <p>اگر WQI1 بد و WQI2 ضعیف و WQI3 عالی باشد آنگاه FWQI متوسط می‌باشد.</p> <p>اگر WQI1 بد و WQI2 متوسط و WQI3 عالی باشد آنگاه FWQI خوب می‌باشد.</p> <p>اگر WQI1 خوب و WQI2 عالی و WQI3 عالی باشد آنگاه FWQI عالی می‌باشد.</p>

در زیر شکل توابع عضویت پارامترهای ورودی و خروجی نهایی شاخص کیفیت آب آورده شده است (شکل ۹، ۱۰ و ۱۱).

در جدول (۴، ۵ و ۶) مشخصات توابع عضویت پارامترهای استفاده شده برای ورودی و مشخصات توابع عضویت شاخص FWQI آورده شده است.

جدول ۴. مشخصات توابع عضویت پارامترهای گروه اول

پارامتر	سختی کل			هدایت الکتریکی			کدورت		
وضعیت	a	b	c	a	b	c	a	b	c
مطلوب	۰	۳۰۰	۴۰۰	۰	۲۵۰	۵۰۰	۰	۱	۳
قابل قبول	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱	۳	۵
غیرقابل قبول	۴۰۰	۵۰۰	-	۵۰۰	۱۰۰۰	-	۳	۵	-

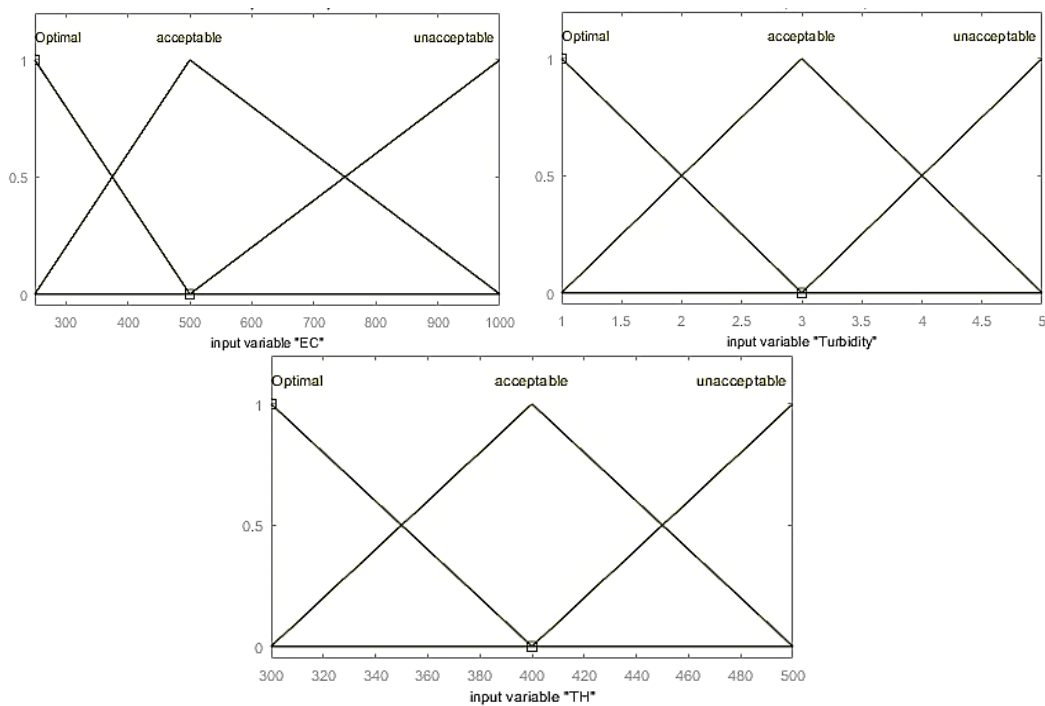
جدول ۵. مشخصات توابع عضویت پارامترهای گروه دوم و سوم

پارامتر	COD			BOD			NH4			PO4		
وضعیت	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
مطلوب	۰	۴	۷	۰	۱	۳	۰	۰/۵	۱	۰	۰/۱	۰/۳
قابل قبول	۴	۷	۱۰	۱	۳	۵	۰/۵	۱	۱/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۷
غیر قابل قبول	۷	۱۰	-	۳	۵	-	۱	-	۱/۵	۰/۵	-	-

