

کاربرد مدل استنتاج فازی در ارزیابی کیفیت آب قنات جهت مصارف شرب و کشاورزی (مطالعه موردی: استان تهران)

محمد نخعی

گروه زمین شناسی دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی تهران

میثم ودیعی

دانشجوی دکتری آب شناسی، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۳۰/۳/۹۲

تاریخ دریافت: ۱۶/۷/۹۰

nakhaei@khu.ac.ir

چکیده

یکی از راه‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی که از قدیم در کشور ما معمول بوده، قنات می‌باشد. امروزه نیز از آب قنات جهت مصارف شرب و کشاورزی در برخی نقاط کشورمان استفاده می‌گردد؛ لذا مدیریت و پایش کیفیت آب قنات از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به رسوب گذاری برخی املاح، کیفیت آب در طی عبور از قنات دست‌خوش تغییرات می‌شود. با طراحی مدل فازی مناسب، می‌توان عدم قطعیت همراه با مراحل نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تفسیر کیفیت آب را مرتفع کرد. در این تحقیق کاربرد تئوری مجموعه فازی جهت ارزیابی کیفیت آب قنات جهت مصارف شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته و با روش قطعی مقایسه شده است. بدین منظور از داده‌های کیفیت آب ۲۳ قنات به عنوان نماینده قنات‌های استان تهران که در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ اندازه‌گیری شده بودند، استفاده گردید. پارامترهای موثر بر کیفیت آب قنات، به سه طبقه مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول طبقه‌بندی شدند. نتایج پژوهش نشان داد؛ مدل استنتاج فازی، ابزاری مناسب جهت ارزیابی کیفیت آب قنات به شمار می‌رود.

کلمات کلیدی: قنات، کیفیت آب، استان تهران، منطق فازی، استنتاج فازی

مقدمه

ترکیبات انحلال یافته در آب، بر کیفیت محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارند. برای مثال، آبیاری زمین‌های کشاورزی با آب‌هایی که دارای سدیم زیاد هستند، معمولاً باعث بالا رفتن مقدار سدیم خاک خواهد شد. این تغییر ممکن است پس از کشاورزی‌های مکرر به وقوع پیوندد. هرگاه میزان تجمع سدیم در برگ از حد تحمل گیاه تجاوز کند، سمیت عارض خواهد شد. سوختگی برگ و ایجاد بافت‌های مرده در حاشیه برگ از علائم بارز سمیت به شمار می‌رود (علیزاده، ۱۳۶۴). بی‌کربنات نیز به عنوان یکی از پارامترهای موثر در ارزیابی کیفیت آب کشاورزی آورده شده است. 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 میان خاک حرکت می‌کند (حاج‌رسولی‌ها، ۱۳۶۴). مقادیر زیاد سدیم در آب کشاورزی 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 (Gholami and Srikantaswamy, 2009). سولفات نیز در آب‌های زیرزمینی به صورت محلولند؛ سولفات‌های سدیم، منیزیم و پتاسیم به آسانی در آب حل شده‌اند؛ اما سولفات کلسیم یا گچ قابلیت انحلال محدودتری دارند. درصد انحلال سدیم، نسبت مقدار سدیم و پتاسیم آب زیرزمینی به کل کاتیون‌ها و بر حسب درصد است. مقدار سدیم بالاتر از ۶۰ درصد ممکن است بر اثر انباشتگی سدیم و احتمالاً تخریب ساختمان خاک، نفوذ و هوازدگی باشد (Hakim et al., 2009). غلظت

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 و کشاورزی ارائه کرده‌اند (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶؛ WHO, 1993). اما 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.

انحلال کانی‌های سازنده ساختمان خاک که در مسیر حرکت آب زیرزمینی قرار دارند، باعث کاهش کیفیت آب خواهند شد. 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 (لاله‌زاری و طباطبائی، ۱۳۸۹). همچنین مقادیر بالای نیترات در آب زیرزمینی منجر به بروز نارسایی حاد خونی در کودکان و کاهش توانایی انتقال اکسیژن توسط رگ‌ها می‌شود (Comply, 1945).

می‌کند با کلماتی مثل نونهال، نوجوان، جوان، مسن و پیر نشان دهیم متغیر سن یک متغیر زبانی خواهد بود (آذر، ۱۳۸۶).

برای یک مجموعه فازی، تابع عضویت به صورت زیر تعریف می‌گردد که در فاصله بین صفر تا ۱ است.

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1] \quad \text{رابطه (۱)}$$

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

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

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

به طور مشخص، تعریف یک مجموعه فازی، بسط ساده‌ای از تعریف مجموعه‌های کلاسیک می‌باشد، با این خصوصیت که تابع مشخصه در مجموعه‌های فازی، می‌تواند دارای هر مقداری بین ۰ و ۱ باشد. در صورتی که مقادیر تابع عضویت، فقط به دو مقدار ۰ و ۱ محدود شود، آن‌گاه A یک مجموعه کلاسیک و $\mu_A(x)$ یک تابع مشخصه خواهد بود (راهبر، ۱۳۸۷).

