ارزیابی کیفیت آب رود کارون با استفاده از شبیه استنتاج فازی

میثم ودیعتی*[۱]، محمد نخعی[۲]، وهاب امیری امرایی[۳]، علی میرعربی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۵

چکیده

در سال‌های اخیر، روشهایی با مبنای منطق فازی تطبیق یافته‌اند تا عدم قطعیت را همراه با مسائل زیست محیطی در نظر گیرند. با توجه به این‌که در روش‌های مرسوم از رده‌بندی‌های نامناسب برای شاخص‌های کیفیت آب استفاده می‌گردید، سعی شده است تا شاخص مناسب‌تری، که براساس روش فازی کیفیت آب رود را اندازه‌گیری می‌کند، معرفی گردد. با استفاده از منطق فازی می‌توانیم نظر کارشناس خبره را در طراحی شبیه اعمال کرده و کمبودهای روش‌های قبلی را پوشش دهیم. در این پژوهش، روش شبیه استنتاج فازی جهت ارزیابی کیفیت آب رود کارون سنجیده شده است. به همین منظور، از داده‌های اندازه گیری شده‌ی ۱۷ ایستگاه در مسیر رود مزبور در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ بهره بردیم. مهمترین فراسنجهای تأثیر گذار بر کیفیت آب رود شامل اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی ۵ روزه، نیترات، کلرور، و هدایت الکتریکی استفاده شد. در نهایت، با استفاده از شبیه استنتاج فازی، نتایج کیفیت آب رود کارون، که در شبیه به سه رده‌ی خوب، بد و متوسط طبقه‌بندی شده بودند، حاصل گردید. نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌دهد که شبیه استنتاج فازی می‌تواند به عنوان روش مناسبی جهت ارزیابی کیفیت آب رود در نظر گرفته شود. بدین ترتیب، این روش ابزار جایگزین و مناسبی را معرفی می‌کند که می‌تواند در توسعه‌ی مؤثر برنامه‌های مدیریت کیفیت آب مورد بهره‌وری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شبیه استنتاج فازی، کیفیت آب رود، رود کارون، قوانین فازی.

[۱]- دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز
[۲]- دانشیار دانشگاه خوارزمی تهران
[۳]- دانشجوی دکتری دانشگاه خوارزمی تهران
[۴]- کارشناس مرکز تحقیقات کارست ایران
*- نویسنده مسئول: Meysam.vadiati@gmail.com

مقدمه

رفتار سنجی و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، یکی از مشکلات مهندسان محیط زیست و آبشناسان است، چرا که در همه‌ی مراحل، از نمونه‌برداری تا بررسی و تحلیل نتایج، با انواع عدم قطعیتها روبرو می‌باشند (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹). در دهه‌های اخیر، مدیریت و پایش کیفیت آب رودها با اندازه‌گیری فراسنجهای مختلف آن افزایش یافته است. اگرچه به سبب تغییرات مکانی و زمانی، تفسیر کیفیت آب و بررسی آن دشوار بوده است (دیکسون و چیزول، ۱۹۹۶). شاخصهای زیادی جهت مطالعه کیفیت منابع آب ارائه شده‌اند. شاخصهای کیفیت آب در سه گروه فیزیکی، شیمیایی و زیستی طبقه‌بندی می‌شوند، که هرکدام از این گروهها دارای تعداد قابل توجهی از متغیرهای کیفیت آب می‌باشند. مورد پذیرش بودن کیفیت آب برای مصارف مختلف به رهنمودهای ارائه شده به‌وسیله‌ی سازمانهای مربوطه بستگی دارد. گزارشهای مرسوم کیفیت آب اغلب فنی، جزئی و تنها ارائه دهنده‌ی داده‌های پایش کیفیت آب بوده و تصویری کامل و توصیفی را از کیفیت آب ارائه نمی‌دهند. برای حل این مشکل، شاخصهای مختلف طراحی شده‌اند تا متغیرهای کیفی مختلفی را در برگیرند (میچل و استاپ، ۱۹۹۶؛ کود، ۲۰۰۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ سعید و همکاران، ۲۰۰۴).

عوامل زیادی در تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رود دخیل می‌باشند؛ از عوامل مهم کاهش کیفیت آب رودها، خصوصاً در مناطق کوهستانی، ویژگیهای آب و زمین‌شناسی مسیرهای عبور جریان است (سولسبی و همکاران، ۲۰۰۲). از طرف دیگر، ترکیب شیمیایی و فیزیکی آب با تغییرات زمان و مکان متغیر است. در مورد تغییرات مکانی از ارتباط میان پستی و بلندی، سنگ‌شناسی سازندها و فرآیندهای آب و زمین‌شناسی، و در مورد تغییرات زمانی می‌توان از تغییرات فصلی در حجم کلی عبوری آب در سامانه و منطقه‌ی مورد مطالعه یاد کرد (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۶). فعالیتهای انسانی نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کیفیت آب رودها دارند. بعضی از این تأثیرات پیامد تغییرات آبشناسی مانند ساختن سد، خشک شدن تالابها و انحراف مسیر جریان است. همچنین، آبهای سطحی نیز نقش مهمی را در انتقال فاضلاب خانگی، صنعتی و رواناب حاصل از زمینهای کشاورزی به رودها دارند (شرستا و کازاما، ۲۰۰۷). عوامل هواشناسی مانند کمیت، فراوانی و شدت بارندگی نیز با تأثیر بر چرخه‌ی آبشناسی بر کیفیت و کمیت منابع آبی نیز تأثیر گذار است. فرایندهای طبیعی همچون تبخیر-تعرق، رطوبت خاک، فرسایش طبیعی و هوازدگی به علاوه‌ی کاربری اراضی، فعالیتهای کشاورزی و دخالتهای بشری در چرخه‌ی آب نیز بر منابع آبی مؤثر است. بنابراین، استفاده‌ی مناسب و کارامد از شبیه‌های ریاضی برای شبیه سازی کیفیت رودها برای تعیین خط مشیهای جامع و مناسب، و در نهایت ارزیابی روشهای تعیین کیفیت آب و به ویژه مدیریت آنها، بسیار حائز اهمیت است.

