تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال ششم، شماره ۳، پائیز ۱۳۸۹
Volume 6, No. 3, Fall 2010 (IR-WRR)
۲۵-۳۴

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ۹ شهر استان اصفهان برای مصارف شرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی

سید ابراهیم هاشمی[۱]، سید فرهاد موسوی[۲*]،
سید محمود طاهری[۳] و عباس قره چاهی[۴]

چکیده

ارزیابی فازی، سطح اطمینانی برای قابلیت پذیرش آب برای مصارف شرب با استفاده از حدود تعیین شده توسط سازمان‌های مختلف و نظر کارشناس کیفیت آب ارائه می‌دهد. در این مطالعه از سیستم استنتاج نظریه فازی برای بررسی، تصمیم‌گیری و اظهار نظر در مورد کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی که به منظور شرب به کار می‌روند استفاده شده است. شیوه به کار رفته بر اساس نظریه مجموعه‌ها و منطق فازی و برای تعیین کیفیت آب از داده‌های نادقیق زیست‌محیطی و با استفاده از استانداردها و به صورت غیراحتمالاتی می‌باشد. مدل بهینه شده، با استفاده از قوانین فازی و ۲۹ نمونه آب زیرزمینی که از چاه‌های تأمین آب شرب ۹ شهر مختلف استان اصفهان جمع‌آوری شده بودند، به دست آمد. این نمونه‌ها برای ۱۱ پارامتر شیمیایی آنالیز شدند ولی از اطلاعات ۹ پارامتر برای ارزیابی کیفیت آب استفاده شد. نتایج آنالیزها نشان داد که ۱۰ نمونه از آب‌های مورد مطالعه با سطح اطمینانی بین ۸۴ تا ۹۷ درصد در گروه مطلوب، ۹ نمونه با سطح اطمینان ۵۰ تا ۱۰۰ درصد در گروه قابل قبول و ۱۰ نمونه با سطح اطمینان ۵۰ تا ۹۵ درصد در گروه نامطلوب برای آشامیدن قرار گرفتند. همچنین، ۶۵ درصد از نمونه‌های مورد آزمایش درحد مطلوب یا قابل قبول برای آشامیدن می‌باشند.

کلمات کلیدی: کیفیت آب شرب، مجموعه فازی، تابع عضویت، مشخصه زبانی.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۳ دی ۱۳۸۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۳ مرداد ۱۳۸۹

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲- استاد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳- دانشیار دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴- سرپرست آزمایشگاه مرکزی آب، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان.
*- نویسنده مسئول

Analysis of Groundwater Quality Acceptability for Drinking purposes in Nine Cities in Isfahan Province Using Fuzzy Inference System

S. E. Hashemi[21], S. F. Mousavi[2], S. M. Taheri[3] and A. Ghareh-Chahi[4]*

Abstract

Fuzzy evaluation presents a certainty level for the acceptability of water for drinking purposes based on prescribed standards of various organizations and perception of the experts. In this study, fuzzy set theory was applied for decision making on the suitability of certain groundwater resources for drinking purposes based on chemical quality. The quality of water was expressed in indefinite environment of monitored data and prescribed standards given in a non-probabilistic sense. From the 9 cities in Esfahan Province, 29 groundwater samples that were collected from the drinking water wells are used in this study. These samples were analyzed for 11 chemical parameters. But, finally 9 parameters were used for evaluation of drinking water quality. The results showed that 10 water samples were in the "desirable" category with a certainty level of 84-97%, 9 samples were in the "acceptable" category with a certainty level of 50-100%, and 10 samples were in the "non-acceptable" category with a certainty level of 50-95%. Furthermore, about 65% of the samples were in the "desirable" or "acceptable" categories for drinking purposes.

Keywords: Drinking water quality, Fuzzy set, Membership function, Linguistic description.

1- Ph.D. Candidate, College of Agriculture, Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran, Email: hashemi@ag.iut.ac.ir
2- Professor, College of Agriculture, Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran, Email: mousavi@cc.iut.ac.ir
3- Associate Professor, Dept. of Mathematical Sci., Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran. Email: taheri@cc.iut.ac.ir
4- Central Water Laboratory, Water and Wastewater Co., Esfahan, Iran.
*- Corresponding Author

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

کیفیت، کمیت و قابل استفاده بودن آب برای مصارف شرب یکی از موضوعات مهم زیست‌محیطی و اجتماعی در سطح جهان می‌باشد. رفتارسنجی 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 می‌باشند. استانداردهایی برای آلودگی‌ها و آلاینده‌های مختلف در آب شرب توسط سازمان‌هایی نظیر سازمان بهداشت جهانی[۱] و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ارائه شده است (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶; WHO, 1993). این استانداردها به علت برخی عوامل، ازجمله تغییرات در میزان آب ورودی به چاه‌ها در فصول مختلف سال، دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. از سوی دیگر، استانداردهای تعیین شده توسط هر سازمان دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند، زیرا این مقادیر از برون‌یابی داده‌های آزمایش‌هایی که روی حیوانات و یا از مطالعات موردی انجام شده است به دست آمده‌اند. بنابراین باید به دنبال راهکارهایی جهت استفاده مناسب‌تر از این استانداردها باشیم. زیرا آگاهی از وضعیت و روند تغییرات کیفی آب برای فرموله نمودن مناسب و رفتارسنجی، ارزیابی و اجرای استانداردها و حدود تعیین شده کیفیت آب توسط سازمان‌های مختلف مورد نیاز می‌باشد.

