تجزیه و تحلیل فازی آب زیرزمینی استان تهران به لحاظ شرب

محمد نخعی[۱و*] و میثم ودیعتی[۲]

۱. دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی تهران

۲. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۳

چکیده

مدیریت کیفیت آب از مسائل مهم جهانی به شمار می‌رود. در این تحقیق، کاربرد تئوری مجموعه فازی جهت ارزیابی کیفیت آب شرب نشان داده شده است. ارزیابی فازی با استفاده از حدود تعیین شده توسط سازمان‌های مرتبط و نظر کارشناس خبره، سطح اطمینانی برای قابلیت پذیرش آب برای مصارف شرب ارائه می‌دهد. در این تحقیق جهت ارزیابی کیفیت آب شرب استان تهران به روش فازی، از ۱۰ پارامتر موثر بر کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است. به همین منظور داده‌های کیفی ۱۷۶ چاه آب زیرزمینی در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ تهیه گردید. با استفاده از مدل کیفی فازی، کیفیت آب زیرزمینی به سه طبقه مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم شد. نتایج نشان می‌دهد ۱۳۲ نمونه در رده مطلوب و با سطح اطمینان ۵۷/۴٪ تا ۷۶/۳٪ و ۱۵ نمونه در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۳۳٪ تا ۶۰/۲٪ قرار گرفتند. ۱۳ نمونه باقیمانده نیز در رده غیر قابل قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۲۴٪ قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: استان تهران، قوانین فازی، کیفیت آب زیرزمینی، مجموعه فازی، مشخصه زبانی.

مقدمه

کیفیت، کمیت و قابلیت شرب آب، یکی از مهم‌ترین موضوعات زیست محیطی و اجتماعی در سطح جهان می‌باشد. 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). 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 سازمان بهداشت جهانی، وزارت نیرو و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استانداردهایی برای املاح محلول و آلاینده‌های مختلف در آب شرب ارائه کرده‌اند (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶؛ WHO, 1993). این استانداردها به دلیل عواملی چون تغییرات و نوسانات بارش و مقدار برداشت در فصول مختلف سال، دارای محدودیت‌هایی هستند. از سوی دیگر، 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 (Todd and Mays, 2005). انحلال کانی‌های سازنده ساختمان خاک شامل ترکیبات سدیم، پتاسیم و منیزیم که در مسیر حرکت آب زیرزمینی قرار دارند، موجب می‌شود در آب‌های آشامیدنی ایجاد طعم کنند. آب‌هایی که میزان کلرور آن‌ها بیش از حد است، شور و آب‌هایی که مقدار سولفات سدیم و سولفات منیزیم آن‌ها زیاد است، گس و تلخ مزه‌اند. کلسیم و منیزیم نیز از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز بدن هستند. املاح این دو فلز موجب سختی آب می‌شوند (لاله‌زاری و طباطبایی، ۱۳۸۹). همچنین مقادیر بالای نیترات در آب زیرزمینی منجر به بروز نارسایی حاد

* نویسنده مرتبط nakhaei@khu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

خونی در کودکان و کاهش توانایی انتقال اکسیژن توسط رگ‌ها می‌شود (Comply, 1945). با توجه به اهمیت تأثیر املاح محلول در آب بر بدن انسان و عدم قطعیت همراه با اندازه‌گیری در مراحل نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها، استفاده از روش‌های قدیمی در ارزیابی کیفیت آب شرب مناسب به‌نظر نمی‌رسند. روش‌ها و معیارهای مختلفی در منابع مختلف برای تصمیم‌گیری و ارزیابی کیفیت آب شرب به روش فازی ارائه شده است.

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 نظریه‌های مجموعه‌های فازی و به دنبال آن منطق فازی به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در منابع آب گردیده است (Bardossy et al., 1995; Li et al., 2009). 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 (Chang et al., 2002; Mckone and Deshpande, 2005). با طراحی مدل فازی مناسب می‌توان عدم قطعیت مراحل نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تفسیر کیفیت آب را پوشاند (Liou and Lo, 2004).

منطق فازی[1] برای اولین بار در مقاله‌ای به همین نام توسط Zadeh (1965) ارائه گردید 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، به جای فرمول‌های ریاضی از متغیرهای زبانی استفاده می‌کنند. جالب اینجاست با وجودی که سیستم‌های فازی پدیده‌های غیر دقیق و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال تئوری فازی، یک تئوری دقیق می‌باشد. متغیر زبانی[2]، متغیری است که مقادیر آن کلمات یا جملات یک زبان طبیعی باشد (آذر و فرجی، ۱۳۸۶).

در نظریه کلاسیک، تابع عضویت، مجموعه‌ای است که عدد ۱ در مرز آن و صفر بیرون آن قرار می‌گیرد. برای یک مجموعه فازی، تابع عضویت به صورتی تعریف می‌گردد که در فاصله بین صفر تا ۱ است.

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

مجموعه A بر حسب تابع عضویت عبارت است از:

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

به عبارت دیگر، برای تعریف یک مجموعه فازی، تابع عضویت μA مورد نیاز است.

شکل ۱ ساختار اصلی سیستم‌های استنتاج فازی را نشان می‌دهد. مراحل تصمیم‌گیری در محیط فازی عبارتند از:

۱- فازی‌سازی[3] مقادیر؛

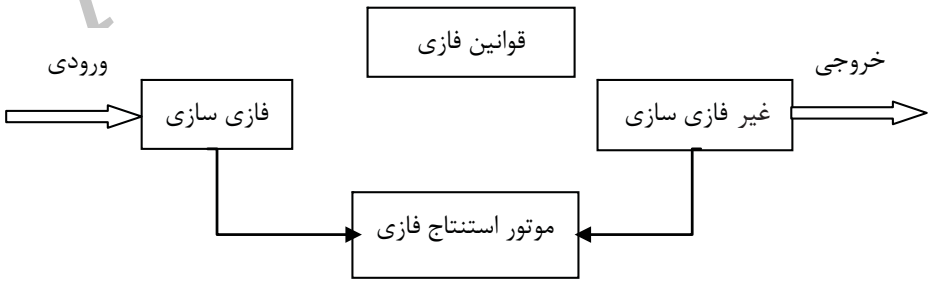
۲- تصمیم‌گیری فازی[4] بر اساس عملگرهای فازی[5]؛

۳- غیر فازی‌سازی[6].