از اواسط دهه‌ی ۱۹۷۰، با توسعه‌ی سریع ابزارهای محاسباتی و رایانه‌ها، و توسعه‌ی روشهای عددی در حل معادلات دیفرانسیلی، شبیه‌سازی کیفی رودها رشد چشمگیری یافت (لیتل و ویلیامز، ۱۹۷۵). ابهام و نبودن قطعیت ذاتی حاکم بر منابع آب در ارزیابی اهداف، معیارها و واحدهای تصمیم‌گیری از یک‌سو، و ناسازگاری و بی‌دقتی در نظرات و قضاوت افراد تصمیم‌گیرنده از سوی دیگر، سبب گرایش به نظریه‌ی مجموعه‌های فازی، و به دنبال آن منطق فازی به عنوان ابزاری کارامد و مفید برای برنامه‌ریزیها و تصمیم‌گیریها در منابع آب گردیده است (باردوسی و همکاران، ۱۹۹۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹).

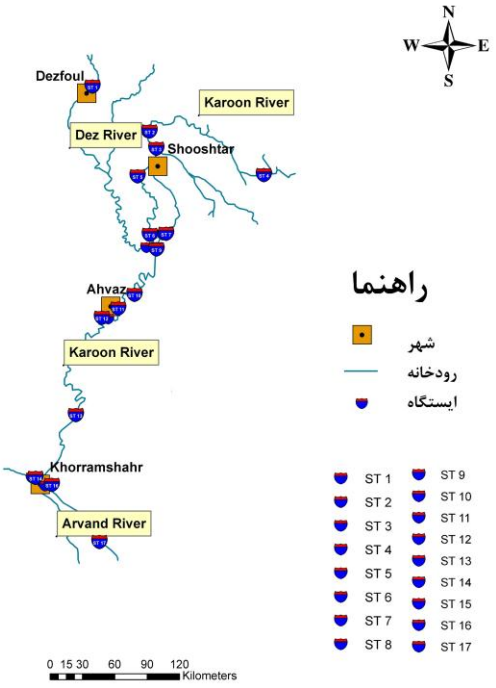
از زمانی که انگاره‌ی مجموعه‌های فازی، برای نخستین بار به‌وسیله‌ی پروفسور لطفی عسگر زاده (۱۹۶۵) پایه گذاری شد، تحقیقات گسترده‌ای در مورد کاربرد سامانه‌های فازی در منابع آب صورت گرفته است (ممدانی و اسیلیان، ۱۹۷۵). برای مثال لیو و لو (۲۰۰۴) کاربرد انگاره‌ی فازی را در ارزیابی کیفیت رود کیلینگ تایوان بررسی کردند. ایشان نشان دادند که استنتاج فازی تحلیل منطقیتری را جهت تفسیر کیفیت آب رود ارائه می‌کند. در پژوهشی، موسایی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی کیفی آب رود و سر شاخه های کارون در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. ماهاپراتا و همکاران (۲۰۰۱) به پیش بینی کیفیت آب رودهای هندوستان پرداختند؛ نتایج نشان

دادند که پیش بینی کیفیت آب رود به سبب استفاده از نظرات کارشناس خبره، بسیار مناسب و قابل اعتماد است. در مطالعه‌ی دیگری، دوکوئو و همکاران (۲۰۰۶) کیفیت آب را براساس سامانه‌ی استنتاج فازی برای رود ابرو، اسپانیا، ارزیابی کردند. در این مطالعه از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی نیز به منظور مقایسه و تحلیل مکانی نتایج استفاده شد. نتایج نشان دادند که، این روش ابزاری مناسب و جایگزین برای روشهای مرسوم است.

با توجه به اهمیت رود کارون به لحاظ مصارف مختلف شرب و کشاورزی، در این پژوهش از مهمترین فراسنجهای تأثیرگذار بر کیفیت آب رود، طبق نظر کارشناس خبره، شامل اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن خواهی زیست‌شیمیایی ۵ روزه (BOD_5)، هدایت الکتریکی (EC) و یونهای مهم محلول در آب شامل نیترات (NO_3^-) و کلرور (Cl^-) که در ۱۷ ایستگاه پایش کیفیت آب در طول مسیر رود اندازه‌گیری می‌شوند، جهت طراحی شبیه استنتاج فازی کیفیت آب انتخاب گردیدند.