به طور کلی روش‌ها و معیارهای مختلفی در منابع برای ارزیابی کیفیت آب شرب و تصمیم‌گیری در مورد آن ارائه شده است. اما بیشتر گزارش‌ها نشان داده که در رهیافت قطعی تصمیم‌گیری، با مقایسه مقادیر پارامترهای کیفی آب و در نظر گرفتن استانداردهای تعیین شده سازمان‌های مختلف و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در تمام مراحل مختلف این فرایند انجام می‌گیرد (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۲; Deshpande et al., 1996b). با این حال یکی از بهترین و عمومی‌ترین روش‌ها برای تعیین کیفیت آب در چند دهه اخیر روش شاخص کیفی آب[۲] (WQI) بوده است. این روش توسط بنیاد ملی بهداشت[۳] (NSF) توسعه داده شد و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[۴] (USEPA) آن را در فرایند ارزیابی به کار برد (Ott, 1978). در این فرایند، تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب با مقایسه شاخص‌های مختلف کیفی آب و حدود تعیین شده برای آنها صورت می‌گیرد (Cude, 2001). از جمله مهمترین مشکلات این روش می‌توان به عدم وجود توجیه علمی مناسب برای تأثیر برخی از پارامترهای کیفی آب در نمره نهایی اشاره نمود. همچنین در این روش تصمیم‌گیری‌های نادرستی به دلیل وزن ثابتی که به هر پارامتر داده می‌شود، گرفته می‌شود. در حالی که این وزن باید با توجه به فصل، مقدار بارش، میزان آب ورودی، دمای محیط و دیگر فاکتورهای محیطی تغییر کند. علاوه بر این، این شاخص‌ها عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف تصمیم‌گیری را در نظر نمی‌گیرند (Chang et al., 2001; Silvert, 2000). Sii et al. (1993) پیشنهاد نمودند که می‌توان با تعریف توابع عضویت فازی با مقادیر بین صفر و ۱، که عدم قطعیت‌های موجود در کیفیت آب شرب را شامل می‌شوند، از فرایند فازی به جای مقادیر معمول صفر تا ۱۰۰ روش WQI استفاده نمود. این روش بر اساس نظریه مجموعه فازی با استفاده از مسائل واقعی محیطی برای به کار بردن عدم قطعیت در محیط‌های نادقیق به عنوان یک ابزار برای تصمیم‌گیری به کار گرفته شده است (Chang et al., 2001; McKone and Deshpande, 2005).

نظریه مجموعه‌های فازی برای تصمیم‌گیری و مدل‌سازی در سیستم‌های پیچیده، بخصوص زمانی که مفاهیم و متغیرها مبهم باشند، مناسب می‌باشد (طاهری، ۱۳۷۵). این نظریه اولین بار توسط Zadeh (1965) ارائه شده و در شاخه‌های مختلف علوم و فناوری در فرایند تصمیم‌گیری و ارزیابی محیط‌های نادقیق به کار گرفته شده است (Deshpande et al., 1996a, 1996b; Muhumdar and Mujumdar and Sasikumar, 2002; Klir and Yuan, 1995; Mamdani, 1977).

یک مجموعه فازی با تابع عضویت آن مشخص می‌گردد. در نظریه کلاسیک، تابع عضویت مجموعه‌ای است که عدد ۱ در داخل آن و صفر بیرون آن قرار می‌گیرد. در صورتی که در یک مجموعه فازی، تابع عضویت در فاصله بین صفر تا ۱ تعریف می‌شود. تابع عضویت مجموعه A روی دامنه X به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \qquad (۱)$$

مجموعه A بر حسب تابع عضویت عبارت است از:

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

یا

$$\mu_A : \begin{cases} =1 & x \text{ is full memebr of } A \\ \in (0,1) & x \text{ is partial memebr of } A \\ =0 & x \text{ is not memebr of } A \end{cases} \qquad (۳)$$

Archive of SID
www.SID.ir

به عبارت دیگر، به منظور تعریف و مشخص نمودن یک مجموعه فازی، تابع عضویت μA مورد نیاز است.

در صورتی که توابع عضویت و عملگرهای فازی در یک برآوردگر فازی به طور مناسب طراحی شده باشند، ممکن است برآوردگر فازی بتواند همه عدم قطعیت‌های موجود در نمونه‌برداری و آنالیز را به طور جداگانه پوشش دهد (Ott, 1978). مدل‌های فازی برای داده‌های اولیه و خام گروه‌های مختلف مطابق استانداردهایی که قبلاً برای کیفیت تعیین شده‌اند طراحی می‌گردند و به طور معمول برای حذف مرز دقیق موجود بین حدود تعیین شده در استانداردها استفاده می‌شوند. در این رهیافت، کلاس‌های آب به صورت مجموعه فازی با درجه‌ای از عضویت‌های مختلف تعریف می‌گردد که در نقاط مرزی نسبت به حالت دودوئی (روش کلاسیک) انعطاف‌پذیری بیشتری دارند.

مراحل تصمیم‌گیری در محیط فازی عبارتند از:
۱- فازی سازی مقادیر
۲- تصمیم‌گیری فازی بر اساس عملگرهای فازی
۳- غیر فازی سازی[۵]

عملگرهای فازی مختلفی برای همه احکام فازی پیشنهاد شده است. مطابق تعریف Zadeh (1965)، عملگر "and" برای اشتراک دو مجموعه‌ای به کار می‌رود که نشان دهنده حداقل مقدار هر دو تابع عضویت به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

و برای عملگر "or" حداکثر مقدار دو تابع عضویت می‌باشد:

$$\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

در سیستم‌های فازی، متخصص درباره طبقه‌بندی قوانین فازی نظرات خود را ارائه می‌دهد. هر قانون شامل یکسری پیشایند منطقی از قبیل نام مشخصه (به عنوان مثال: اسیدیته، کل مواد جامد محلول، سختی،...) و مقدار مشخصه زبانی[۶] (مانند مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول) می‌باشد.