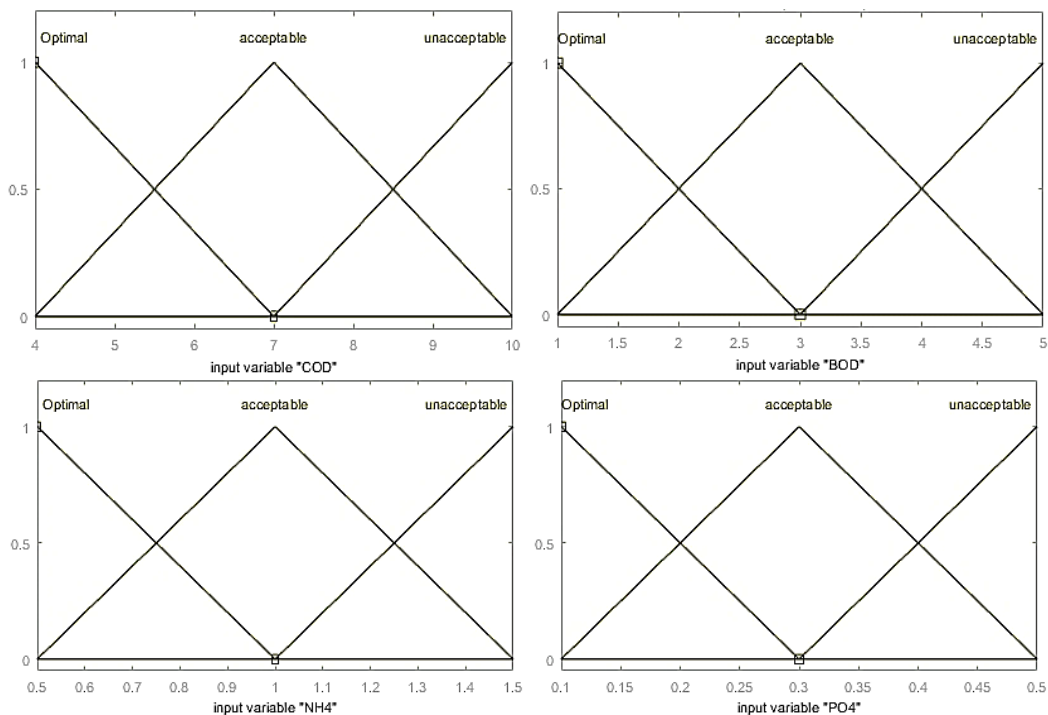
جدول ۶. مشخصات توابع عضویت خروجی

وضعیت	a	b	C
بد	۰	۱۰	۳۰
ضعیف	۱۰	۳۰	۵۰
متوسط	۳۰	۵۰	۷۰
خوب	۵۰	۷۰	۹۰
عالی	۷۰	۹۰	۱۰۰

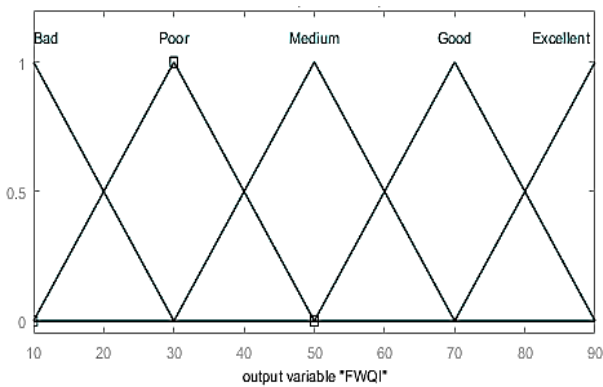
FWQI (شاخص فازی شده کیفیت آب)



شکل ۹. شکل توابع عضویت ورودی‌های گروه اول



شکل ۱۰. شکل توابع عضویت ورودی‌های گروه دوم و سوم



شکل ۱۱. شکل توابع عضویت خروجی (FWQI)

