فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۰، شماره ۳۹، پاییز ۱۳۹۵، صفحات ۳۵- ۴۵

ارزیابی کیفیت آب‌زیرزمینی دشت دوزدوزان جهت مصارف کشاورزی با استفاده از رهیافت فازی

حسین رجب پور[۱و*]، جعفر ادراکی[۲] و غلامرضا احمدزاده[۳]

۱. دانش آموخته دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز

۲. کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز

۳. استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۰۲

چکیده

دشت دوزدوزان در ۸۰ کیلومتری جنوب شرقی تبریز قرار دارد و یکی از دشت‌های حاصل خیز آذربایجان‌شرقی است. اقتصاد اصلی ساکنان این منطقه بر پایه کشاورزی است و به تبع آن و با توجه به کمبود منابع آب‌های سطحی، عمده مصرف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی است. در این تحقیق، کاربرد نظری مجموعه‌های فازی برای ارزیابی کیفیت آب نشان داده شده است. به‌منظور ارزیابی کیفیت آب کشاورزی دشت دوزدوزان به روش فازی، از هفت پارامتر موثر بر کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است. بدین منظور، داده‌های کیفی ۵۰ حلقه چاه آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۹۱- ۱۳۹۰ تهیه شد. با استفاده از مدل فازی، کیفیت آب زیرزمینی به سه طبقه مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم شد. بر اساس نتایج، ۱۷ نمونه در رده مطلوب و با سطح اطمینان ۶۳/۶ درصد تا ۸۴ درصد و ۲۸ نمونه در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۴۸ درصد تا ۶۴/۵ درصد قرار گرفتند. پنج نمونه باقیمانده نیز در رده غیر قابل قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۱۳/۷ درصد قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: دشت دوزدوزان، رهیافت فازی، کیفیت آب زیرزمینی، آب کشاورزی.

مقدمه

تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب، در حال حاضر خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور است. ارزیابی کیفیت آب یکی از مهم‌ترین موضوعات زیست‌محیطی و اجتماعی در سطح جهان به شمار می‌رود (علیزاده، ۱۳۶۴). از نظر مدیریتی، مهم‌ترین انگیزه برای انجام مطالعات کیفیت آب، نیازهای کیفی آب و اثرات متقابل آن بر مصارف مختلف می‌باشد (معروفی و همکاران، ۱۳۸۸).

رفتارسنجی و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده، یکی از مشکلات مهندسان محیط زیست و هیدرولوژیست‌ها است؛ چرا که در همه

* نویسنده مرتبط: Hos-rajabpour@tabrizu.ac.ir

مراحل (نمونه‌برداری تا بررسی و تحلیل نتایج)، با انواع عدم قطعیت‌ها مواجه هستند (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹). سازمان‌هایی نظیر وزارت نیرو و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استانداردهایی برای املاح محلول و آلاینده‌های مختلف در آب شرب و کشاورزی ارائه کرده‌اند (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶). این استانداردها به‌دلیل عواملی چون تغییرات و نوسانات بارش و مقدار برداشت در فصول مختلف سال، دارای محدودیت‌هایی هستند. از سوی دیگر، استانداردهای تعیین‌شده توسط سازمان‌های مرتبط نیز دارای قطعیت لازم نیستند.

ابهام و نبود 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 نظریه مجموعه‌های فازی و در پی آن منطق فازی به‌عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در منابع آب شده است (Bardossy et al., 1995; Li et al., 2009). این روش‌ها بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی و با استفاده از مسائل واقعی محیطی به‌کار می‌روند تا از عدم قطعیت در محیط‌های نادقیق به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری استفاده کنند (Chang et al., 2001; Mckone and Deshpande, 2005). با طراحی مدل فازی مناسب، می‌توان عدم قطعیت همراه با مراحل نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تفسیر کیفیت آب را مرتفع نمود (Liou and Lo, 2004).

Dahiya et al., (2007)، از روش استنتاج فازی برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب ۳۶ نمونه از دو روستا در کشور هند استفاده کردند. در این پژوهش، ۱۰ پارامتر تاثیرگذار بر کیفیت آب مورد ارزیابی فازی قرار گرفت و به نتایج قابل قبولی دست یافتند و برتری این روش نسبت به روش‌های تعیین شاخص کیفی آب (WQI) را مشخص کردند. نتایج این پژوهش، برتری روش فازی را در ارزیابی کیفیت آب شرب در مرزهای متغیرهای زبانی نشان داد.

منطق فازی برای اولین بار در مقاله‌ای به همین نام توسط Zadeh (1965) ارائه شد و بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های نادقیق و مبهم را صورت‌بندی ریاضی بخشید. بدین ترتیب، زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (طاهری، ۱۳۷۸). این قوانین ساده و آشکار برای توصیف پاسخ‌دهی مطلوب سیستم، به‌جای فرمول‌های ریاضی از متغیرهای زبانی استفاده می‌کنند. اگرچه سیستم‌های فازی، پدیده‌های غیردقیق و نامشخص را توصیف می‌کند؛ با این‌حال نظریه فازی نظریه دقیقی است.