در مطالعه حاضر، اهمیت کاربرد عدم قطعیت در ارزیابی کیفی آب شرب و قابلیت مجموعه‌های فازی در فرایند تصمیم‌گیری در محیط‌های نادقیق برای طبقه‌بندی آب زیرزمینی برای شرب در چند شهر استان اصفهان به کار گرفته شده و یک سیستم استنتاج فازی[۷] (FIS) برای آن پیشنهاد شده است.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، شهرهایی از استان اصفهان است که بین عرض جغرافیایی "۲۳ '۲۰ °۳۲ تا "۲۵ '۲۵ °۳۳ شمالی و طول جغرافیایی "۳۰ '۰۵ °۵۱ تا "۳۱ '۳۸ °۵۲ شرقی قرار دارند. در این مناطق تعداد ۲۹ چاه که آب آنها برای مصارف شرب استفاده می‌شد، انتخاب شدند. نمونه برداری از آب چاه‌ها طی پنج مرحله و در فواصل یک ماهه از دی ماه ۱۳۷۹ تا اردیبهشت ۱۳۸۰ انجام گرفت. به منظور به دست آوردن نمونه‌ای که نمایانگر خصوصیات اصلی منبع آب چاه باشد، پنج دقیقه پس از روشن کردن پمپ، نمونه‌برداری توسط بطری‌های پلاستیکی انجام می‌شد (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۶۲ و ۱۳۷۲). بطری‌های نمونه برداری تا حدود ۳ الی ۴ سانتیمتری لبه آنها از آب پر می‌شدند و پس از محکم کردن درپوش آنها درون یخدان قرار می‌گرفتند و پس از انتقال به آزمایشگاه، آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی روی نمونه‌ها انجام می‌گرفت. آزمایش‌های کیفی مطابق استاندارد شماره ۱۰۵۳ روی این نمونه‌ها انجام گرفت و نشان داده شد که مقادیر بعضی از این پارامترها از قبیل کلیفرم و کلیفرم مدفوعی بسیار کمتراز استانداردهای موجود آب شرب بودند. لذا در تصمیم‌گیری فازی، این پارامترها در نظر گرفته نشدند. در نهایت، ۱۱ پارامتر کیفی آب شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل بر اساس کربنات کلسیم (TH)، کلرور (Cl^-)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سولفات (SO_4^{2-})، نیترات (NO_3^-)، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+) و بی‌کربنات (HCO_3^-) به طریق استاندارد تحلیل شدند (APHA, 1989) و دو پارامتر کل مواد جامد محلول (TDS) و نسبت جذب سدیم (SAR) برای تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب محاسبه گردیدند. به منظور بررسی متوسط کیفیت آب چاه در طول مطالعه، از میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در طول دوره نمونه‌برداری استفاده شد. طبق مطالعات انجام شده، پارامترهای pH، TH، Cl^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، SO_4^{2-}، NO_3^-، Na^+ و TDS به عنوان مهمترین پارامترها جهت تعیین کیفیت آب شرب پیشنهاد شده‌اند (Deshpande et al., 1996b; Garg et al., 1998).

تصمیم‌گیری بر اساس آنالیزهای قطعی و استانداردهای تهیه شده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۷۶) صورت گرفت. توابع عضویت فازی مدل FIS برای طبقه‌بندی کیفیت آب، برای هر ۹ پارامتر فوق به صورت مثلثی یا ذوزنقه‌ای و بر اساس نظر کارشناس و حدود تعیین شده جدول ۱ مطابق شکل ۱ ترسیم گردید. ورودی‌های تابع عضویت به صورت مجموعه‌های فازی تعریف شدند و درجه عضویت برای غلظت پارامترها به صورت منحنی‌های

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- حدود تعیین شده پارامترها توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

پارامتر	استاندارد شماره ۱۰۵۳	
	مطلوب	حداکثر قابل قبول
اسیدیته	۷-۸/۵	۶/۵ – ۹/۲
کل مواد جامد محلول	۵۰۰	۱۵۰۰
سختی کل بر اساس کربنات کلسیم	۱۵۰	۵۰۰
کلرور	۲۰۰	۶۰۰
کلسیم	۷۵	۲۰۰
منیزیم	۵۰	۱۵۰
سولفات	۲۰۰	۴۰۰
نیترات	۰	۴۵
سدیم	--	۲۰۰

شکسته در دامنه صفر تا ۱ رسم گردید. کیفیت آب به صورت مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تعریف شد.

تابع عضویت هر کدام از پارامترها در هر محدوده‌ای دارای معادله‌ای خاص می‌باشد. به عنوان مثال، معادلات ۴ تا ۶ مربوط به تابع عضویت پارامتر pH می‌باشند.

$$\mu(x)_{pH}:\text{مطلوب}\begin{cases}0 & if \quad x \le 7.1\\ \frac{x-7.1}{7.5-7.1} & if \quad x \in (7.1-7.5]\\ 1 & if \quad x \in (7.5-8.3]\\ \frac{8.7-x}{8.7-8.3} & if \quad x \in (8.3-8.7]\\ 0 & if \quad x > 8.7\end{cases} \quad (۴)$$

$$\mu(x)_{pH}:\text{قابل قبول}\begin{cases}0 & if \quad x \le 6.4\\ \frac{x-6.4}{6.7-6.4} & if \quad x \in (6.4-6.7]\\ 1 & if \quad x \in (6.7-7]\\ \frac{7.3-x}{7.3-7} & if \quad x \in (7-7.3]\\ 0 & if \quad x \in (7.3-8.4]\\ \frac{x-8.4}{8.7-8.4} & if \quad x \in (8.4-8.7]\\ 1 & if \quad x \in (8.7-8.9]\\ \frac{9.2-x}{9.2-8.9} & if \quad x \in (8.9-9.2]\\ 0 & if \quad x > 9.2\end{cases} \quad (۵)$$

$$\mu(x)_{pH}:\text{غیرقابل قبول}\begin{cases}1 & if \quad x \le 6.3\\ \frac{6.6-x}{6.6-6.3} & if \quad x \in (6.3-6.6]\\ 0 & if \quad x \in (6.6-9]\\ \frac{x-9}{9.3-9} & if \quad x \in (9-9.3]\\ 1 & if \quad x > 9.3\end{cases} \quad (۶)$$

در این مطالعه، مدل مفهومی FIS (Klir and Yuan, 1995; Mamdani, 1977)، که در آن هم احکام و هم نتیجه به صورت فازی می‌باشند به کار رفته است. در مدل FIS، بر اساس نظر کارشناسی که معیارهای مهم آب شرب را در نظر می‌گیرد، ۹ پارامتر کیفی آب به سه گروه طبقه‌بندی گردید: pH و TDS در گروه اول، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+} و TH در گروه دوم و Cl^{-}، SO_4^{2-} و NO_3^{-} در گروه سوم قرار گرفتند. برنامه‌های کامپیوتری مورد نیاز در این مطالعه در محیط فازی نرم‌افزار مطلب[8] نوشته شده است.

۳- نتایج و بحث

شکل ۱ توابع عضویت برای همه پارامترها و برای سه کیفیت را به طور جداگانه که بر اساس حدود مشخص شده در جدول ۱ و نظر کاشناس بدست آمده‌اند، نشان می‌دهد. قوانین فازی برای همه گروه‌ها تعیین گردید. در مجموع، در این مطالعه ۱۴۴ قانون بر اساس نظر کارشناس کیفیت آب شرب تعیین گردید و نمونه‌های آب با استفاده از مدل FIS ارزیابی شدند. در مدل‌سازی قوانین از عملگر استلزام ممدانی[9] استفاده گردید (Mamdani, 1976). تعدادی از قوانینی که برای هر سه گروه توسط کارشناس طراحی گردیده به صورت زیر می‌باشند. در گروه یک، دو نمونه از ۹ قانون تعیین شده توسط کارشناس به صورت زیر می‌باشد:

قانون اول: اگر pH مطلوب و TDS مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای شرب مطلوب است.