مواد و روشها

حوضه‌ی آبخیز رود کارون به‌وسیله‌ی رود کارون که در جنوب غربی ایران قرار گرفته است، زهکش می‌شود. مساحت حوضه‌ی آبخیز برابر با ۶۷۰۰۰ کیلومتر مربع بوده، و بین طولهای جغرافیایی '۱۵ °۴۸ و '۳۰ °۵۲ شرقی و عرضهای جغرافیایی '۱۷ °۳۰ و '۴۹ °۳۳ شمالی قرار گرفته است (ندافی و همکاران، ۲۰۰۷). سر شاخه‌ی اصلی رود کارون از رشته کوههای زاگرس منشأ گرفته و به شمال غربی خلیج فارس می‌ریزد. کارون طولانیترین رود ایران با بده‌ی متوسط ۹۰ مترمکعب بر ثانیه در فصل خشک و ۲۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه در فصول تر است (مجاهدی و عطاری، ۲۰۰۹). نزدیک به شصت شهر از آب این رود استفاده کرده و مواد زائد خود را به آن سرازیر می‌کنند. با ساختن و بهره‌برداری از چندین سد در مسیر رود، برداشتن آب از آن افزایش یافته و رها سازی فاضلابهای صنعتی، خانگی و کشاورزی به آن رود باعث بدتر شدن کیفیت آب آن رود شده است (مجاهدی و عطاری، ۲۰۰۹). کیفیت و کمیت آب رود کارون نقش مهمی در توسعه‌ی صنعتی و کشاورزی استان خوزستان دارد؛ بنابراین، پایش و مدیریت کیفیت آب رود کارون اهمیت بالایی دارد. تعداد ۱۷ ایستگاه پایش کیفی در طول رود کارون فراسنجهای فیزیکی و شیمیایی کیفیت آب را اندازه‌گیری می‌کنند. در شکل ۱ موقعیت ایستگاههای پایش کیفیت آب آمده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های پایش کیفیت آب رود کارون

مجموعه‌ی فازی، برخلاف مجموعه‌های سنتی یاد شده، به هر عضو درجه‌ای از عضویت را به مجموعه تخصیص می‌دهد. در واقع، تابع ویژگی یک مجموعه‌ی فازی عددی بین ۰ و ۱ را به عنوان درجه‌ی عضویت هر عضو به مجموعه، به آن اختصاص می‌دهد.

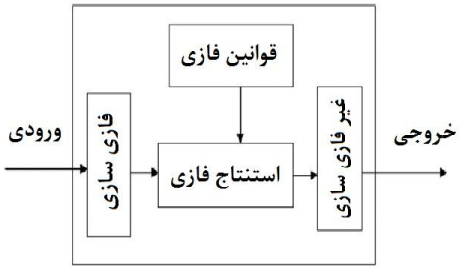
اگر X را مجموعه‌ای از x ها در نظر بگیریم، آن‌گاه مجموعه‌ی فازی A در X به صورت مجموعه‌ای از زوجهای مرتب زیر تعریف می‌شود:

$$A = \{(x, \mu - A(x)) | x \in X\} \qquad (۱)$$

که μ_A (x) تحت عنوان تابع عضویت مجموعه فازی A شناخته می‌شود. تابع عضویت، هر عضو از x را به درجه‌ای از عضویت (و یا مقدار عضویت) که یک مقدار بین ۰ و ۱ است، نگاشت می‌کند.

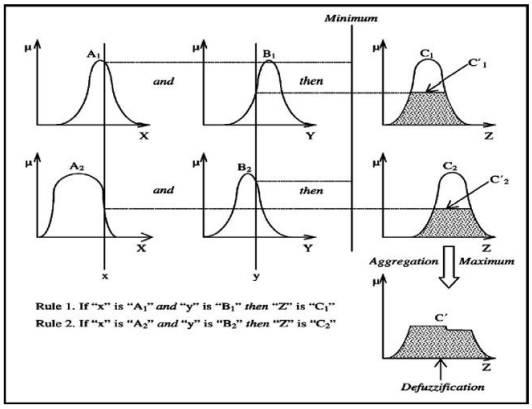
استنتاج فازی فرایندی است که طی آن نگاشت از ورودی‌ها به خروجی‌ها با استفاده از منطق فازی ضابطه‌مند می‌گردد. گزاره‌های فازی با توابع شرطی و به

صورت قوانین فازی «اگر- آن‌گاه» شناخته می‌شوند. این قوانین روابط میان ورودی و خروجی را توصیف کرده، و از دو بخش تقدم و تأخر تشکیل شده‌اند (ایفار و گوکتان، ۲۰۰۶). سامانه‌ی فازی، همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، شامل فرایندهای فازی سازی، قاعده- بنیاد فازی، موتور خروجی فازی و غیر فازی سازی است. شبیه‌های استنتاج فازی بسیار زیادی وجود دارند. مشهورترین آنها در علوم مهندسی، شبیه فازی ممدانی است. اغلب از این شبیه جهت حل مسائل مربوط به منابع آب استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز از عملگر استلزام ممدانی استفاده شده است.



شکل ۲- سامانه استنتاج فازی

شبیه استنتاج فازی ممدانی به سبب مقبولیت عام و سادگی کاربرد، به دیگر شبیه‌های موجود ترجیح داده می‌شود (گوکسوگلو، ۲۰۰۲؛ سونمز و همکاران،۲۰۰۴). توابع عضویت خروجی مجموعه‌ی فازی در استنتاج فازی ممدانی باید غیر فازی گردند. این روش کارایی فرایند غیر فازی سازی را با کاستن محاسبات مورد نیاز افزایش می‌دهد (ممدانی و اسیلیان، ۱۹۷۵). روشهای min-max, max-max, min-min, max-min از مهمترین روشهای مورد استفاده در شبیه فازی ممدانی به شمار می‌روند، و بطور معمول، از ترکیب max-min استفاده می‌شود (راس، ۱۹۹۵). در شبیه فازی ممدانی مورد استفاده در این پژوهش نیز از ترکیب عملگرهای max-min استفاده شده است. در شکل ۳ شبیه سامانه‌ی استنتاج فازی ممدانی نشان داده شده است.



