



## ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان هشتگرد با استفاده از روش فازی

مهدی سرائی تبریزی<sup>۱\*</sup>، مهسا جمعدار<sup>۲</sup>، حسین یوسفی سهزایی<sup>۳</sup>

۱- عضو هیئت علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمنداها، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمنداها، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول: [m.sarai@iau.ac.ir](mailto:m.sarai@iau.ac.ir)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱

### چکیده

طبقه‌بندی و شناسایی کیفیت آب زیرزمینی یکی از اهداف مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد. در سال‌های اخیر، توانایی روش‌های مبتنی بر منطق فازی در لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها در مسائل مختلف زیست محیطی به اثبات رسیده است. هدف این مطالعه، کاربرد روشی بر پایه منطق فازی به جای روش تصمیم‌گیری قطعی در مورد کیفیت آب شرب می‌باشد. در این روش، توابع عضویت پارامترهای کیفی بر اساس قوانین فازی معرفی شد و سپس جعبه ابزار منطق فازی از نرم افزار MATLAB مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعه حاضر، از یک روش جدید مبتنی بر سیستم استنتاج فازی ممدانی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان هشتگرد استفاده شد. در این روش از ۱۰ پارامتر کیفی آب زیرزمینی شامل کل مواد جامد محلول، کلیات کل (TA)، کلر، سولفات، pH، سختی کل (TH)، کلسیم، منیزیم، فلوراید و نیترات به دلیل اهمیت در تعیین کیفیت آب از نظر شرب، در ۲۸ نمونه آب زیرزمینی استفاده شد. این پارامترها، بر اساس اهمیتشان در کیفیت آب از نظر شرب، به سه گروه مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم بندی شدند. کل مواد جامد محلول، کلیات کل، کلر و سولفات در گروه اول قرار گرفتند. گروه دوم نیز شامل pH، سختی کل، کلسیم و منیزیم شد. 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. 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.

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

### مقدمه

است تنها با شناخت ویژگی‌های کیفی آب است که می‌توان برای بهره‌برداری و تخصیص هرچه بهتر منابع آب برنامه‌ریزی کرد. یکی از راه‌های جامع و متداول برای ارزیابی کیفیت آب، استفاده از پارامترهای کیفی است. منطق فازی به عنوان یک روش مناسب از هوش مصنوعی جهت توسعه سیستم‌های

یکی از مهم‌ترین منابع آب‌های مصرفی در دنیا، آب‌های زیرزمینی می‌باشد. بحث کلیدی توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی، مدیریت عملی آن است. عملکردهای صحیح مدیریتی منابع آب زیرزمینی نیازمند اطلاع صحیح و به روز از ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌ها است. آنچه که مسلم

پیچیده و نامشخص مانند پارامترهای محیط زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۷۶). منطق فازی، به‌عنوان یک روش مناسب برای توسعه سیستم‌های پیچیده و مبهم به‌کار می‌رود ( Kwok-wing, 2006). این روش، بیش‌تر از روش‌های عددی، قابلیت ارتباط برقرار کردن بین اجزای کیفی و اجزای کمی یک سیستم را دارا می‌باشد، بنابراین سیستم‌های ساخته شده با این روش واقعی‌تر از سیستم‌های عددی می‌باشند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای منطق فازی، مواجهه با مشکلات زیست محیطی است که وابستگی درونی پیچیده‌های بین پارامترهای آن برقرار است و به دانش متخصص به‌عنوان یک بخش کیفی برای پوشش قسمت‌های مبهم نیاز دارد (Sowlat, 2019). این سیستم بسیاری از شاخص‌های واقعی را در مقابل آن‌هایی که

از منطق عددی استفاده می‌کردند، توسعه داد. منطق فازی سعی بر این دارد که اندیس‌ها و پارامترها را به گونه‌ای بسط دهد که به تفکر انسان نزدیک‌تر باشد و بنابراین می‌توان با استفاده از اطلاعات فازی از خطاها، ابهامات و مشکلات جلوگیری کرد (Silvert, 2011). 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 هستند (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹). سازمان‌هایی نظیر وزارت نیرو و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران استانداردهایی برای املاح محلول و آلاینده‌های مختلف در آب ارائه کرده‌اند (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶). این استانداردها به دلیل عواملی چون تغییرات و نوسانات بارش و مقدار برداشت در فصول مختلف سال، دارای محدودیت‌هایی هستند. بنابراین استانداردهای تعیین شده توسط سازمان‌های مرتبط نیز از قطعیت لازم برخوردار نیستند.