در قوانین سیستم‌های فازی، متخصص پیرامون قوانین طبقه‌بندی فازی، نظرات خود را اعمال می‌کند. هر قانون شامل یک سری پیشایندهای منطقی از قبیل نام مشخصه (به عنوان مثال: اسیدیته، کل مواد جامد محلول، سختی،...) و مشخصه زبانی (مانند مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول) می‌باشد.

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. رهنمودهای مختلفی برای ارزیابی کیفیت آب برای مصرف شرب و کشاورزی وجود دارد؛ اما به دلیل گستردگی تغییرپذیری در شرایط صحرائی، به طور کامل رضایت‌بخش نمی‌باشند. از استانداردهای تهیه شده توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO, 1994)، وزارت نیرو و سازمان بهداشت جهانی برای مصارف کشاورزی و شرب و جهت تعیین مرزهای ورودی و مشخصه‌های زبانی استفاده شدند. توابع عضویت نیز بر اساس نظر کارشناس خبره برای پارامترهای آب شرب مورد استفاده به صورت مثلثی و ذوزنقه‌ای و با استفاده از حدود تعیین شده و استانداردهای مورد استفاده (جدول ۱) تعیین گردید.

جدول ۱. حدود تعیین شده پارامترهای ورودی ارزیابی شرب بر اساس استاندارد (WHO, 2006)

پارامتر	مطلوب	حداکثر 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
قلیابیت کل	۲۰۰	۶۰۰
نیترات	۲۰	۴۵
سدیم	۷۵	۲۰۰

(تمامی واحدها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند به جز pH)

سدیم در ارزیابی کیفی آب به لحاظ کشاورزی بسیار مهم است؛ چرا که مقادیر بالای سدیم باعث کاهش تراوایی خاک می‌گردد (Todd, 2005).

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 کلاسیک در ارزیابی کیفیت آب شرب و کشاورزی مناسب به نظر نمی‌رسند. ابهام و نبود قطعیت ذاتی حاکم بر منابع آب در ارزیابی اهداف، معیارها و واحدهای تصمیم‌گیری از یک سو 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., 2001; Mckone and Desphande, 2005). با طراحی یک مدل فازی خوب می‌توان عدم قطعیت همراه با مراحل نمونه‌برداری، اندازه‌گیری، تفسیر کیفیت آب را پوشاند (Liou and Lo, 2004).

هاشمی و همکاران (۱۳۸۹)، سیستم استنتاج فازی را برای بررسی کیفیت شیمیایی آب شرب بکار بردند. آن‌ها از ۹ پارامتر اسیدیته، سختی کل، کلرور، کلسیم، منیزیم، سولفات، نیترات، سدیم و کل املاح محلول 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. در نهایت مدل فازی کیفیت آب شرب را تهیه نموده و نتایج روش قطعی و فازی را مقایسه نمودند. نتایج، برتری روش فازی را در ارزیابی کیفیت آب شرب در مرزهای متغیرهای زبانی نشان داد. داهییا و همکاران، (Dahiya et al., 2007)، از روش استنتاج فازی به منظور 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 شدند؛ که در گروه اول ۴ پارامتر اسیدیته، سولفات، کلرور و کل املاح محلول و در گروه دوم ۴ پارامتر قلیابیت کل، سختی کل، سدیم و منیزیم به‌عنوان 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 هریک از نمونه‌ها تعیین شد و به نتایج قابل قبولی دست یافتند و برتری این روش نسبت به روش‌های تعیین شاخص کیفی آب WQI را نشان دادند. با توجه به این که بیشترین مصارف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی است؛ کاربرد مدل استنتاج فازی جهت مصارف کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش به ارزیابی کیفیت آب قنات از هر دو جنبه شرب و کشاورزی پرداخته شده است.

منطق فازی که برای اولین بار در مقاله‌ای به همین نام توسط عسگر زاده (Zadeh, 1965) ارائه گردید، بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های نادقیق و مبهم را صورت‌بندی ریاضی بخشید و به این شکل 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. متغیر زبانی، متغیری است که مقادیرش کلمات یا جملات یک زبان طبیعی باشد. به عنوان نمونه سن یک فرد را در نظر بگیرید؛ اگر مقادیری را که سن اختیار

$$TDS(x) \mu \text{ قابل قبول} \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 470 \\ \frac{x - 470}{570 - 470} & \text{if } x \in (470 \ 570) \\ 1 & \text{if } x \in (570 \ 1900) \\ \frac{2100 - x}{2100 - 1900} & \text{if } x \in (1900 \ 2100) \\ 0 & \text{if } x > 2100 \end{cases}$$

رابطه (۵)

$$TDS(x) \mu \text{ غیر قابل قبول} \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 1950 \\ \frac{x - 1950}{2050 - 1950} & \text{if } x \in (1950 \ 2050) \\ 1 & \text{if } x \in (2050 \ 4000) \\ 0 & \text{if } x \geq 4000 \end{cases}$$

مجموعه فازی، تابع عضویت هر یک از ورودی‌ها را 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. تصمیم‌سازی 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. مدل‌های کیفی در هر دو بخش "اگر" و "آنگاه" دارای عدم قطعیت می‌باشند (Fisher, 2003). 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 MATLAB انجام شد. 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).

