



ارزیابی کاربرد سیستم استنتاج فازی ممدانی در تحلیل کیفیت آب زیرزمینی، مطالعه موردی: آبخوان طبس

امیر صابری نصر^{۱*}، محسن رضایی^۲، مجید دشتی^۱، جواد منصوری مجومرد^۳

^۱دانشجوی دکترا، دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم) تهران

^۲استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم) تهران

^۳شرکت آب و فاضلاب روستایی یزد

چکیده

طبقه‌بندی و شناسایی کیفیت آب زیرزمینی یکی از اهداف مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد. در روش‌های مرسوم، از مجموعه‌های قطعی با استفاده از حدود تعیین شده توسط سازمان‌های مختلف برای طبقه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. یکی از مشکلات تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب با استفاده از این روش‌ها وجود انواع عدم قطعیت‌ها در همه مراحل، از نمونه برداری تا بررسی و تحلیل نتایج می‌باشد. از سوی دیگر، استانداردهای تعیین شده توسط هر سازمان دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند، زیرا این مقادیر از برون‌یابی داده‌های آزمایش‌هایی که از مطالعات موردی انجام شده است بدست آمده‌اند. در سالهای اخیر، توانایی روش‌های مبتنی بر منطق فازی در لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها در مسائل مختلف زیست محیطی به اثبات رسیده است. در مطالعه حاضر، از یک روش جدید مبتنی بر سیستم استنتاج فازی ممدانی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان طبس استفاده شد. در این روش از ۱۰ پارامتر شیمیایی اندازه‌گیری شده در ۲۸ نمونه آب زیرزمینی استفاده شد. این پارامترها، بر اساس اهمیت‌شان در کیفیت آب از نظر شرب، به سه گروه تقسیم شدند. سپس این گروه‌ها، بر اساس قوانین "اگر - آنگاه" فازی با یکدیگر ترکیب شدند و کیفیت نهایی آب تعیین گردید. نتایج مطالعه نشان داد که ۱۸ مورد از این نمونه‌ها با سطح اطمینانی بین ۳۴ تا ۱۰۰ درصد در رده مطلوب، ۷ نمونه با سطح اطمینان بین ۴۵ تا ۹۵ درصد در گروه قابل قبول و ۳ نمونه با سطح اطمینان بین ۷۶ تا ۹۲ درصد در محدوده نامطلوب برای مصارف شرب قرار دارند.

کلمات کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، مجموعه قطعی، استنتاج فازی ممدانی، اهداف شرب، سطح اطمینان.

۱- مقدمه

ارزیابی کیفیت آب ارائه شده است که در این بین می‌توان به ارزیابی ترکیبی فازی [۵]، شبکه عصبی مصنوعی [۲۴ و ۱۸]، سیستم‌های استنتاج فازی [۱۳]، روش نسبت‌گیری [۷]،

امروزه مطالعات محیط زیست و مدیریت کیفیت منابع آب، یکی از موضوعات مهم در سیاست‌های عمومی جهان است. از این‌رو در تحقیقات مختلف، روش‌ها و معیارهای متنوعی برای

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۵۱۷۴۰۳۲۶

آدرس پست الکترونیک: amir.saberi85@gmail.com

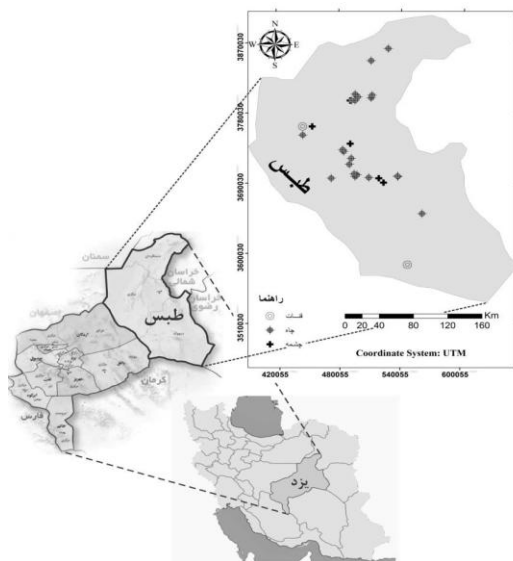
کیفیت آب محدود بوده است (برای مثال مراجعه شود به [۲،۶،۸،۹،۱۴،۱۶،۱۵ و ۲۳]).

هدف این مطالعه، کاربرد روشی بر پایه منطق فازی به جای روش تصمیم‌گیری قطعی در مورد کیفیت آب شرب برای حذف ابهامات فوق‌الذکر می‌باشد. در این روش، توابع عضویت پارامترهای کیفی بر اساس قوانین فازی معرفی می‌شوند و سپس جعبه ابزار منطق فازی از نرم افزار MATLAB مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه، روستاهایی از شهرستان طبس است که بین عرض ۵۲' ۳۲° تا ۴۷' ۳۴° شمالی و طول ۲۰' ۵۵° تا ۱۵' ۵۸° شرقی واقع شده است. در این منطقه، بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی از طریق چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها صورت می‌گیرد. در این مطالعه از ۲۸ منبع آب آشامیدنی روستایی استفاده شده است (شکل ۱)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نمونه‌ها

آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها نشان می‌دهد که برخی پارامترهای موثر بر آب شامل کلیفرم، منگنز، آهن دو ظرفیتی، کمتر از حد مورد انتظار در استانداردهای موجود است؛ لذا در تصمیم‌گیری فازی، این پارامترها در نظر گرفته نشدند. در نهایت، ۱۰ پارامتر pH، سختی کل، کل مواد جامد محلول، قلیائیت کل، کلسیم، منیزیم، سولفات، کلراید،

شاخص کیفیت آب [۱۹]، شاخص ساده شده کیفیت آب، و نظایر این‌ها اشاره کرد.