جدول ۸. نتایج سیستم استنتاج فازی
برای محاسبه کیفیت آب ایستگاهها

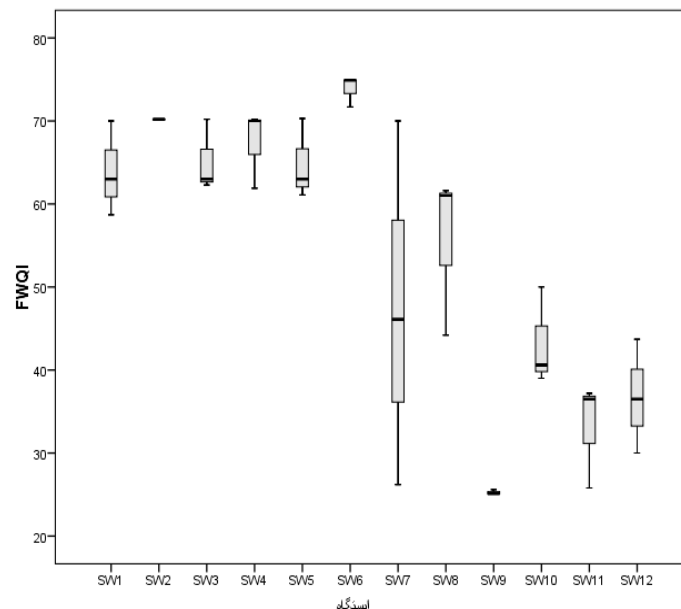
شماره ایستگاه	ماه	کیفیت آب براساس روش فازی
SW9	فروردین	خوب (۷۴/۹)
SW9	اردیبهشت	خوب (۷۴/۹)
SW9	تیر	خوب (۷۱/۷)
SW9	مرداد	خوب (۷۴/۴)
SW9	شهریور	خوب (۷۴/۹)
SW9	مهر	خوب (۷۰/۲)
SW9	آبان	خوب (۷۰)
SW9	آذر	خوب (۷۰/۲)
SW9	دی	خوب (۷۴/۹)
SW9	بهمن	خوب (۷۰/۵)
SW9	اسفند	خوب (۷۳/۴)
SW10	اردیبهشت	ضعیف (۴۶/۱)
SW10	مرداد	خوب (۷۰)
SW10	آبان	بد (۲۶/۲)
SW10	بهمن	ضعیف (۴۰/۲)
SW11	اردیبهشت	متوسط (۶۱)
SW11	مرداد	متوسط (۶۱/۶)
SW11	آبان	ضعیف (۴۴/۲)
SW11	بهمن	ضعیف (۴۵/۳)
SW12	اردیبهشت	بد (۲۵/۶)
SW12	مرداد	بد (۲۵/۱)
SW12	آبان	بد (۲۵/۱)
SW12	بهمن	ضعیف (۳۵/۳)
SW13	اردیبهشت	ضعیف (۴۰/۶)
SW13	مرداد	متوسط (۵۰)
SW13	آبان	ضعیف (۳۹)
SW13	بهمن	بد (۲۵/۱)
SW14	اردیبهشت	بد (۲۵/۸)
SW14	مرداد	ضعیف (۳۷/۲)
SW14	آبان	ضعیف (۳۶/۵)
SW14	بهمن	ضعیف (۳۵/۳)
SW15	اردیبهشت	ضعیف (۳۰)
SW15	مرداد	ضعیف (۳۶/۵)
SW15	آبان	ضعیف (۴۳/۷)
SW15	بهمن	ضعیف (۳۴/۷)

جدول ۷. نتایج سیستم استنتاج فازی
برای محاسبه کیفیت آب ایستگاهها

شماره ایستگاه	ماه	کیفیت آب براساس روش فازی
SW1	اردیبهشت	متوسط (۶۳)
SW1	مرداد	متوسط (۵۸/۷)
SW1	آبان	خوب (۷۰)
SW2	اردیبهشت	خوب (۷۰/۲)
SW2	آبان	خوب (۷۰/۲)
SW2	بهمن	خوب (۷۰/۱)
SW3	فروردین	خوب (۷۰/۲)
SW3	اردیبهشت	متوسط (۶۳)
SW3	تیر	متوسط (۶۲/۳)
SW3	آبان	خوب (۷۰)
SW3	آذر	متوسط (۶۳)
SW3	دی	متوسط (۵۸/۱)
SW3	بهمن	متوسط (۵۹/۴)
SW3	اسفند	متوسط (۶۳)
SW5	اردیبهشت	متوسط (۶۱/۹)
SW5	آبان	خوب (۷۰/۲)
SW5	بهمن	خوب (۷۰)
SW6	فروردین	خوب (۷۰/۳)
SW6	اردیبهشت	متوسط (۶۱/۱)
SW6	آذر	متوسط (۶۳)
SW6	دی	ضعیف (۴۴/۶)
SW6	بهمن	خوب (۷۰)
SW6	اسفند	متوسط (۶۲/۹)