همچنین بر اساس نظر کارشناس خبره برای پارامترهای آب کشاورزی مورد استفاده به صورت مثلثی و دوزنقه‌ای از (جدول ۲) جهت تعیین مقادیر تابع عضویت پارامترهای کشاورزی استفاده شد.

جدول ۲. حدود تعیین شده پارامترهای ورودی ارزیابی کشاورزی بر اساس استاندارد (FAO, 1994)

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

(تمامی واحدها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند به جز SSP و SAR)

روش مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل آبخوان‌های استان تهران از قبیل آبخوان‌های تهران-کرج، ورامین، هومند-آبسر، فیروزکوه و دماوند بود. بدین منظور داده‌های نمونه‌برداری قنات‌های استان تهران در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ تهیه گردید. تعداد ۲۳ نمونه قنات که بیانگر ویژگی‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بودند، انتخاب شدند. در (جدول ۳) تحلیل آماری قنات‌های مورد مطالعه استان تهران سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ آورده شده است. ترتیب فراوانی کاتیون‌های اصلی آب به صورت سدیم < کلسیم < منیزیم < پتاسیم و برای آنیون‌ها به صورت بی‌کربنات < سولفات < کلور < نیترات می‌باشد. (شکل ۱).

پارامترهای pH، TH، TA، Cl⁻، Ca²⁺، Mg²⁺، SO₄²⁻، NO₃⁻ و Na⁺ و TDS به عنوان مهم‌ترین پارامترهای موثر بر کیفیت آب شرب، به عنوان ورودی مدل کیفی استفاده شدند (Garg et al., 1998). پارامترهای کیفی SAR، SSP، Cl⁻، HCO₃⁻، SO₄²⁻ و Na⁺ و TDS نیز به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تأثیر گذار بر کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی به سه مشخصه زبانی مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول ترسیم شدند. تابع عضویت هر یک از پارامترهای ورودی، دارای معادله‌ای خاص در محدوده‌های مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول است. برای مثال روابط ۳، ۴، ۵، تابع عضویت پارامتر TDS می‌باشد.

رابطه (۳)

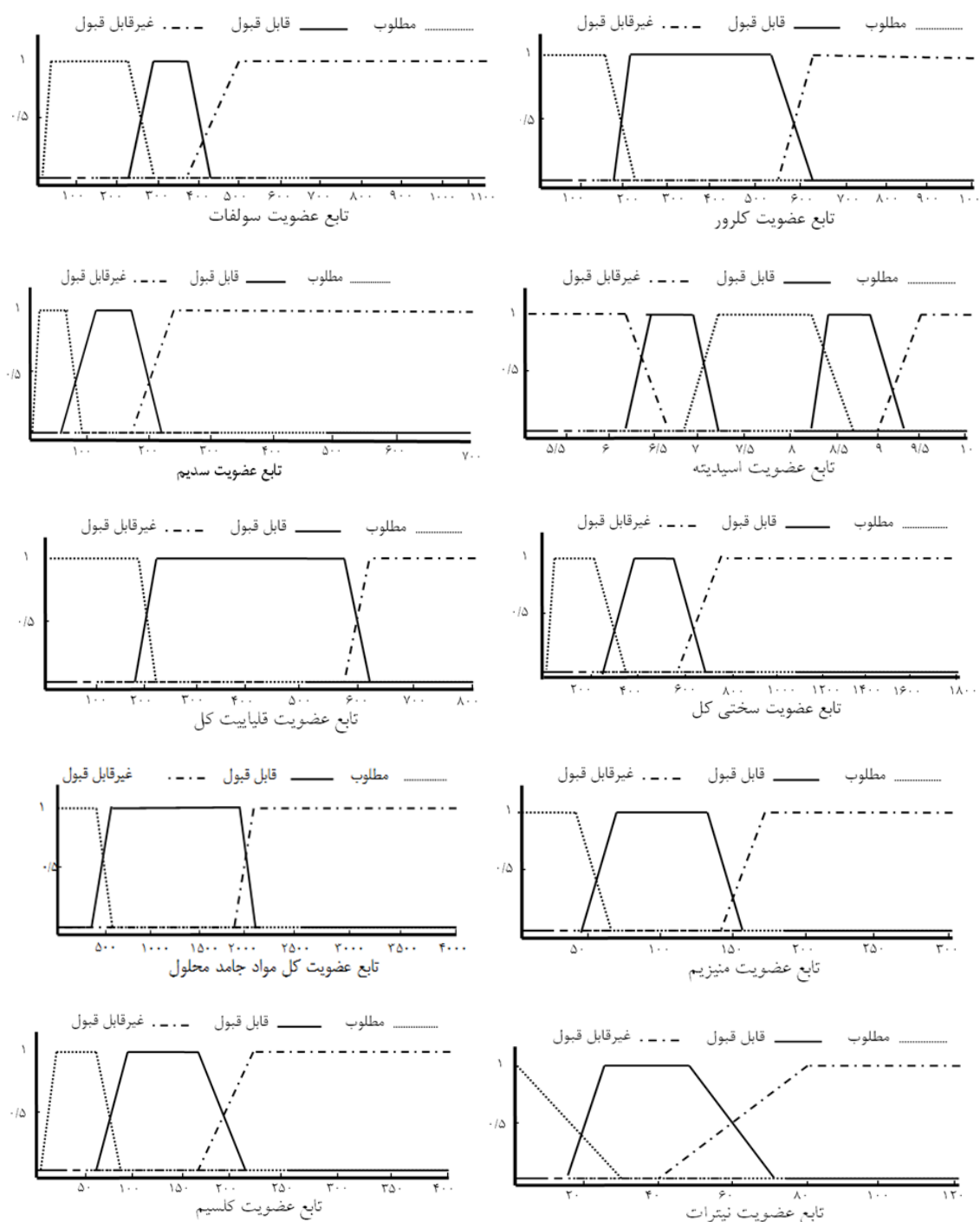
$$TDS(x) \mu \text{ مطلوب} \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 0 \\ 1 & \text{if } x \in (0 \ 450) \\ \frac{550 - x}{550 - 450} & \text{if } x \in (450 \ 550) \\ 0 & \text{if } x \geq 550 \end{cases}$$