شکل ۳- شبیه سامانه‌ی استنتاج فازی (ممدانی و اسیلیان، ۱۹۷۵).

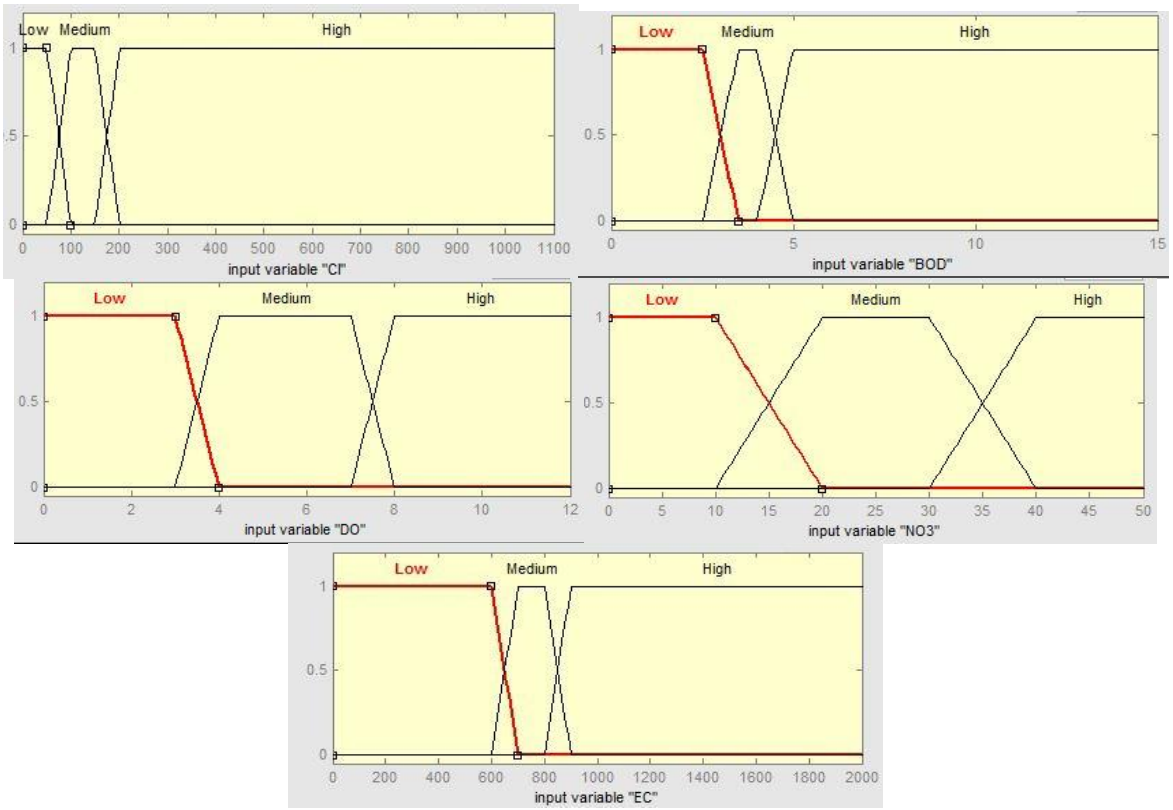
در این بخش تمامی عملیات از فازی سازی تا غیر فازی سازی به صورت فشرده نشان داده شده‌اند. جریان اطلاعات از سمت چپ آغاز شده و پس از پردازش هر قاعده، خروجیها در سمت راست با هم ترکیب گردیده و خروجی نهایی تولید می‌شود. تصمیم سازی سامانه‌ی استنتاج فازی بر اساس قوانین اعمال شده به‌وسیله‌ی کارشناس خبره صورت می‌گیرد. قوانین از دو بخش «اگر- آن‌گاه» تشکیل شده‌اند. در بخش «اگر» ورودی شبیه تعریف می‌شود. فراسنجهای کیفی DO، BOD5، NO_3^-، Cl^- و EC به سه مشخصه‌ی زبانی «کم»، «متوسط» و «بالا» با استفاده از رهنمودهای ارائه شده و نظر کارشناس خبره ترسیم شده‌اند. در بخش آن‌گاه خروجی شبیه تعریف شده است. خروجی شبیه کیفیت آب رود نیز به صورت سه مشخصه‌ی زبانی «بد»، «متوسط» و «خوب» در نرم افزار MATLAB ترسیم گردیده‌اند. مقادیر ارائه شده براساس رهنمودهای ارائه گردیده به‌وسیله‌ی سازمانهای مربوطه و نظر کارشناس خبره محدوده‌ی مورد استفاده برای مقادیر ورودی در جدول ۱ آمده‌اند.

جدول ۱- محدوده‌ی مورد استفاده برای مقادیر ورودی.