یکی از مشهورترین و متعارف‌ترین روش‌های کاربردی در طول چند دهه‌ی اخیر، روش شاخص کیفیت آب است توسط بنیاد ملی بهداشت توسعه داده شده و سپس از سوی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا به عنوان روشی رسمی در فرآیند ارزیابی به کار رفته است [۴]. در این روش با مقایسه اندیس‌های مختلف کیفی آب، حدود مشخص شده برای آن‌ها و با اضافه کردن ضرب عامل وزنی مربوطه به ارزش کیفی مناسب برای هر پارامتر، به بررسی کیفیت آب پرداخته می‌شود.

با وجود این پیشرفت‌ها شاخص کیفیت آب، شاخص ساده شده کیفیت آب، و دیگر شاخص‌های مشابه، دارای نقاط ضعفی هستند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به تعیین ارزش کیفی با استفاده از تعداد محدودی پارامتر اشاره کرد. برای مثال، اکثر شاخص‌ها، آلودگی‌های سمی همچون فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها یا آفت‌کش‌ها را در بر نمی‌گیرند. ضمناً، با توجه به معادلات ساده و متغیرهای محدود در این شاخص‌ها، برخی پارامترها بدون توجه علمی مناسب، در نتیجه‌ی نهایی تاثیر چشمگیری دارند [۱۴]. به هر حال، عمده‌ترین مشکل شاخص‌های بیان شده این است که عدم قطعیت همراه با مسائل محیطی را در نظر نمی‌گیرند.

در راستای محدودیت‌های بیان شده باید به این مطلب نیز اشاره کرد که استانداردهای کیفی آب که توسط نهادهای مختلف نظارتی، مثل سازمان بهداشت جهانی (WHO) و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ارائه شده است، از حدود قطعی برای طبقه‌بندی کیفیت آب استفاده می‌کنند و این حدود تعیین شده دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند؛ بنابراین، نظارت بر کیفیت آب و تصمیمات کمی و کیفی بر اساس داده‌های واقعی برای مهندسی محیط زیست و هیدروژئولوژیست‌ها در کل مراحل مختلف کار، از گردآوری داده و ذخیره و پردازش آن گرفته تا تحلیل و تشریح نتایج، به یک چالش اساسی تبدیل شده است و در این زنجیره‌ی ارائه شده، عدم قطعیت‌ها انباشته می‌شوند [۲۱ و ۱۲].

در سال‌های اخیر، سیستم استنتاج فازی ممدانی با توجه به توانایی‌اش در ارزیابی عدم قطعیت‌ها، در علوم مختلف محیطی به وسیله محققین و تصمیم‌گیرندگان مورد استفاده قرار گرفته است اما استفاده از این سیستم در مطالعات

قوانین و روش‌های غیرفازی‌سازی تفاوت دارند [۳و]. یکی از آنها، مدل فازی ممدانی است. این مدل بر اساس مجموعه‌ای از قوانین "اگر- آنگاه" می‌باشد که در آن هر دو قسمت شرط و نتیجه، فازی هستند [۱۱و۲۰]. مدل فازی ممدانی به دلیل کاربرد آسانش بسیار مورد توجه می‌باشد. ساختار "اگر- آنگاه" الگوریتم ممدانی به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$R_i: \text{if } x \text{ is } A_i \text{ and } \dots \quad (2)$$

then y is B_i (for $i=1,2,\dots,k$)

در فرمول بالا، K تعداد قوانین، R_i شماره قانون، A_i و B_i مجموعه‌های فازی، x متغیر شرط (ورودی سیستم فازی)، و y متغیر نتیجه (خروجی سیستم فازی) است [۲۰و]. در مطالعه‌ی حاضر از روش بیشینه - کمینه با معادله‌ی زیر برای ترکیب روابط فازی استفاده شده است [۲]:

$$\mu_{C_k}(Z) = \max[\min[\mu_{A_k}(\text{input}(x)), \mu_{B_k}(\text{input}(y))]] \quad (3)$$

$$K = 1, 2, \dots, r$$

که μ_{C_k} تابع عضویت خروجی "Z" برای قانون K و μ_{AK} و μ_{BK} به ترتیب توابع عضویت ورودی x و y هستند.

۳- بحث و نتایج

در روش قطعی ارزیابی کیفیت آب، ۱۰ پارامتر کیفی، با حدود تعیین شده استاندارد مقایسه شده است و سپس، نتایج مربوط به هر پارامتر در گروه‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم بندی می‌شوند؛ اما در روش سیستم استنتاج فازی ممدانی، با توجه به نظر کارشناسی، ۱۰ پارامتر کیفی آب زیرزمینی به سه گروه تقسیم می‌شوند. کل مواد جامد محلول، کلیات کل، کلر و سولفات در گروه اول قرار می‌گیرند. گروه دوم نیز شامل pH، سختی کل، کلسیم و منیزیم می‌شود. فلوراید و نیترات به دلیل اهمیت در تعیین کیفیت آب از نظر شرب، به همراه خروجی‌های حاصل از گروه‌های اول و دوم، در گروه سوم مورد بررسی قرار گرفتند. شکل شماره ۳، روند کامل آنالیز کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد. بر این اساس، توابع عضویت فازی برای هر ۱۰ پارامتر به صورت مثلثی یا ذوزنقه‌ای بر اساس نظر کارشناس و حدود تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (جدول ۱) رسم شده‌اند. این توابع عضویت، در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، مجموعه‌های فازی به گروه‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم‌بندی شده‌اند.

نیترات و فلوراید برای ارزیابی کیفیت آب از نظر شرب در مدل سیستم استنتاج فازی ممدانی تحلیل شدند.