رابطه (۴)

جدول ۳. پارامترهای آماری قنات‌های مورد مطالعه استان تهران سال آبی ۸۹-۱۳۸۸

Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	TDS	EC	pH	NO ₃	نمونه قنات
۳۰/۲	۴/۹	۱۳/۸	۰/۳۱	۱۳۹	۲۳	۱۰	۲۲۰	۳۲۳	۷	۰	کمترین
۲۴۶	۵۹/۹	۱۸۶	۱/۵۶	۳۶۹/۸	۱۶۳	۴۹۶	۱۹۶۴	۳۳۱۴۰	۸/۶	۶۸/۲	بیشترین
۵۰/۱	۱۴/۷	۶۸/۴	۰/۷۱	۲۲۲/۸	۸۰/۸	۵۳	۴۲۵	۶۶۷	۷/۷	۱۳/۷	میانگین
۱۵/۹	۶/۹	۵۴/۳	۰/۳۸	۶۳/۹	۴۷/۷	۳۵/۴	۱۷۱	۲۵۸	۰/۳	۱۵/۴	انحراف معیار

(یون‌های اصلی و TDS بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، pH بدون واحد و EC بر حسب میکرومومس بر سانتی‌متر می‌باشد)



شکل ۱. توابع عضویت پارامترهای ورودی از نظر شرب

بحث

برای ورودی‌های نتایج گروه اول، پارامترهای SAR، SSP، و TDS اعمال شدند. در (شکل ۴) چگونگی ترکیب پارامترهای ورودی نشان داده شده است. در هر یک از دو گروه تشکیل شده به منظور ارزیابی کیفی آب قنات‌های 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، آورده شده است. قوانین مورد استفاده بدین صورت می‌باشند:

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

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

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

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

قبل از اعمال روش دلالت، باید وزن هر قانون را مشخص نمود. 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. در هر دو مدل استنتاج فازی آب قنات استان تهران جهت مصارف شرب 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. 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 فازی‌سازی گویند. ورودی فرآیند غیر فازی‌سازی، 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 فازی‌ساز مرکز ثقل استفاده شده است. رابطه ۶ معادله مربوط به روش فازی ساز مرکز ثقل اشاره شده است.

رابطه (۶)

$$Z_{COA} = \frac{\int \mu_A(z) z dz}{\int \mu_A(z) dz}$$

در این پژوهش از عملگر استلزام ممدانی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استان تهران از نظر کشاورزی و شرب استفاده شده است. جهت بررسی بهتر و مشخص شدن تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی آب شرب، ۱۰ پارامتر کیفی به سه گروه طبقه‌بندی شدند. در (شکل ۱) توابع عضویت پارامترهای کیفی آب قنات‌های استان تهران جهت ارزیابی کیفیت شرب آورده شده است. 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 زیر مقادیر فازی و مشخصه‌های زبانی استفاده شده در گروه اول آمده است. در گروه دوم ۴ پارامتر TDS، Cl، TA، SO_4 به صورت مدل درآمدند. در جدول ۴ مقادیر فازی استفاده شده برای مشخصه‌های زبانی مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول آمده است. جهت ارزیابی نهایی کیفی آب با استفاده از نتایج گروه اول و دوم و پارامترهای pH، NO_3 ، استفاده شدند. (شکل ۲) چگونگی ترکیب پارامترهای ورودی آب شرب را نشان داده شده است.