خوب و در بقیه ماه‌ها در رده متوسط قرار دارد؛ با توجه به اینکه در بالادست سد مهاباد، در سرشاخه‌های رودخانه‌های کوتر و بیطاس که ورودی به مخزن می‌باشند، سازندهای با پتانسیل تولید رسوب و آب شور و قلیا، دیده می‌شوند، نتیجه حاصل از این شاخص در ست می‌باشد. ایستگاه SW3 در ورودی شاخه کوتر قرار دارد، که اندازه‌گیری‌ها در این شاخه میزان رسوب در آب را بالا نشان داده است.

با توجه به نتایج شاخص فازی شده، ایستگاه SW9 در رده آلوده‌ترین و ایستگاه SW6 با کمترین آلودگی قرار گرفته است (شکل ۱۲). پایین دست سد مخزنی مهاباد در وضعیت بد و ضعیف قرار گرفته است. در بالادست مخزن سد به غیر از ایستگاه SW5 در دی ماه که در وضعیت ضعیف قرار گرفته است؛ بقیه ایستگاه‌ها در وضعیت خوب و متوسط قرار گرفته‌اند. در شاخص FWQI در ایستگاه SW3 در فروردین ماه و آبان ماه کیفیت ایستگاه در رده



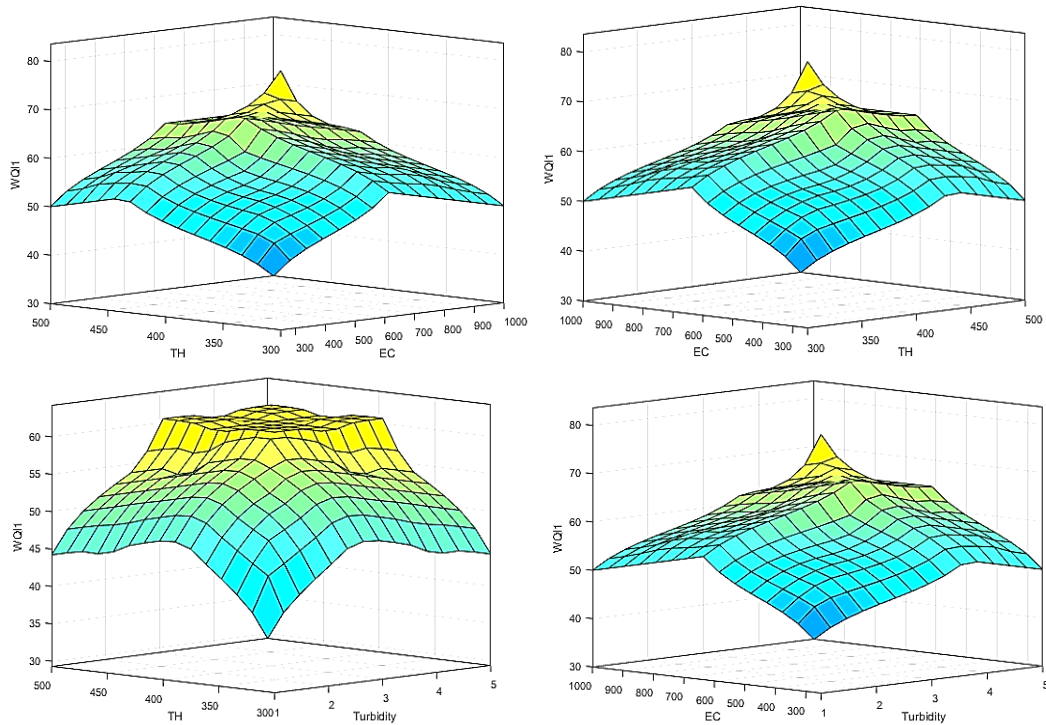
شکل ۱۲. نتایج کیفیت آب برای ایستگاه‌ها با استفاده از شاخص FWQI