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 ارزیابی کیفیت آب ارائه شده است که در این بین می‌توان به ارزیابی ترکیبی فازی (Dahiya et al., 2007)، شبکه عصبی

<sup>1</sup> Fuzzy Inference system

<sup>2</sup> Grey Relation Method

<sup>3</sup> Water Quality Index

<sup>4</sup> The Simplified Water Quality Index

<sup>5</sup> National Sanitation Foundation (NSF)

<sup>6</sup> USEPA

تحلیل و تشریح نتایج، به یک چالش اساسی تبدیل شده است. در این زنجیره ارائه شده، عدم قطعیت‌ها انباشته می‌شوند (Venkat Kumar et al., 2009).

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 (Akgun et al., 2019). مطالعات ذکر شده نشان داد در روش‌های مرسوم، از مجموعه‌های قطعی با استفاده از حدود تعیین شده توسط سازمان‌های مختلف برای طبقه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استفاده می‌شود. یکی از مشکلات تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب با استفاده از این روش‌ها، روبرو شدن با 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. اما استفاده از این سیستم در مطالعات کیفیت آب محدود بوده است.

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 شده و سپس جعبه ابزار منطق فازی از نرم‌افزار MATLAB استفاده می‌شود.

### مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی هشتگرد با کد ۴۱۰۵ در تقسیم بندی شرکت مدیریت منابع آب ایران در نیمه شمالی حوزه آبریز دریاچه نمک بین طول جغرافیایی ۲۲° و ۵۱° تا ۷° و ۵۱° و عرض جغرافیایی ۴۸° و ۳۵° تا ۷° و ۳۶° واقع شده است و از شرق به محدوده مطالعاتی تهران-کرج و از غرب به محدوده مطالعاتی قزوین متصل می‌گردد. حداکثر و حداقل ارتفاع به ترتیب ۴۰۵۸ و ۱۱۳۳ متر می‌باشد از مهمترین آبادی‌های موجود در این محدوده مطالعاتی می‌توان به شهر جدید هشتگرد و نظرآباد و آبادی‌های عرب‌آباد، ده صومعه، کریم‌آباد، نظر آباد و فشنند اشاره نمود. همچنین از مهمترین

برازش مدل نتیجه بهتری می‌دهد و مدلی که آکائیک و واریانس باقی‌مانده کم‌تری دارد مدل بهتری است.

کرد و همکاران (۱۳۹۸) به دلیل مشکلات کیفی آبخوان، بهینه‌سازی برداشت آب از آبخوان دشت اردبیل را با مدافلو انجام دادند. بدین منظور پایگاه داده‌های، شامل داده‌های کیفی و کمی در محیط ArcGIS تشکیل و روش‌های کریجینگ و منطق فازی برای تهیه انواع نقشه‌های پهنه‌بندی، به‌کار گرفتند. پس از تعیین هندسه آبخوان، پارامترهای ورودی و خروجی، سیستم جریان آب زیرزمینی و پارامترهای هیدرولیکی، از کد MODFLOW به‌وسیله نرم‌افزار PMWIN ورژن ۸، برای مدلسازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان دشت اردبیل استفاده کردند.

نتایج به‌دست آمده برای تعادل‌بخشی سطح ایستابی آبخوان نشان داد که، بیش‌ترین بهره‌برداری مربوط به شرق آبخوان و کم‌ترین بهره‌برداری مربوط به مرکز دشت می‌باشد. با این وجود، شاخص کیفیت آب، شاخص ساده شده کیفیت آب و دیگر شاخص‌های مشابه دارای نقاط ضعفی هستند، از جمله مهم‌ترین نقاط ضعف این روش‌ها 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 بررسی نمی‌کنند. ضمناً با توجه به معادلات ساده و متغیرهای محدود در این شاخص‌ها، برخی پارامترها بدون توجیه علمی مناسب، در نتیجه نهایی تاثیر چشمگیری می‌گذارند. به هر حال، عمده‌ترین مشکل شاخص‌های بیان شده این است که عدم قطعیت همراه با مسائل محیطی را در نظر نمی‌گیرند (Ocampo et al., 2006).

