نشریه دانش آب و خاک / جلد۲۵ شماره ۱ صفحه‌های ۴۱ تا ۵۲/ سال ۱۳۹۴

Archive of SID

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استان تهران از نظر مصارف کشاورزی با استفاده از مدل استنتاج فازی

میثم ودیعتی[1*] و محمد نخعی [2]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۲۱

[1] – دانشجوی دکتری آبشناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی تهران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Mey_Vadiati@tabrizu.ac.ir

چکیده

مدیریت کیفیت آب از مسائل مهم جهانی به شمار می‌رود. در این تحقیق، کاربرد تئوری مجموعه فازی جهت ارزیابی کیفیت آب کشاورزی نشان داده شده است. ارزیابی فازی با استفاده از حدود تعیین شده توسط سازمان‌های مرتبط، سطح اطمینانی جهت قابلیت پذیرش آب برای مصارف کشاورزی ارائه می‌دهد. در این تحقیق به منظور ارزیابی کیفیت آب کشاورزی استان تهران به روش فازی، از ۷ پارامتر موثر بر کیفیت آب زیرزمینی شامل نسبت جذب سدیم، کل مواد جامد محلول، درصد سدیم انحلالی، کلرور، سولفات، سدیم، و بی‌کربنات استفاده شده است. بدین منظور از داده‌های کیفی ۱۷۸ چاه آب زیرزمینی در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ استفاده گردید. با استفاده از مدل کیفی فازی، کیفیت آب زیرزمینی به سه رده مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم شد. نتایج نشان می‌دهد ۱۳۴ نمونه در رده مطلوب و با سطح اطمینان ۳۶/۵٪ تا ۷۶/۳٪ و ۳۸ نمونه در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۲۳/۷٪ تا ۵۴/۵٪ قرار گرفتند. ۶ نمونه باقیمانده نیز در رده غیر قابل قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۲۸/۷٪ قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: استان تهران، استنتاج فازی، قوانین فازی، کیفیت آب زیرزمینی، مجموعه فازی، مصارف کشاورزی

www.SID.ir

Archive of SID

Groundwater Quality Evaluation of Tehran Province for Agricultural Uses by Fuzzy Inference Model

M Vadiati[*1] and M Nakhaei[2]

Received: 8 March 2014 Accepted: 11 May 2014
[1-] Ph.D. Student, Dept. of Geology., Faculty of Natural Sci., Univ. of Tabriz. Iran
[2-] Assoc. Prof., Dept. of Geology., Faculty of Earth Sci., Univ. of Kharazmi. Iran
[*]Corresponding Author, Email: Mey_Vadiati@tabrizu.ac.ir

Abstract

Water quality management is a global important issue. In this study, the application of the Fuzzy Set Theory to evaluate groundwater quality for agricultural purposes is shown. The Fuzzy Synthetic Evaluation Model gives the certainty levels for the acceptability of the agricultural water based on the prescribed limit of various regulatory bodies' quality classes. In this research, seven groundwater parameters including Sodium Absorption Ratio, Total Dissolved Solids, Sodium Solution Percent, Chloride, Sulphate, Sodium, and Bicarbonate, which are important for evaluation of groundwater quality for agricultural purposes, were used. Therefore, the qualitative data of groundwater from 178 wells in the period 2009-2010 in Tehran province, Iran, were used. Based on the Fuzzy Water Quality Model, the groundwater quality was classified in three categories; desirable, acceptable and unacceptable. Results showed only 134 out of 178 Samples were in the desirable class with certainty level of 36.5 to 76.3 percent. About 38 samples were classified in the acceptable category whose certainty level ranged from 23.7 to 54.5 percent and the remaining 6 samples were in the unacceptable category with the maximum certainty level of 28.7 percent.

Keywords: Agricultural usages, Fuzzy inference, Fuzzy rules, Fuzzy sets, Groundwater quality, Tehran Province

مقدمه

مدیریت بهینه منابع آبی و ارتقای کیفیت آن‌ها نیازمند وجود اطلاعات در زمینه موقعیت، مقدار و پراکندگی پارامترهای هیدروشیمیایی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب در حال حاضر چالشی بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور به خصوص در زمین‌های خشک می‌باشد. از نظر مدیریتی مهم‌ترین انگیزه جهت انجام مطالعات کیفیت آب، نیازهای کیفی آب و اثرات متقابل آن بر مصارف مختلف می‌باشد (معروفی و همکاران ۱۳۸۸).

آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان بعد از یخچال‌ها بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین کره خاکی را تشکیل می‌دهند. امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب توسعه

www.SID.ir

Archive of SID

زیادی پیدا کرده است. منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، از جمله مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در بخش کشاورزی و شرب محسوب می‌شوند (صداقت ۱۳۸۸).

رفتار سنجی و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، یکی از مشکلات مهندسان محیط زیست و هیدرولوژیست‌ها می‌باشد؛ چرا که در همه مراحل، از نمونه‌برداری تا بررسی و تحلیل نتایج، با انواع عدم قطعیت‌ها روبرو 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 ارائه کرده‌اند (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱۳۷۶). این استانداردها به دلیل عواملی چون تغییرات و نوسانات بارش و مقدار برداشت در فصول مختلف سال، دارای محدودیت‌هایی هستند. بنابراین استانداردهای تعیین شده توسط سازمان‌های مرتبط نیز از قطعیت لازم برخوردار نیستند.