در انتها جهت ارزیابی نهایی کیفیت آب 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. تعداد قوانین مدل‌های استنتاج فازی، به تعداد پارامترهای ورودی و متغیرهای زبانی مورد استفاده بستگی دارد. برای هر یک از گروه‌های اول، دوم و سوم تعداد ۸۱ قانون بکار گرفته شد. به تعدادی از این قوانین در ادامه اشاره خواهیم کرد:

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

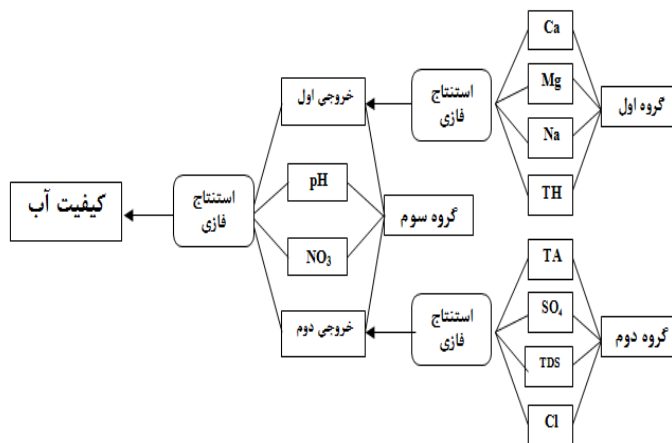
قانون سوم: اگر قلیابیت کل مطلوب، کل املاح محلول قابل قبول، کلرور غیرقابل قبول و سولفات قابل قبول باشد، آن‌گاه کیفیت آب به لحاظ شرب قابل قبول است.

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

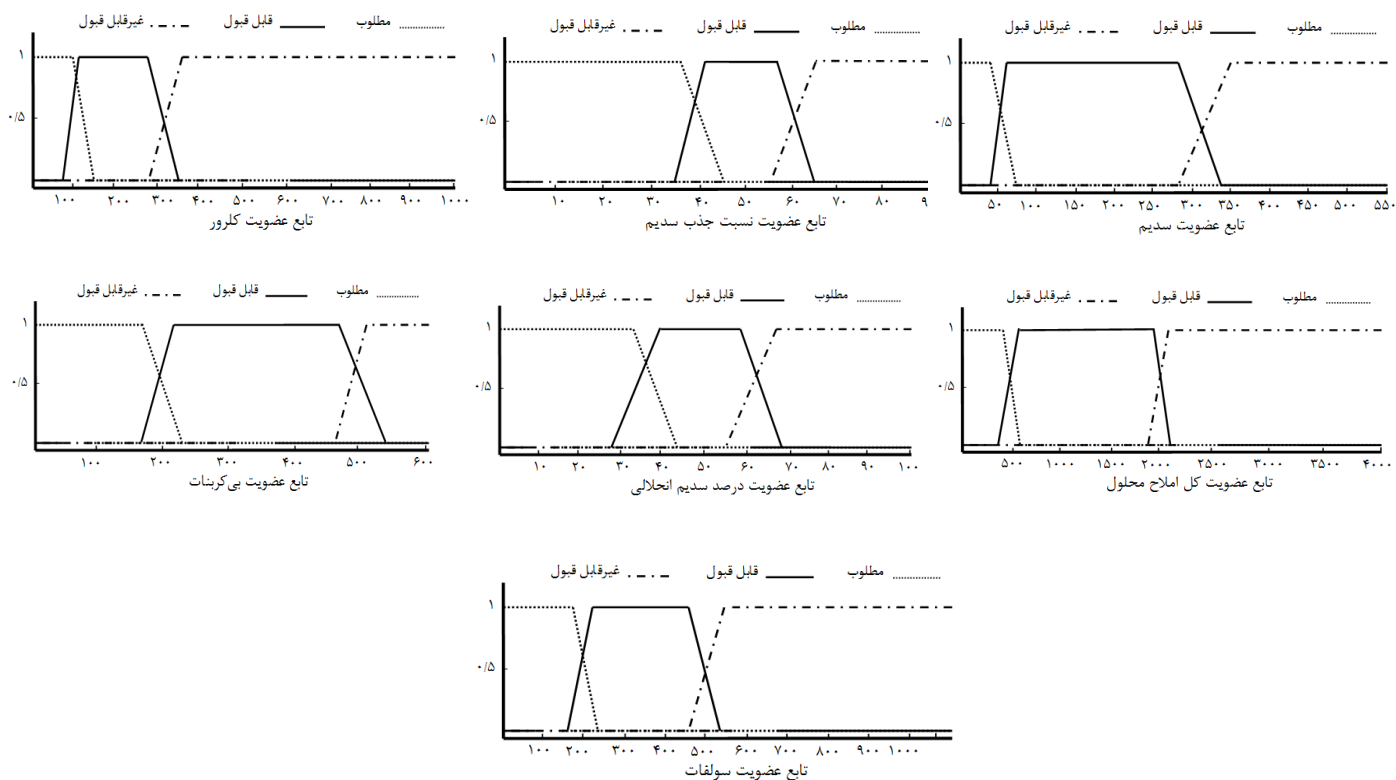
قانون پنجم: اگر نتایج گروه اول غیرقابل قبول، نتایج گروه دوم غیرقابل قبول، نیترات مطلوب و اسیدیته قابل قبول باشد، آن‌گاه کیفیت نهایی آب به لحاظ شرب غیرقابل قبول است.