در نظریه کلاسیک، تابع عضویت مجموعه‌ای است که عدد یک در مرز آن و صفر بیرون آن قرار می‌گیرد. برای یک مجموعه فازی، تابع عضویت به‌صورتی تعریف می‌شود که در فاصله بین صفر تا یک است.

$$\mu A: X \rightarrow [0, 1] \quad \text{معادله (۱)}$$

مجموعه A برحسب تابع عضویت عبارت است از:

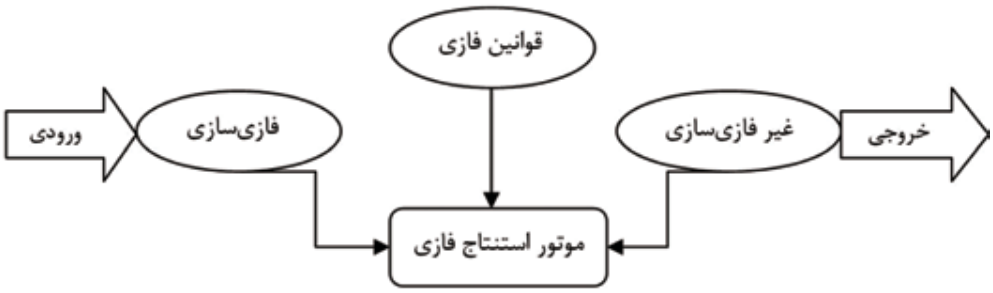
$$A = \{(\mu A(X)), x \in X, \mu A(X) \in [0, 1]\} \quad \text{معادله (۲)}$$

در قوانین سیستم‌های فازی، متخصص درباره طبقه‌بندی قوانین فازی نظرات خود را اعمال می‌کند. هر قانون شامل یک سری پیشایند منطقی از قبیل نام مشخصه (برای مثال، اسیدیته، کل مواد جامد محلول، سختی، ...) و مشخصه زبانی (مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول) است. متغیر زبانی، متغیری است که مقادیرش، کلمات یا جملات یک زبان طبیعی باشد. برای مثال، سن یک فرد را در نظر بگیرید؛ اگر مقادیری را که سن اختیار می‌کند با کلماتی مثل نونهال، جوان، مسن و پیر نشان داده شود متغیر سن یک متغیر زبانی است (آذر و فرجی، ۱۳۸۶).

مراحل تصمیم‌گیری در محیط فازی عبارت‌اند از:

۱. فازی‌سازی مقادیر؛
۲. تصمیم‌گیری فازی براساس عملگرهای فازی؛
۳. غیرفازی‌سازی.

شکل ۱ ساختار اصلی سیستم‌های فازی را نشان می‌دهد. در این شکل، مراحل طراحی مدل استنتاج فازی نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار اصلی سیستم‌های استنتاج فازی

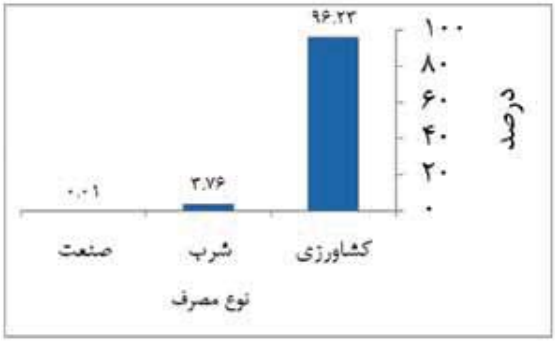
بـا توجه به عدم قطعیت همراه بـا اندازه‌گیری در مراحل نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها، استفاده از روش‌های کلاسیک در ارزیابی کیفیت آب، مناسـب به نظر نمی‌رسند. روش‌ها و معیارهای مختلفی در منابع برای ارزیابی کیفیت آب به روش فازی ارائه شده است. در این پژوهش نیز سعی شده است مدل اسـتنتاج فازی مناسب به منظور ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت دوزدوزان جهت مصارف کشاورزی تهیه شود.

در ارزیابی کیفی آب برای مصارف کشاورزی، بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب تاکید شده است. مهم‌ترین عامل در بررسـی کیفیت آب کشـاورزی، نوع و مقدار کل نمک‌های موجـود در آن اسـت. نمک‌های محلول در آب کشـاورزی پس از تبخیر مسـتقیم آب یا اسـتفاده از آن توسط گیاه در خاک باقی می‌مانند. تجمع تدریجی آن سـبب شوری خاک و کاهش کمیت و کیفیت محصول می‌شود (حاج رسولی‌ها، ۱۳۶۴). براین اساس، استفاده از یک مبنا در ارزیابی کیفیت آب کشاورزی مانع از بروز مشکلاتی همچون شوری خاک و آب، کاهش نرخ نفوذ آب، ایجاد سمیت در محصول از طریق افزایش املاحی مانند سدیم، کلرور و مسائل دیگری همچون مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و خوردگی تجهیزات می‌شود (FAO، 1985).

روش مطالعه

محدوده دشـت دوزدوزان در اسـتان آذربایجان‌شرقی در حوضـه آبریز رودخانه آجی چـای با مختصات (UTM)، X = ۶۷۸۵۰۰ تا X = ۶۹۴۰۰۰ طول شرقی و Y = ۴۱۹۲۰۰۰ تا Y = ۴۲۰۶۰۰۰ عرض شمالی با مساحت دشت ۲۱۷ کیلومتر مربع واقع شده است. شکل ۲، موقعیت دشت دوزدوزان را در استان آذربایجان شرقی و ایران نشان می‌دهد. بر اساس آمار نه سـاله ایستگاه هواشناسی دوزدوزان، متوسط میزان بارش ۳۳۶ میلی‌متر برآورد شده است. اقلیم نمای آمبرژه با توجه به میزان بارش و شـاخص‌های درجه حرارت، شرایط نیمه‌خشک سـرد را برای محدوده نشان می‌دهد. در دشت دوزدوزان، ۱۳۸ حلقه چاه عمیق جهت مصارف کشاورزی، دو حلقـه چاه برای مصارف شـرب و یک حلقـه چاه برای مصـارف صنعتی وجود دارد (ادراکـی و همکاران، ۱۳۸۹). میزان تخلیه از این دشت برای هر یک از مصارف مذکور، به ترتیب برابـر ۱۲/۵۵۰، ۰/۴۹۰ و ۰/۰۰۱ میلیون متر مکعب در سال است. این آمار نشان از مصرف بیش از ۹۶ درصدی آب زیر زمینی در بخش کشاورزی است (شکل ۳).