با عبور آب از لایه‌های مختلف خاک و سازندهای موجود در مسیر حرکت آب از بالادست به پایین‌دست و فاصله گرفتن از منطقه تغذیه و نزدیک شدن به محل تخلیه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (تاد ۲۰۰۷). کانی‌های سازنده ساختمان خاک که در مسیر حرکت آب زیرزمینی قرار دارند، در آب‌های زیرزمینی انحلال می‌یابند و باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند. با توجه به تأثیر املاح محلول در آب بر ساختمان خاک و عدم قطعیت همراه با اندازه‌گیری در مراحل نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها، استفاده از روش‌های مرسوم در ارزیابی کیفیت آب مناسب به نظر نمی‌رسند.

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کاربرد استنتاج فازی در ارزیابی کیفیت آب صورت پذیرفته است. برای مثال، هاشمی و همکاران (۱۳۸۹) سیستم استنتاج فازی را برای بررسی کیفیت شیمیایی آب شرب بکار بردند. آن‌ها از ۹ پارامتر برای ارزیابی کیفیت آب شرب ۲۹ چاه تأمین آب شرب ۹ شهر مختلف استان اصفهان استفاده کردند. در این تحقیق ۹ پارامتر مهم آب زیرزمینی را به ۳ گروه تقسیم کردند و نتایج گروه اول و دوم را در گروه سوم جای دادند. بدین ترتیب که خروجی گروه‌های اول و دوم، ورودی‌های گروه سوم را تشکیل می‌دادند. در نهایت مدل فازی کیفی آب شرب که دربرگیرنده تمامی پارامترهای مورد مطالعه بودند، را تهیه نموده و نتایج روش قطعی و فازی را در ارزیابی کیفیت آب شرب مقایسه نمودند. نتایج این پژوهش، برتری روش فازی را در ارزیابی کیفیت آب شرب در مرزهای متغیرهای زبانی[1] نشان داد. داهیا و همکاران (۲۰۰۷)، از روش استنتاج فازی جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب ۳۶ نمونه از ۲ روستا در کشور هند استفاده کردند. در این پژوهش ۱۰ پارامتر تأثیرگذار بر کیفیت آب مورد ارزیابی فازی قرار گرفت. با توجه به این که محاسبات فازی جهت ارزیابی کیفیت آب شرب برای ۱۰ پارامتر بسیار مشکل می‌باشد، پارامترهای ورودی به ۳ گروه تقسیم شده و در هر یک از گروه‌ها ۴ پارامتر به عنوان ورودی به مدل وارد شدند. خروجی گروه اول و دوم همراه با پارامترهای نیترات و فلوراید استفاده گردیدند تا کیفیت نهایی آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش، سطوح اطمینان مربوط به هر یک از نمونه‌ها تعیین شد و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. برتری این روش نسبت به روش‌های تعیین شاخص کیفی آب[2] (*WQI*) در ارزیابی نمونه‌هایی با پارامترهای فیزیکوشیمیایی مشابه، مشخص گردید. در این تحقیق از مدل استنتاج فازی استفاده شده است تا بتوان با در نظر گرفتن عدم قطعیت همراه با مراحل مختلف نمونه‌گیری، آنالیز و تفسیر، تصمیم‌گیری مناسب‌تری در زمینه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی داشت.

1 Linguistic term
2. Water quality index

www.SID.ir

Archive of SID

منطق فازی 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، به جای فرمول‌های ریاضی از متغیرهای زبانی استفاده می‌کنند. اگرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیر دقیق و نامشخص را توصیف می‌کند، با این حال تئوری فازی تئوری دقیقی می‌باشد. 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 در بازه بین صفر تا ۱ است.

$$\mu A: X \rightarrow [0, 1 \qquad [۱]$$

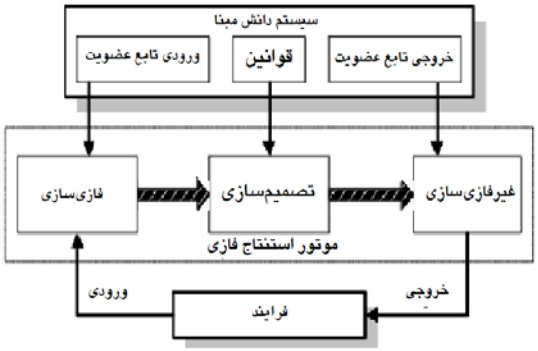
مجموعه A بر حسب تابع عضویت عبارت است از:

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

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 (به عنوان مثال: اسیدیته، کل مواد جامد محلول، سختی، ...) و مشخصه زبانی (مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول) می‌باشد متغیر زبانی، متغیری است که مقادیرش کلمات یا 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 و پیر نشان دهیم متغیر سن متغیر زبانی است (آذر ۱۳۸۶).

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 به دنبال آن منطق فازی به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در منابع آب گردیده است (باردوسی و همکاران ۱۹۹۵، لی و همکاران ۲۰۰۹). این روش‌ها بر اساس نظریه مجموعه فازی و با استفاده از مسائل واقعی محیطی به‌کار می‌روند، تا از عدم قطعیت در محیط‌های نادقیق به عنوان ابزاری جهت تصمیم‌گیری استفاده کنند (چانگ و همکاران ۲۰۰۱، مککون و دسپانده ۲۰۰۵). با طراحی مدل فازی مناسب، می‌توان عدم قطعیت همراه با مراحل نمونه‌برداری، اندازه‌گیری، تفسیر کیفیت آب را مرتفع نمود (لیو و لو ۲۰۰۴). روش‌ها و معیارهای مختلفی در منابع مختلف برای ارزیابی کیفیت آب به روش فازی ارائه شده است. در این پژوهش سعی شده مدل استنتاج فازی به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی تهیه گردد.