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

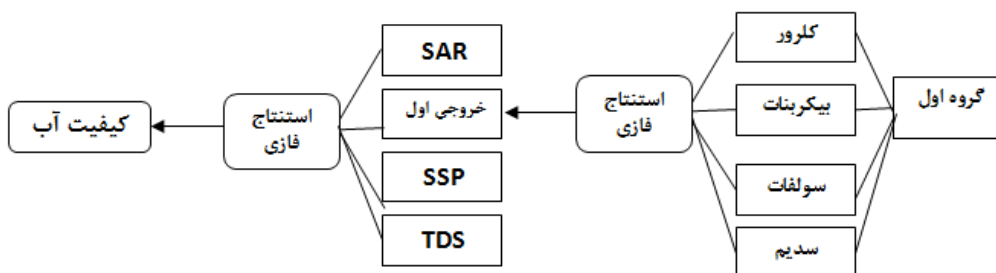
در ادامه جهت ارزیابی کیفیت آب قنات‌های استان تهران جهت مصارف کشاورزی از مهم‌ترین پارامترهای موثر بر کیفیت آب، ۷ پارامتر شامل SAR، SSP، Cl^- ، HCO_3^- ، SO_4^{2-} ، Na^+ و TDS استفاده شدند. در (شکل ۳) توابع عضویت پارامترهای کیفی آب قنات‌های استان جهت ارزیابی کیفیت کشاورزی آورده شده است. در گروه اول ۴ پارامتر Cl^- ، HCO_3^- ، SO_4^{2-} و Na^+ که به لحاظ تأثیر بر کیفیت آب کشاورزی هم‌خوانی بهتری دارند، به صورت مدل درآمدند. سپس، جهت ارزیابی نهایی کیفیت آب، نتایج گروه اول، پارامترهای SAR، SSP، و TDS در مدل استنتاج فازی وارد گردید. قانون



شکل ۲. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی کیفی آب شرب



شکل ۳. توابع عضویت پارامترهای ورودی از نظر کشاورزی



شکل ۴. پارامترهای ورودی و خروجی ارزیابی کیفی آب کشاورزی

مطلوب و با سطح اطمینان ۷۳/۶ تا ۷۶/۳ درصد و تعداد ۴ نمونه در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۳۶/۸ تا ۵۹/۲ درصد قرار گرفتند. یک نمونه نیز در رده غیرقابل قبول و با سطح اطمینان ۲۴ درصد قرار گرفتند.

در جدول ۵، نتایج خروجی مدل استنتاج فازی جهت مصارف کشاورزی برای ۲۳ نمونه آب از قنات‌های استان تهران به دو روش قطعی و فازی مقایسه شدند. در روش فازی پارامترهای کیفی وارد مدل شدند و کیفیت نهایی آب توسط مدل فازی تعیین شد. نمونه‌های ۱، ۳، ۵، با سطح اطمینان ۷۶/۳٪ از لحاظ ترکیب مشابه بوده و نتایج ارزیابی آن‌ها به دو روش فازی و قطعی مشابه بود. نمونه ۱۰ با سطح اطمینان ۴۸/۷٪ در رده قابل قبول قرار گرفت. نمونه ۱۱ با سطح اطمینان ۵۸٪ در رده مطلوب قرار گرفت. در حالی که با مقایسه این دو نمونه در ارزیابی قطعی متوجه شباهت کامل این دو نمونه می‌شویم. با مقایسه این دو نمونه برتری مدل استنتاج فازی در ارزیابی کیفیت آب مشخص می‌شود.

در انتها با طراحی مدل استنتاج فازی، تمامی ۲۳ نمونه آب قنات در بخش نمایشگر قوانین مورد ارزیابی قرار گرفتند. با وارد کردن مقادیر عددی و قطعی پارامترهای آب قنات در این بخش از نرم‌افزار متلب، کیفیت آب شرب و سطوح اطمینان تمامی نمونه‌ها تعیین گردید.

برتری روش فازی نسبت به روش قطعی با مقایسه داده‌های مرزی مشخص می‌شود. مقایسه دو روش قطعی و فازی در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول ۲۳ نمونه قنات از کل قنات‌های استان تهران به دو روش قطعی و فازی جهت مصارف شرب مقایسه شدند. در روش قطعی با استفاده از استانداردهای کیفیت آب، تمامی پارامترها به صورت جداگانه بررسی شدند و تعلق آن‌ها به هر یک از سه رده مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول مشخص گردید. در روش فازی پارامترهای کیفی وارد مدل شدند و کیفیت نهایی آب توسط مدل فازی تعیین شد. سطح اطمینان مربوط به هر یک از نمونه‌ها داخل پرانتز در جدول ۴ آورده شده است. از بین ۲۳ قنات مورد مطالعه، تعداد ۱۸ نمونه در رده