قانون دوم: اگر pH قابل قبول و TDS مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای شرب مطلوب است.

Archive of SID
www.SID.ir

دیاگرام قوانین فازی به کار رفته برای پارامترهای گروه یک در شکل ۲ نشان داده شده است.

در گروه دوم، دو نمونه از ۸۱ قانونی که بر اساس نظر کارشناس برای پارامترهای شیمیایی کیفیت آب بیان شده به صورت زیر می‌باشد. دیاگرام این قوانین در شکل ۳ نشان داده شده است.

قانون اول: اگر TH مطلوب، Ca^{2+} مطلوب، Na^{+} مطلوب و Mg^{2+} قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای شرب مطلوب است.
قانون دوم: اگر TH قابل قبول، Ca^{2+} مطلوب، Na^{+} مطلوب و Mg^{2+} قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای شرب مطلوب است.

در گروه سوم، دو نمونه از ۲۷ قانونی که بر اساس نظر کارشناس تعیین شده به صورت زیر می‌باشد. دیاگرام این قوانین در شکل ۴ نشان داده شده است.

قانون اول: اگر Cl^{-} مطلوب، SO_4^{2-} مطلوب و NO_3^{-} قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای شرب قابل قبول است.
قانون دوم: اگر Cl^{-} مطلوب، SO_4^{2-} قابل قبول و NO_3^{-} قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای شرب قابل قبول است.

در نهایت، نتایج گروه‌های ۱، ۲ و ۳ برای طبقه‌بندی آب با یکدیگر ترکیب شدند. تعداد ۲۷ قانون برای ارزیابی کیفی آب با استفاده از FIS و بر اساس خروجی گروه‌های ۱، ۲ و ۳ به دست آمد (شکل ۵). دو نمونه از این قوانین به صورت زیر می‌باشد:

قانون اول: اگر گروه ۱ قابل قبول، گروه ۲ مطلوب و گروه ۳ مطلوب باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب مطلوب است.
قانون دوم: اگر گروه ۱ قابل قبول، گروه ۲ مطلوب و گروه ۳ قابل قبول باشد آنگاه کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب مطلوب است.

با استفاده از عملگرهای max و min، حداقل مقدار هر قانون در هر گروه با به کارگیری عملگر min فازی پذیرفته می‌شود و ذخیره می‌گردد. آنگاه با انتخاب حداکثر مقدار گروه‌ها، میزان تعلق‌پذیری کیفیت هر نمونه آب به هر گروه کیفی مشخص می‌گردد.

غیر فازی سازی، تبدیل و جایگزینی مقادیر فازی با مقادیر دقیق ارائه شده در آن مجموعه می‌باشد. غیر فازی سازی مورد استفاده در این مطالعه، روش متوسط ماکزیمم[10] می‌باشد. بر این اساس، همه ۲۹ نمونه آب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است. اهمیت روش FIS در نمونه‌هایی که مقادیر پارامترهای آنها در حاشیه حدود تعیین شده قرار می‌گیرند نشان داده شده است. در حاشیه حدود تعیین شده، عدم قطعیت‌ها نقش مهمی را در فرایند تصمیم‌گیری بازی می‌کنند و گاهی اوقات باعث تصمیم‌گیری اشتباه می‌شوند. مقایسه بین مدل تصمیم‌گیری FIS با تصمیم‌گیری قطعی در جدول ۲ ارائه شده است. براین اساس، کیفیت شیمیایی نمونه‌های آب شماره ۱۴ و ۱۵ با سطح اطمینان بیشتر از ۹۷ درصد، مطلوب و پس از آن نمونه آب شماره ۱۹ با سطح اطمینان ۹۳ درصد مطلوب برای مصرف شرب می‌باشد. برای نمونه آب شماره ۱۴، روش قطعی به کار برده شد که در آن هفت پارامتر pH، TDS، SO_4^{2-}، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Na^{+} و Cl^{-} در سطح مطلوب و دو پارامتر NO_3^{-} و TH در گروه قابل قبول قرار داشتند. این گونه تصمیم‌گیری در باره کیفیت آب آشامیدن برای کارشناسان مبهم می‌باشد و در صورتی که در ارتباط با مردم باشد بسیار مشکل است.