شکل ۲. موقعیت دشت دوزدوزان در استان آذربایجان شرقی و ایران



شـکل ۳. میزان تخلیه از دشـت دوزدوزان برای هـر یک از مصارف کشاورزی و غیر کشاورزی

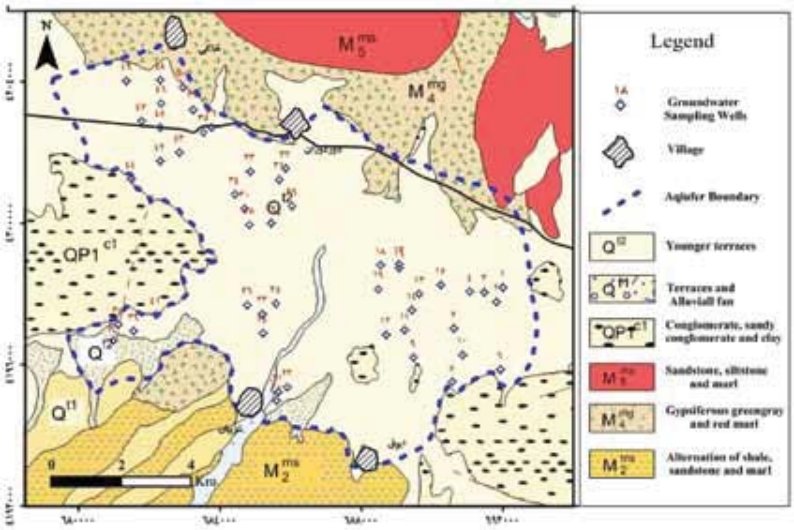
رهنمودهـای مختلفی بـرای ارزیابی کیفیـت آب برای مصـرف کشـاورزی وجـود دارد؛ امـا به‌دلیل گسـتردگی تغییرپذیری در شـرایط صحرایی، به‌طور کامل رضایت‌بخش نیستند. رهنمودهای سـازمان خواروبار و کشاورزی جهانی در این مورد، کاربرد بیشـتری نسبت به سایر استانداردهای تدوین شـده دارد. ایـن رهنمودها با در نظر داشـتن تاثیر طولانی‌مدت کیفیت آب بر تولید محصول، شـرایط خاک و مدیریت کاشت ارائه شده است. رهنمودهای FAO به‌منظور ارزیابی اجزای تشـکیل‌دهنده معمول در آب سـطحی، آب زیرزمینی، آب زهکشی، فاضلاب خروجی و پساب پیشنهاد شده است (FAO، 1985).

از اسـتانداردهای موجود برای تعیین مرزهای ورودی و مشخصه‌های زبانی اسـتفاده شده است. توابع عضویت نیز براساس نظر کارشناس خبره برای پارامترهای مورد استفاده به‌صورت مثلثی و ذوزنقه‌ای و با استفاده از حدود تعیین‌شده و استانداردهای مورد استفاده جدول ۱ تعیین شد.

جدول ۱. حدود تعیین شده پارامترهای ورودی براساس استاندارد (تمامی واحدها برحسـب میلی‌گرم بر لیتر هسـتند به جز درصد سدیم و نسبت جذب سدیم)

پارامتر	مطلوب	حداکثر قابل قبول
سدیم	۵۰	۳۰۰
کلرور	۱۰۰	۳۰۰
بی‌کربنات	۲۰۰	۵۰۰
سولفات	۲۰۰	۵۰۰
کل مواد جامد محلول	۵۰۰	۲۰۰۰
نسبت جذب سدیم	۴۰	۶۰
درصد سدیم انحلالی	۳۰	۶۰

منطقه مورد مطالعه آبخوان دشت دوزدوزان است. بدین منظور، داده‌هـای نمونه‌برداری کیفـی آب زیرزمینی از ۵۰ حلقه چاه فعال کشاورزی در خردادماه سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تهیه شـد (شـکل ۴). پارامترهای کیفی آب شامل نسبت جـذب سـدیم (SAR)، کل مواد جامد محلـول (TDS)، درصد سـدیم انحلالـی (SSP)، کلـرور (Cl^-)، سـولفات (SO_4^{2-})، سـدیم (Na^+)، و بی‌کربنـات (HCO_3^-) به روش اسـتاندارد آنالیز شـدند. با توجه به تغییرات مکانی کیفیت آب و تراکـم چاه‌های بهره‌برداری، تعـداد ۵۰ چاه نمونه که بیانگـر ویژگی‌های آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بودند، انتخاب شدند.



شـکل ۴. نقشـه زمین‌شناسـی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری کیفی آب در دشت دوزدوزان (اقتباس از نقشه زمین‌شناسـی ۱:۱۰۰۰۰۰ ترکمانچای (قره چمن، ۱۳۷۴)

پارامترهای مورد ارزیابی به‌عنوان ورودی مدل، تاثیرات متفاوتی بر کیفیت محصولات کشاورزی می‌گذارند. غلظت سدیم در ارزیابی کیفی آب به لحاظ آبیاری بسیار مهم است؛ چرا که مقادیر بالای سدیم، باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (Todd and May 2005). مقادیر زیاد سدیم در آب آبیاری می‌تواند موجب بروز مشکلاتی در رابطه با نفوذپذیری خاک شود. معمول‌ترین روش ارزیابی پتانسیل سدیم در کاهش نفوذپذیری خاک محاسبه نسبت جذب سدیم است (Gholami and Srikantaswamy، 2009). از آنجاکه هرچه غلظت نمک‌های محلول در آب بیشتر باشد، میزان TDS نیز بالاتر است، می‌توان این پارامتر را نماینده غلظت تمامی عناصر محلول در آب دانست و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی دانست (Hakim et al.، 2009).