جدول ۴. مقایسه روش ارزیابی فازی و روش قطعی قنات‌های مورد مطالعه از نظر مصارف شرب

شماره نمونه	ارزیابی بر اساس روش فازی	مطلوب	قابل قبول	غیرقابل قبول
۱	مطلوب (۷۵/۵)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,NO ₃ ,Na,SO ₄	TA	----
۲	مطلوب (۷۵/۱)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃ ,Na,SO ₄	----	----
۳	مطلوب (۷۶/۳)	Cl,pH,TDS,Mg,NO ₃ ,Na,SO ₄	TH,TA,Ca	----
۴	قابل قبول (۵۹/۲)	pH,NO ₃	TH,Cl,Na,TDS,Mg,Ca,TA	SO ₄
۵	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃ ,Na,SO ₄	----	----
۶	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,NO ₃ ,Na,SO ₄	TA	----
۷	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃ ,Na,SO ₄	----	----
۸	قابل قبول (۵۴)	Cl,pH	TDS,Mg,Ca,TA,Na,TH	SO ₄ ,NO ₃
۹	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃ ,Na,SO ₄	----	----
۱۰	مطلوب (۷۵/۶)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃ ,Na,SO ₄	----	----
۱۱	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃ ,Na,SO ₄	----	----
۱۲	مطلوب (۷۵/۶)	TH,Cl,pH,Mg,Ca,NO ₃ ,SO ₄	Na,TA,TDS	----
۱۳	غیرقابل قبول (۲۴)	TH,Cl,pH,Mg,Ca,SO ₄	TDS,TA,Na	NO ₃
۱۴	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,Mg,Ca,SO ₄	TA,Na,TDS,NO ₃	----
۱۵	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,NO ₃ ,SO ₄	Na,TA	----
۱۶	مطلوب (۷۴/۲)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃ ,Na,SO ₄	----	----
۱۷	قابل قبول (۳۷)	NO ₃	Mg,TH,TDS,pH,Cl	Ca,TA,SO ₄ ,Na
۱۸	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,TDS,Mg,Ca,TA,SO ₄	Na,NO ₃	----
۱۹	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,Mg,Ca,SO ₄	TA,Na,TDS,NO ₃	----
۲۰	مطلوب (۷۴/۹)	TH,Cl,pH,Mg,Ca,NO ₃ ,SO ₄	Na,TA,TDS	----
۲۱	قابل قبول (۳۶/۸)	pH	Cl,TDS,Mg,Ca,TA,NO ₃	TH,Na,SO ₄
۲۲	مطلوب (۷۳/۶)	TH,Cl,pH,Mg,Ca,SO ₄	TA,Na,TDS,NO ₃	----
۲۳	مطلوب (۷۶/۳)	TH,Cl,pH,Mg,Ca,SO ₄	TA,Na,TDS,NO ₃	----

(سطح اطمینان مربوط به هر یک از نمونه‌ها داخل پرانتز نوشته شده است)

جدول ۵. مقایسه روش ارزیابی فازی و روش قطعی قنات‌های مورد مطالعه از نظر مصارف کشاورزی

شماره نمونه	ارزیابی بر اساس روش فازی		ارزیابی به روش قطعی	
	مطلوب	قابل قبول	مطلوب	غیر قابل قبول
۱	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS Na SO4	HCO3
۲	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۳	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS Na SO4	HCO3
۴	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۵	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS Na SO4	HCO3
۶	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۷	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۸	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۹	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۱۰	قابل قبول (۴۸/۷)		CI SO4	Na HCO3 TDS
۱۱	مطلوب (۵۸)		CI SO4	HCO3 Na TDS
۱۲	غیر قابل قبول (۸/۳۲)		CI TDS SO4	Na HCO3
۱۳	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۱۴	قابل قبول (۴۹/۵)		CI TDS HCO3 SO4	Na
۱۵	قابل قبول (۲۹/۹)		CI SO4	HCO3 Na TDS
۱۶	قابل قبول (۲۸/۱)		CI SO4	Na HCO3 TDS
۱۷	غیر قابل قبول (۸/۳۲)		CI SO4	HCO3 Na TDS
۱۸	غیر قابل قبول (۸/۳۲)		CI SO4	HCO3 Na TDS
۱۹	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۲۰	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS Na SO4	HCO3
۲۱	قابل قبول (۴۸/۷)		CI SO4	Na HCO3 TDS
۲۲	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	
۲۳	مطلوب (۷۶/۳)		CI TDS HCO3 Na SO4	

(سطح اطمینان مربوط به هر یک از نمونه‌ها داخل پیرانتز نوشته شده است)

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف معرفی روش ارزیابی فازی در تعیین کیفیت آب قنات‌های استان تهران 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 آشامیدنی و کشاورزی بر اساس روش‌های قطعی و تقسیم‌بندی کیفیت آب شرب و کشاورزی به رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول بر اساس استانداردهای کیفیت آب چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. زیرا نمی‌توان ارزش هریک از پارامترهای مورد مطالعه را تعیین نمود. بدین صورت که روش‌های قطعی، توانایی مشخص نمودن چه میزان مطلوب و یا قابل قبول بودن را ندارند. روش‌های فازی این مشکل را می‌توانند حل کنند و برای هر پارامتر میزان مقبولیت در رده‌های از پیش تعیین شده را مشخص می‌نمایند. با توجه به این که در ارزیابی فازی، برای هر یک از پارامترهای کیفی آب حدود فازی تعیین می‌شود، کیفیت آب در قالب رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول طبقه‌بندی گردید. سطح اطمینان مربوط به هر نمونه نیز مشخص شد.