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 مهندسين محیط زیست و هیدروژئولوژیست‌ها در کل مراحل مختلف کار، از گردآوری داده، ذخیره و پردازش آن گرفته تا

است. در روش قطعی ارزیابی کیفیت آب، ۱۰ پارامتر کیفی، با حدود تعیین شده استاندارد مقایسه شده و سپس، نتایج مربوط به هر پارامتر در گروه‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول تقسیم‌بندی 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، قلیابیت کل، کلر و سولفات در گروه اول قرار می‌گیرند. گروه دوم نیز شامل pH، سختی کل، کلسیم و منیزیم می‌شود. فلوراید و نترات 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.

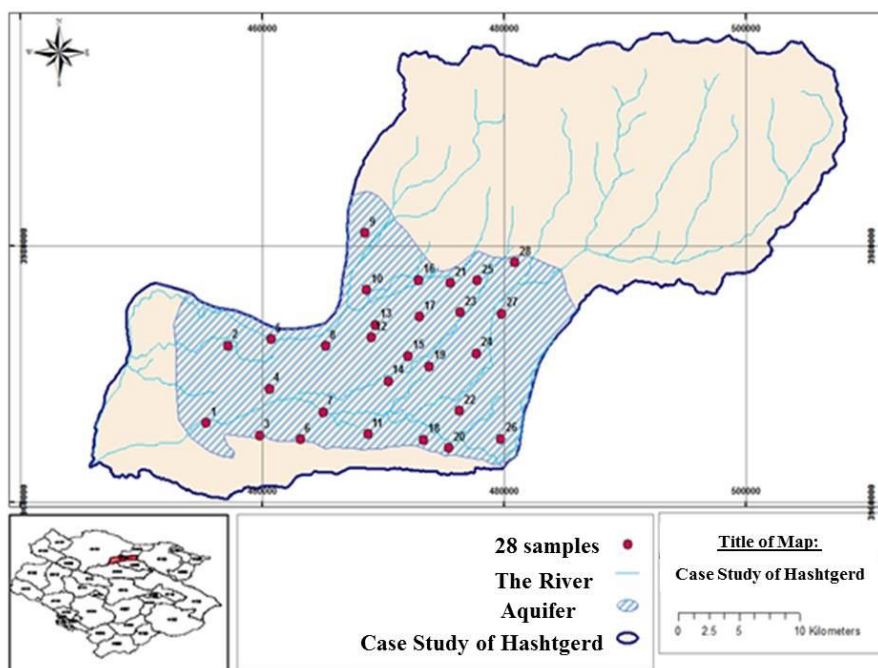
رودخانه موجود در این محدوده مطالعاتی، رودخانه کردان می‌باشد. آبخوان آبرفتی دشت هشتگرد در اراضی مخروط‌افکنه‌ای از نوع آزاد بوده که به سمت جنوب آبخوان چند لایه شده و کیفیت آب زیرزمینی در لایه‌های محبوس پایین بهتر از لایه آزاد می‌باشد. در اراضی جنوبی دشت به واسطه رخنمودن رسوبات تبخیری میوسن کیفیت آب در لایه سطحی بشدت تنزل پیدا نموده و غیرقابل استفاده در بخش‌های کشاورزی و شرب می‌باشد.

### داده‌های کاربردی

حفر بی‌رویه چاه‌های عمیق و استفاده بیش از حد از آن‌ها، موجب پایین رفتن شدید سطح آب زیرزمینی و در نتیجه موجب خشک شدن قنات‌ها و چشمه‌ها و نشست زمین گردیده است. همچنین برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و پایین رفتن تراز آب باعث کاهش کیفیت آن شده است، به طوری که بعضی از منابع آب شرب از حدود مجاز استانداردهای موجود (برای مثال WHO) خارج شده است. بنابراین لزوم توجه به کیفیت آب به منظور مدیریت آن، امری ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه از ۲۸ منبع آب آشامیدنی روستایی استفاده شده است (شکل ۱). نمونه‌های انتخاب شده همه از یک نوع منبع (چاه عمیق) می‌باشند. این نمونه‌ها توسط شرکت آب منطقه استان البرز در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹ برداشت شده و نتایج حاصل از آنالیزها در اواخر خرداد ماه سال ۱۳۹۹ از این شرکت اخذ گردید. 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<sup>۷</sup> (TH)، کل مواد جامد محلول، قلیابیت کل<sup>۸</sup> (TA)، کلسیم، منیزیم، سولفات، کلراید، نترات و فلوراید برای ارزیابی کیفیت آب از نظر شرب در مدل سیستم استنتاج فازی ممدانی تحلیل شدند. در جدول شماره ۱، مشخصه‌های آماری کیفیت شیمیایی نمونه‌های اندازه‌گیری شده و در جدول شماره ۲، نتایج آنالیز کیفیت نمونه‌های اندازه‌گیری شده، ارائه شده

<sup>7</sup> Total Hardness

<sup>8</sup> Total Alkalinity



شکل ۱- موقعیت چاه‌های مورد مطالعه.