عملگر زاده یکی از پرکاربردترین عملگرهای فازی است. عملگر "and" برای اشتراک دو مجموعه‌ای به کار می‌رود که نشان دهنده حداقل مقدار هر دو تابع عضویت به صورت زیر باشند:

$$\mu c(x) = \min (\mu A(x), \mu B(x)) \qquad \text{رابطه (۳)}$$

در قوانین سیستم‌های فازی، کارشناس خبره درباره طبقه‌بندی قوانین فازی نظرات خود را اعمال می‌کند. هر قانون شامل یک سری پیش آیند منطقی از قبیل نام مشخصه (به عنوان مثال: اسیدیته، کل مواد جامد محلول، سختی، ...) و مشخصه زبانی (قابل قبول و غیر قابل قبول) می‌باشد. در این تحقیق، عدم قطعیت همراه با ارزیابی کیفیت آب شرب و همچنین توانایی مجموعه فازی در فرآیند تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب شرب استان تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۱. ساختار اصلی سیستم‌های استنتاج فازی (طاهری، ۱۳۷۸)

1- Fuzzy Logic
2- Linguistic Term
3- Fuzzification
4- Fuzzy Decision
5- Fuzzy Operators
6- Defuzzification

Archive of SID
www.SID.ir

روش مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل آبخوان‌های استان تهران از قبیل آبخوان‌های تهران-کرج، ورامین، هومند-آبسرد، فیروزکوه و دماوند بود. به همین منظور داده‌های نمونه‌برداری کیفیت آب زیرزمینی استان تهران برای سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ تهیه گردید. پارامترهای کیفی آب شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل بر حسب کربنات کلسیم (TH)، کلرور (Cl^-)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سولفات ($SO4^{2-}$)، نیترات (NO_3^-)، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+) و بی‌کربنات (HCO_3^-) آنالیز شده بودند. مقادیر پارامترهای قلیاییت کل (TA) و کل مواد جامد محلول (TDS) در نرم‌افزار AqQA محاسبه شدند. با توجه به تغییرات مکانی کیفیت آب و تراکم چاه‌های بهره‌برداری، تعداد ۱۷۶ چاه نمونه که بیانگر ویژگی‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌باشند، انتخاب شدند. در نهایت تعداد ۱۰ پارامتر pH, TH, TA, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, NO_3^-, Na^+ و TDS به عنوان مهم‌ترین پارامترهای موثر بر کیفیت آب شرب، در مدل فازی استفاده شدند (Garg et al., 1998).

استانداردهای تهیه شده توسط وزارت نیرو و سازمان بهداشت جهانی جهت تعیین مرزهای ورودی و مشخصه‌های زبانی مورد استفاده قرار گرفتند. توابع عضویت نیز بر اساس نظر کارشناس خبره برای پارامترهای مورد استفاده به صورت مثلثی و ذوزنقه‌ای و با استفاده از حدود تعیین شده و استانداردهای ارائه شده در جدول ۱ تعیین گردید.

تابع عضویت هر یک از پارامترهای ورودی، دارای معادله‌ای خاص در محدوده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول است. برای مثال معادلات زیر مربوط به تابع عضویت پارامتر Cl می‌باشد.

رابطه ۴

$$\mu(x)cl_{\text{مطلوب}}\begin{cases} 0 & if x \le 0 \\ \frac{x-0}{40-0} & if x \in (0\ 40) \\ 1 & if x \in (40\ 160) \\ \frac{230-x}{230-160} & if \in x(160\ 230) \\ 0 & if x > 230 \end{cases}$$

رابطه ۵

$$\mu(x)cl_{\text{قبول قابل}}\begin{cases} 0 & if x \le 180 \\ \frac{x-180}{240-180} & if x \in (180\ 240) \\ 1 & if x \in (240\ 540) \\ \frac{630-x}{630-540} & if \in x(540\ 630) \\ 0 & if x > 630 \end{cases}$$

رابطه ۶

$$\mu(x)cl_{\text{غیر قبول قابل}}\begin{cases} 0 & if x \le 560 \\ \frac{x-560}{640-560} & if x \in (560\ 660) \\ 1 & if x \in (660\ 1000) \\ 0 & if x \ge 1000 \end{cases}$$

تابع عضویت هر یک از ورودی‌ها را مجموعه فازی تعیین می‌کند. با مشخص کردن ورودی‌های کلاسیک و 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. تصمیم سازی سیستم استنتاج فازی، بر اساس قوانین اعمال شده توسط کارشناس خبره صورت می‌گیرد. قوانین از دو بخش "اگر آنگاه" تشکیل شده‌اند. در بخش "اگر"، ورودی مدل تعریف می‌شود. پارامترهای کیفی pH, TH, TA, Cl^-, Ca^{2+}

جدول ۱. حدود تعیین شده پارامترهای ورودی بر اساس استاندارد

پارامتر	مطلوب	قابل قبول
اسیدیته	۷-۸/۵	۶/۵-۹/۲
کل مواد جامد محلول	۵۰۰	۲۰۰۰
سولفات	۲۵۰	۴۰۰
کلرور	۲۰۰	۶۰۰
منیزیم	۵۰	۱۵۰
سختی کل بر اساس کربنات کلسیم	۳۰۰	۶۰۰
کلسیم	۷۵	۲۰۰
قلیاییت کل	۲۰۰	۶۰۰
نیترات	۲۰	۴۵
سدیم	۷۵	۲۰۰

Archive of SID
www.SID.ir

Mg^{2+}, SO_4^{2-}, NO_3^-, Na^+ و TDS به سه مشخصه زبانی مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول ترسیم شده‌اند. مدل‌های کیفی آب زیرزمینی در هردو بخش "اگر" و "آنگاه"، دارای عدم قطعیت می‌باشند (Fisher, 2003).