فراسنج	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
DO	۴	۸
BOD5	۳/۵	۵
Cl	۱۰۰	۲۰۰
NO_3	۲۰	۴۵
EC	۶۰۰	۹۰۰

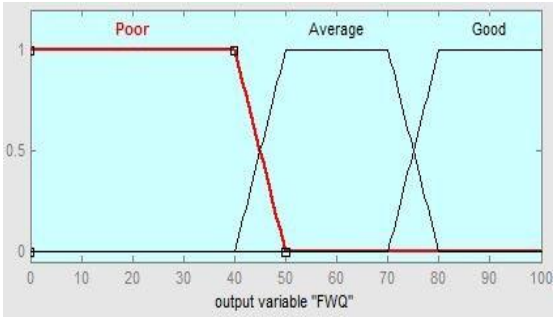
تمامی واحدها برحسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند؛ به جز EC که برحسب میکرومهوس بر سانتی‌متر است.

دو نوع تابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای، به سبب سادگی رابطه‌ی و بهینه بودن محاسبات، به صورت گسترده‌ای در سامانه‌های استنتاج فازی دارای کاربرد می‌باشند (کیا، ۱۳۸۹). در این پژوهش از توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده گردیده است. تابع عضویت هر یک از ورودیها را مجموعه‌ی فازی تعیین می‌کند. با مشخص کردن ورودیهای کلاسیک و اعداد قطعی در محدوده‌ی از پیش تعیین شده (تمام غلظتهای ممکن فراسنج کیفی آب) هر یک از مجموعه‌های فازی تابع عضویتی بین ۰ و ۱ می‌گیرند. شکل ۴ توابع عضویت فراسنجهای استفاده شده در شبیه استنتاج فازی را نشان می‌دهد.



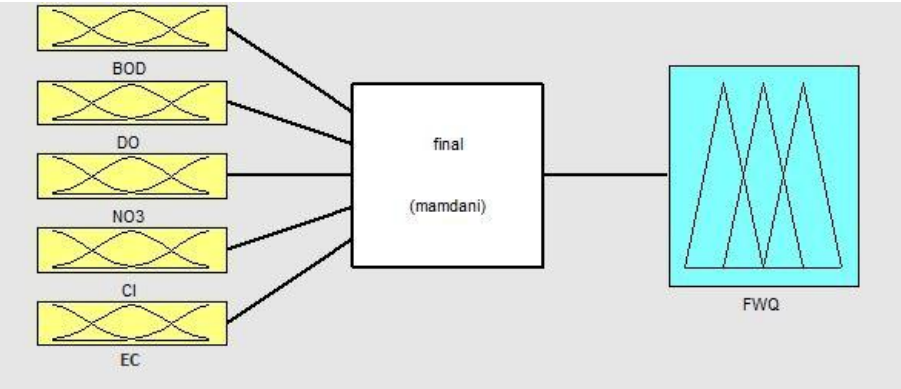
شکل ۴- توابع عضویت فراسنج‌های ورودی استفاده شده در شبیه استنتاج فازی.

در این پژوهش مقادیر فازی نتایج کیفیت آب بین ۰ تا ۱۰۰ طبقه بندی شدند. بدین صورت که بهترین آب مقدار ۱۰۰ و بدترین آب مقدار ۰ خواهد گرفت، و کیفیت آب با توجه به مقادیر ورودی بین این دو مقدار می‌باشد. تابع عضویت کیفیت آب براساس روش استنتاج فازی ممدانی در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵- تابع عضویت خروجی کیفیت آب جهت مصارف مختلف براساس شبیه استنتاج فازی.

در شبیه‌های استنتاج فازی، شمار قوانین به تعداد فراسنجهای ورودی و متغیرهای زبانی مورد استفاده بستگی دارد. برای مثال به تعدادی قانون استفاده شده در شبیه اشاره می‌شود. برای مثال، فرض شد اگر فراسنجهای ورودی به شبیه شامل BOD5، EC، Cl^- و NO_3^- مقادیر کم و DO مقدار بالایی داشته باشند، کیفیت آب خوب خواهد بود. و در قانون دیگری مشخص گردید که اگر مقادیر EC و NO_3^- بالا بوده و فراسنجهای DO، BOD5 و Cl^- مقادیر کمی را نشان می‌دهند، کیفیت نهایی آب نامناسب تعیین خواهد شد، زیرا مقادیر EC به عنوان نماینده‌ی تمامی مواد محلول در آب، و نیترات به عنوان آنیون خطرناک محلول در آب مقادیر بالایی داشته و بر کیفیت آب تأثیر بدی خواهند گذاشت. از این‌رو، شبیه کیفیت نهایی آب رود را بد در نظر خواهد گرفت. همچنین، فرض شد اگر فراسنجهای BOD5، EC، Cl^- و NO_3 مقداری بالا و DO مقدار کمی داشته باشد، کیفیت آب بد خواهد بود. به همین ترتیب، تعداد ۲۴۳ قانون (3^5) به شبیه وارد گردید. هر قانون دارای وزن مشخصی (بین ۰ و ۱) می‌باشد. این مقدار بر روی مقادیر حاصله از قسمت فرض اعمال می‌شود. عموماً، مقدار وزن قوانین برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود. در این شبیه نیز وزن قوانین برابر ۱ در نظر گرفته شد. در شکل ۶ ورودیها و خروجیهای شبیه سامانه‌ی استنتاج فازی طراحی شده آمده‌اند.



شکل ۶- ورودی‌ها و خروجی‌های شبیه سامانه‌ی استنتاج فازی طراحی شده.