Figure 1- The location of the studied wells.

جدول ۱- مشخصه‌های آماری کیفیت شیمیایی نمونه‌های اندازه‌گیری شده.

Table 1- Statistical characteristics of the chemical quality of the measured samples.

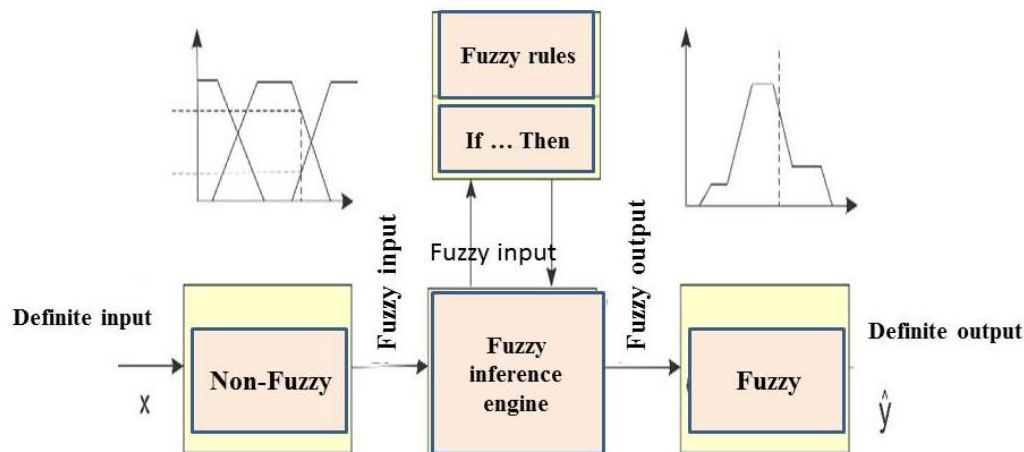
TDS	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	EC	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Variables
mg/L			μs/cm		Meq/m						Statistical characteristics
4058	0.6	11.6	6340	7.93	12.6	46	20.23	7.3	7.7	43.58	Maximum
195.2	0.3	2.3	3.93	7.04	2.3	0.3	0.83	0.8	0.6	0.42	Minimum
525.45	0.12	7.12	810.48	7.61	4.12	2.55	2.59	2.27	2.78	3.93	Mean
683.80	0.17	0.14	1074.66	0.24	2.17	7.52	3.32	1.46	1.64	8.27	standard deviation
1.30	0.53	0.51	1.33	0.03	0.53	2.95	1.28	0.64	0.59	2.10	Coefficient of variation

جدول ۲- نتایج آنالیز کیفیت نمونه‌های اندازه‌گیری شده.

Table 2- The results of the quality analysis of the measured samples.

row	Sampling location	Total Difficulty (TH) mg/L (CaCO <sub>3</sub> )												UTM		
			F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CL <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	TDS mg/L	EC*10 <sup>6</sup>	X	Y
1	Saifabad Khalsa	200.18	0.36	11.23	0.03	0.51	1.6	2.4	0.24	0.6	3.6	7.53	230	418	479775	3974706
2	Azdabad	115.11	1.53	41.21	0.04	1.64	1.5	0.8	0.59	0.5	2.8	7.93	212	385	460568	3968854
3	Kahrizak	160.15	2.87	52.76	0.05	3.63	2	1.2	2.31	1.8	2.6	7.99	345	628	473333	3964862
4	Tankman	180.17	0.32	10.49	0.07	0.43	2.3	1.3	0.12	0.9	3	7.43	207	376	465188	3972190
5	Khairabad	85.08	4.31	69.41	0.05	3.97	1	0.7	0.79	2	2.8	7.99	305	554	468735	3965289
6	Karimabad	135.13	0.93	28.27	0.04	1.08	1.7	1	0.51	0.6	2.6	8.05	194	353	464995	3967036
7	Namklan	170.15	0.25	8.53	0.03	0.32	1.6	1.8	0.26	0.8	2.6	7.83	188	341	472011	3971415
8	Azizabad Sheikh Hassan	110.10	1.19	35.71	0.05	1.25	1.3	0.9	0.21	0.5	2.7	8.01	183	333	460720	3972710
9	Haji Beyk	185.17	0.53	16.18	0.03	0.72	1.9	1.8	0.46	1.4	2.5	7.96	233	406	468969	3972843
10	Haji Shah	140.13	0.41	14.80	0.02	0.49	1.3	1.5	0.19	0.5	2.6	7.81	166	302	470372	3969462
11	Qasim Abadbuzur	210.20	1.88	39.08	0.04	2.72	2.7	1.5	1.99	0.8	4	7.45	381	692	472882	3977322
12	Shandeh	245.23	0.58	15.58	0.03	0.91	3.3	1.6	1.21	0.7	3.8	7.51	311	566	480636	3983404