نتایج مطالعه مدل استنتاج فازی جهت مصارف شرب، نشان داد، از بین ۲۳ قنات مورد مطالعه، ۷۸ درصد نمونه‌ها در رده مطلوب و ۱۷ درصد در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۳۶/۸ تا ۵۹/۲ درصد قرار گرفتند. یک نمونه نیز در رده غیر قابل قبول و با سطح اطمینان ۲۴ درصد قرار گرفتند. همچنین نتایج ارزیابی مدل استنتاج فازی جهت مصارف کشاورزی، نشان داد، از بین ۲۳ قنات مورد مطالعه، ۶۵ درصد نمونه‌ها در رده مطلوب و ۲۲ درصد در رده قابل قبول قرار گرفتند. ۱۳ درصد نیز در رده غیر قابل قبول قرار گرفتند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت، ارزیابی قطعی کیفیت آب جهت مصارف شرب و کشاورزی بر اساس رهنمودهای ارائه شده توسط ارگان‌های مختلف نتایج خوبی به همراه نداشت. در روش قطعی نمی‌توان تمامی پارامترها را با هم مقایسه نمود؛ و تفسیر کیفی منابع آب به صورت نسبی خواهد بود. در حالی که در روش استنتاج فازی، کیفیت آب از نظر شرب و کشاورزی و سطح اطمینان و میزان تعلق هر یک از نمونه‌ها به رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول مشخص گردید.

منابع

- آذر، ع. و فرجی، ح.، ۱۳۸۶، علم مدیریت فازی، انتشارات موسسه کتاب مهربان نشر.
- حاج رسولی ها، ش.، ۱۳۶۴، کیفیت آب برای کشاورزی، مرکز نشر دانشگاهی.
- راهبر، ا.، ۱۳۸۷، تخمین پارامترهای هیدرولیکی آبخوان‌های محبوس با تلفیق روش‌های کوپر-ژاکوب و رگرسیون خطی فازی اصلاح شده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران.
- صفی نژاد، ج.، ۱۳۷۹، شگفتی‌های قنات‌های ایران، مجموعه مقالات قنات، همایش بین‌المللی قنات، شرکت سهامی آب منطقه ای یزد.
- طاهری، م.، ۱۳۷۸، آشنایی با نظریه مجموعه های فازی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- علیزاده، ا.، ۱۳۶۴، کیفیت آب در کشاورزی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- لاله‌زاری، ر. و طباطبایی، ح.، ۱۳۸۹، خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد، مجله محیط شناسی، شماره ۵۳، ص ۵۵-۶۲.
- معروفی، ا.، ترنجیان؛ ا. و زارع ابیان؛ ح.، ۱۳۸۸، ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه آب‌های آب راهه ای همدان-بهار، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شماره ۱۶، ص ۱۶۹-۱۸۷.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶، ویژگی‌های آب آشامیدنی. استاندارد شماره ۱۰۵۳، چاپ‌های چهارم و پنجم، 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، مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۶، ص ۲۵-۳۴.
- 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 Reso*, Vol: 18, p: 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*, Vol: 63, p: 293-305.
- Comply, H. H., 1945, Cyanosis in Infants Caused by Nitrates in Well Water, *Journal of American Medicines Association*, Vol: 129, p: 112-117.
- Dahiya, S. B., Singh, S., Gaur, V., Garg, K., and Kushwaha, H. S., 2007 Analysis of Groundwater Quality Using Fuzzy Synthetic Evaluation, *Journal of Hazardous Material*, Vol: 147, p: 938-946.
- FAO, UNESCO, 1994. Irrigation, Drainage and salinity. International Sourcebook, Paris.
- Fisher, B., 2003, Fuzzy Environmental Decision Making: Application to Air Pollution, *Atmosphere Environmental*, Vol: 37, p: 1865-1877.
- Garg, V. K., Dahiya, S., Chaudhary, A., and Deepshikha, A., 1998, Fluoride Distribution in Underground Water of Jind District, Haryana, India, *Ecological Environmental Conservation*, Vol: 40, p: 19-23.
- Gholami, S., and Srikantaswamy, S., 2009, Analysis of Agricultural Impact on the Cauvery River Water around Krs Dam, *World Applied Sciences Journal*, Vol: 6, p: 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*, Vol: 66, p: 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*, Vol: 5, p: 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 & Software*, Vol: 24, p: 786-797.
- Liou, S., and Lo, S.L., 2004, A fuzzy Index Model for Tropic Status Evolution of Reservoir Waters, *Water Resources*, Vol: 96, p: 35-52.
- McKone, T. E., and Deshpande, A. W., 2005, Can Fuzzy Logic Bring Complex Environmental Problems into Focus? , *Environmental Sciences and Technology*, Vol: 39, p: 42-45.
- Sonmez, H., Tuncay, E., and Gokceoglu, C., 2004, Models to Predict the Uniaxial Compressive Strength and the Modulus of Elasticity for Ankara Agglomerate, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol: 41, p: 717-729.
- Todd, K. D., 2005, *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons.
- WHO, 1993, *Guidelines for drinking water quality recommendation*. Vol. I, Geneva.
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy Sets. *Information Control*, Vol: 8, p: 338-353.