۲-۲- سیستم استنتاج فازی

استنتاج فازی به عنوان فرآیند نگاشت مجموعه‌ای از داده‌های ورودی به مجموعه‌ای از داده‌های خروجی، با استفاده از دیدگاه منطق فازی بیان می‌شود [۱۰]. یک سیستم استنتاج فازی، فرآیندی است که استدلال زبان انسان را با استفاده از منطق فازی (بر اساس قوانین اگر-آنگاه فازی) به صورت فرمول در می‌آورد. سیستم استنتاج فازی، عموماً متشکل از چهار بخش اصلی شامل فازی‌سازی، قوانین فازی، موتور استنتاج فازی و غیرفازی‌سازی می‌باشد. ساختار کلی سیستم استنتاج فازی در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- ساختار کلی سیستم استنتاج فازی

فازی‌سازی: عبارت است از تبدیلی که مقادیر اندازه‌گیری شده را به متغیرهای زبانی به کار رفته در قسمت شرط قوانین فازی تبدیل می‌کند. فازی‌سازی با استفاده از توابع عضویت انجام می‌گیرد.

قوانین فازی: در سیستم‌های مبتنی بر دانش، رابطه بین ورودی و متغیرهای زبانی خروجی، به صورت یک مجموعه فازی "اگر- آنگاه" بیان می‌شود. در سیستم استنتاج فازی، هر قانون فازی دو قسمت دارد [۱۰]: (۱) شرط (فرض): اگر ... (۲) نتیجه: آنگاه ...

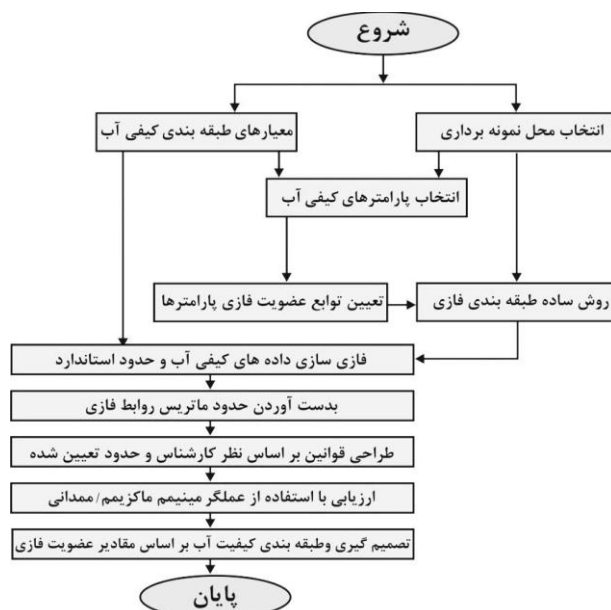
موتور استنتاج فازی: عملیات استنتاج قوانین بر عهده سیستم استنتاج یا واحد تصمیم گیرنده است. این سیستم، روش ترکیب قوانین را کنترل می‌کند [۱۳].

غیرفازی‌سازی: این فرآیند شامل تبدیل خروجی فازی به یک خروجی قطعی نهایی است [۱۷]. در این تحقیق با استفاده از روش مرکز سطح، کمیت فازی با استفاده از فرمول زیر به کمیت قطعی تبدیل می‌گردد [۲]:

$$Z_{COA} = \frac{\int z \mu_A(z) dz}{\int \mu_A(z) dz} \quad (1)$$

در فرمول بالا، Z_{COA} مقدار قطعی برای خروجی Z و $\mu_A(z)$ تابع عضویت خروجی است.

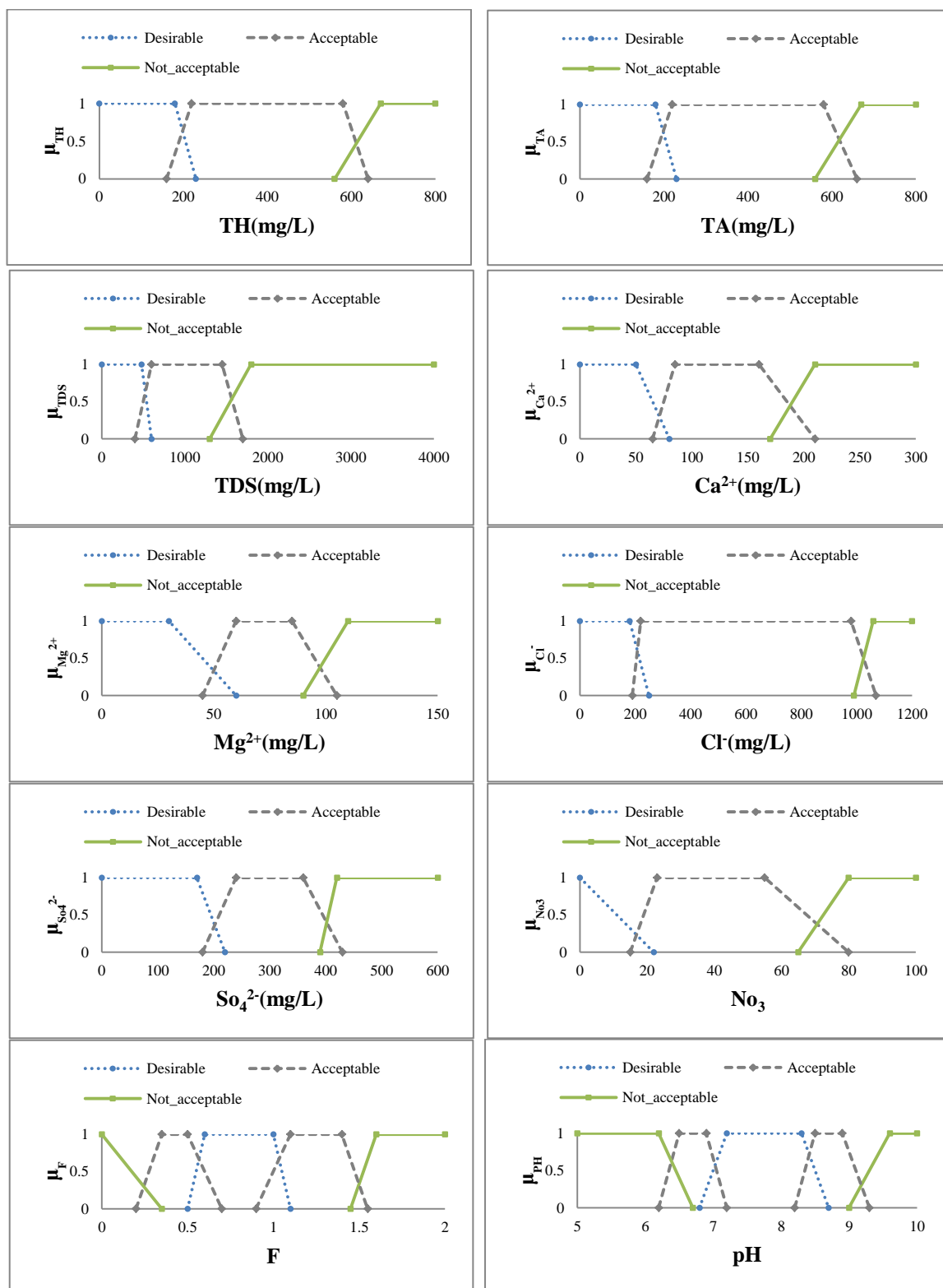
مدل فازی ممدانی: انواع مختلفی از سیستم استنتاج فازی به وسیله محققین ارائه شده‌اند که در قسمت نتیجه‌ی