استنتاج فازی به عنوان فرآیند نگاشت مجموعه‌ای از داده‌های ورودی به مجموعه‌ای از داده‌های خروجی، با استفاده از دیدگاه منطق فازی بیان می‌شود (Katambara and Ndiritu, 2009). یک سیستم استنتاج فازی، فرآیندی است که استدلال زبان انسان را با استفاده از منطق فازی (بر اساس قوانین اگر-آنگاه فازی) بصورت 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.

Figure 2- General structure of fuzzy inference system.

**مدل فازی ممدانی:** انواع مختلفی از سیستم استنتاج فازی بوسیله محققین ارائه شده‌اند که در قسمت نتیجه قوانین<sup>۹</sup> و روش‌های غیرفازی‌سازی تفاوت دارند (Bakhtyar et al., 2011). 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 (Tosun et al., 2011). مدل فازی ممدانی به دلیل کاربرد بسیار مورد توجه می‌باشد. ساختار "اگر-آنگاه" الگوریتم ممدانی بصورت زیر بیان می‌شوند:

$$R_i: \text{if } x \text{ is } A_i \text{ and } \dots \text{ then } y \text{ is } B_i \text{ (for } i=1,2,\dots,k) \quad (2)$$

در فرمول بالا، K تعداد قوانین، R<sub>i</sub> شماره قانون، A<sub>i</sub> و B<sub>i</sub> مجموعه‌های فازی، x متغیر شرط (ورودی سیستم فازی)، و y متغیر نتیجه (خروجی سیستم فازی) است (Tosun et al., 2011). در مطالعه حاضر از روش بیشینه - کمینه با معادله زیر برای ترکیب روابط فازی استفاده شده است (Akgun et al., 2019):

$$\mu_{C_k}(Z) = \max_{k=1,2,\dots,r} [\min(\mu_{A_k}(\text{input}(x)), \mu_{B_k}(\text{input}(y)))] \quad (3)$$

که  $\mu_{C_k}$  تابع عضویت خروجی "Z" برای قانون K و  $\mu_{A_k}$  و  $\mu_{B_k}$  به ترتیب توابع عضویت ورودی x و y هستند.

**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، بصورت یک مجموعه فازی "اگر-آنگاه" بیان می‌شود. در سیستم استنتاج فازی، هر قانون فازی دو قسمت دارد (Katambara and Ndiritu, 2009): (۱) شرط (فرض): اگر ... و (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 (Mahapatra et al., 2011).

**غیرفازی‌سازی:** این فرآیند شامل تبدیل خروجی فازی به یک خروجی قطعی نهایی است (Silvert, 2011). در این تحقیق با استفاده از روش مرکز سطح، کمیت فازی با استفاده از فرمول زیر به کمیت قطعی تبدیل می‌گردد (Akgun et al., 2019):