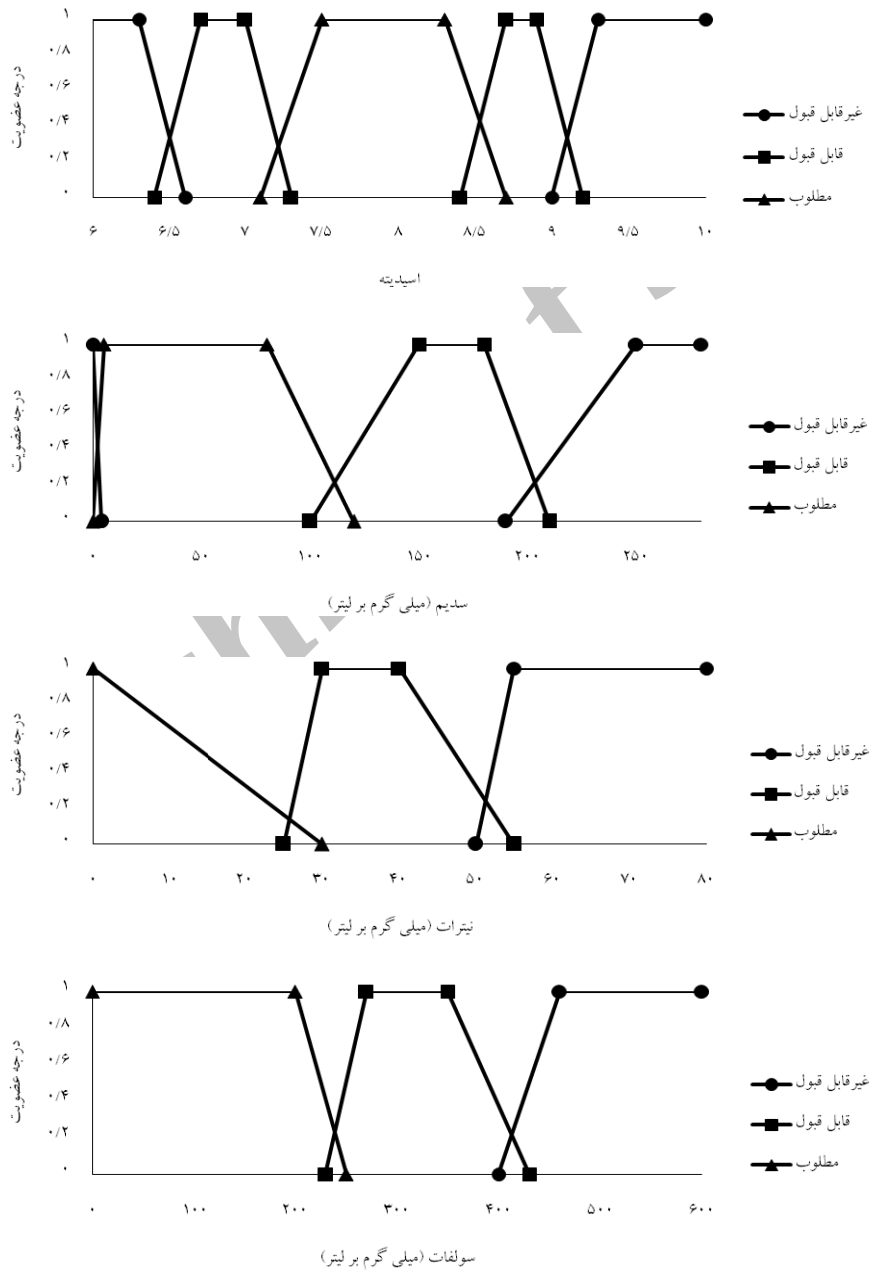
اختلاف بین سطوح تصمیم‌گیری به روشFIS و روش قطعی در نمونه‌های ۲۳ و ۲۹ نشان داده شده است. در هر دو نمونه، دو پارامتر pH و Ca^{2+} در گروه مطلوب، پنج پارامتر TDS، TH، Mg^{2+}، NO_3^{-} و Cl^{-} قابل قبول و دو پارامتر Na^{+} و SO_4^{2-} غیرقابل قبول هستند (جدول ۲). اما تصمیمی که با روش FIS برای این دو نمونه گرفته شده است به کلی با یکدیگر متفاوت است. در حالی که نمونه شماره ۲۳ با سطح اطمینان ۵۰ درصد در گروه غیر قابل قبول قرار گرفته، نمونه شماره ۲۹ با سطح اطمینان ۸۹ درصد در گروه قابل قبول قرار گرفته است. در اصل، این اختلاف مربوط به پارامترهایی می‌باشد که غلظت آنها در هر دو نمونه بیشتر از حد مجاز است. ولی در نمونه شماره ۲۹ مقدار غلظت حاشیه‌ای است و بیشتر از حد مجاز می‌باشد و در حیطه توابع عضویت فازی قابل قبول و غیر قابل قبول قرار می‌گیرد. در نمونه شماره ۲۳ غلظت عناصری که غیر قابل قبول می‌باشند خیلی زیاد است و باعث شده که این نمونه آب به گروه غیر قابل قبول تعلق گیرد. به این ترتیب مشاهده می‌گردد که روش FIS می‌تواند نقش بسیار مهمی در فرایند تصمیم‌گیری برای ارزیابی آب زیرزمینی برای مصارف شرب بازی کند که در آن هم حدود تعیین شده توسط سازمان‌های مختلف و هم نظر کارشناس در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از مدل ارزیابی FIS برای همه ۲۹ نمونه آب زیرزمینی، ۶۵ درصد از نمونه‌های مورد آزمایش درحد مطلوب یا قابل قبول و ۳۵ درصد غیر قابل قبول برای آشامیدن می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

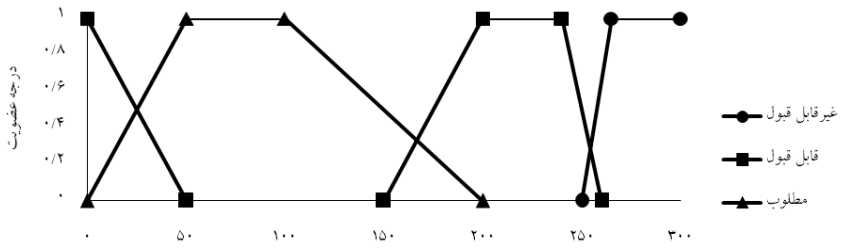
Dahiya et al. (2007) از سیستم فازی برای ارزیابی کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب‌های زیرزمینی ۱۵ روستا در جنوب هند، که برای شرب به کار می‌روند، استفاده نمودند. نتایج تحلیل‌های آنها نشان داد که از بین ۴۲ نمونه جمع‌آوری شده از چاه‌های آب شرب، ۴ نمونه با سطح اطمینان ۵۸- ۳۵ درصد در گروه مطلوب، ۲۳ نمونه با سطح اطمینان ۷۵-۳۷ درصد در گروه قابل قبول و ۱۵ نمونه باقیمانده با سطح اطمینان ۱۰۰- ۴۴ درصد در گروه نامطلوب برای نوشیدن قرار گرفتند. همچنین Icaga (2007) با ارائه یک مدل شاخص، از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی جهت ارزیابی کیفی آب‌های سطحی در مدل فازی استفاده کرد و آن را برای آب دریاچه Eber در ترکیه به کار برد. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل فازی از قابلیت خوبی برای طبقه‌بندی کیفی آب برخوردار می‌باشد.

چون برای سایر موارد زیست‌محیطی نظیر آلودگی هوا، کیفیت آب آبیاری، زه‌آب‌ها و پساب‌ها نیز استانداردهای خاصی وجود دارد، می‌توان از مدل‌های FIS که در آنها قوانین با توجه به استانداردها و نظر کارشناس مربوطه نوشته می‌شود، نظیر آنچه که در این تحقیق انجام گرفت، برای ارزیابی کیفی این سیستم‌ها استفاده کرد.