بحث

در این تحقیق از مدل استنتاج فازی که در آن ورودی، نتایج و قوانین به صورت فازی تعریف شده‌اند، استفاده شد. تمامی مراحل در نرم افزار متلب[1] انجام شد. در این مدل از عملگر استلزام ممدانی[2] استفاده گردید. جهت بررسی بهتر و مشخص شدن تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی، ۱۰ پارامتر کیفی به سه گروه طبقه‌بندی شدند. در گروه اول ۴ پارامتر Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ TH ، که به لحاظ تأثیر بر کیفیت آب هم‌خوانی بهتری دارند، به صورت مدل درآمدند. در جدول ۲ مقادیر فازی و مشخصه‌های زبانی استفاده شده در گروه اول آمده است.

در گروه اول ۸۱ قانون مورد استفاده قرار گرفت. ۵ نمونه از قوانین مورد استفاده در گروه اول بدین صورت می‌باشند:

قانون اول: اگر کلسیم مطلوب، منیزیم قابل قبول، سدیم مطلوب و سختی کل قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب مطلوب است.

قانون دوم: اگر کلسیم غیر قابل قبول، منیزیم غیر قابل قبول، سدیم مطلوب و سختی کل قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب غیر قابل قبول است.

قانون سوم: اگر کلسیم قابل قبول، منیزیم قابل قبول، سدیم مطلوب و سختی کل غیر قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب قابل قبول است.

قانون چهارم: اگر کلسیم غیر قابل قبول، منیزیم غیر قابل قبول، سدیم مطلوب و سختی کل غیر قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب غیر قابل قبول است.

قانون پنجم: اگر کلسیم قابل قبول، منیزیم قابل قبول، سدیم مطلوب و سختی کل مطلوب باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب مطلوب است.

در شکل ۲ نمودار قوانین فازی بکار رفته در گروه اول، نشان داده شده است.

در گروه دوم، ۴ پارامتر SO_4^{-2}, TA, Cl^-, TDS به صورت مدل درآمدند. در جدول شماره ۳ مقادیر فازی استفاده شده برای مشخصه‌های زبانی مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول آمده است.

شکل ۳ نمودار این قوانین را نشان داده است. تعداد ۸۱ قانون نیز برای گروه دوم استفاده شده است. در ادامه تعدادی از این قوانین آورده شده است.

قانون اول: اگر قلیاییت کل مطلوب، کل املاح محلول قابل قبول، کلرور مطلوب و سولفات قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب مطلوب است.

قانون دوم: اگر قلیاییت غیر قابل قبول، کل املاح محلول قابل قبول، کلرور مطلوب و سولفات غیر قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب غیر قابل قبول است.

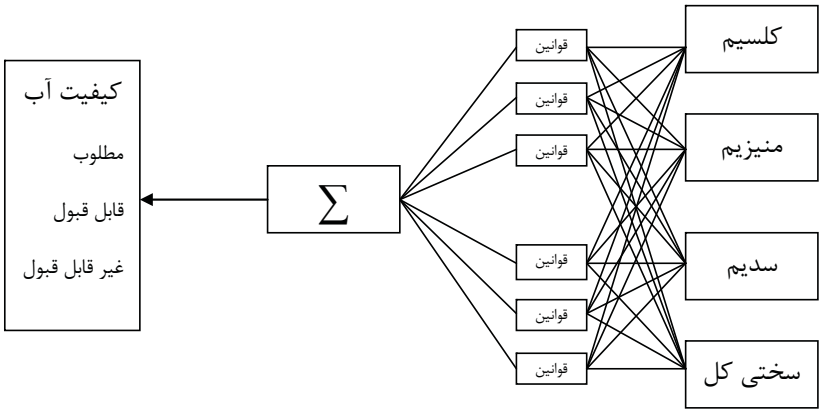
قانون سوم: اگر قلیاییت کل مطلوب، کل املاح محلول قابل قبول، کلرور غیر قابل قبول و سولفات قابل قبول باشد، آنگاه

جدول ۲. مقادیر فازی استفاده شده در گروه اول

پارامتر	مشخصه زبانی	مقادیر فازی
کلسیم	مطلوب	[۹۰،۶۰،۲۰،۰]
	قابل قبول	[۲۲۰،۱۷۰،۹۰،۶۵]
	غیر قابل قبول	[۴۰۰،۴۰۰،۲۲۰،۱۶۵]
منیزیم	مطلوب	[۷۰،۴۲،۱۲،۰]
	قابل قبول	[۱۶۰،۱۳۰،۷۰،۴۶]
	غیر قابل قبول	[۳۰۰،۳۰۰،۱۷۰،۱۴۰]
سدیم	مطلوب	[۹۰،۶۰،۲۰،۰]
	قابل قبول	[۲۲۰،۱۸۰،۹۰،۶۵]
	غیر قابل قبول	[۷۰۰،۷۰۰،۲۴۰،۱۶۵]
سختی کل بر اساس کربنات کلسیم	مطلوب	[۳۶۰،۲۴۰،۴۰،۰]
	قابل قبول	[۶۸۰،۵۷۰،۳۶۵،۲۶۰]
	غیر قابل قبول	[۱۸۰۰،۱۸۰۰،۷۳۰،۵۷۰]