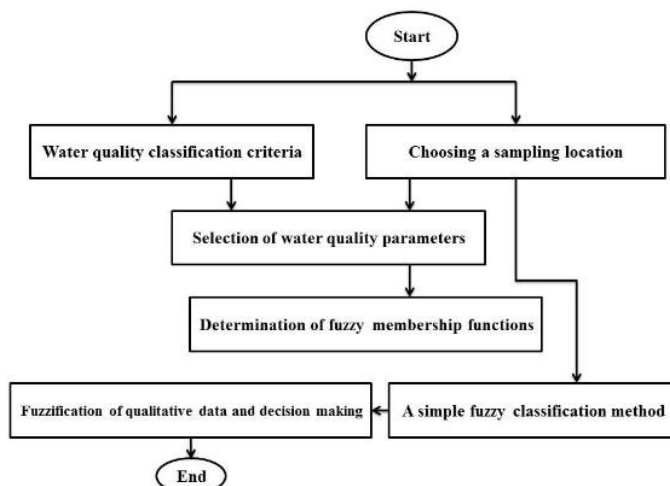
$$Z_{COA} = \frac{\int \mu_A(z) z dz}{\int \mu_A(z) dz} \quad (1)$$

در فرمول بالا، Z<sub>COA</sub> مقدار قطعی برای خروجی z و  $\mu_A(z)$  تابع عضویت خروجی است.



صنعتی ایران (جدول ۳) 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.

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 بصورت مثلثی یا دوزنقه‌ای بر اساس نظر کارشناس و حدود تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی و موسسه استاندارد و تحقیقات



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

Figure 3- Flowchart of groundwater quality analysis using fuzzy inference system.

جدول ۳- حدود تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) (2006) و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۷۶).

Table 3- The limits determined by the World Health Organization (WHO) (2006) and Iran Institute of Standards and Industrial Research (2006).

Parameter	WHO (2006)		IRISI	
	Optimal	Acceptable	Optimal	Acceptable
pH	7-8.5	6.5-9.2	7-8.5	6.5-9.2
TA	200	600	-	-
TH	300	600	150	500
TDS	500	1500	500	1500
Ca <sup>2+</sup>	75	200	75	200
Mg <sup>2+</sup>	50	100	50	150
Cl <sup>-</sup>	200	1000	200	600
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	200	400	200	400
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20	<100	20	45
F <sup>-</sup>	1	1.5	-	-

۱۳۵ (۳×۳×۳×۵) قانون تعیین شد. جدول ۴ برخی از قوانین استفاده شده برای هر گروه را نشان می‌دهد.

### نتایج و بحث

مدل فازی پیشنهاد شده بر اساس استلزام ممدانی عملگر بیشینه - کمینه می‌باشد. در عملگر بیشینه - کمینه، کمترین مقدار هر قانون با استفاده از عملگر کمینه فازی پذیرفته 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 (Dahiya et al., 2007). سپس نتایج قوانین، ترکیب شده و از طریق روش

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 L تعداد توابع عضویت و n تعداد پارامترهای ورودی باشد، می‌توان تعداد قوانین R را محاسبه کرد (Firat et al., 2018).

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

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 ۸۱ (۳×۳×۳×۳) خواهد بود. به همین ترتیب برای هر کدام از گروه‌های دوم و سوم نیز

مرکز سطح، غیر فازی می‌شوند. بر این اساس ۲۸ نمونه آب زیرزمینی ارزیابی شدند. داده‌های بدست آمده در جدول ۵ 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. در شکل ۴ ارزیابی نهایی کیفیت آب شرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی نمایش داده شده است. همچنین نتایج قوانین، ترکیب شده و از طریق روش مرکز سطح، غیر فازی می‌شوند. دیاگرام مدل فازی پیشنهاد شده برای گروه‌های اول تا سوم در جدول ۴ و ۵ و همچنین شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- برخی از قوانین تعیین شده بر اساس نظر کارشناس برای پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در هر گروه.