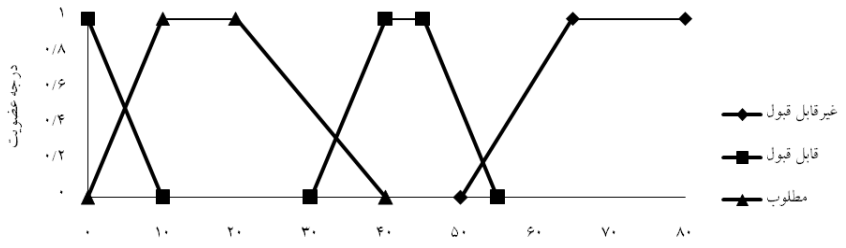


شکل ۱- توابع عضویت تعیین شده توسط کارشناس

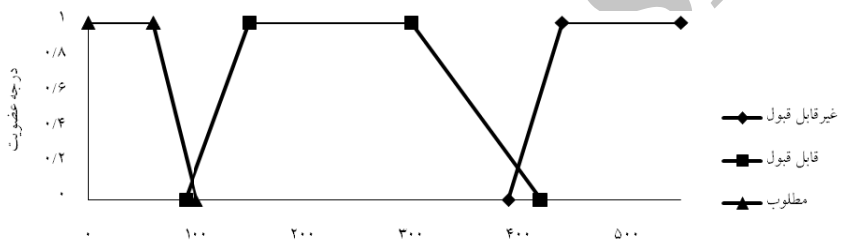
www.SID.ir



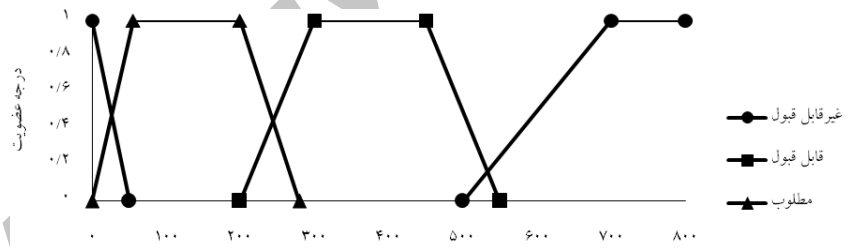
کلسیم (میلی گرم بر لیتر)



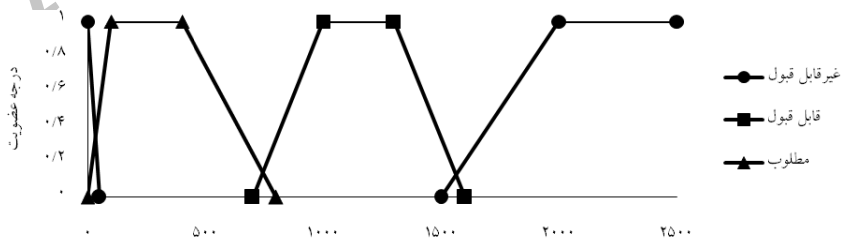
منیزیم (میلی گرم بر لیتر)



کلر (میلی گرم بر لیتر)



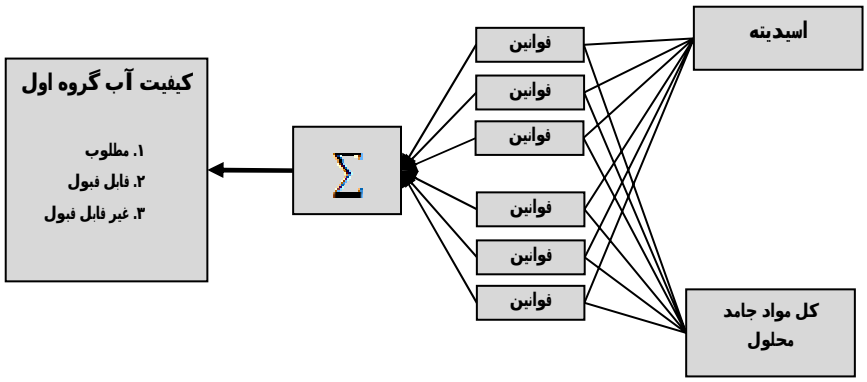
سختی کل بر حسب کربنات کلسیم (میلی گرم بر لیتر)



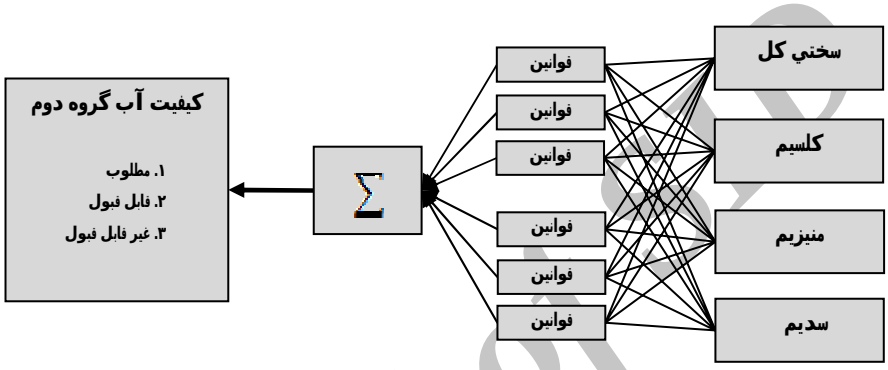
کل مواد جامد معلق (میلی گرم بر لیتر)