1- MATLAB
2- Mamdani

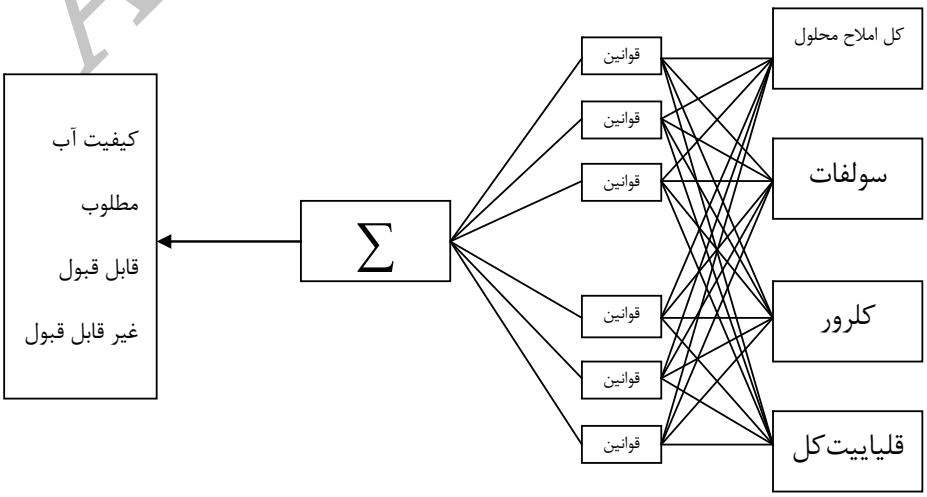
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی کیفیت آب شرب گروه اول

جدول ۳. مقادیر فازی استفاده شده در گروه دوم

پارامتر	مشخصه زبانی	مقادیر فازی
کل مواد جامد محلول	مطلوب	[۵۸۰،۴۰۰،۰،۰]
	قابل قبول	[۲۰۵۰،۱۸۰۰،۶۸۰،۴۴۰]
	غیر قابل قبول	[۴۰۰۰،۴۰۰۰،۲۱۰۰،۱۸۵۰]
سولفات	مطلوب	[۲۸۰،۲۳۰،۴۰،۰]
	قابل قبول	[۴۳۰،۳۸۰،۲۸۰،۲۳۰]
	غیر قابل قبول	[۱۱۰۰،۱۱۰۰،۴۹۰،۳۸۰]
کلرور	مطلوب	[۲۳۰،۱۶۰،۴۰،۰]
	قابل قبول	[۶۳۰،۵۴۰،۲۴۰،۱۸۰]
	غیر قابل قبول	[۱۰۰۰،۱۰۰۰،۶۶۰،۵۶۰]
قلیاییت کل	مطلوب	[۲۲۵،۱۸۰،۲۰،۰]
	قابل قبول	[۶۳۰،۵۸۰،۲۲۰،۱۷۰]
	غیر قابل قبول	[۸۰۰،۸۰۰،۶۳۰،۵۷۵]



شکل ۳. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی کیفیت آب شرب گروه دوم

Archive of SID
www.SID.ir

کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب قابل قبول است.

قانون چهارم: اگر قلیاییت کل مطلوب، کل املاح محلول قابل قبول، کلرور قابل قبول و سولفات غیر قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب غیر قابل قبول است.

قانون پنجم: اگر قلیاییت کل مطلوب، کل املاح محلول مطلوب، کلرور قابل قبول و سولفات غیر قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب مطلوب است.

قانون ششم: اگر قلیاییت کل غیر قابل قبول، کل املاح محلول غیر قابل قبول، کلرور قابل قبول و سولفات غیر قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب غیر قابل قبول است.

در انتها جهت ارزیابی نهایی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، گروه سوم که شامل نتایج گروه اول، نتایج گروه دوم و پارامترهای pH و NO_3 است، در مدل استنتاج فازی وارد گردید (جدول ۴).

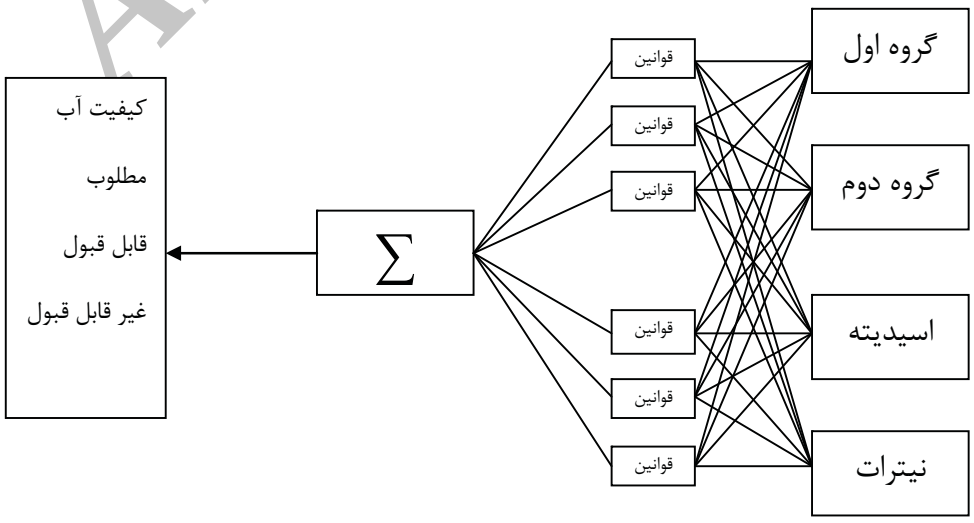
جهت ارزیابی نهایی کیفی آب با استفاده از نتایج گروه اول و دوم و پارامترهای pH, NO_3، ۱۳۶ قانون اعمال شدند. در شکل شماره ۴ چگونگی ترکیب پارامترهای ورودی نشان داده شده است.

در ادامه تعدادی از قوانین استفاده شده در ارزیابی نهایی کیفی آب شرب به اختصار ارائه شده‌اند:

قانون اول: اگر نتایج گروه اول مطلوب، نتایج گروه دوم قابل قبول، نیترات مطلوب و اسیدیته قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت نهایی آب زیرزمینی به لحاظ شرب مطلوب است.