اردیبهشت، آبان و بهمن، SW3 در فروردین و آبان، SW4 در آبان و بهمن، SW5 در فروردین و بهمن، SW6 در تمام دوره‌های اندازه‌گیری شده و SW7 در مرداد ماه کیفیت آب در رتبه خوب؛ در ایستگاه SW5 در دی ماه، SW7 در اردیبهشت و بهمن، SW14 در آبان و بهمن، SW9 در آبان و بهمن، SW10 در اردیبهشت و آبان، SW11 در مرداد، آبان و بهمن، SW12 در اردیبهشت، مرداد، آبان و بهمن کیفیت آب در رتبه ضعیف؛ در ایستگاه SW7 در آبان، SW9 در

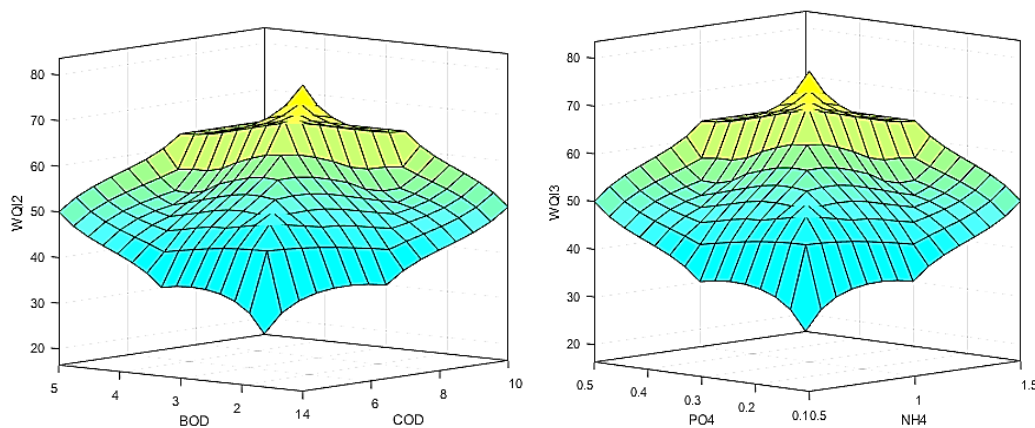
در قوانین فازی دوری و نزدیکی داده‌ها از مرزهای استاندارد در نظر گرفته می‌شود. همچنین سیستم فازی دارای این قابلیت می‌باشد که عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها را در نظر بگیرد. در ایستگاه SW1 در اردیبهشت و مرداد، SW3 در اردیبهشت، تیر، آذر، دی، بهمن و اسفند، SW4 در اردیبهشت، SW5 در اردیبهشت، آذر و اسفند، SW8 در اردیبهشت و مرداد و SW10 در مرداد ماه کیفیت آب در درجه متوسط؛ در ایستگاه SW1 در آبان ماه، SW2 در

سختی آب هم در این ماه افزایش یافته است. همچنین شاخص فازی کیفیت آب، ایستگاه SW3 را در اکثر اندازه گیری ها در رده متوسط قرار داده است؛ زیرا همان طور که گفته شد علی رغم میزان بالای کدورت، این شاخص فاصله تمامی پارامترها از حدود استاندارد را در نظر گرفته است.