مراحل تصمیم‌گیری در محیط فازی عبارتند از فازی سازی مقادیر، تصمیم‌گیری فازی بر اساس عملگرهای فازی و غیر فازی سازی. شکل ۱ ساختار اصلی سیستم‌های فازی و مراحل مختلف طراحی مدل استنتاج فازی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- ساختار اصلی سیستم‌های استنتاج فازی (کیا ۱۳۸۹).

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

استنتاج فازی فرآیندی است که طی آن نگاشت از ورودی‌ها به خروجی‌ها با استفاده از منطق فازی ضابطه‌مند می‌گردد. فرآیند استنتاج فازی شامل همه بخش‌های تابع عضویت، عملگرهای فازی و قوانین "اگر آن‌گاه" می‌باشد. 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). برای مثال "اگر x بالا باشد آن‌گاه y پایین است" در این قانون عبارات بالا و پایین را می‌توان با توابع عضویت بیان نمود (جانگ و همکاران ۱۹۹۷). تصمیم سازی سیستم استنتاج فازی، بر اساس قوانین اعمال شده توسط کارشناس خبره صورت می‌گیرد. قوانین از دو بخش "اگر آنگاه" تشکیل شده‌اند. مدل‌های کیفی آب زیرزمینی در هردو بخش "اگر" و "آنگاه" دارای عدم قطعیت می‌باشند (فیشر ۲۰۰۳).

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 (گوکسوگلو ۲۰۰۳، سونمز و همکاران ۲۰۰۴). اغلب از این مدل جهت حل مسائل مربوط به علوم زمین استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز از عملگر استلزام ممدانی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استان تهران از نظر کشاورزی استفاده شده است.

رهنمودهای مختلفی به جهت ارزیابی کیفیت آب برای مصرف کشاورزی وجود دارد؛ اما به دلیل گستردگی تغییر پذیری در شرایط صحرایی، به طور کامل رضایت بخش نمی‌باشند. رهنمودهای سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی در این مورد کاربرد بیشتری نسبت به سایر استانداردهای تدوین شده دارد. این رهنمودها با در نظر داشتن تأثیر طولانی مدت کیفیت آب بر تولید محصول، شرایط خاک و مدیریت کاشت ارائه شده است (بی‌نام ۱۹۸۵). از استانداردهای موجود جهت تعیین مرزهای ورودی و مشخصه‌های زبانی توابع عضویت استفاده گردید. یکی از پرکاربردترین توابع عضویت مورد استفاده در مدل‌های استنتاج فازی ممدانی، تابع عضویت ذوزنقه‌ای است (گریما، ۲۰۰۰). توابع عضویت نیز بر اساس نظر کارشناس خبره برای پارامترهای مورد استفاده به صورت ذوزنقه‌ای[1] و با استفاده از حدود تعیین شده و استانداردهای مورد استفاده جدول ۱ تعیین گردید.

منطقه مورد مطالعه آبخوان‌های استان تهران شامل آبخوان‌های تهران-کرج، ورامین، هومند-آبسرد، فیروزکوه و دماوند بودند. بدین منظور داده‌های نمونه‌برداری کیفی آب زیرزمینی استان تهران در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ تهیه گردید. پارامترهای کیفی آب شامل نسبت جذب سدیم (SAR)، کل مواد جامد محلول (TDS)، درصد سدیم انحلالی(SSP)، کلرور (Cl^-)، سولفات ($SO42^-$)، سدیم (Na^+)، و بی‌کربنات (HCO_3^-) به روش استاندارد آنالیز شده‌اند. با توجه به تغییرات مکانی کیفیت آب و تراکم چاه‌های بهره‌برداری، تعداد ۱۷۸ چاه نمونه که بیانگر ویژگی‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بودند، انتخاب شدند.

نتایج و بحث

در ارزیابی کیفی آب جهت مصارف کشاورزی تاکید بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب است و به ندرت عوامل دیگر (خصوصیات بیولوژیکی) در نظر گرفته می‌شوند. پارامترهای مورد ارزیابی به عنوان ورودی مدل، تأثیرات متفاوتی بر کیفیت محصولات کشاورزی می‌گذارند. برای مثال، از نظر آبیاری هرچه مقدار کلسیم محلول آب بیشتر باشد، آب جهت آبیاری مطلوب‌تر خواهد بود. آبیاری زمین‌های کشاورزی با آب‌های دارای سدیم بالا، معمولاً باعث افزایش مقدار سدیم خاک پس از آبیاری‌های مکرر خواهد شد.