جدول ۴. مقادیر فازی استفاده شده در گروه سوم

پارامتر	مشخصه زبانی	مقادیر فازی
نتایج گروه اول	مطلوب	[۲۵،۵،۰،۰]
	قابل قبول	[۶۰،۴۵،۲۵،۱۵]
	غیر قابل قبول	[۱۰۰،۱۰۰،۶۰،۴۵]
نتایج گروه دوم	مطلوب	[۲۵،۵،۰،۰]
	قابل قبول	[۶۰،۴۵،۲۵،۱۵]
	غیر قابل قبول	[۱۰۰،۱۰۰،۶۰،۴۵]
اسیدیته	قابل قبول	[۶/۶،۲/۶،۵/۷،۹/۲]،[۸/۸،۲/۸،۵/۹،۹/۳]
	مطلوب	[۶/۷،۸/۸،۲/۸،۳/۷]
	غیر قابل قبول	[۶،۵،۵/۶،۲/۷]،[۹،۹/۱۰،۱۰،۶،]
نیترات	مطلوب	[۳۰،۰،۰]
	قابل قبول	[۷۰،۴۵،۲۵،۱۵]
	غیر قابل قبول	[۱۲۰،۱۲۰،۸۰،۴۰]



شکل ۴. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی نهایی کیفی آب شرب

Archive of SID
www.SID.ir

قانون دوم: اگر نتایج گروه اول غیرقابل قبول، نتایج گروه دوم قابل قبول، نیترات مطلوب و اسیدیته قابل قبول باشد، آن‌گاه کیفیت نهایی آب زیرزمینی به لحاظ شرب قابل قبول است.

قانون سوم: اگر نتایج گروه اول غیرقابل قبول، نتایج گروه دوم غیرقابل قبول، نیترات مطلوب و اسیدیته قابل قبول باشد، آن‌گاه کیفیت نهایی آب زیرزمینی به لحاظ شرب غیرقابل قبول است.

قانون چهارم: اگر نتایج گروه اول قابل قبول، نتایج گروه دوم قابل قبول، نیترات مطلوب و اسیدیته قابل قبول باشد، آن‌گاه کیفیت نهایی آب زیرزمینی به لحاظ شرب مطلوب است.

از عملگرهای حداکثر[1] و حداقل[2]، مقادیر حداقل قوانین برای هر سه گروه استفاده شد. وزن هر یک از قوانین برابر یک در نظر گرفته شد. در انتها از روش مرکز ثقل[3] جهت غیر فازی‌سازی مدل استفاده شد. تمامی ۱۷۶ نمونه آب زیرزمینی در بخش نمایشگر قوانین[4] مورد ارزیابی قرار گرفتند. با وارد کردن مقادیر عددی و قطعی پارامترهای آب زیرزمینی در این بخش از نرم‌افزار متلب، کیفیت آب شرب و سطوح اطمینانِ تمامی نمونه‌ها مشخص گردید. شکل ۵ نمایشگر قوانین را نشان می‌دهد.

برتری روش فازی نسبت به روش قطعی با مقایسه نمونه‌های مربوط به نواحی مرزی یا به عبارت دیگر تغییر از رده مطلوب به قابل قبول و قابل قبول به غیر قابل قبول بهتر مشخص می‌شود. مقایسه روش ارزیابی فازی و قطعی در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول، ۱۲ نمونه از تعداد کل چاه‌های مورد مطالعه به منظور مقایسه این دو روش مورد استفاده قرار گرفت. در روش فازی نمونه شماره ۱ با سطح اطمینان ۷۵/۶ درصد و نمونه ۱۲۲ با سطح اطمینان ۷۶/۳ درصد از نظر کیفیت آب در رده مطلوب قرار گرفتند (در روش فازی تمامی پارامترها با هم در نظر گرفته می‌شوند). در روش قطعی نمونه شماره ۱ به جز پارامتر سولفات که در رده غیرقابل قبول قرار گرفت، تمامی پارامترها در رده مطلوب و برای نمونه ۱۲۲ تمامی پارامترهای کیفی در رده مطلوب قرار گرفتند. مطابق انتظار در روش فازی سطح اطمینان نمونه ۱۲۲، بیشتر از نمونه ۱ است. نمونه‌های ۱۳۶ و ۱۶۲ بر اساس تصمیم‌گیری فازی در رده غیر قابل قبول قرار گرفته‌اند. سطح اطمینان نمونه ۱۳۶ برابر ۲۴ درصد می‌باشد؛ که بسیار بیشتر از سطح اطمینان نمونه ۱۶۲ است؛ به این دلیل که تعداد پارامترهای غیر قابل قبول در نمونه ۱۶۲ بیشتر از نمونه ۱۳۶ است. نمونه‌های ۶۱ و ۷۱ به ترتیب در روش فازی قابل قبول و مطلوب طبقه‌بندی شده‌اند. در نمونه ۶۱ مقادیر اغلب پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به روش قطعی در رده قابل قبول قرار گرفته‌اند. تنها نیترات و سولفات در این نمونه در رده غیر قابل قبول قرار گرفته؛ اما مقادیر عددی این دو پارامتر بالا نیستند و نزدیک به مرز رده قابل قبول و غیر قابل قبول بوده است. نمونه ۷۱ نیز شرایط مشابه نمونه ۶۱ را داراست. نمونه‌های ۹۹ و ۱۲۲ در تصمیم‌گیری به روش فازی در رده مطلوب قرار گرفته‌اند. تمامی پارامترهای مورد مطالعه در روش قطعی نیز در رده مطلوب قرار گرفته‌اند. سطح اطمینان نمونه ۱۲۲