شکل ۳- فلوچارت آنالیز کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از سیستم استنتاج فازی

جدول ۱- حدود تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2006) و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۷۶)

پارامتر	WHO (2006)		IRISI	
	مطلوب	قابل قبول	مطلوب	قابل قبول
pH	۷-۸/۵	۶/۵-۹/۲	۷-۸/۵	۶/۵-۹/۲
TA	۲۰۰	۶۰۰	-	-
TH	۳۰۰	۶۰۰	۱۵۰	۵۰۰
TDS	۵۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰
Ca ²⁺	۷۵	۲۰۰	۷۵	۲۰۰
Mg ²⁺	۵۰	۱۰۰	۵۰	۱۵۰
Cl ⁻	۲۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰	۶۰۰
So ₄ ²⁻	۲۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۴۰۰
No ₃ ⁻	۲۰	<۱۰۰	۲۰	۴۵
Fluoride	۱	۱/۵	-	-



شکل ۴- توابع عضویت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با نظر کارشناس

و در یک گروه ذخیره می‌شود و سپس با انتخاب مقدار بیشینه گروه‌ها، میزان تعلق‌پذیری کیفیت هر نمونه آب به هر کدام از گروه‌های کیفی مشخص می‌گردد [۵]؛ سپس نتایج قوانین، ترکیب می‌شود و از طریق روش مرکز سطح، غیر فازی می‌گردند. دیاگرام مدل فازی پیشنهاد شده برای گروه‌های اول تا سوم در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده است. بر این اساس ۲۸ نمونه آب زیرزمینی ارزیابی شدند. داده‌های به دست آمده در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند. اهمیت روش سیستم استنتاج فازی در انتخاب نمونه‌هایی است که مقادیر پارامترهای آنها نزدیک به حدود تعیین شده قرار گرفته‌اند. در مرزهای حدود تعیین شده، عدم قطعیت‌ها نقش اساسی را در فرآیند تصمیم‌گیری ایفا می‌کند و برخی اوقات باعث تصمیم‌گیری اشتباه می‌شوند.

برای ساخت مدل فازی، بر اساس داده‌های موجود و نظر کارشناس، ۳۵۱ قانون تعیین شد. در این مدل، تعداد قوانین وابسته به تعداد پارامترهای ورودی و توابع عضویت هستند. اگر $\mu(x)$ تعداد توابع عضویت هر پارامتر و n تعداد پارامترهای ورودی باشد، می‌توان تعداد قوانین R را محاسبه کرد [۶]:

$$R = \mu(x_1)\mu(x_2)\dots\mu(x_n) \quad (4)$$

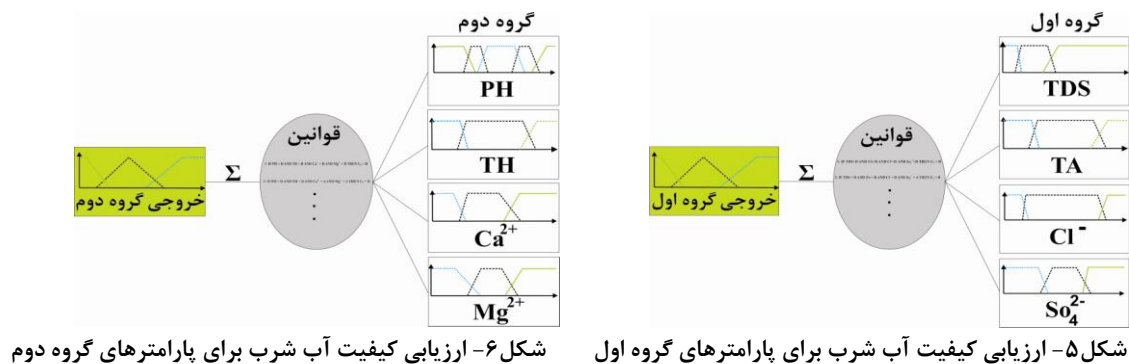
بنابراین، با توجه به این که گروه اول شامل ۴ پارامتر ورودی و هر پارامتر ورودی شامل ۳ تابع عضویت می‌باشد، قوانین در نظر گرفته شده برای آن برابر با $(3 \times 3 \times 3 \times 3) = 81$ خواهد بود. به همین ترتیب برای هر کدام از گروه‌های دوم و سوم نیز ۱۳۵ $(3 \times 3 \times 3 \times 5)$ قانون تعیین شد. جدول ۲ برخی از قوانین استفاده شده برای هر گروه را نشان می‌دهد. مدل فازی پیشنهاد شده بر اساس استلزام مددانی عملگر بیشینه-کمینه می‌باشد. در عملگر بیشینه-کمینه، کمترین مقدار هر قانون با استفاده از عملگر کمینه فازی پذیرفته شده