تابع عضویت هریک از پارامترهای ورودی، دارای معادله‌ای خاص در محدوده‌های مطلوب، قابل‌قبول و غیرقابل‌قبول‌اند. برای مثال، معادلات زیر مربوط به تابع عضویت پارامتر SAR می‌باشد.

معادله (۳)

$$\mu_{SAR\ \text{مطلوب}}(x)=\begin{cases}0 & if\ x\le 0\\ 1 & if\ x\in[0\ 35]\\ \dfrac{45-x}{45-35} & if\ x\in[35\ 45]\\ 0 & if\ x>45\end{cases}$$

معادله (۴)

$$\mu_{SAR\ \text{قابل قبول}}(x)=\begin{cases}0 & if\ x\le 35\\ \dfrac{x-35}{42-35} & if\ x\in[35\ 42]\\ 1 & if\ x\in[42\ 58]\\ \dfrac{65-x}{65-58} & if\ x\in[58\ 65]\\ 0 & if\ x>65\end{cases}$$

معادله (۵)

$$\mu(x)_{SAR\ \text{غیر قبول قابل}}=\begin{cases}0 & if\ x\le 55\\ \dfrac{x-55}{65-55} & if\ x\in(55\ 65)\\ 1 & if\ x\in(65\ 90)\\ 0 & if\ x\ge 90\end{cases}$$

تابع عضویت هریک از ورودی‌ها را مجموعه فازی تعیین می‌کند. با مشخص کردن ورودی‌های کلاسیک و اعداد قطعی در محدوده از قبل تعیین‌شده (تمام غلظت‌های ممکن پارامتر کیفی آب)، هریک از مجموعه‌های فازی تابع عضویتی بین صفر و یک می‌گیرند. تصمیم‌سازی سیستم استنتاج فازی، براساس قوانین اعمال‌شده توسط کارشناس خبره صورت می‌گیرد. قوانین از دو بخش «اگر آنگاه» تشکیل شده‌اند. در بخش «اگر» ورودی مدل تعریف می‌شود. پارامترهای کیفی SAR ، SSP، Cl^-، HCO_3^-، SO_4^{2-}، Na^+ و TDS به سه مشخصه زبانی مطلوب، قابل‌قبول و غیرقابل‌قبول رسم شده‌اند. مدل‌های کیفی آب زیرزمینی در هر دو بخش «اگر» و «آنگاه» دارای عدم قطعیت هستند (Fisher، 2003). در شکل ۵، توابع عضویت پارامترهای ورودی مدل استنتاج فازی برای تمامی هفت پارامتر مدل استنتاج فازی آورده شده است.