ادامه شکل ۱- توابع عضویت تعیین شده توسط کارشناس

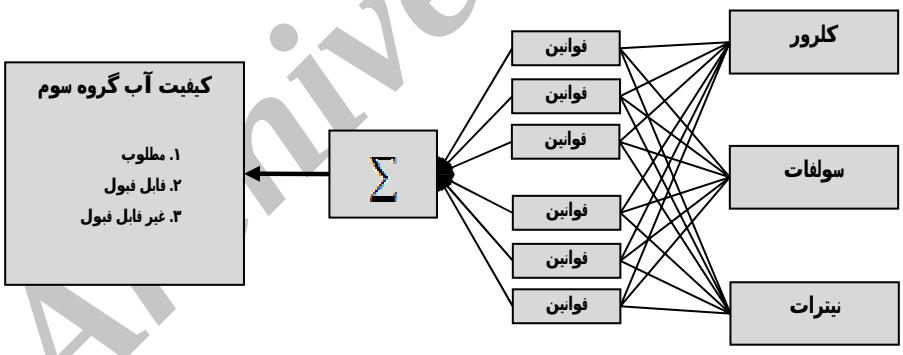
www.SID.ir



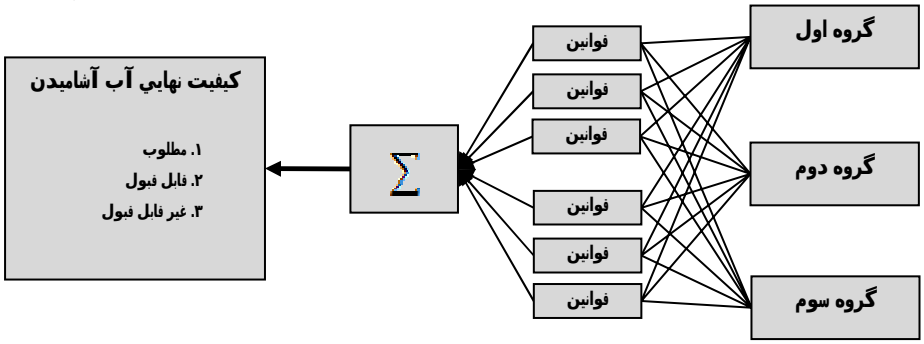
شکل ۲- ورودی- خروجی‌های ارزیابی کیفی آب شرب برای پارامترهای گروه اول



شکل ۳- ورودی- خروجی‌های ارزیابی کیفی آب شرب برای پارامترهای گروه دوم



شکل ۴- ورودی- خروجی‌های ارزیابی کیفی آب شرب برای پارامترهای گروه سوم



شکل ۵- ورودی- خروجی ارزیابی کیفی آب با استفاده از روش فازی

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- جزییات کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف شرب با استفاده از روش FIS و روش قطعی

شماره نمونه	تصمیم‌گیری بر اساس روش فازی	تصمیم‌گیری بر اساس روش قطعی		
		مطلوب	قابل قبول	غیر قابل قبول
۱	قابل قبول(۱۰۰)	pH,Cl^-	NO_3^-، TH، TDS، Mg^{2+}،Ca^{2+}	SO_4^{2-}،Na^+
۲	غیر قابل قبول(۸۹)	pH,Cl^-	NO_3^-، TDS،Ca^{2+}	TH، SO_4^{2-}، Mg^{2+}،Na^+
۳	غیر قابل قبول(۸۸)	pH	NO_3^-، TDS،Cl^-	TH، SO_4^{2-}، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Na^+
۴	مطلوب(۸۷)	pH، TDS، SO_4^{2-}، Na^+،Cl^-	NO_3^-، TH، Mg^{2+}،Ca^{2+}	---
۵	قابل قبول(۵۰)	pH,Cl^-	NO_3^-، TH، TDS، Mg^{2+}،Ca^{2+}	SO_4^{2-}،Na^+
۶	غیر قابل قبول(۸۳)	pH	NO_3^-، TDS،Cl^-	TH، SO_4^{2-}، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Na^+
۷	مطلوب (۸۵)	pH,Cl^-	NO_3^-، TH، TDS، SO_4^{2-}، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Na^+	---
۸	مطلوب (۹۲)	pH، TDS، Ca^{2+}، Na^+،Cl^-	NO_3^-، TH، SO_4^{2-}،Mg^{2+}	---
۹	مطلوب (۹۰)	pH، TDS، SO_4^{2-}، Na^+،Cl^-	NO_3^-، TH، Mg^{2+}،Ca^{2+}	---
۱۰	مطلوب (۸۴)	pH، TDS، Na^+،Cl^-	NO_3^-، TH، SO_4^{2-}، Mg^{2+}،Ca^{2+}	---
۱۱	قابل قبول (۵۰)	pH	NO_3^-، TH، TDS، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	SO_4^{2-}،Na^+
۱۲	قابل قبول (۵۰)	pH	NO_3^-، TH، TDS، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	SO_4^{2-}،Na^+
۱۳	مطلوب (۹۲)	pH، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Na^+،Cl^-	NO_3^-، TH، TDS،SO_4^{2-}	---
۱۴	مطلوب (۹۷)	pH، TDS، SO_4^{2-}، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Na^+،Cl^-	NO_3^-،TH	---
۱۵	مطلوب (۹۷)	pH، TDS، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Na^+،Cl^-	NO_3^-، TH، TDS،SO_4^{2-}	---
۱۶	مطلوب (۸۵)	pH، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Na^+،Cl^-	NO_3^-، TH،TDS	SO_4^{2-}
۱۷	قابل قبول (۵۰)	pH، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	NO_3^-، TH،TDS	SO_4^{2-}،Na^+
۱۸	قابل قبول (۵۰)	pH، Mg^{2+}،Ca^{2+}	NO_3^-، TH، TDS،Cl^-	SO_4^{2-}،Na^+
۱۹	مطلوب (۹۳)	pH، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	NO_3^-، TH، TDS،Na^+	SO_4^{2-}
۲۰	غیر قابل قبول (۹۵)	pH	NO_3^-، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	TH،TDS، SO_4^{2-}،Na^+
۲۱	غیر قابل قبول (۹۴)	pH	NO_3^-،Mg^{2+}	TH، TDS، SO_4^{2-}، Ca^{2+}، Na^+،Cl^-
۲۲	غیر قابل قبول (۸۰)	pH	NO_3^-، SO_4^{2-}، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	TH، TDS،Na^+
۲۳	غیر قابل قبول (۵۰)	pH,Ca^{2+}	NO_3^-، TH، TDS، Mg^{2+}،Cl^-	، SO_4^{2-}،Na^+
۲۴	غیر قابل قبول (۸۳)	pH	NO_3^-، TDS، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	TH، SO_4^{2-}،Na^+
۲۵	غیر قابل قبول (۸۴)	pH	NO_3^-، TDS، Mg^{2+}، Ca^{2+}،Cl^-	TH، SO_4^{2-}،Na^+
۲۶	غیر قابل قبول (۹۲)	pH،Na^+	NO_3^-، Mg^{2+}،Ca^{2+}	TH، TDS، SO_4^{2-}،Cl^-
۲۷	قابل قبول (۱۰۰)	pH,Ca^{2+}	NO_3^-، TH، TDS، SO_4^{2-}، Mg^{2+}،Cl^-	Na^+
۲۸	قابل قبول (۵۰)	pH,Ca^{2+}	NO_3^-، TH، Mg^{2+}،Cl^-	TDS، SO_4^{2-}،Na^+
۲۹	قابل قبول (۸۹)	pH,Ca^{2+}	NO_3^-، TH، TDS، Mg^{2+}،Cl^-	SO_4^{2-}،Na^+

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده سطح قطعیت تعیین شده توسط مدل FIS است.