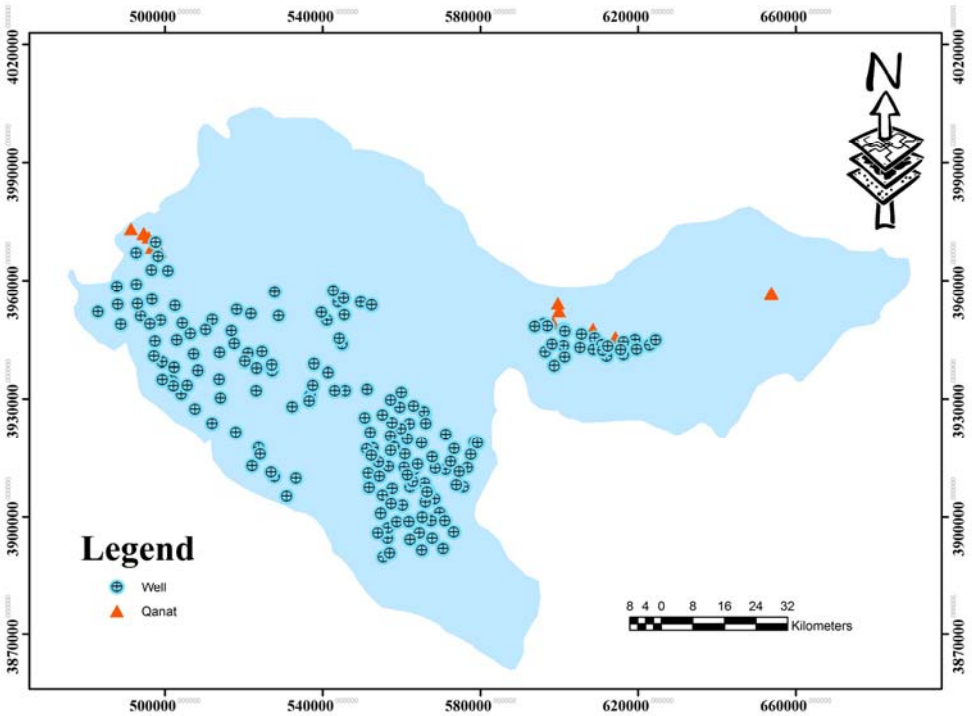
1 Trapezoidal

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- آنالیز آماری توصیفی و حدود تعیین شده پارامترهای ورودی بر اساس استاندارد.

پارامتر	کمینه	بیشنه	میانه	میانگین	انحراف معیار	مطلوب	حداکثر قابل قبول
سدیم (mg/L)	۲/۹	۵۴۴	۶۱	۱۰۳	۱۰۷	۵۰	۳۰۰
کلرور (mg/L)	۱/۷	۹۹۲	۷۸	۱۲۸	۱۵۷	۱۰۰	۳۰۰
بی‌کربنات (mg/L)	۱۰۹	۵۸۲	۲۲۹	۲۶۴	۱۰۳	۲۰۰	۵۰۰
سولفات (mg/L)	۲۵	۱۰۲۵	۳۶۸	۳۱۵	۲۲۴	۲۰۰	۵۰۰
کل مواد جامد محلول (mg/L)	۸۰	۳۸۶۸	۵۲۴	۷۳۱	۶۲۰	۵۰۰	۲۰۰۰
نسبت جذب سدیم (-)	۵/۱	۸۶	۷	۱۳	۵/۱۱	۴۰	۶۰
درصد سدیم انحلالی (٪)	۱۰	۷/۹۲	۴۰	۵/۴۰	۳/۱۶	۳۰	۶۰



شکل ۲- نقشه پراکندگی منابع آبی مورد مطالعه استان تهران (سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸).

سوختگی برگ و ایجاد بافت‌های مرده در حاشیه برگ از آثار بارز سمی شدگی به شمار می‌رود (علیزاده ۱۳۶۴). بی‌کربنات نیز به عنوان یکی از پارامترهای موثر در ارزیابی کیفیت آب کشاورزی آورده شده است. هنگام آبیاری با آب‌های بی‌کربناته روی برگ میوه‌ها لکه‌های سفید رنگی تشکیل می‌شود که در آبیاری‌های بعدی از بین نمی‌رود. بیشتر گیاهان درختی در برابر غلظت‌های کم کلرور حساس بوده و در برابر غلظت‌های بالای کلرور نیز صدمه می‌بینند. کلرور در اثر جذب سطحی وارد خاک نشده بلکه همراه آب در خلال خاک حرکت می‌کند (حاج رسولی‌ها ۱۳۶۴). مقادیر زیاد سدیم در آب زیرزمینی می‌تواند موجب بروز مشکلاتی در رابطه با نفوذ پذیری خاک شود. معمول‌ترین روش ارزیابی پتانسیل سدیم در کاهش نفوذپذیری خاک محاسبه نسبت جذب سدیم است (غلامی و سریکانتاسوامی ۲۰۰۹). سولفات نیز در آب‌های زیرزمینی به مقدار قابل توجهی وجود دارد. سولفات‌های سدیم، منیزیم و پتاسیم به آسانی در آب حل می‌شوند؛ اما سولفات کلسیم قابلیت انحلال محدودی دارند. درصد انحلال سدیم، نسبت مقدار سدیم

www.SID.ir

Archive of SID

و پتاسیم آب به کل کاتیون‌ها و بر حسب درصد است. از آنجایی که 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 به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در ارزیابی کیفیت آب از نظر کشاورزی دانست. تابع عضویت هر یک از پارامترهای ورودی، دارای معادله‌ای خاص در محدوده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول هستند. برای مثال معادله ۳ برای توابع عضویت مطلوب، معادله ۴ برای تابع عضویت قابل قبول و معادله ۵ برای تابع عضویت پارامتر SAR می‌باشد.