جدول ۲- برخی از قوانین تعیین شده بر اساس نظر کارشناس برای پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در هر گروه

گروه اول		
شماره قانون	قسمت شرط	قسمت نتیجه
R ₁	IF TDS=Desirable AND TA=Desirable AND Cl ⁻ =Desirable AND So ₄ ²⁻ =Desirable	THEN G ₁ = Desirable
R ₂	IF TDS = Desirable AND TA = Desirable AND Cl ⁻ = Desirable AND So ₄ ²⁻ = Acceptable	THEN G ₁ = Desirable
R ₃	IF TDS = Desirable AND TA = Desirable AND Cl ⁻ = Desirable AND So ₄ ²⁻ = Not_Acceptable	THEN G ₁ = Desirable
R ₄	IF TDS = Desirable AND TA = Desirable AND Cl ⁻ = Acceptable AND So ₄ ²⁻ = Acceptable	THEN G ₁ = Desirable
R ₅	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl ⁻ = Acceptable AND So ₄ ²⁻ = Acceptable	THEN G ₁ = Acceptable
R ₆	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl ⁻ = Acceptable AND So ₄ ²⁻ = Desirable	THEN G ₁ = Acceptable
R ₇	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl ⁻ = Not_Acceptable AND So ₄ ²⁻ = Acceptable	THEN G ₁ = Acceptable
R ₈	IF TDS = Acceptable AND TA = Desirable AND Cl ⁻ = Not_Acceptable AND So ₄ ²⁻ = Not_Acceptable	THEN G ₁ = Not_Acceptable
R ₉	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl ⁻ = Not_Acceptable AND So ₄ ²⁻ = Not_Acceptable	THEN G ₁ = Not_Acceptable
R ₁₀	IF TDS = Not_Acceptable AND TA = Desirable AND Cl ⁻ = Not_Acceptable AND So ₄ ²⁻ = Desirable	THEN G ₁ = Not_Acceptable
گروه دوم		
شماره قانون	قسمت شرط	قسمت نتیجه
R ₁	IF pH = Desirable AND TH = Desirable AND Ca ²⁺ = Desirable AND Mg ²⁺ = Desirable	THEN G ₂ = Desirable
R ₂	IF pH = Desirable AND TH = Desirable AND Ca ²⁺ = Acceptable AND Mg ²⁺ = Acceptable	THEN G ₂ = Desirable
R ₃	IF pH = Desirable AND TH = Desirable AND Ca ²⁺ = Acceptable AND Mg ²⁺ = Not_Acceptable	THEN G ₂ = Desirable
R ₄	IF pH = Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca ²⁺ = Acceptable AND Mg ²⁺ = Acceptable	THEN G ₂ = Acceptable
R ₅	IF pH = Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca ²⁺ = Acceptable AND Mg ²⁺ = Desirable	THEN G ₂ = Acceptable
R ₆	IF pH = Desirable AND TH = Acceptable AND Ca ²⁺ = Acceptable AND Mg ²⁺ = Not_Acceptable	THEN G ₂ = Acceptable
R ₇	IF pH = Not_Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca ²⁺ = Acceptable AND Mg ²⁺ = Desirable	THEN G ₂ = Not_Acceptable
R ₈	IF pH = Not_Acceptable AND TH = Not_Acceptable AND Ca ²⁺ = Acceptable AND Mg ²⁺ = Desirable	THEN G ₂ = Not_Acceptable
R ₉	IF pH = Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca ²⁺ = Not_Acceptable AND Mg ²⁺ = Not_Acceptable	THEN G ₂ = Not_Acceptable
R ₁₀	IF pH = Desirable AND TH = Not_Acceptable AND Ca ²⁺ = Not_Acceptable AND Mg ²⁺ = Not_Acceptable	THEN G ₂ = Not_Acceptable
گروه سوم		
شماره قانون	قسمت شرط	قسمت نتیجه
R ₁	IF G ₁ = Desirable AND G ₂ = Desirable AND No ₃ ⁻ = Desirable AND F ⁻ = Desirable	THEN WQ = Desirable
R ₂	IF G ₁ = Acceptable AND G ₂ = Desirable AND No ₃ ⁻ = Desirable AND F ⁻ = Acceptable	THEN WQ = Desirable
R ₃	IF G ₁ = Not_Acceptable AND G ₂ = Desirable AND No ₃ ⁻ = Desirable AND F ⁻ = Desirable	THEN WQ = Desirable
R ₄	IF G ₁ = Not_Acceptable AND G ₂ = Desirable AND No ₃ ⁻ = Acceptable AND F ⁻ = Desirable	THEN WQ = Acceptable
R ₅	IF G ₁ = Not_Acceptable AND G ₂ = Acceptable AND No ₃ ⁻ = Acceptable AND F ⁻ = Acceptable	THEN WQ = Acceptable
R ₆	IF G ₁ = Acceptable AND G ₂ = Acceptable AND No ₃ ⁻ = Acceptable AND F ⁻ = Acceptable	THEN WQ = Acceptable
R ₇	IF G ₁ = Acceptable AND G ₂ = Acceptable AND No ₃ ⁻ = Not_Acceptable AND F ⁻ = Acceptable	THEN WQ = Not_Acceptable
R ₈	IF G ₁ = Desirable AND G ₂ = Not_Acceptable AND No ₃ ⁻ = Not_Acceptable AND F ⁻ = Desirable	THEN WQ = Not_Acceptable
R ₉	IF G ₁ = Acceptable AND G ₂ = Not_Acceptable AND No ₃ ⁻ = Desirable AND F ⁻ = Not_Acceptable	THEN WQ = Not_Acceptable
R ₁₀	IF G ₁ = Not_Acceptable AND G ₂ = Not_Acceptable AND No ₃ ⁻ = Desirable AND F ⁻ = Desirable	THEN WQ = Not_Acceptable