برای این‌که بتوان خروجی نسبی یا منطقی را به‌دست آورد، تجمیع قوانین انجام می‌شود. در سامانه‌های عملگر (and/or) قوانین با or و and به هم مرتبط می‌گردند (راس، ۱۹۹۵). پس از تخصیص مقادیر مناسب به وزن هر یک از قوانین، روش دلالت پیاده سازی می‌شود (کیا، ۱۳۸۹). در پژوهش حاضر از روش دلالت حداقل min استفاده شده است. از میان سه روش بیشینه (or,max) احتمالی (probor) و محاسبه‌ی مجموع (sum) برای فرایند تجمیع از روش بیشینه max استفاده شده است. همچنین، از میان روشهای مرسوم در راستای غیر فازی کردن، از روش غیر فازی ساز مرکز ثقل در شبیه استنتاج فازی حال حاضر بهره وری گردیده است. پس از طراحی شبیه، مقادیر عددی فراسنجهای ورودی به شبیه وارد می‌شده و کیفیت آب از نظر فازی ارزیابی می‌گردد.

نتایج و بحث

پس از طراحی شبیه، تمامی ۱۷ نمونه‌ی کیفیت آب که در مسیر رود کارون اندازه گیری شده بودند مورد ارزیابی قرار گرفته و کیفیت آب رود و سطوح اطمینان هریک از نمونه‌ها با کاربرد روش استنتاج فازی تعیین گردید. مقایسه‌ی این دو روش در جدول ۲ برای مقادیر حداقل پارامترها، در جدول ۳ برای مقادیر حداکثر، و در جدول ۴ برای مقادیر میانه‌ی فراسنجهای مورد مطالعه در ۱۷ ایستگاه انتخابی ارائه شده‌اند. مقادیر حداقل فراسنجهای اندازه‌گیری شده در ۱۷ ایستگاه انتخابی، به شبیه وارد شدند. نتایج نشان دادند که کیفیت ۲ نمونه آب متوسط، یک نمونه بد و ۱۴ نمونه به لحاظ ارزیابی فازی

کیفیت خوبی داشتند. مقادیر سطح اطمینان هر نمونه به صورت درصد داخل دوکمان آورده شده‌اند. نمونه‌های شماره‌ی یک و ۱۰ هر دو کیفیت خوبی دارند. مقادیر عددی و قطعی فراسنجهای نمونه‌ی شماره یک کم است، درحالی‌که مقدار فراسنجهای BOD5، NO_3^-، Cl^- وEC در نمونه‌ی شماره‌ی ۱۰ کم بوده، و مقدار DO در ارزیابی قطعی در رده «متوسط» قرار گرفته است. از آن‌جا که هر چه میزان DO بیشتر باشد، کیفیت آب بهتر می‌باشد، این استنتاج به صورت قانون در شبیه طراحی شده، اعمال گردیده است. با قرار گرفتن DO در رده‌ی «کم»، شبیه به ارزیابی نهایی کیفیت آب سطح اطمینان کمتری را اختصاص می‌دهد. ارزیابی روش قطعی برای دو نمونه‌ی ۱۲ و ۱۴ مشابه است، اما به دلیل بالا بودن مقادیر عددی نمونه‌ی ۱۴ نسبت به نمونه‌ی ۱۲، شبیه سطح اطمینان بیشتری را برای نمونه‌ی ۱۲ تعیین کرده است.

جدول ۲-مقایسه‌ی روش قطعی و نتایج ارزیابی فازی کیفیت آب رود کارون (حداقل)

نمونه	تصمیم‌گیری با کاربرد روش فازی	تصمیم‌گیری با کاربرد روش قطعی		
		«کم»	«متوسط»	«بالا»
۱	خوب(۸۶/۶)	DO,EC,NO_3,BOD,Cl		
۲	خوب(۸۶/۹)	DO,EC, NO_3,BOD	Cl	
۳	خوب(۸۷/۶)	EC, NO_3,BOD,Cl	DO	
۴	خوب(۸۲)	DO, NO_3,BOD	EC,Cl	
۵	خوب(۸۶/۹)	EC, NO_3,BOD	DO,Cl	
۶	خوب(۸۷/۶)	EC, NO_3,BOD	DO,Cl	
۷	خوب(۸۶/۵)	EC, NO_3,BOD	DO,Cl	
۸	خوب(۸۶/۵)	DO,EC, NO_3,BOD,Cl		
۹	خوب(۸۷/۶)	EC, NO_3,BOD	DO,Cl	
۱۰	خوب(۸۷/۶)	EC, NO_3,BOD,Cl	DO	
۱۱	متوسط(۶۸/۹)	NO_3,BOD	DO,EC,Cl	
۱۲	خوب(۸۲)	NO_3,BOD	DO, EC	Cl
۱۳	خوب(۸۷/۶)	EC, NO_3,BOD	DO,Cl	
۱۴	متوسط(۶۰)	NO_3,BOD	DO,EC	Cl
۱۵	خوب(۸۷/۵)	EC, NO_3,BOD	DO,Cl	
۱۶	بد(۴۶/۷)	EC, BOD	DO, NO_3	Cl
۱۷	خوب(۸۷/۶)	EC, NO_3,BOD	DO	Cl