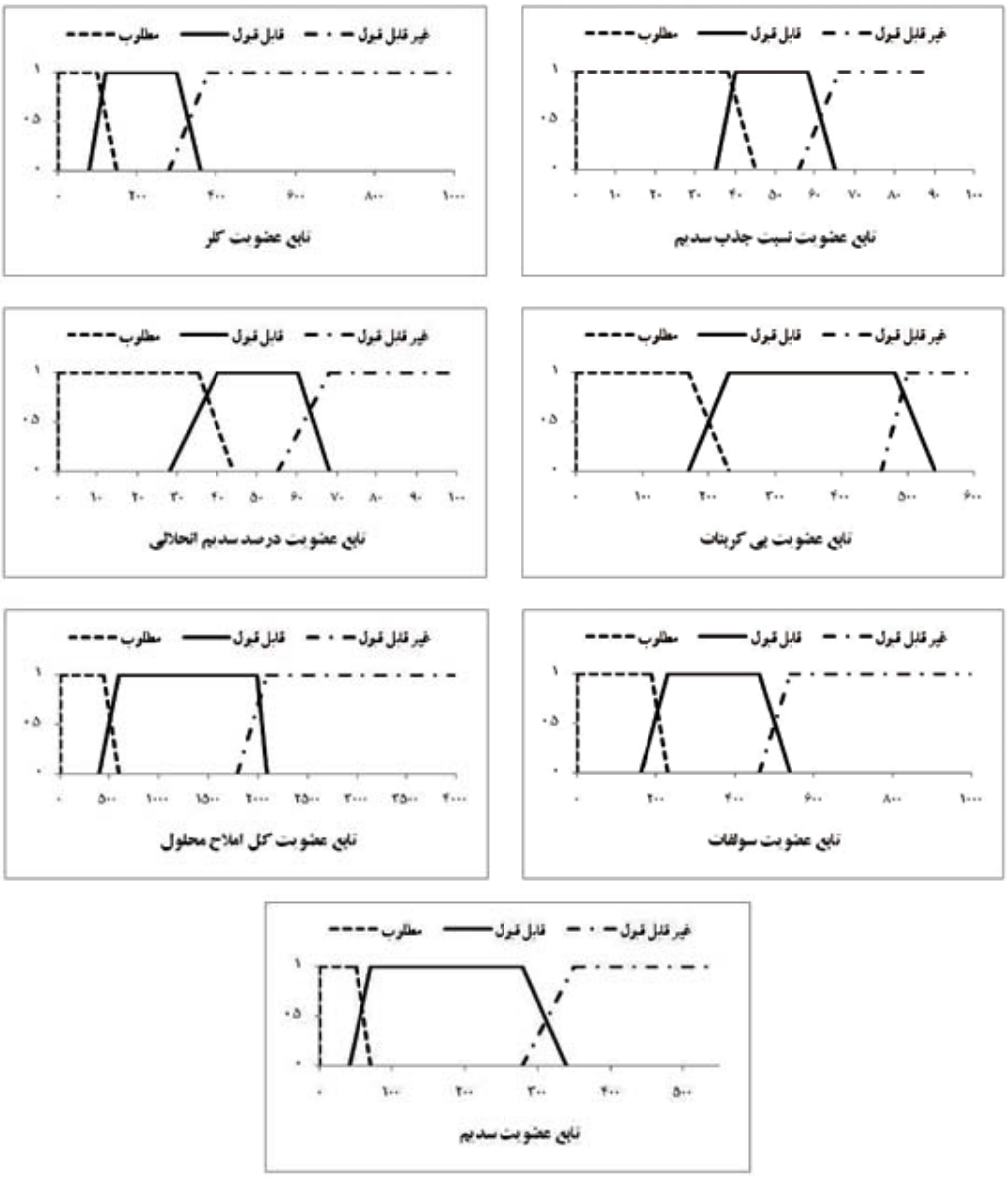
بحث

مدل‌های استنتاج فازی بسیار زیادی وجود دارد. مشهورترین آن‌ها در علوم مهندسی مدل فازی ممدانی است. این مدل به سبب مقبولیت عام و سادگی کاربرد، به دیگر مدل‌های موجود ترجیح داده می‌شود (Gokceoglu، 2002؛ Sonmez., et al 2004). اغلب از این مدل برای حل مسائل علوم زمین استفاده می‌شود. در این پژوهش، از عملگر استلزام ممدانی استفاده شده است.

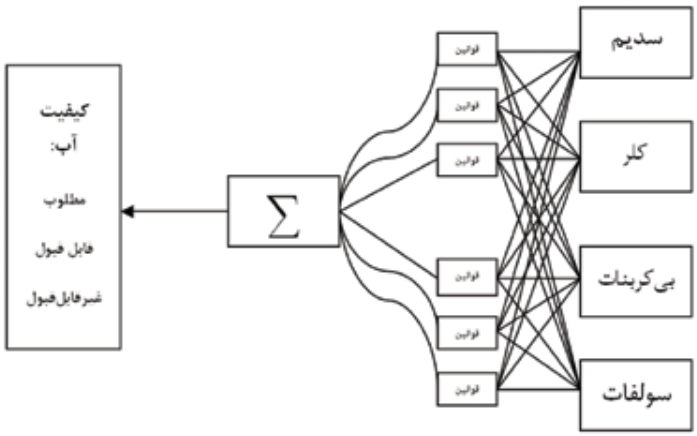
برای بررسی بهتر و مشخص‌شدن تاثیر هریک از پارامترهای ورودی، هفت پارامتر کیفی به سه گروه طبقه‌بندی شدند. در گروه اول چهار پارامتر کلراید (Cl)، بیکربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4^{2-}) و سدیم (Na^+) که از لحاظ تاثیر بر کیفیت آب آبیاری هم‌خوانی بهتری دارند، به‌صورت مدل درآمدند. در شکل ۶، نمودار قوانین فازی به کار رفته در گروه اول، نشان داده شده است.

در انتها برای ارزیابی نهایی کیفیت آب زیرزمینی، نتایج گروه اول، پارامترهای TDS، SSP، SAR، در مدل استنتاج فازی وارد شد. قانون برای ورودی‌های نتایج گروه اول، پارامترهای TDS، SSP، SAR، اعمال شدند. در شکل ۷ چگونگی ترکیب پارامترهای ورودی نشان داده شده است.

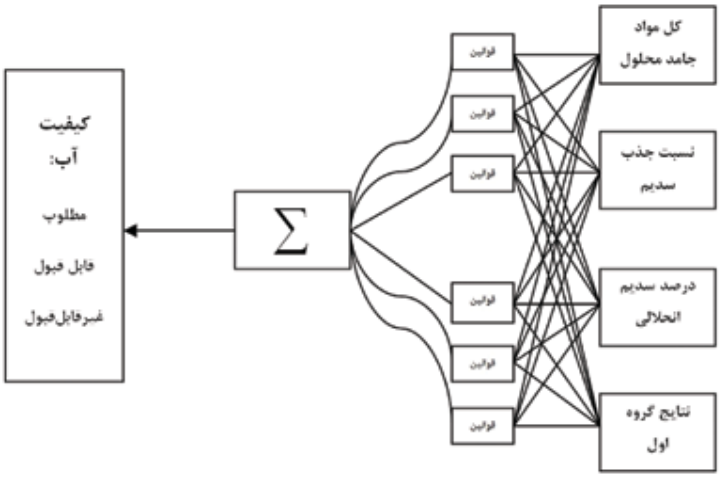
در مدل‌های استنتاج فازی، تعداد قوانین به تعداد



شکل ۵. توابع عضویت پارامترهای ورودی مدل استنتاج فازی



شکل ۶. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی کیفیت آب آبیاری گروه اول



شکل ۷. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی نهایی کیفی آب کشاورزی

پارامترهای ورودی و متغیرهای زبانی مورد استفاده بستگی دارد. در هریــک از دو گروه تشکیل‌شــده، به‌منظور ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت دوزدوزان، تعداد ۸۱ قانون به مدل وارد شــد که قوانین مورد استناد برای ارزیابی نهایی کیفیت آب کشاورزی دشت دوزدوزان به شرح جدول ۲ است.