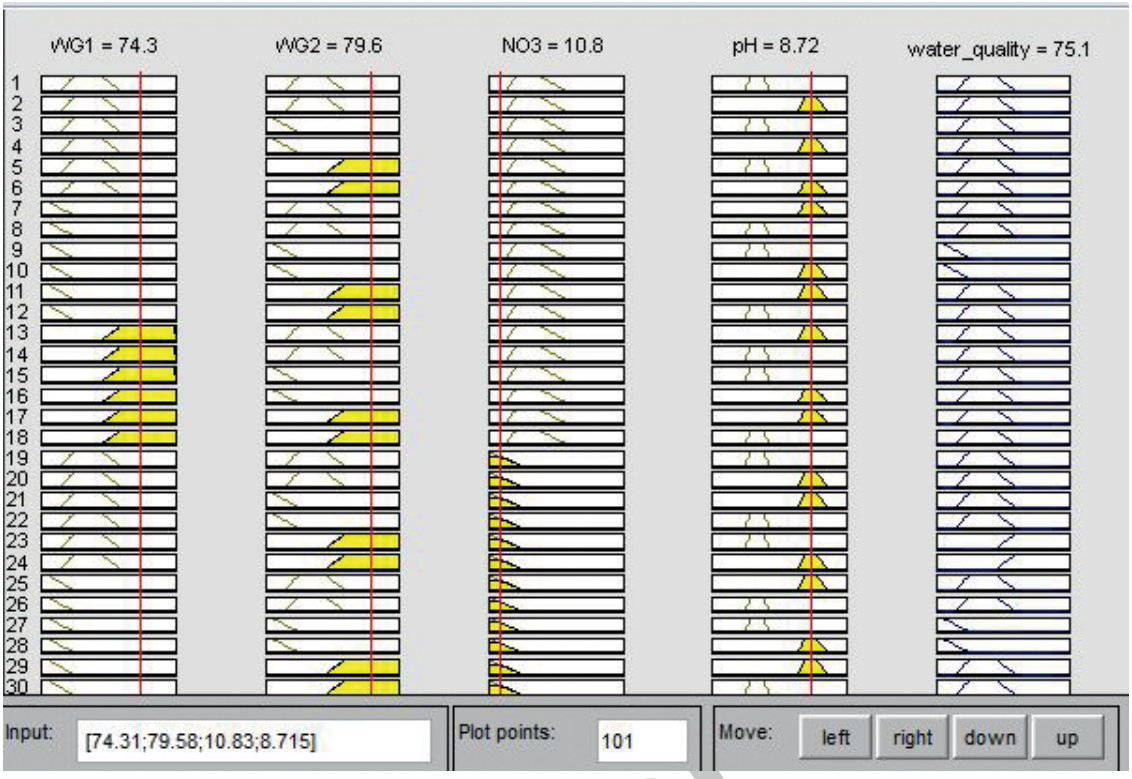
جدول ۵. مقایسه روش ارزیابی فازی و روش قطعی

چاه	تصمیم‌گیری به روش فازی	سطح اطمینان درصد	تصمیم‌گیری به روش قطعی		
			مطلوب	قابل قبول	غیرقابل قبول
۱	مطلوب	۷۵/۶	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO_3,Na	----	SO_4
۳۲	قابل قبول	۵۹/۲	pH,NO_3	TH,Cl,Na,TDS,Mg,Ca,TA	SO_4
۴۵	غیر قابل قبول	۱۰/۹۷	pH,NO_3	TA,Cl,Mg	Ca,Na,TDS,TH,SO_4
۵۴	غیر قابل قبول	۸/۹۱	pH	Mg,Ca,TA,Cl	TH,TDS,SO_4,NO_3,Na
۶۱	قابل قبول	۵۴	Cl,pH	TDS,Mg,Ca,TA,Na,TH	SO_4,NO_3
۷۱	مطلوب	۷۴/۲	Cl,pH, Mg,NO_3,Na	TH,TDS,Ca,TA	SO_4
۹۳	غیر قابل قبول	۱۴/۵	Cl,pH,TDS,Mg,TA	----	Ca,TH,SO_4,NO_3,Na
۹۹	مطلوب	۷۴/۲	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO3,Na,SO_4	----	----
۱۲۲	مطلوب	۷۶/۳	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,Na,SO_4,NO_3	----	----
۱۳۶	غیر قابل قبول	۲۴	TH,Cl,pH,Mg,Ca,SO4	TDS,TA,Na	NO_3
۱۶۲	غیر قابل قبول	۸/۹۸	pH	TA,Mg	SO_4,TH,Cl,TDS,Ca,NO_3,Na
۱۷۶	مطلوب	۷۵/۸	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO_3,Na	----	SO_4

1- Max
2- Min
3- Centroid
4- Rule Viewer

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. نمایشگر قوانین ارزیابی نهایی کیفیت آب

بالاتر از نمونه ۹۹ است. مقادیر عددی پارامترهای کیفی در نمونه ۱۲۲ در ارزیابی نهایی کیفیت آب بهتر بوده و به همین سبب نتیجه نهایی مدل فازی، سطح اطمینان بالاتری را نشان می‌دهد. برتری روش ارزیابی فازی نسبت به روش قطعی با مقایسه سطح اطمینان در نمونه‌های آب زیرزمینی بهتر مشخص می‌شود. در روش قطعی نمی‌توان تمامی پارامترها را با هم مقایسه نمود و تفسیر کیفیت آب زیرزمینی به صورت نسبی خواهد بود. درحالی‌که در روش استنتاج فازی، کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، سطح اطمینان و میزان تعلق هر یک از نمونه‌ها به رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول مشخص گردید. در روش ارزیابی فازی می‌توان تمامی پارامترهای موثر بر کیفیت آب را با هم مقایسه کرده و در نهایت کیفیت نهایی آب زیرزمینی را، جهت مصارف مختلف بیان نمود. نتایج ارزیابی کیفیت آب شرب استان تهران به روش فازی برای تمامی نمونه‌ها در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶. نتایج ارزیابی کیفیت آب شرب استان تهران به روش فازی (سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸)

شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان درصد	شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان درصد	شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان درصد	شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان درصد
۱	مطلوب	۷۵/۶	۴۵	غیر قابل‌قبول	۱۰/۹۷	۸۹	مطلوب	۷۶/۳	۱۳۳	مطلوب	۷۶/۳
۲	مطلوب	۶۰/۷	۴۶	مطلوب	۷۴/۲	۹۰	مطلوب	۷۶/۳	۱۳۴	مطلوب	۷۴/۹
۳	مطلوب	۵۷/۴	۴۷	قابل قبول	۴۴/۴	۹۱	مطلوب	۷۶/۳	۱۳۵	مطلوب	۷۵/۶
۴	مطلوب	۷۵/۶	۴۸	مطلوب	۷۴/۲	۹۲	غیر قابل‌قبول	۱۴/۵	۱۳۶	غیر قابل‌قبول	۲۴
۵	مطلوب	۷۵/۶	۴۹	مطلوب	۷۴/۹	۹۳	مطلوب	۷۴/۸	۱۳۷	قابل قبول	۳۳
۶	مطلوب	۷۵/۶	۵۰	مطلوب	۷۴/۹	۹۴	مطلوب	۷۴/۲	۱۳۸	مطلوب	۷۶/۲
۷	مطلوب	۷۶/۱	۵۱	مطلوب	۷۴/۲	۹۵	غیر قابل‌قبول	۸/۳۲	۱۳۹	مطلوب	۷۵/۶
۸	مطلوب	۴۴/۸	۵۲	مطلوب	۷۴/۹	۹۶	قابل قبول	۶۰/۲	۱۴۰	مطلوب	۶۷/۹
۹	مطلوب	۷۴/۹	۵۳	مطلوب	۷۵/۶	۹۷	مطلوب	۷۳/۶	۱۴۱	مطلوب	۷۶/۲
۱۰	مطلوب	۷۶/۳	۵۴	غیر قابل‌قبول	۸/۹۱	۹۸	مطلوب	۷۶/۲	۱۴۲	مطلوب	۷۴/۲

Archive of SID
www.SID.ir

ادامه جدول ۶

شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان درصد	شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان درصد	شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان درصد	شماره منبع	تصمیم‌گیری با روش‌فازی	سطح اطمینان
۱۱	قابل قبول	۳۷	۵۵	مطلوب	۷۴/۲	۹۹	مطلوب	۷۴/۲	۱۴۳	مطلوب	۷۴/۹
۱۲	مطلوب	۷۵/۶	۵۶	مطلوب	۷۵/۶	۱۰۰	مطلوب	۷۵/۶	۱۴۴	مطلوب	۷۴/۹
۱۳	مطلوب	۷۶/۶	۵۷	مطلوب	۷۴/۹	۱۰۱	مطلوب	۷۶/۳	۱۴۵	مطلوب	۷۶/۳
۱۴	مطلوب	۷۴/۲	۵۸	مطلوب	۷۴/۹	۱۰۲	مطلوب	۷۴/۹	۱۴۶	مطلوب	۷۶/۳
۱۵	مطلوب	۷۴/۹	۵۹	مطلوب	۷۶/۳	۱۰۳	مطلوب	۷۵/۶	۱۴۷	مطلوب	۷۶/۳
۱۶	مطلوب	۷۵/۶	۶۰	غیر قابل‌قبول	۸/۳۲	۱۰۴	قابل قبول	۴۴/۸	۱۴۸	مطلوب	۷۵/۶
۱۷	مطلوب	۷۵/۶	۶۱	قابل قبول	۵۴	۱۰۵	مطلوب	۷۴/۲	۱۴۹	مطلوب	۷۶/۳
۱۸	مطلوب	۷۵/۶	۶۲	مطلوب	۷۶/۳	۱۰۶	قابل قبول	۴۸/۷	۱۵۰	مطلوب	۷۶/۳
۱۹	مطلوب	۷۵/۱	۶۳	مطلوب	۷۶/۲	۱۰۷	قابل قبول	۳۵/۲	۱۵۱	مطلوب	۷۶/۳
۲۰	مطلوب	۷۴/۲	۶۴	مطلوب	۷۴/۲	۱۰۸	مطلوب	۷۶/۳	۱۵۲	مطلوب	۷۶/۳
۲۱	غیر قابل‌قبول	۸/۷۸	۶۵	مطلوب	۷۵/۶	۱۰۹	غیر قابل‌قبول	۸/۷۵	۱۵۳	مطلوب	۷۶/۳
۲۲	قابل قبول	۳۶/۸	۶۶	غیر قابل‌قبول	۸/۵۳	۱۱۰	مطلوب	۷۶/۳	۱۵۴	مطلوب	۷۶/۳
۲۳	مطلوب	۷۵/۶	۶۷	غیر قابل‌قبول	۲۷	۱۱۱	قابل قبول	۴۴/۴	۱۵۵	مطلوب	۷۶/۲
۲۴	مطلوب	۷۴/۹	۶۸	مطلوب	۷۳/۶	۱۱۲	مطلوب	۷۴/۸	۱۵۶	مطلوب	۷۶/۲
۲۵	مطلوب	۷۵/۶	۶۹	غیر قابل‌قبول	۸/۸۱	۱۱۳	مطلوب	۷۴/۹	۱۵۷	مطلوب	۷۵/۶
۲۶	مطلوب	۷۶/۳	۷۰	مطلوب	۷۴/۹	۱۱۴	مطلوب	۷۳/۶	۱۵۸	مطلوب	۷۶/۳
۲۷	مطلوب	۷۳/۶	۷۱	مطلوب	۷۴/۲	۱۱۵	مطلوب	۷۴/۹	۱۵۹	مطلوب	۷۴/۲
۲۸	غیر قابل‌قبول	۸/۷۵	۷۲	مطلوب	۷۶/۳	۱۱۶	مطلوب	۷۶/۳	۱۶۰	مطلوب	۷۶/۳
۲۹	غیر قابل‌قبول	۸/۳۲	۷۳	مطلوب	۷۶/۲	۱۱۷	مطلوب	۷۶/۳	۱۶۱	مطلوب	۷۶/۳
۳۰	مطلوب	۷۶/۳	۷۴	مطلوب	۷۶/۳	۱۱۸	مطلوب	۷۵/۶	۱۶۲	غیر قابل‌قبول	۸/۹۸
۳۱	مطلوب	۷۴/۲	۷۵	مطلوب	۷۶/۲	۱۱۹	مطلوب	۷۶/۳	۱۶۳	مطلوب	۷۵/۶
۳۲	قابل قبول	۵۹/۲	۷۶	مطلوب	۷۴/۹	۱۲۰	مطلوب	۷۶/۲	۱۶۴	قابل قبول	۴۸/۷
۳۳	مطلوب	۷۴/۹	۷۷	مطلوب	۷۴/۹	۱۲۱	مطلوب	۷۶/۲	۱۶۵	مطلوب	۷۶/۲
۳۴	قابل قبول	۴۸/۷	۷۸	مطلوب	۷۵/۶	۱۲۲	مطلوب	۷۶/۳	۱۶۶	مطلوب	۷۶/۳
۳۵	قابل قبول	۴۸/۷	۷۹	قابل قبول	۵۹/۲	۱۲۳	غیر قابل‌قبول	۲۴	۱۶۷	مطلوب	۷۵/۶
۳۶	مطلوب	۷۶/۲	۸۰	مطلوب	۷۴/۲	۱۲۴	غیر قابل‌قبول	۲۴	۱۶۸	مطلوب	۷۶/۳
۳۷	قابل قبول	۵۹/۲	۸۱	مطلوب	۷۶/۳	۱۲۵	قابل قبول	۵۳/۳	۱۶۹	مطلوب	۷۴/۹
۳۸	مطلوب	۷۵/۶	۸۱	مطلوب	۷۵/۶	۱۲۶	قابل قبول	۳۶/۴	۱۷۰	قابل قبول	۳۶/۴
۳۹	قابل قبول	۳۶/۶	۸۳	مطلوب	۷۵/۶	۱۲۷	مطلوب	۷۶/۳	۱۷۱	مطلوب	۷۴/۹
۴۰	مطلوب	۷۵/۵	۸۴	قابل قبول	۳۵/۲	۱۲۸	مطلوب	۷۶/۳	۱۷۲	مطلوب	۷۶/۳
۴۱	غیر قابل‌قبول	۱۰/۵	۸۵	قابل قبول	۳۶/۴	۱۲۹	مطلوب	۷۴/۹	۱۷۳	قابل قبول	۳۶/۵
۴۲	مطلوب	۷۴/۲	۸۶	مطلوب	۶۹/۷	۱۳۰	قابل قبول	۳۵/۵	۱۷۴	قابل قبول	۳۳
۴۳	مطلوب	۷۶/۲	۸۷	مطلوب	۷۴/۲	۱۳۱	مطلوب	۷۶/۳	۱۷۵	قابل قبول	۴۵/۱
۴۴	مطلوب	۷۶/۲	۸۸	مطلوب	۷۶/۳	۱۳۲	قابل قبول	۵۳/۳	۱۷۶	مطلوب	۷۵/۸