First Group		
Law No	Condition Part	The Result Part
R1	IF TDS=Desirable AND TA=Desirable AND Cl <sup>-</sup> =Desirable AND So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =Desirable	THEN G <sub>1</sub> = Desirable
R2	IF TDS = Desirable AND TA = Desirable AND Cl <sup>-</sup> = Desirable AND SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =	THEN G <sub>1</sub> = Desirable
R3	IF TDS = Desirable AND TA = Desirable AND Cl <sup>-</sup> = Desirable AND SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =	THEN G <sub>1</sub> = Desirable
R4	IF TDS = Desirable AND TA = Desirable AND Cl <sup>-</sup> = Acceptable AND SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =	THEN G <sub>1</sub> = Desirable
R5	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl <sup>-</sup> = Acceptable AND SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =	THEN G <sub>1</sub> = Acceptable
R6	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl <sup>-</sup> = Acceptable AND SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> =	THEN G <sub>1</sub> = Acceptable
R7	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl <sup>-</sup> = Not_Acceptable AND	THEN G <sub>1</sub> = Acceptable
R8	IF TDS = Acceptable AND TA = Desirable AND Cl <sup>-</sup> = Not_Acceptable AND	THEN G <sub>1</sub> = Not_Acceptable
R9	IF TDS = Acceptable AND TA = Acceptable AND Cl <sup>-</sup> = Not_Acceptable AND	THEN G <sub>1</sub> = Not_Acceptable
R10	IF TDS = Not_Acceptable AND TA = Desirable AND Cl <sup>-</sup> = Not_Acceptable AND	THEN G <sub>1</sub> = Not_Acceptable
The Second Group		
Law No	Condition Part	The Result Part
R1	IF pH = Desirable AND TH = Desirable AND Ca <sup>2+</sup> = Desirable AND Mg <sup>2+</sup> =	THEN G <sub>2</sub> = Desirable
R2	IF pH = Desirable AND TH = Desirable AND Ca <sup>2+</sup> = Acceptable AND Mg <sup>2+</sup> =	THEN G <sub>2</sub> = Desirable
R3	IF pH = Desirable AND TH = Desirable AND Ca <sup>2+</sup> = Acceptable AND Mg <sup>2+</sup> =	THEN G <sub>2</sub> = Desirable
R4	IF pH = Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca <sup>2+</sup> = Acceptable AND Mg <sup>2+</sup> =	THEN G <sub>2</sub> = Acceptable
R5	IF pH = Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca <sup>2+</sup> = Acceptable AND Mg <sup>2+</sup> =	THEN G <sub>2</sub> = Acceptable
R6	IF pH = Desirable AND TH = Acceptable AND Ca <sup>2+</sup> = Acceptable AND Mg <sup>2+</sup> =	THEN G <sub>2</sub> = Acceptable
R7	IF pH = Not_Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca <sup>2+</sup> = Acceptable AND	THEN G <sub>2</sub> = Not_Acceptable
R8	IF pH = Not_Acceptable AND TH = Not_Acceptable AND Ca <sup>2+</sup> = Acceptable	THEN G <sub>2</sub> = Not_Acceptable
R9	IF pH = Acceptable AND TH = Acceptable AND Ca <sup>2+</sup> = Not_Acceptable AND	THEN G <sub>2</sub> = Not_Acceptable
R10	IF pH = Desirable AND TH = Not_Acceptable AND Ca <sup>2+</sup> = Not_Acceptable AND	THEN G <sub>2</sub> = Not_Acceptable
The Third Group		
Law No	Condition Part	The Result Part
R1	IF G <sub>1</sub> = Desirable AND G <sub>2</sub> = Desirable AND NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Desirable AND F <sup>-</sup> =	THEN WQ = Desirable
R2	IF G <sub>1</sub> = Acceptable AND G <sub>2</sub> = Desirable AND NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Desirable AND F <sup>-</sup> =	THEN WQ = Desirable
R3	IF G <sub>1</sub> = Not_Acceptable AND G <sub>2</sub> = Desirable AND NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Desirable AND F <sup>-</sup>	THEN WQ = Desirable