۴- نتیجه‌گیری

ارزیابی قطعی کیفیت آب آشامیدن بر اساس اندازه‌گیری‌ها و حدود ارائه شده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، نتایجی به فرم مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول ارائه می‌دهد. برای هر پارامتر حدود (بازه) جداگانه ارائه شده است. در حقیقت، در رهیافت شاخص کیفی آب، یک نمونه آب وقتی می‌تواند در گروه مطلوب قرار گیرد که تعدادی از پارامترهای مهم، دقیقاً مقداری بیشتر از سطح مشخص آن پارامترها نداشته باشند. اما در ارزیابی فازی، کیفیت آب آشامیدن به همان سه فرم طبقه‌بندی می‌گردد. ولی در نهایت، سطح اطمینان تعلق‌پذیری به هر فرم مشخص می‌شود. در این تحقیق، از میان ۲۹ نمونه آب زیرزمینی مورد مطالعه، فقط ۱۰ نمونه (با سطح اطمینان ۹۷-۸۵ درصد) در گروه مطلوب، ۹ نمونه در گروه قابل قبول (سطح اطمینان ۱۰۰-۵۰ درصد) و ۱۰ نمونه در گروه غیر قابل قبول (سطح اطمینان ۹۵-۵۰ درصد) برای مصارف شرب قرار گرفتند. همچنین نتیجه گرفته شد که کیفیت آب شرب می‌تواند از طریق یک سیستم منطقی، مشابه منطق انسانی، مورد ارزیابی قرار داد. این رهیافت می‌تواند با موفقیت در سیستم‌های دیگر محیطی نظیر پایش آلودگی هوا، ارزیابی کیفی پساب‌ها و ارزیابی کیفی آب آبیاری به کار برده شود. در این صورت، می‌توان کیفیت را با سطوح اطمینان و بر اساس حدود اعمال شده و قضاوت کارشناس تعیین کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

۵- تشکر

از زحمات جناب آقای مهندس کاوه مهدویانی که در طول این تحقیق ما را یاری نمودند سپاسگزاری می‌نماییم.

پی‌نوشت‌ها

1- World Health Organization
2- Water Quality Index
3- National Sanitation Foundation
4- US Environmental Protection Agency
5- Defuzzification
6- Linguistic description
7- Fuzzy inference system
8- MATLAB
9- Mamdani implication
10- Mean of max

۶- مراجع

طاهری، س. م. (۱۳۷۵). "آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی"، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۶۲). "روش نمونه‌برداری آب". استاندارد شماره ۲۳۴۷، چاپ اول، کمیسیون روش‌های نمونه‌گیری و آزمون آب.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۷۲). "روش روزمره نمونه برداری آب". استاندارد شماره ۲۳۴۸، چاپ دوم، کمیسیون روش‌های نمونه‌گیری و آزمون آب.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۷۶). "ویژگی‌های آب آشامیدنی". استاندارد شماره ۱۰۵۳، چاپ‌های چهارم و پنجم، کمیسیون استاندارد ویژگی‌های آب آشامیدنی.

APHA. (1989), *Standard methods for examination of water and wastewater.* 17th Ed., American Public Health Association, Washington, DC, 1700 p.

Chang, N. B., Chen, H. W. and Ning, S. K. (2001), "Identification of river water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach". *J. Environ. Manage*., 63(3), pp. 293-305.

Cude, C. G. (2001), "Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness". *J. Am. Water Resour. Assoc*., 37(1), pp. 125-137.

Dahiya, S., Singh, B., Gaur, S., Garg, V. K. and Kushwaha, H. S. (2007), "Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation". *J. of Hazardous Materials*, 147(3), pp. 938-946.

Deshpande, A. W., Raje, D. V. and Khanna, P. (1996a), Fuzzy description of river water quality. *International Conference EUFIT*, Aachen, Germany, 2-5 Sep., pp. 1795-1801.

Deshpande, A. W., Raje, D. V. and Khanna, P. (1996b), "Agreement index for water consumption". *International Conference EUFIT*, Aachen, Germany, 2-5 Sep., pp. 1816-1820.

Garg, V. K., Dahiya, S., Chaudhary, A. and Deepshikha, A. (1998), "Fluoride distribution in underground waters of Jind district", Haryana, India. *Ecol. Environ. Conserv.*, 40(1): pp. 19-23.

Icaga, Y. (2007), "Fuzzy evaluation of water quality classification". *Ecological Indicators,* 7(3), pp.710-718.

Klir, G. J. and Yuan, B. (1995), *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and application.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 574 p.

Mamdani, E. H., (1976), "Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers", *J. of Man-Machine Studies*, 8, pp. 669-678.

Mamdani, E. H. (1977), "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic system", *IEEE Trans. on Computers*, 26, pp. 1182-1191.

McKone, T. E. and Deshpande, A. W. (2005), "Can fuzzy logic bring complex environmental problems into focus?", *Environ. Sci. and Technol*., 39(2), pp. 42A-45A.

Mujumdar, P. P. and Sasikumar, K. (2002), "A fuzzy risk approach for seasonal water quality management of a river system". *Water Resour. Res*., 38(1), pp. 51-59.

Ott, W. (1978), *Water quality indices: A survey of indices used in the United States.* U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 128 p.

Sii, H. I., Sherrard, J. H. and Wilson, T. E. (1993), "Development of a water quality index based on fuzzy set theory and intended water use". *Proc. Joint ASCE-CSCE National Conference on Environmental Engineering*, July 12-14, Montreal, Quebec, Canada, pp. 253-259.

Silvert, W. (2000), "Fuzzy indices of environmental conditions", *Ecol. Model*., 130(1-3), pp. 111-119.

WHO. (1993), *Guidelines for drinking water quality recommendation.* Vol. I, World Health Organization, Geneva, Available at: http://www. who.int/water_ sanitation_ health/dwq /gdwq2v1/ en/index.html.

Zadeh, L. A. (1965), "Fuzzy sets", *Inform. Contr*., 8, pp. 338-353.

Archive of SID

www.SID.ir