در ارزیابی مقادیر حداقل، برای نمونه‌ی ۱۲ کیفیتی خوب، و برای نمونه‌ی ۱۴ کیفیتی متوسط تعیین گردیده است. برای نمونه‌ی شماره ۱۶، به دلیل بالا بودن مقدار نیترات، شبیه کیفیت بدی را تعیین کرده است. همچنین، با وارد کردن حداکثر مقادیر فراسنجهای ورودی به شبیه برای یک سال آبی، نتایج در جدول ۳ آورده شده‌اند. نتایج ارزیابی فازی کیفیت بدی را برای تمامی نمونه‌ها ارزیابی کرد. مقادیر سطح اطمینان حداقل ۲۲/۳ درصد و حداکثر ۲۳/۳ درصد برآورد شدند. در نهایت، مقادیر میانه‌ی فراسنجهای اندازه‌گیری شده به شبیه وارد شدند تا بتوان درک درستی را از کیفیت آب رود در سال آبی مورد نظر داشت. نتایج نشان دادند که کیفیت ۱۳ نمونه بد، یک نمونه متوسط و ۳ نمونه خوب بودند. با مقایسه‌ی روش قطعی و فازی در جدول ۴، مشخص شد که نمونه‌ی شماره ۳، با سطح اطمینان ۸۷/۶ درصد به روش ارزیابی فازی خوب، و نمونه‌ی شماره‌ی ۹، با سطح اطمینان ۶۰ درصد، کیفیت متوسطی دارد. ارزیابی فازی برای نمونه‌های ۴ و ۱۶، به دلیل بالا بودن مقادیر قطعی EC و Cl سطح اطمینان ۲۲/۳ درصد، و کیفیت بدی را ارزیابی کرده است.

جدول ۳- مقایسه‌ی روش قطعی و نتایج ارزیابی فازی کیفیت آب رود کارون (حداکثر).

نمونه	تصمیم‌گیری با کاربرد روش فازی	تصمیم‌گیری با کاربرد روش قطعی		
		«کم»	«متوسط»	«بالا»
۱	بد(۲۲/۳)		DO	NO_3, BOD ,EC,Cl
۲	بد(۲۲/۳)		DO	NO_3, BOD ,EC,Cl
۳	بد(۲۲/۵)	NO_3	Cl	BOD,DO,EC
۴	بد(۲۲/۳)			NO_3, BOD,DO,EC,Cl
۵	بد(۲۲/۸)		DO	NO_3, BOD ,EC,Cl
۶	بد(۲۲/۳)	DO		NO_3, BOD ,EC,Cl
۷	بد(۲۲/۳)			NO_3, BOD,DO,EC,Cl
۸	بد(۲۲/۳)		DO	NO_3, BOD, EC,Cl
۹	بد(۲۲/۹)	NO_3		BOD,DO,EC,Cl
۱۰	بد(۲۲/۳)		NO_3	BOD,DO,EC,Cl
۱۱	بد(۲۲/۳)		NO_3	BOD,DO,EC,Cl
۱۲	بد(۲۲/۳)	DO		NO_3, BOD ,EC,Cl
۱۳	بد(۲۳)		NO_3	BOD,DO,EC,Cl
۱۴	بد(۲۲/۳)	NO_3		BOD,DO,EC,Cl
۱۵	بد(۲۲/۶)			NO_3, BOD,DO,EC,Cl
۱۶	بد(۲۲/۳)	NO_3		BOD,DO,EC,Cl
۱۷	بد(۲۲/۳)			NO_3, BOD,DO,EC,Cl

جدول ۴- مقایسه‌ی روش قطعی و نتایج ارزیابی فازی کیفیت آب رود کارون (میانه).

نمونه	تصمیم‌گیری با کاربرد روش فازی	تصمیم‌گیری با کاربرد روش قطعی		
		«کم»	«متوسط»	«بالا»
۱	بد(۲۳/۱)	NO_3	BOD, DO	EC, Cl
۲	بد(۲۳/۵)	BOD, NO_3	Cl	DO,EC
۳	خوب(۸۷/۶)	BOD, NO_3,EC, Cl		DO
۴	بد(۲۳/۳)	BOD, NO_3	DO	Cl, EC
۵	بد(۲۳/۳)	NO_3	BOD	DO,EC, Cl
۶	بد(۲۳/۵)	BOD	DO, NO_3	EC, Cl
۷	بد(۲۳/۴)	NO_3	BOD	DO,EC, Cl
۸	خوب(۸۷/۲)	BOD, NO_3,EC,Cl		DO
۹	متوسط(۶۰)	BOD, NO_3	EC, Cl	DO
۱۰	خوب(۸۷/۳)	BOD, NO_3,EC, Cl		DO
۱۱	بد(۲۳/۳)	NO_3	BOD, DO	EC, Cl
۱۲	بد(۲۳/۵)	BOD, NO_3		DO,EC,Cl
۱۳	بد(۲۳/۳)	BOD, NO_3		DO,EC, Cl
۱۴	بد(۲۳)	NO_3	BOD, DO	EC,Cl
۱۵	بد(۲۳)	NO_3, Cl	BOD, DO	EC
۱۶	بد(۲۳/۳)	NO_3	BOD, DO	EC,Cl
۱۷	بد(۲۳/۵)	NO_3, Cl	BOD, DO	EC