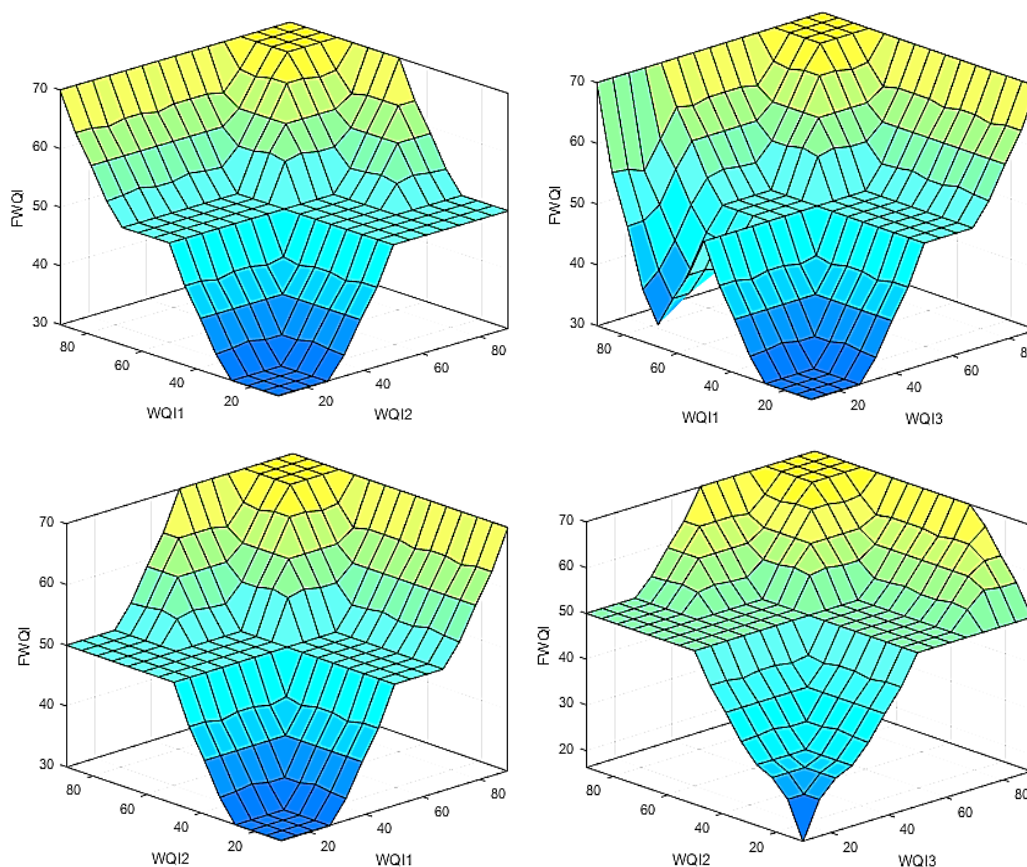
اردیبهشت، مرداد و آبان، SW10 در بهمن و SW11 در اردیبهشت کیفیت آب در رتبه بد قرار گرفت. شاخص FWQI کیفیت آب ایستگاه SW5 در دی ماه را ضعیف تر از کیفیت آب این ایستگاه در اسفند ماه برآورد کرده است، که با بررسی متغیرها مشاهده شد، که این ایستگاه در دی ماه علاوه بر افزایش BOD، COD میزان هدایت الکتریکی و



شکل ۱۳. نمایش سه بعدی ورودی ها و خروجی گروه اول



شکل ۱۴. نمایش سه بعدی ورودی‌ها و خروجی‌های گروه دوم و سوم



شکل ۱۵. نمایش سه بعدی ورودی‌ها و خروجی‌های گروه چهارم

به دلیل در نظر گرفته نشدن فاصله پارامترها از حدود مجاز و استاندارد آب، چندان مناسب نیستند. روش‌های فازی با در نظر گرفتن میزان مقبولیت پارامترها از حدود مجاز، این مشکل را برطرف کرده است. تفاوتی که شاخص فازی شده با شاخص‌های دیگر دارد در عدم قطعیت نتایج حاصل از شاخص FWQI با دیگر شاخص‌ها است. با توجه به اینکه مدل فازی فاصله از استانداردها را برای پارامترها در نظر می‌گیرد و همچنین توانایی این مدل در مقایسه تمامی پارامترها با یکدیگر باعث می‌شود که نتایج حاصل از این شاخص دقت بیشتری نسبت به شاخص‌های دیگر داشته باشد. سیستم استنتاج فازی ایستگاه‌های بالا و پایین دست مخزن سد را در چهار رده خوب، متوسط،

۴. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف توسعه شاخص کیفی با استفاده از سیستم استنتاج فازی انجام شده است. از هفت پارامتر کدورت، هدایت الکتریکی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، سختی کل، آمونیوم و فسفات، برای توسعه شاخص فازی کیفیت آب در پنج رده عالی، خوب، متوسط، ضعیف و بد استفاده شد. همچنین برای تعریف توابع عضویت ورودی پارامترها، از محدوده‌های مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول استفاده شده است. با توجه به نتایج این تحقیق و تحقیقات انجام شده، استفاده از روش‌های قطعی برای تعیین کیفیت آب

برای مسائل زیست محیطی از جمله تعیین کیفیت آب است. لذا می‌توان پیشنهاد داد در تحقیقات آتی با استفاده از پارامترهای کیفی دیگر در مناطق مختلف، شاخص فازی کیفیت آب توسعه داده شود.