جدول ۲. پایگاه قوانین مدل فازی کیفیت آب (D مطلوب، A قابل قبول، NA غیر قابل قبول، AO نتایج گروه اول، WQ کیفیت آب)

ردیف (قوانین)	TDS	SAR	SSP	AO	WQ	ردیف (قوانین)	TDS	SAR	SSP	AO	WQ
1	D	D	D	D	D	42	A	A	A	NA	NA
2	D	D	D	A	D	43	A	A	NA	D	NA
3	D	D	D	NA	NA	44	A	A	NA	A	NA
4	D	D	A	D	D	45	A	A	NA	NA	NA
5	D	D	A	A	A	46	A	NA	D	D	NA
6	D	D	A	NA	NA	47	A	NA	D	A	NA
7	D	D	NA	D	NA	48	A	NA	D	NA	NA
8	D	D	NA	A	NA	49	A	NA	A	D	NA
9	D	D	NA	NA	NA	50	A	NA	A	A	NA
10	D	A	D	D	D	51	A	NA	A	NA	NA
11	D	A	D	A	A	52	A	NA	NA	D	NA
12	D	A	D	NA	NA	43	A	NA	NA	A	NA
13	D	A	A	D	A	54	A	NA	NA	NA	NA
14	D	A	A	A	A	55	NA	D	D	D	NA
15	D	A	A	NA	NA	56	NA	D	D	A	NA
16	D	A	NA	D	NA	57	NA	D	D	NA	NA
17	D	A	NA	A	NA	58	NA	D	A	D	NA
18	D	A	NA	NA	NA	59	NA	D	A	A	NA
19	D	NA	D	D	NA	60	NA	D	A	NA	NA
20	D	NA	D	A	NA	61	NA	D	NA	D	NA
21	D	NA	D	NA	NA	62	NA	D	NA	A	NA
22	D	NA	A	D	NA	63	NA	D	NA	NA	NA
23	D	NA	A	A	NA	64	NA	A	D	D	NA
24	D	NA	A	NA	NA	65	NA	A	D	A	NA
25	D	NA	NA	D	NA	66	NA	A	D	NA	NA
26	D	NA	NA	A	NA	67	NA	A	A	D	NA
27	D	NA	NA	NA	NA	68	NA	A	A	A	NA
28	A	D	D	D	D	69	NA	A	A	NA	NA
29	A	D	D	A	D	70	NA	A	NA	D	NA
30	A	D	D	NA	NA	71	NA	A	NA	A	NA
31	A	D	A	D	D	72	NA	A	NA	NA	NA
32	A	D	A	A	A	73	NA	NA	D	D	NA
33	A	D	A	NA	NA	74	NA	NA	D	A	NA
34	A	D	NA	D	NA	75	NA	NA	D	NA	NA
35	A	D	NA	A	NA	76	NA	NA	A	D	NA
36	A	D	NA	NA	NA	77	NA	NA	A	A	NA
37	A	A	D	D	A	78	NA	NA	A	NA	NA
38	A	A	D	A	A	79	NA	NA	NA	D	NA
39	A	A	D	NA	NA	80	NA	NA	NA	A	NA
40	A	A	A	D	A	81	NA	NA	NA	NA	NA
41	A	A	A	A	A						

پس از فازی‌سازی ورودی‌های آب از نظر کشاورزی در بخش فرض، از عملگرهای فازی برای ترکیب پارامترهای ورودی و به دست آوردن یک مقدار به‌عنوان سطح اطمینان بخش فرض استفاده می‌شود. مقدار حاصل از این فرآیند به تابع خروجی اعمال می‌شود. از روش‌های مختلفی می‌توان برای تعریف عملیات AND و OR استفاده کرد. تجمیع قوانین به این دلیل انجام می‌شود که بتوان خروجی نسبی یا منطقی به دست آورد. در سیستم‌های عملگر (and/or)، قوانین با or و and به هم مرتبط می‌شوند (Ross، 1995). در این پژوهش، برای اجرای روش AND از کمینه (min) و برای اجرای روش OR از بیشینه (max) استفاده شده است.

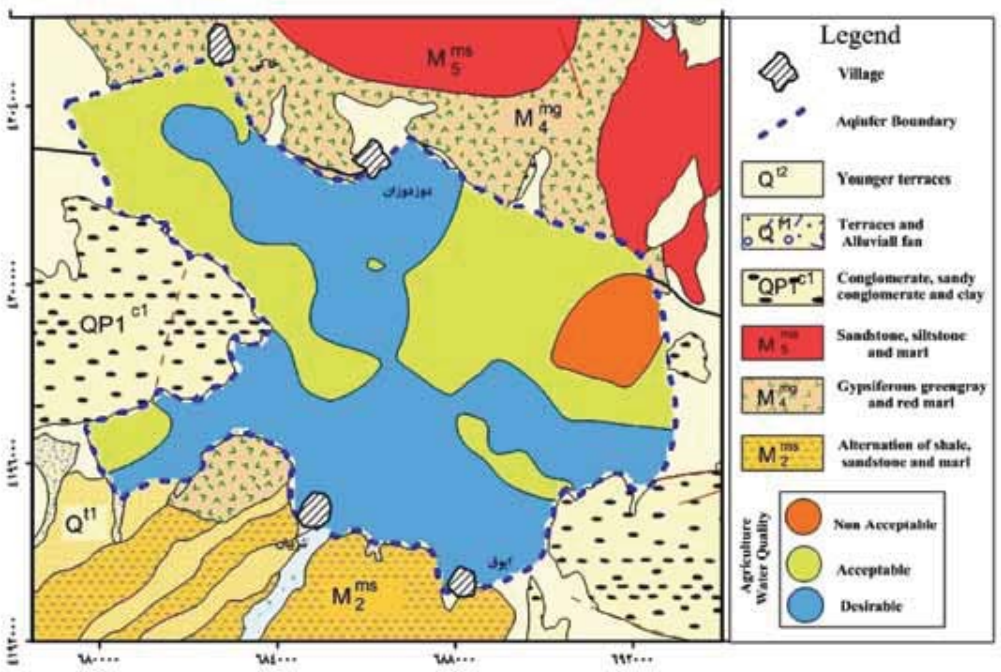
قبل از اعمال روش دلالت، باید وزن قانون را مشخص کرد. هر قانون دارای وزن مشخصی (بین صفر و یک) است. این مقدار بر مقادیر حاصل از قسمت فرض اعمال می‌شود. به طور عمومی مقدار وزن قوانین برابر یک در نظر گرفته می‌شود. در این مدل نیز وزن قوانین برابر یک در نظر گرفته شد. پس از تخصیص مقادیر مناسب به وزن هریک از قوانین، روش دلالت اجرا می‌شود (کیا، ۱۳۸۹). در پژوهش حاضر نیز از روش دلالت حداقل min و در تجمیع از روش بیشینه max استفاده شده است. فرآیند تبدیل خروجی فازی یک سیستم استنتاج فازی به مقدار عددی را غیر فازی‌سازی گویند. در مدل استنتاج فازی حاضر از غیر فازی‌ساز مرکز ثقل استفاده شده است.

تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی با وارد کردن مقادیر عددی و قطعی پارامترهای آب زیرزمینی در مدل فازی تهیه شده، مورد ارزیابی قرار گرفتند و کیفیت آب آبیاری و سطوح اطمینانِ تمامی نمونه‌ها مشخص شد. برتری روش فازی نسبت به روش قطعی با مقایسه داده‌های مرزی مشخص می‌شود. مقایسه این دو روش در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول، ۱۸ نمونه از تعداد کل چاه‌های مورد مطالعه برای مقایسه این دو روش مورد استفاده قرار گرفت. نمونه یک با سطح اطمینان ۱۳/۷ درصد از نظر کیفیت آب غیر قابل قبول است. در این نمونه به دلیل غیر قابل قبول بودن سدیم، کلر و کل مواد جامد محلول، در روش فازی در رده غیر قابل قبول طبقه‌بندی شد. تمامی پارامترهای نمونه هشت مطلوب بودند. در نمونه ۲۱ و ۲۳ به جز SAR که مطلوب است، سایر عوامل قابل قبول هستند؛ ولی روش استنتاج فازی نمونه ۲۱ را مطلوب و نمونه ۲۳ را قابل قبول پیشنهاد می‌کند. تفاوت سطح اطمینان در این دو نمونه نشان‌دهنده برتری روش ارزیابی فازی نسبت به روش قطعی در تعیین کیفیت آب در شرایط مرزی است.

در شکل ۸، نقشه پراکندگی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی آورده شده است؛ به‌طور کلی، کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی از نظر کشاورزی قابل قبول است. بر اساس نتایج، از میان ۵۰ نمونه مورد مطالعه، ۱۷ نمونه (۳۴ درصد نمونه‌ها) در رده مطلوب و با سطح اطمینان ۶۳/۶ درصد تا ۸۴ درصد و ۲۸ نمونه (۵۶ درصد نمونه‌ها) در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۴۸ درصد تا ۶۴/۵ درصد قرار گرفتند. پنج نمونه باقیمانده نیز در رده غیر قابل قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۱۳/۷ درصد قرار گرفتند.

جدول ۳. مقایسه روش قطعی و نتایج ارزیابی فازی آب زیرزمینی دشت دوزدوزان (سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰)

چاه	تصمیم‌گیری به روش فازی	سطح اطمینان	تصمیم‌گیری به روش قطعی		
			مطلوب	قابل قبول	غیرقابل قبول
1	غیر قابل قبول	۱۳/۷	SAR	HCO_3،SO_4،SSP	Na،Cl،TDS
4	غیر قابل قبول	۱۳/۵	SAR	Na،HCO3،SO_4،SSP	Cl،TDS
6	مطلوب	۷۱/۶	SAR	Na،Cl،TDS،SSP،SO4	HCO_3
8	مطلوب	۸۴	Na،Cl،HCO_3،TDS،SAR،SSP، SO_4	----	----
9	قابل قبول	۶۳/۸	Cl،SO_4،SAR	Na،HCO_3،TDS،SSP	----
11	مطلوب	۶۸/۳	HCO_3،SAR	Na،Cl،TDS،SSP،SO_4	----
12	قابل قبول	۵۷/۸	Cl،HCO_3،SAR	Na، SO_4،TDS،SSP	----
16	قابل قبول	۶۴/۵	Cl،SO_4،SAR	Na،HCO_3،TDS،SSP	----
21	مطلوب	۷۱/۶	SAR	Na،Cl،HCO_3،SO_4،TDS،SSP	----
23	قابل قبول	۱۵	SAR	Na،Cl،HCO_3،SO_4،TDS،SSP	----
25	قابل قبول	۶۳/۶	Na،HCO_3،TDS،SAR	Cl،SO_4،SSP	----
31	مطلوب	۶۹/۵	SO_4،SAR	Na،Cl،HCO_3،TDS،SSP	----
35	مطلوب	۷۲/۱	SAR	Na،Cl،HCO_3،SO4،TDS،SSP	----
39	قابل قبول	۵۵/۶	Cl،SAR	Na، HCO_3،SO_4،TDS،SSP	----
42	قابل قبول	۵۹/۸	HCO_3،Cl،SO_4،SAR	Na،TDS،SSP	----
45	قابل قبول	۵۴/۳	Cl،SO_4،SAR	Na، HCO_3،TDS،SSP	----
48	قابل قبول	۶۳/۱	SO_4،SAR	Na،Cl،HCO_3،TDS،SSP	----
50	قابل قبول	۶۴/۴	Cl،SO_4،SAR	Na، HCO_3،TDS،SSP	----