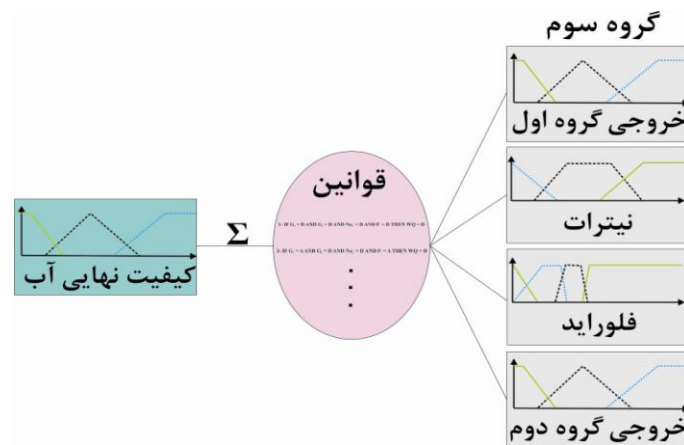
جدول ۳- جزئیات آب زیرزمینی برای اهداف آشامیدنی با استفاده از سیستم استنتاج فازی و روش قطعی (بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO))

شماره نمونه	تصمیم گیری بر اساس روش فازی	مطلوب	تصمیم گیری بر اساس روش قطعی	غیر قابل قبول
۱	مطلوب (۶۹)	SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TA, Cl, F	TDS
۲	مطلوب (۵۱)	TA, SO4, pH	TDS, Cl, TH, Ca, Mg, NO3, F	-
۳	مطلوب (۸۱)	TA, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TDS, Cl, F	-
۴	مطلوب (۷۸)	SO4, pH, Ca, Mg	TDS, TA, Cl, TH, NO3, F	-
۵	قابل قبول (۷۵)	TA, SO4, pH, NO3	Cl, Ca, Mg, F	TDS, TH
۶	مطلوب (۹۶)	SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TDS, TA, Cl, F	-
۷	مطلوب (۱۰۰)	SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	TDS, TA, Cl	-
۸	مطلوب (۱۰۰)	SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	TDS, TA, Cl	-
۹	غیر قابل قبول (۸۱)	SO4, pH, NO3, F	TA, Cl, TH, Ca, Mg	TDS
۱۰	قابل قبول (۷۵)	TA, SO4, pH, Ca, Mg, NO3	Cl, TH, F	TDS
۱۱	قابل قبول (۷۵)	TA, SO4, pH, Ca, Mg, NO3	Cl, TH, F	TDS
۱۲	قابل قبول (۵۷)	Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TDS, TA, F	-
۱۳	غیر قابل قبول (۷۶)	SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TDS, TA, Cl	F
۱۴	مطلوب (۹۲)	TDS, TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	-	-
۱۵	مطلوب (۱۰۰)	TDS, TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	-	-
۱۶	غیر قابل قبول (۹۲)	SO4, PH, Mg, NO3	TA, Cl, TH, Ca	TDS, F
۱۷	مطلوب (۷۵)	SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TA, Cl, F	TDS
۱۸	مطلوب (۳۴)	TDS, TA, Cl, SO4, PH, TH, Ca, Mg, NO3, F	-	-
۱۹	مطلوب (۸۱)	TA, SO4, pH, Ca, Mg, NO3	Cl, TH, F	TDS
۲۰	قابل قبول (۹۵)	TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TDS, F	-
۲۱	مطلوب (۹۹)	TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	TDS	-
۲۲	مطلوب (۹۷)	TDS, TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	-	-
۲۳	مطلوب (۴۸)	SO4, pH, NO3	TA, Cl, Ca, Mg, F	TDS, TH
۲۴	قابل قبول (۶۷)	TDS, TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	-	-
۲۵	مطلوب (۸۷)	TDS, TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3, F	-	-
۲۶	مطلوب (۷۱)	TA, pH, NO3	Cl, TH, Ca, Mg, F	TDS
۲۷	قابل قبول (۴۵)	TA, Cl, SO4, pH, TH, Ca, Mg, NO3	TDS, F	-
۲۸	مطلوب (۶۴)	TA, SO4, pH, TH, Ca, Mg	Cl, NO3, F	TDS



شکل ۶- ارزیابی کیفیت آب شرب برای پارامترهای گروه دوم

شکل ۵- ارزیابی کیفیت آب شرب برای پارامترهای گروه اول



شکل ۷- ارزیابی نهایی کیفیت آب شرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی

مشابهند؛ حتی نمونه شماره ۵ از این نظر بهتر است؛ اما تصمیمی که با روش MFIS برای این دو نمونه گرفته شده است به کلی با یکدیگر متفاوت است. با استفاده از این روش، نمونه شماره ۲۳ با سطح اطمینان ۴۸ درصد در رده مطلوب قرار دارد در حالی که نمونه شماره ۵ با سطح اطمینان ۷۵ درصد در گروه قابل قبول جای می‌گیرد. در اصل، این اختلاف مربوط به پارامترهایی می‌باشد که غلظت آن‌ها بیشتر از حد مجاز و حد مطلوب است. در نمونه شماره ۲۳، غلظت پارامترهای قابل قبول و غیر قابل قبول نزدیک به مرز محدوده‌ی مطلوب و محدوده‌ی مجاز هستند و به ترتیب در محدوده‌ی توابع عضویت فازی مطلوب و قابل قبول و همچنین در محدوده‌ی توابع عضویت فازی قابل قبول و غیر قابل قبول قرار می‌گیرند. در حالی که در نمونه شماره ۵ غلظت پارامترهای قابل قبول خیلی بیشتر از حدود تعیین شده می‌باشد و فقط در محدوده‌ی تابع عضویت فازی قابل قبول قرار می‌گیرد. در موردی دیگر همه پارامترهای نمونه‌های شماره ۲۴ و ۲۵ در روش قطعی در رده مطلوب قرار دارند (جدول ۳)؛ اما در روش MFIS، نمونه شماره ۲۵ با سطح اطمینان ۸۷ درصد در رده‌ی مطلوب و نمونه شماره ۲۴ با سطح اطمینان ۶۷ درصد در گروه قابل قبول قرار می‌گیرند. در نمونه شماره ۲۴، غلظت فلوراید کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر است و در محدوده توابع عضویت فازی مطلوب و غیر قابل قبول قرار می‌گیرد در حالی که در نمونه شماره ۲۵، غلظت‌ها متعلق به رده‌ی مطلوب هستند؛ بنابراین،

مقایسه مدل تصمیم‌گیری سیستم استنتاج فازی و تصمیم‌گیری قطعی در جدول ۳ ارائه شده است. بر این اساس، کیفیت شیمیایی نمونه‌های آب شماره ۷ و ۸ و ۱۵ با سطح اطمینان ۱۰۰ درصد، و پس از آن‌ها نمونه‌های شماره ۲۱، ۲۲ با سطوح اطمینان ۹۹ درصد و ۹۷ درصد در رده مطلوب برای مصارف شرب قرار گرفتند. با استفاده از روش تصمیم‌گیری قطعی به کار برده شده برای نمونه آب شماره ۱۶ چهار پارامتر SO_4^{2-} ، pH، Mg^{+2} و NO_3^- در رده مطلوب، و چهار پارامتر TA، Cl⁻، TH و Ca^{+2} در گروه قابل قبول و دو پارامتر TDS و F⁻ در کلاس غیر قابل قبول قرار گرفتند. این‌گونه تصمیم‌گیری درباره کیفیت آب شرب برای کارشناسان مبهم و در صورتی که در ارتباط با مردم باشد، بسیار مشکل است.

همان‌طور که در جدول شماره ۳ ملاحظه می‌شود، اختلاف بین روش تصمیم‌گیری MFIS و روش قطعی در نمونه‌های شماره ۵ و ۲۳ یا ۲۴ و ۲۵ نشان داده شده است. در نمونه شماره ۵ بر اساس روش تصمیم‌گیری قطعی، چهار پارامتر TA، SO_4^{2-} ، pH و NO_3^- در رده مطلوب، چهار پارامتر Cl⁻، Ca^{+2} ، F⁻ و Mg^{+2} در گروه قابل قبول و دو پارامتر TDS و TH در کلاس غیر قابل قبول قرار گرفتند و در نمونه شماره ۲۳ با همین روش، سه پارامتر SO_4^{2-} ، pH و NO_3^- در رده مطلوب، پنج پارامتر TA، Cl⁻، Ca^{+2} ، F⁻ و Mg^{+2} در گروه قابل قبول و دو پارامتر TDS و TH در کلاس غیر قابل قبول قرار گرفتند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تعداد پارامترهای مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول در هر دو نمونه تقریباً

using fuzzy synthetic evaluation. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 147, pp. 938-946.

[6] Firat, M., Erkan.Turan, M., and Yurdusev, M.A. 2009. Comparative analysis of fuzzy inference systems for water consumption time series prediction. *Journal of Hydrology*, Vol. 374, pp. 235-241.

[7] Ip, W.C., Hu, B.Q., Wong, H., and Xia, J. 2009. Applications of grey relational method to river environment quality evaluation in China. *Journal of Hydrology*, Vol. 379, pp. 284-290.

[8] Jacquin, A.P., and Shamseldin, A.Y. 2008. Development of Rainfall-Runoff Models Using Mammdani-Type Fuzzy Inference Systems. *Water Science and Technology Library*, 1, Vol. 68, practical Hydroinformatics, Part 3, pp. 189-200.

[9] Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rezaee, M., Rahimpour-Bonab, H., and Chehrizi, A. 2009. Petrophysical data prediction from seismic attributes using committee fuzzy inference system. *Computers & Geosciences*, Vol. 35, pp. 2314-2330.

[10] Katambara, Z, and Ndiritu, J. 2009. A fuzzy inference system for modeling streamflow: Case of Letaba River, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 34, pp. 688-700.

[11] Keshwani, D.R., Jones, D.D., Meyer, G.E., and Brand, R.M. 2008. Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of skin permeability. *Applied Soft Computing*, Vol. 8, pp. 285-294.

[12] Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., Augusta, Soares, and Machado, M. 2009. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, Vol. 9, pp. 1188-1197.

[13] Mahapatra, S.S., Nanda, S.K., and Panigrahy, B.K. 2011. A Cascaded Fuzzy Inference System for Indian river water quality prediction. *Advances in Engineering Software*, Vol. 42, pp. 787-796.

[14] Ocampo-Duque, W., Ferre-Huguet, N., Domingo, J.L., and Schuhmacher, M. 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. *Environment International*, Vol. 32, pp. 733-742.

[15] Rahmanian, B., Pakizeh, M., Esfandyari, M., Heshmatnezhad, F., and Maskooki, A. 2011. Fuzzy modeling and simulation for lead removal using micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF). *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 192, pp. 585- 592.