$$\mu(x)SAR\begin{cases}0 & if\ x\le 0\\ 1 & if\ x\in(0\ 35)\\ \dfrac{45-x}{45-35} & if\ x\in(35\ 45)\\ 0 & if\ x>45\end{cases} \qquad [۳]$$

$$\mu(x)SAR\begin{cases}0 & if\ x\le 35\\ \dfrac{x-35}{42-35} & if\ x\in(35\ 42)\\ 1 & if\ x\in(42\ 58)\\ \dfrac{65-x}{65-58} & if\ x\in(58\ 65)\\ 0 & if\ x>65\end{cases} \qquad [۴]$$

$$\mu(x)SAR\begin{cases}0 & if\ x\le 55\\ \dfrac{x-55}{65-55} & if\ x\in(55\ 65)\\ 1 & if\ x\in(65\ 90)\\ 0 & if\ x>90\end{cases} \qquad [۵]$$

با مشخص کردن ورودی‌های اعداد قطعی در محدوده از قبل تعیین شده (تمام غلظت‌های ممکن پارامتر کیفی آب) هر یک از مجموعه‌های فازی تابع عضویتی بین ۰ و ۱ می‌گیرند. پارامترهای کیفی *مورد مطالعه* به سه مشخصه زبانی مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول با استفاده از توابع عضویت ذورنقه‌ای و مثلثی ترسیم شده‌اند. در شکل ۳ توابع عضویت پارامترهای ورودی مدل استنتاج فازی برای تمامی ۷ پارامتر مدل استنتاج فازی آورده شده است.

جهت بررسی بهتر و مشخص شدن تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی، ۷ پارامتر کیفی به سه گروه طبقه‌بندی شدند. در گروه اول ۴ پارامتر Cl، HCO_3^-، SO_4^{2-} و Na^+ که به لحاظ تأثیر بر کیفیت آب همخوانی بهتری دارند، به صورت مدل درآمدند. در انتها جهت ارزیابی نهایی کیفیت آب زیرزمینی، نتایج گروه اول، پارامترهای SAR، SSP، TDS، در مدل استنتاج فازی وارد گردید. قوانین فازی برای ورودی‌های نتایج گروه اول، پارامترهای SAR، SSP، TDS، اعمال شدند.

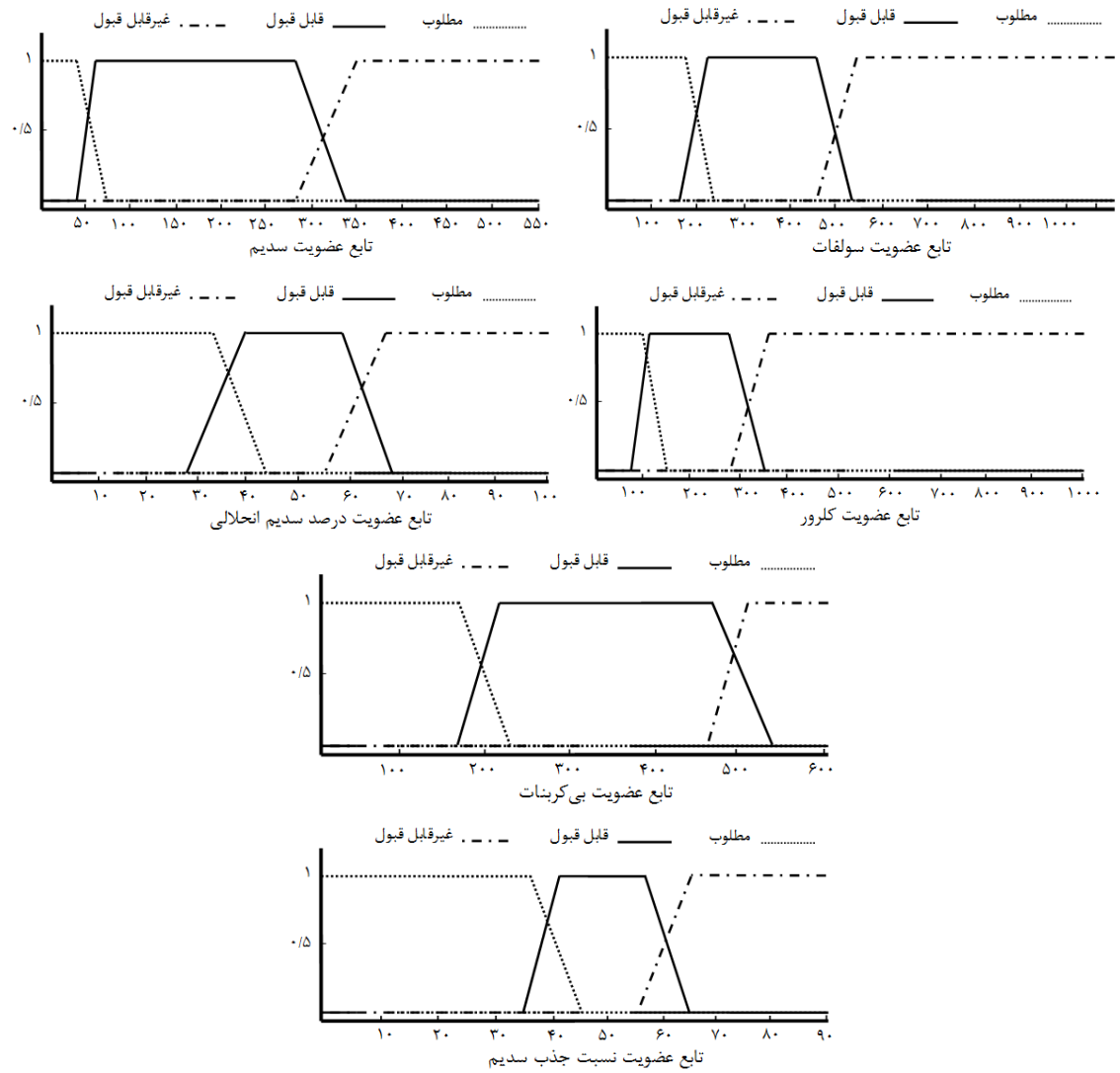
در مدل‌های استنتاج فازی، تعداد قوانین به تعداد پارامترهای ورودی و متغیرهای زبانی مورد استفاده بستگی دارد. در هر یک از دو گروه تشکیل شده به منظور ارزیابی کیفی آب زیرزمینی استان تهران، تعداد ۸۱ قانون به مدل وارد شد. برای هر یک از این دو گروه به صورت نمونه ۲ نمونه از قوانین مورد استفاده، که براساس نظر کارشناس خبره و اهمیت آن‌ها در ارزیابی کیفیت آب شرب تعیین شده بودند؛ آورده شده است. قوانین مورد استفاده گروه اول بدین صورت می‌باشند:

اگر سدیم مطلوب، کلرور قابل قبول، بی‌کربنات مطلوب و سولفات قابل قبول باشد، آن‌گاه کیفیت آب زیرزمینی مطلوب است.

اگر سدیم غیر قابل قبول، کلرور غیر قابل قبول، بی‌کربنات مطلوب و سولفات قابل قبول باشد، آن‌گاه کیفیت آب زیرزمینی غیر قابل قبول است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- توابع عضویت پارامترهای ورودی مدل استنتاج فازی.

تعداد ۸۱ قانون نیز جهت ارزیابی نهایی کیفیت آب کشاورزی استفاده شد که در ادامه تعدادی از قوانین استفاده شده به اختصار ارائه شده‌اند:

اگر کل مواد جامد محلول مطلوب، نسبت جذب سدیم قابل قبول، درصد سدیم انحلالی مطلوب و نتایج گروه اول قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت نهایی آب زیرزمینی مطلوب است.

اگر کل مواد جامد محلول غیرقابل قبول، نسبت جذب سدیم قابل قبول، درصد سدیم انحلالی مطلوب و نتایج گروه اول قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی قابل قبول است.

پس از فازی سازی ورودی‌های آب از نظر کشاورزی در قسمت فرض، از عملگرهای فازی برای ترکیب پارامترهای ورودی و بدست آوردن یک مقدار به عنوان سطح اطمینان قسمت فرض استفاده می‌شود. از روش‌های مختلفی می‌توان برای تعریف عملیات AND و OR استفاده نمود. تجمیع قوانین به این دلیل انجام می‌شود که بتوان خروجی نسبی یا منطقی بدست آورد. در سیستم‌های عملگر (and/or) قوانین با or و and به هم مرتبط می‌شوند (روز ۱۹۹۵). در این پژوهش برای پیاده سازی روش AND از مینیمم (min) و برای پیاده سازی روش OR از ماکزیمم (max) استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

قبل از اعمال روش دلالت[1] ، باید وزن قانون را مشخص نمود. 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 ۱ در نظر گرفته می‌شود. در این مدل نیز وزن قوانین برابر ۱ در نظر گرفته شد. پس از تخصیص مقادیر مناسب به وزن هر یک از قوانین، روش دلالت پیاده سازی می‌شود (کیا ۱۳۸۹). در مدل استنتاج فازی آب زیرزمینی استان تهران جهت مصارف کشاورزی از روش دلالت حداقل min استفاده شده است.

با توجه به این که در سیستم‌های استنتاج فازی تصمیم‌ها بر اساس ارزیابی تمامی قوانین اتخاذ می‌شوند، قوانین مورد استفاده در مدل باید با هم ترکیب شوند. این فرآیند در مدل استنتاج فازی تجمیع نامیده می‌شود. در نهایت از میان سه روش بیشینه (max)، OR احتمالی (probor) و محاسبه مجموع (*sum*) از روش بیشینه max استفاده شد. فرآیند تبدیل خروجی فازی یک سیستم استنتاج فازی به مقدار عددی را غیر فازی سازی گویند. ورودی فرآیند غیر فازی سازی، یک مجموعه فازی است (حاصل عملیات تجمیع) و خروجی آن، مقدار عددی است. به طور کلی ۵ روش در راستای غیر فازی کردن مجموعه‌های فازی وجود دارد؛ این روش‌ها شامل مرکز جرم، نیمساز، میانه بیشینه (میانگین مقادیر بیشینه از مجموعه خروجی)، بزرگ‌ترین بیشینه و کوچک‌ترین بیشینه می‌باشد. در مدل استنتاج فازی حال حاضر از غیر فازی ساز مرکز ثقل استفاده شده است.

تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی با وارد کردن مقادیر عددی و قطعی پارامترهای آب زیرزمینی در مدل تهیه شده، مورد ارزیابی قرار گرفتند و کیفیت آب آبیاری و سطوح اطمینانِ تمامی نمونه‌ها مشخص گردید. برتری روش فازیِ نسبت به روش قطعی با مقایسه داده‌های مرزی مشخص می‌شود. مقایسه این دو تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی با وارد کردن مقادیر عددی و قطعی پارامترهای آب زیرزمینی در مدل تهیه شده، مورد ارزیابی قرار گرفتند و کیفیت آب آبیاری و سطوح اطمینانِ تمامی نمونه‌ها مشخص گردید. برتری روش فازی نسبت به روش قطعی با مقایسه داده‌های مرزی مشخص می‌شود. مقایسه این دو روش در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول به صورت نمونه ۱۲ حلقه چاه از میان کل چاه‌های مورد مطالعه جهت مقایسه این دو روش آورده شده است. نمونه ۱۰ با سطح اطمینان ۶۴/۷٪ و نمونه ۱۴۳ با سطح اطمینان ۳/۷۶٪ از نظر کیفیت آب مطلوب بودند. تمامی پارامترهای نمونه ۱۴۳ مطلوب بودند. در نمونه ۱۰ نیز به جز سولفات که در رده غیرقابل قبول قرار گرفت، تمامی پارامترها مطلوب بودند. به همین دلیل سطح اطمینان نمونه ۱۴۳ بیش از نمونه ۱۰ است. نمونه ۸۶ با سطح اطمینان ۶۴/۵٪ به دلیل قرار گرفتن ۳ پارامتر سدیم، کل مواد جامد محلول و درصد سدیم انحلالی به روش قطعی در رده قابل قبول قرار گرفت و به همین دلیل در روش فازی نیز در رده قابل قبول طبقه‌بندی شد. نمونه‌های ۱۱۷ و ۱۱۹ بر اساس تصمیم‌گیری فازی در رده غیر قابل قبول قرار گرفته‌اند. سطح اطمینان نمونه ۱۱۷ برابر ۲۸/۷٪ می‌باشد، که بیشتر از سطح اطمینان نمونه ۱۱۹ است؛ به این دلیل که تعداد پارامترهای غیرقابل قبول در نمونه ۱۱۹ بیشتر از نمونه ۱۱۷ است. نمونه‌های ۹۹ و ۱۴۳ در تصمیم‌گیری به روش فازی در رده مطلوب قرار گرفته‌اند. تمامی پارامترهای مورد مطالعه در روش قطعی نیز در رده مطلوب قرار گرفته‌اند. تفاوت سطح اطمینان در این دو نمونه نشان دهنده برتری روش ارزیابی فازی به روش قطعی در تعیین کیفیت آب در شرایط مرزی است.

شکل ۴ نقشه پراکندگی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی آورده شده است. به طور کل، کیفیت آب زیرزمینی استان تهران از نظر کشاورزی مطلوب می‌باشد. در قسمت‌های شرقی آبخوان تهران- کرج شامل شهرستان‌های اسلامشهر، شهریار، ری، کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی قابل قبول است.

[1] Implication

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقایسه روش قطعی و نتایج ارزیابی فازی آب زیرزمینی استان تهران (سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸).

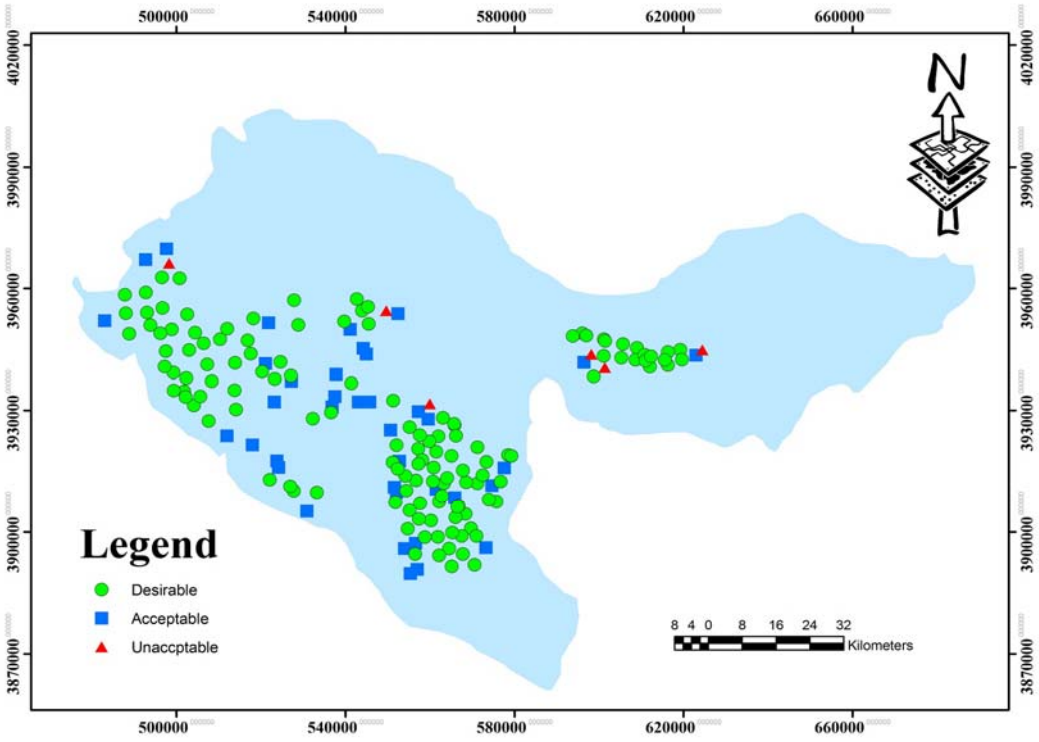
شماره چاه	تصمیم‌گیری به روش فازی	سطح اطمینان (٪)	پارامترهای تصمیم‌گیری به روش قطعی		
			مطلوب	قابل قبول	غیرقابل قبول
۱۰	مطلوب	۶۴/۷	Na, Cl, HCO_3, TDS, SAR, SSP	----	SO_4
۸۶	قابل قبول	۶۴/۵	HCO_3, SAR	Na, TDS, SSP	Cl, SO_4
۹۹	مطلوب	۷۴/۲	Na,Cl,HCO_3,TDS,SAR,SSP,SO_4	----	----
۱۰۱	غیر قابل قبول	۸/۳۲	Cl, SO_4, TDS, SAR	Na, HCO_3	SSP
۱۱۷	غیر قابل قبول	۲۸/۷	Cl, SO_4, TDS, SAR	Na, HCO_3	SSP
۱۱۹	غیر قابل قبول	۱۸/۱	---	Cl, HCO_3, SO_4, TDS	Na, SAR, SSP
۱۳۰	قابل قبول	۵۳/۱	SAR	HCO_3, TDS, SSP	Na, Cl, SO_4
۱۳۴	مطلوب	۴۳/۸	SAR	Na,Cl,HCO_3,SO_4,TDS,SSP	----
۱۴۳	مطلوب	۷۶/۳	Na,Cl,HCO_3,TDS,SAR,SSP,SO_4	----	----
۱۵۵	غیر قابل قبول	۱۷/۹	Cl, SO_4, SAR	Na, HCO_3, TDS	SSP
۱۷۴	غیر قابل قبول	۲۴	Cl, SO_4, TDS, SAR	Na, HCO_3	SSP
۱۷۸	مطلوب	۷۶/۳	Na, Cl, HCO_3, TDS, SAR, SSP	----	SO_4