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب دشت دوزدوزان از نظر کشاورزی (سال آبی ۱۳۹۲ - ۱۳۹۱)

نتیجه‌گیری

مطالعــه حاضر با هدف معرفــی روش ارزیابی فازی در تعییــن کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ مصارف کشــاورزی انجام شد. در این روش عدم قطعیت همراه با نمونه‌برداری، آنالیز و پردازش در نظر گرفته می‌شــود. بر اســاس نتایج، ارزیابی کیفیت آب کشــاورزی بر اســاس روش‌های قطعی و تقســیم‌بندی کیفی آب به رده‌های مطلوب، قابل‌قبول و غیرقابل‌قبول براساس اســتانداردهای کیفیت آب چندان مناسب به‌نظر نمی‌رسد. با توجه به این‌که در ارزیابی فازی، برای هریــک از پارامترهای کیفی آب حــدود فازی تعیین می‌شــود، کیفیت آب زیرزمینی در قالب رده‌های مطلوب، قابل‌قبول و غیرقابل‌قبول طبقه‌بندی شد. سطح اطمینان هر نمونه نیز مشــخص شــد. نتایج نشان داد ۷۵ درصد از نمونه‌هــا در رده مطلوب، ۲۱ درصد در رده قابل قبول و ۴ درصد نیز در رده غیر قابل قبول قرار گرفتند.

منابع

- آذر، ع. و فرجــی، ح.، ۱۳۸۶. علــم مدیریت فازی، انتشارات موسسه کتاب مهربان نشر.
- ادراکی، ج.، اصغری مقدم، ا. و حسن پور، م.، ۱۳۸۹. شــبیه سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت دوزدوزان با استفاده از مدل ریاضی، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب.
- ســازمان زمین شناسی و اکتشــافات معدنی ایران، ۱۳۷۴ . نقشــه زمیــن شناســی ۱:۱۰۰۰۰۰ ترکمانچای ـ قره چمن، انتشــارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- حاج‌رســولی‌ها، ش.، ۱۳۶۴. کیفیــت آب بــرای کشاورزی، مرکز نشر دانشگاهی.
- طاهری، م.، ۱۳۷۸. آشــنایی با نظریه مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاددانشگاهی مشهد.
- علیزاده، ا.، ۱۳۶۴. کیفیت آب در آبیاری، انتشارات آستان قدس رضوی.
- کیــا، م.، ۱۳۸۹. منطــق فــازی در MATLAB، انتشارات کیان رایانه سبز.
- معروفــی، ا.، ترنجیان، ا. و زارع ابیانه، ح.، ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه آب‌های آب راهه‌ای همدان- بهار، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۶،۱۷۸-۱۶۹.
- مؤسســه اســتاندارد و تحقیقــات صنعتــی ایران، ۱۳۷۶. ویژگی‌های آب آشــامیدنی، استاندارد شماره ۱۰۵۳، چاپ‌های چهارم و پنجم، کمیســیون استاندارد ویژگی‌های آب آشامیدنی.
- هاشمی، ا.، موسوی، ف.، طاهری، م. و قره‌چاهی، ع.، ۱۳۸۹. ارزیابــی کیفیــت آب‌زیرزمینی۹ شــهر اســتان اصفهان برای مصارف شــرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی، فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، ۶، ۳۴-۲۵.

- Bardossy, A., Bronstert,A., and Merz, B., 1995. 1, 2 and 3dimensional modeling of water movement in the unsaturated soil matrix using a fuzzy approach. Advanced Water Resources, 18, 237-251.
- Chang, N.B., Chen, H.W., and Ning, S.K., 2001. Identification of river water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach. Journal of Environmental Management, 63, 293-305.
- Dahiya, S., B. Singh, S. Gaur, V.K Garg and H.S Kushwaha., 2007. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. Journal of Hazardous Material, 147, 938-946.
- FAO, Unesco, 1985. Irrigation, Drainage and salinity. An International Sourcebook, Paris, Unesco and Hutchinson and Co.
- Fisher, B., 2003. Fuzzy environmental decision-making: Application to air pollution. Atmosphere Environmental, 37, 1865-1877.
- Gholami, S. and Srikantaswamy, S., 2009. Analysis of agricultural impact on the Cauvery River water around krs dam, World Applied Sciences Journal, 6, 1157-1169.
- Gokceoglu, C., 2002. A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of the ankara agglomerates from their petrographic composition. Engineering Geology, 66, 39-51.
- Hakim, M. A. Juraimi, A. S. Begum, M.

Hasanuzzaman، M. Uddin، M. K. and Islam، M. M.، 2009. Suitability evaluation of groundwater for irrigation، drinking and industrial purposes،" American Journal of Environmental Sciences 5، 413-419.

- Li، Y.P.، Huang، G.H.، Huang، Y.F.، and Zhoue H.D.، 2009. A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting sustainable water-resources allocation and management. Environmental Modeling and Software، 24، 786-797.

- Liou، S.، and Lo،S.L.، 2004. A fuzzy index model for tropic status evolution of reservoir waters. Water Resources، 96، 35-52.

- McKone، T.E.، and Deshpande، A.W.، 2005. Can fuzzy logic bring complex environmental problems into focus?، Environmental Sciences and Technology، 39، 42-45.

- Ross، T. 1995. Fuzzy logic with engineering applications. New York: McGraw-Hill Inc.

- Sonmez، H.، Tuncay، E.، and Gokceoglu، C.، 2004. models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for agglomerate. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences، 41، 717-729.

- Todd، K، D.، 2005. Groundwater Hydrology، John Wiley and Sons، 636.

- Zadeh، L. A.، 1965. Fuzzy sets، Information and Control، 8، 338-353.