[16] Sen, Z., and Altunkaynak, A. 2009. Fuzzy system modeling of drinking water consumption prediction. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 11745-11752.

[17] Silvert, W. 2000. Fuzzy indices of environmental conditions, *Ecological Modelling*, Vol. 130, No. 1-3, pp. 111-119.

روش MFIS نقشی مهم در فرآیند تصمیم‌گیری آب زیرزمینی را از نظر شرب ایفا می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از روش‌های قطعی و سیستم استنتاج فازی ممدانی، کیفیت آب زیرزمینی با اهداف آشامیدنی بررسی شده است. در روش قطعی، کیفیت هر پارامتر بر اساس حدود تعیین شده در استانداردهای آب آشامیدنی [۱ و ۲] در سه گروه مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم می‌شود؛ اما تصمیم نهایی در مورد کیفیت آب زیرزمینی در این روش سخت و مبهم است. در روش ارزیابی سیستم استنتاج فازی ممدانی، نه تنها کیفیت آب آشامیدنی به سه گروه مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم می‌شود؛ بلکه می‌توان در مورد کیفیت نهایی آب زیرزمینی نیز تصمیم‌گیری کرد. علاوه بر این، می‌توان سطح اطمینان برای هر گروه را محاسبه نمود. در این مطالعه، در میان ۲۸ نمونه آب زیرزمینی، ۱۸ نمونه (با سطح اطمینان ۳۴ تا ۱۰۰ درصد) در رده مطلوب، ۷ نمونه (با سطح اطمینان ۴۵ تا ۹۵ درصد) در رده قابل قبول، و ۳ نمونه (با سطح اطمینان ۷۶ تا ۹۲ درصد) در رده غیر قابل قبول از نظر شرب قرار گرفت.

منابع

- [۱] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶، ویژگی‌های آب آشامیدنی، استاندارد شماره ۱۰۵۳، چاپ‌های چهارم و پنجم، کمیسیون استاندارد ویژگی‌های آب آشامیدنی.
- [2] Akgun, A., Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., and Pradhan, B. 2011. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers & Geosciences*, Article in press.
- [3] Bakhtyar, R., Ghaheri, A., Yeganeh-Bakhtiary, A., and Jeng, D.S. 2011. Cross-shore sediment transport estimation using fuzzy inference system in the swash zone. *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 348, pp. 2005-2025.
- [4] 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, pp. 293-305.
- [5] Dahiya, S., Singh, B., Gaur, S., Garg, V.K., and Kushwaha, H.S. 2007. Analysis of groundwater quality

of Groundwater Quality. International journal of soft Computing, Vol 4(1), pp. 1-9.

[22] WHO. 2006. Guidelines for drinking water quality recommendation.

[23] Yel, E., and Yalpir, S. 2011. Prediction of primary treatment effluent parameters by Fuzzy Inference System (FIS) approach. Procedia Computer Science, Vol. 3, pp. 659-665.

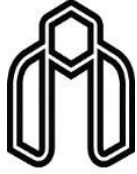
[24] Yi-Ming, K., Chen-Wuing, L., and Kao-Hung, L. 2004. Evaluation of the ability of an artificial neural network model to assess the variation of groundwater quality in an area of blackfoot disease in Taiwan. Water Research, Vol. 38, pp. 148-158.

[18] Singh, P.K., Basant, A., Malik, A., and Jain, G. 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality-A case study. Ecological Modelling, Vol. 220, P. 888-895.

[19] Srebotnjak, T., Carr, G., De Sherbinin, A., and Rickwood, C. 2011. A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. Ecological Indicators, Article in press.

[20] Tosun, M., Dincer, K., and Baskaya, S. 2011. Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of thermal performance of multi-layer precast concrete panels used in residential buildings in Turkey. Expert Systems with Applications, Vol. 38, pp. 5553-5560.

[21] Venkat Kumar, N., Mathew, S., and Swaminathan, G. 2009. Fuzzy Information Processing for Assessment



shahrood University

Vol. 1, No. 1, Spring 2013: 25- 34

Iranian Journal of

Water & Environment Engineering



Evaluating Mamdani Fuzzy Inference System Usage in the Analysis of Groundwater Quality, Case Study: Tabas Aquifer

A. Saberi Nasr^{1*}, M. Rezaei², M. Dashti Barmaki¹, J. Mansouri Majoumerd³

¹Ph.D. student in hydrogeology, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

²Assistant Professor of hydrogeology, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

³Rural Water and Wastewater Company, Yazd, Iran

*Corresponding author: Amir.saberi85@gmail.com (A. saberi Nasr)

Abstract

Classification and identification of groundwater quality is an essential task for meeting the goals of water resources management. Traditional classification methods of the water quality parameters use crisp set with prescribed limits of various organizations. One of the decision making problems about water quality using methods is facing various uncertainties from sampling to analysis of results. On the other hand, prescribed limits of each organization have uncertainties; because these values had obtained from extrapolation of test data that has been done in case study. Recent years have proven fuzzy-logic-based methods capability controlling uncertainties in different environmental problems. The present study utilized a newly devised Mamdani fuzzy inference system to assess groundwater quality in Tabas aquifer. This method made use of 10 measured chemical parameters in 28 samples of groundwater. These parameters categorized in three groups based on their importance in water quality to drinking purposes. Then, these groups were combined based on fuzzy "IF – THEN" rules and final water quality was determined. The results showed that 18 groundwater samples were in the "Desirable" class with a certainty level of 34-100%, and 7 samples were in the "Acceptable" group with a certainty level of 45-95%, and 3 samples were in the "Non-acceptable" category with a certainty level of 76-92% for potable purposes.

Keywords: groundwater quality, crisp set, Mamdani fuzzy inference, potable purposes, certainty level.