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر با هدف استفاده از روش‌های استنتاج فازی در تعیین کیفیت آب رود کارون انجام گرفت. سازندهای زمین‌شناسی و تغییرات فصلی بارش و کاهش بده‌ی رود در فصلهای خشک تاثیر بسزایی بر کیفیت آب رود دارد. به منظور ارزیابی کیفیت آب رود کارون، داده‌های کیفیت آب برای ۱۷ ایستگاه پایش استفاده گردیدند و پس از طراحی شبیه، مقادیر حداقل، حداکثر و میانه فراسنجهای کیفیت آب اندازه‌گیری شده در ایستگاههای نمونه برداری به شبیه وارد گردید. نتایج ارزیابی شبیه استنتاج فازی برای مقادیر حداقل فراسنجهای ورودی شبیه رود کارون نشان دادند که کیفیت ۲ نمونه‌ی آب متوسط، یک نمونه بد و ۱۴ نمونه خوب بود. برای مقادیر حداکثر، نتایج ارزیابی فازی کیفیت بدی را برای تمامی نمونه‌ها ارزیابی نمود. به جهت درک درست از کیفیت آب رود کارون، شبیه استنتاج فازی برای مقادیر میانه فراسنجهای اندازه‌گیری شده به شبیه وارد شد. نتایج نشان دادند که کیفیت ۱۳ نمونه بد، یک نمونه متوسط و ۳ نمونه خوب بود. بطور کلی، استفاده از این روش به سبب دقت بالای شبیه، و مقایسه‌ی تعداد زیادی نمونه در زمانی اندک، سودمند است.

منابع

۱. کیا، م. ۱۳۸۹. منطق فازی در MATLAB. انتشارات کیان رایانه سبز، ۲۴۰ صفحه.

۲. موسایی، ف.، م. نخعی، و ا. رمضانی. ۱۳۸۹. ارزیابی کیفی آب رود و سر شاخه های کارون در استان چهارمحال و بختیاری. همایش ملی آب پاک.

۳. هاشمی، ا.، ف. موسوی، م. طاهری، و ع. قره‌چاهی. ۱۳۸۹. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ۹ شهر استان اصفهان برای مصارف شرب با استفاده از سامانه استنتاج فازی. فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران. ۶(۳) :۳۴-۲۵

4. Bardossy, A., A. Bronstert, and B. Merz. 1995. 1. 2 and 3dimensional modeling of water movement in the unsaturated soil matrix using a fuzzy approach. Adv. Water Resour. 18: 237-251
5. Cude, C. 2001. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. J. Am. Water. Resour. Associ. 37:125 –37.
6. Deque, W.A., N.F. Huguet, J.L. Domingo, and M. Schuhmacher. 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference system: A case study. Environ. Int. 32: 733–742.
7. Dixon, W., and B. Chiswell. 1996. .Reviewof aquaticmonitoring program design. Water Res. 30: 1935–1948.
8. Fernández, C., A.M. Fernández, C.T. Domínguez, and B.L. Santos. 2006. Hydrochemistry of northwest Spain ponds and relationships to groundwater. J. Ecol. Iberian Inland Waters. 25: 433-452.
9. Gokceoglu, C. 2002. A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of the Ankara agglomerates from their petrographic composition. Eng. Geol. 66: 39–51.
10. Iphar, M., and R.M. Goktan. 2006. An application of fuzzy sets to the dig ability index rating method for surface mine equipment selection. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 43: 253–266.
11. Li, Y.P., G.H. Huang, Y.F. Huang, and H.D. Zhou. 2009. A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting sustainable water-resources allocation and management, Environ. Mod. Software 24: 786-797.
12. Liou, S., and S.L. Lo. 2004. A fuzzy Index Model for Tropic Status Evolution of Reservoir Waters. Water Resour. 96: 35-52.
13. Liou, S., S. Lo, and S. Wang. 2004. A generalized water quality index for Taiwan. Environ. Monit. Assess. 96: 35–52.
14. Little, K.W., and R.E. Williams. 1975. Least-squares calibration of QUAL2E. Water Environ. Res. 64: 179-18.
15. Mahapatra, S.S., S. Kumar, B. Nanda, and K. Panigrahy. 2001. A Cascaded Fuzzy Inference System for Indian River water quality prediction. Adv. Eng. Software 42: 787–796.
16. Mamdani, H., and S. Assilian. 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. Man–Machine Stud. 71: 1–13.
17. Mitchell, M.K., and W.B. Stapp. 1996. Field manual for water quality monitoring: an environ-mental education program for

schools. Dexter, Michigan: Thomson-Shore Inc. 277p.
18. Mojahedi, S.A., and J. Attari. 2009. A Comparative Study of Water Quality Indices for Karun River. World Environ. Water Res. Cong. Kansas City، Missouri.
19. Naddafi, K., H. Honari, and M. Ahmadi. 2007. Water quality trend analysis for the Karoon River in Iran. Environ. Monit. Assess. 134: 305–312
20. Ross, T. 1995. Fuzzy logic with engineering applications McGraw-Hill. New York. 648 p.
21. Said, A., D. Stevens, and G. Selke. 2004. An innovative index for evaluating water quality in streams. Environ. Manage. 34: 406 –14.
22. Shrestha, S., and F. Kazama. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques, a case study of the Fuji river basin, Japan. Environ. Model. Software 22: 464–475.
23. Sonmez, H., E. Tuncay, and C. Gokceoglu. 2004. Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for agglomerate. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 41: 717–729.
24. Soulsby, C., C. Gibbins, A.J. Wade, R. Smart, and R. Helliwell. 2002. Water quality in the Scottish uplands: A hydrological perspective on catchment hydrochemistry. Sci. Total Environ. 294: 73–94.