ضعیف و بد دسته‌بندی کرد. نمونه‌های با درصد اطمینان ۷۰ تا ۷۴/۹، ۵۰ تا ۶۳، ۳۰ تا ۴۶/۱ و ۲۵/۱ تا ۲۶/۲ به ترتیب در رده خوب، متوسط، ضعیف و بد قرار گرفتند. با توجه به مطالب ارائه شده، سیستم فازی یک ابزار قوی

References

- [1] Alayon, s., Robertson, R., Warfield, S.K. and Ruiz-Alzola, J. (2007). A fuzzy system for helping medical diagnosis of malformations of cortical development. *Journal of biomedical informatics*, 40(3), 221-235.
- [2] Farimani, N.M., Momeni, M., Yazdani, H.R. (2013). Production of fuzzy rules from educational examples for fuzzy classification systems. *industrial management perspective*, (11), 163-188. (In Persian).
- [3] Gharibi, H., Mahvi, A.H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M. and Sowlat, M.H. (2012). A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *Journal of Environmental Management*, 112, 87-95.
- [4] Icağa, Y. (2007). Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators*, 7(3), 710-718.
- [5] Kazemzadeh, M., Malekian, A. (2017). Analysis of surface water quality parameters using multivariate statistical methods, Case study Ajichchai watershed, rangeland and watershed management. *Iranian Journal of Natural Resources*, 70 (2): 465-478. (In Persian).
- [6] Kia, M. (2010). Fuzzy logic in MATLAB. Kian Rayaneh Sabz Publications, (In Persian).
- [7] McBratney, A.B. and Odeh, I.O. (1997). Application of fuzzy sets in soil science, fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma*, 77(2-4), 85-113.
- [8] Nadiri, A., Moghaddam, A., Abqari, H., Oskooi, A., Hosseinpour, A., Habibzadeh, A. (2014). Fuzzy Logic Model in Estimating the Ability to Transfer Aquifers, Case Study Tasuj Plain. *Journal of Water and Soil Science*, 24 (1), 209-۲۲۳. (In Persian).
- [9] Nakhaei, M., VEDIATI, M. (2012). Application of fuzzy inference model in aqueduct water quality assessment for drinking and agricultural uses, Case study Tehran Province. *Journal of Advanced Applied Geology*, (6), 52-44.
- [10] Papri, S., Hekmatzadeh, A.A., Asi, P. (2014). Surface water quality assessment using fuzzy inference system and its comparison with WQI index, case study of Kerr River. *The first National Congress of Construction Engineering and evaluation of construction projects*. (In Persian).
- [11] Saberi Nasr, A., Rezaei, M., Dashti, M., Mansouri Majomard, J. (2013). Evaluation of the application of Mamdani fuzzy inference system in groundwater quality analysis, Case study Tabas aquifer. *Iranian Journal of Water Engineering and Environment*, 1 (1), 25-34. (In Persian).
- [12] Salajegheh, A., Razavizadeh, S., Khorasani, N., Hamidifar, M. and Salajegheh, S. (2011). Land use changes and its effects on water quality, Case study Karkheh watershed.
- [13] Scannapieco, D., Naddeo, V., Zarra, T. and Belgiorno, V. (2012). River water quality assessment, a comparison of binary-and fuzzy logic-based approaches. *Ecological engineering*, 47, 132-140.
- [14] Shamsaii, A., Zare, P.A., Sarang, A. (2005). Comparative study of qualitative characteristics of Karun and Dez rivers. *Journal of Water and Wastewater*, (55), 39-48. (In Persian).
- [15] Shobha, M., Bithika, D. and Bhavesh, S. (2013). The prevalence of intestinal parasitic infections in the urban slums of a city in Western India. *Journal of infection and public health*, 6(2), 142-149.
- [16] Tiri, A., Belkhir, L., Mouni, L. (2018). Evaluation of surface water quality for drinking purposes using fuzzy inference system. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 235-244.

- [17] Vadiati, M., Nakhaei, M., Amiri A. and Mir Arabi, A. (2013). Evaluation of Karun River water quality using fuzzy inference. *Journal of Water Resources Engineering*, 6, 39-48. (In Persian).