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر با هدف معرفی روش ارزیابی فازی در تعیین کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ مصارف کشاورزی انجام شد. در این روش عدم قطعیت همراه با نمونه‌برداری، آنالیز و پردازش در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت ارزیابی کیفیت آب کشاورزی بر اساس روش‌های قطعی و تقسیم‌بندی کیفی آب به رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول بر اساس استانداردهای کیفیت آب چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. با توجه به این که در ارزیابی فازی، برای هر یک از پارامترهای کیفی آب حدود فازی تعیین می‌شود، کیفیت آب زیرزمینی در قالب رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول طبقه‌بندی گردید. سطح اطمینان مربوط به هر نمونه نیز مشخص شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد از میان ۱۷۸ نمونه مورد مطالعه ۱۳۴ نمونه در رده مطلوب و با سطح اطمینان ۳۶/۵٪ تا ۷۶/۳٪ و ۳۸ نمونه در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۲۳/۷٪ تا ۵۴/۵٪ قرار گرفتند. ۶ نمونه باقیمانده نیز در رده غیر قابل قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۲۸/۷٪ قرار گرفتند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- نقشه کیفیت آب استان تهران از نظر کشاورزی (سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹).

منابع مورد استفاده

آذر ع، و ح فرجی، ۱۳۸۶. علم مدیریت فازی. انتشارات موسسه کتاب مهربان نشر. تهران.

حاج‌رسولی‌ها ش، ۱۳۶۴. کیفیت آب برای کشاورزی. مرکز نشر دانشگاهی. تهران.

صداقت م، ۱۳۸۵. زمین و منابع آب. انتشارات دانشگاه پیام نور. تهران.

طاهری م، ۱۳۷۸. آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

علیزاده ا، ۱۳۶۴. کیفیت آب در آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.

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

معروفی ا، ترنجیان ا و زارع ابیانه ح، ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه آب‌های آبراهه‌ای همدان- بهار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شماره ۱۶۱. صفحه‌های ۱۷۸ تا ۱۶۹.

بی‌نام، ۱۳۷۶. ویژگی‌های آب آشامیدنی استاندارد شماره ۱۰۵۳. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران.

هاشمی ا، موسوی ف، طاهری م و قره‌چاهی ع، ۱۳۸۹. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ۹ شهر استان اصفهان برای مصارف شرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی. فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، جلد سوم، شماره ۶. صفحه‌های ۳۴ تا ۲۵.

Anonymous, 1985. Irrigation Drainage and Salinity. An International Sourcebook Paris Unesco and Hutchinson and Co. FAO, Paris.

www.SID.ir

Archive of SID

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 NB, Chen HW and Ning SK, 2001. Identification of river water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach. Journal of Environmental Management 63: 293-305.

Dahiya SB, Singh S, Garg KG and Kushwaha HS, 2007. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. Journal of Hazardous Material 147: 938-946.

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.

Grima, MA, 2000. Neuro-fuzzy modelling in engineering geology. Rotterdam: A.A. Balkema.

Iphar M and Goktan RM, 2006. An application of fuzzy sets to the diggability index rating method for surface mine equipment selection. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 43: 253–266.

Jang R, Sun JS and Mizutani E, 1997 .Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Upper Saddle River Prentice-Hall.

Li YP, Huang GH, Huang YF and Zhoue HD, 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 SL Lo, 2004. A fuzzy index model for tropic status evolution of reservoir waters. Water Resources. 96: 35-52.

McKone E and Deshpande AW, 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, McGraw-Hill Inc, Chichester.

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 KD, 2005. Groundwater Hydrology. John Wiley and Sons, New York.

www.SID.ir