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف معرفی روش ارزیابی فازی در تعیین کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب انجام شد. در این روش، عدم قطعیت همراه با نمونه‌برداری، آنالیز و تفسیر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی بر اساس روش‌های قطعی و تقسیم‌بندی کیفیت آب شرب به رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر 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 حدود فازی تعیین می‌شود، کیفیت آب زیرزمینی در قالب رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول طبقه‌بندی گردیدند. قوانین فازی طبق نظر کارشناس خبره به مدل وارد شدند. در نهایت با وارد نمودن مقادیر عددی نمونه‌های کیفیت آب زیرزمینی به مدل، کیفیت آب به روش فازی و سطح اطمینان مربوط به هر نمونه مشخص شد. از میان ۱۷۶ چاه مورد مطالعه، ۱۳۲ نمونه در رده مطلوب و با سطح اطمینان ۵۷/۴ درصد تا ۷۶/۳ درصد، و تعداد ۱۵ نمونه در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۳۳ درصد تا ۶۰/۲ درصد قرار گرفتند. ۱۳ نمونه باقیمانده نیز در رده غیر قابل‌قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۲۴ درصد قرار گرفتند. در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد که ارزیابی کیفیت آب شرب به روش فازی در شرایط مرزی نسبت به روش قطعی، روش مناسب‌تری است. استفاده از این روش در ارزیابی کیفیت آب آبیاری، آب بطری شده و چشمه‌های معدنی نیز سودمند به نظر می‌رسد.

منابع

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

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

– لاله‌زاری، ر. و طباطبایی، ح.، ۱۳۸۹. خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد. فصلنامه محیط شناسی. ۵۳، ۶۲–۵۵.

– معروفی، ا.، ترنجیان، ا. و زارع ابیانه، ح.، ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های آب راهه‌ای همدان – بهار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۶، ۱۷۸–۱۶۹.

– مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶. ویژگی‌های آب آشامیدنی، استاندارد شماره ۱۰۵۳، کمیسیون استاندارد ویژگی‌های آب آشامیدنی.

– 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. ۶، ۳۴–۲۵.

- Bardossy, A., Bronstert, A. and Merz, B., 1995. 1, 2 and 3 dimensional 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.

- Comply, H.H., 1945. Cyanosis in infants caused by nitrates in well water. Journal of American Medicines Association, 129, 112- 117.

- Fisher, B., 2003. Fuzzy environmental decision making: Application to air pollution. Atmosphere Environmental, 37, 1865-1877.

- Garg, V.K., Dahiya, S., Chaudhary, A. and Deepshikha, A., 1998. Fluoride distribution in underground water of Jind district, Hariana, India. Ecological Environmental Conservation, 40, 19-23.

- 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.

- Todd, K.D. and Mays, L.W., 2005. Groundwater Hydrology, John Wiley and Sons. 636.

- WHO, 1993. Guidelines for drinking water quality recommendation. World Health Organization, Geneva.

- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Information Control. 8, 338-353.

Archive of SID

www.SID.ir