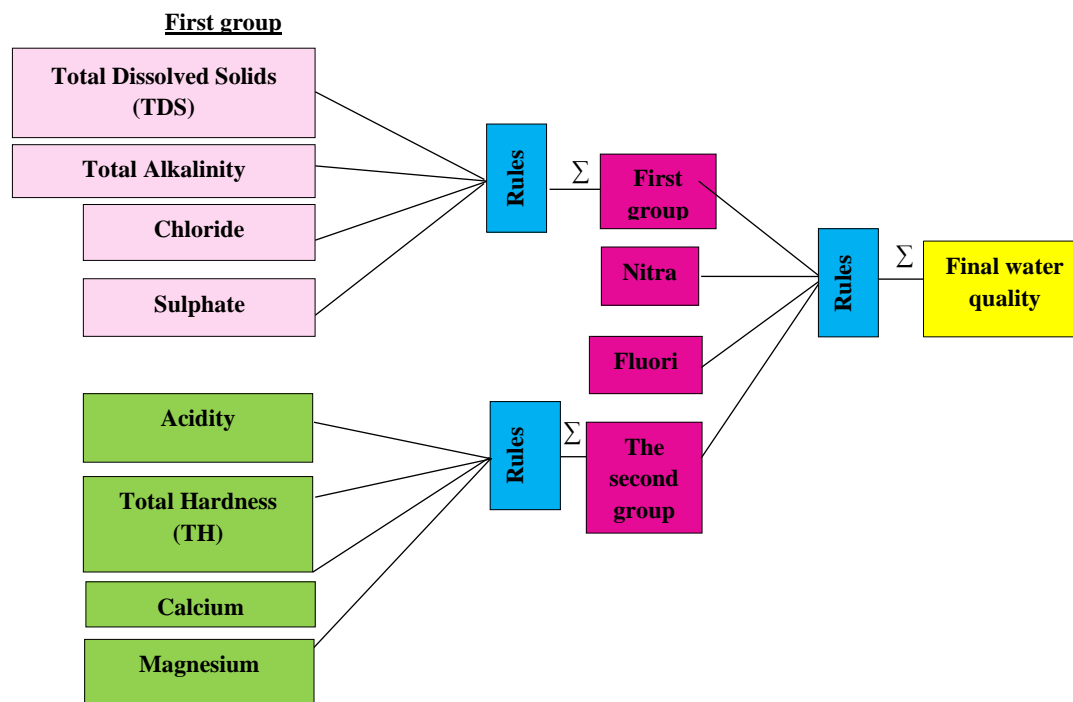


- = Desirable
- R4 IF G<sub>1</sub> = Not\_Acceptable AND G<sub>2</sub> = Desirable AND NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Acceptable AND THEN WQ = Acceptable  
F<sup>-</sup> = Desirable
- R5 IF G<sub>1</sub> = Not\_Acceptable AND G<sub>2</sub> = Acceptable AND NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Acceptable AND THEN WQ = Acceptable  
F<sup>-</sup> = Acceptable
- R6 IF G<sub>1</sub> = Acceptable AND G<sub>2</sub> = Acceptable AND NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Acceptable AND F<sup>-</sup> = THEN WQ = Acceptable  
Acceptable
- R7 IF G<sub>1</sub> = Acceptable AND G<sub>2</sub> = Acceptable AND NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Not\_Acceptable AND THEN WQ = Not\_Acceptable  
F<sup>-</sup> = Acceptable
- R8 IF G<sub>1</sub> = Desirable AND G<sub>2</sub> = Not\_Acceptable AND NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Not\_Acceptable THEN WQ = Not\_Acceptable  
AND F<sup>-</sup> = Desirable
- R9 IF G<sub>1</sub> = Acceptable AND G<sub>2</sub> = Not\_Acceptable AND NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Desirable AND F<sup>-</sup> THEN WQ = Not\_Acceptable  
= Not\_Acceptable
- R10 IF G<sub>1</sub> = Not\_Acceptable AND G<sub>2</sub> = Not\_Acceptable AND NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Desirable THEN WQ = Not\_Acceptable  
AND F<sup>-</sup> = Desirable

جدول ۵- جزئیات آب زیرزمینی برای اهداف آشامیدنی با استفاده از سیستم استنتاج فازی و روش قطعی (بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)).

**Table 5- Details of underground water for drinking purposes using fuzzy inference system and deterministic method (Based on WHO World Health Organization standards).**

Sample number	Decision making based on fuzzy method	Decision making based on deterministic method		
		Unacceptable	Acceptable	Optimal
1	Optimal (69)	TDS	TA, Cl, F	SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
2	Optimal (51)	-	TDS, Cl, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F	TA, SO <sub>4</sub> , pH
3	Optimal (81)	-	TDS, Cl, F	TA, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
4	Optimal (78)	-	TDS, TA, Cl, TH, NO <sub>3</sub> , F	SO <sub>4</sub> , pH, Ca, Mg
5	Acceptable (75)	TDS, TH	Cl, Ca, Mg, F	TA, SO <sub>4</sub> , pH, NO <sub>3</sub>
6	Optimal (96)	-	TDS, TA, Cl, F	SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
7	Optimal (100)	-	TDS, TA, Cl	SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
8	Optimal (100)	-	TDS, TA, Cl	SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
9	unacceptable (81)	TDS	TA, Cl, TH, Ca, Mg	SO <sub>4</sub> , pH, NO <sub>3</sub> , F
10	Acceptable (75)	TDS	Cl, TH, F	TA, SO <sub>4</sub> , pH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
11	Acceptable (75)	TDS	Cl, TH, F	TA, SO <sub>4</sub> , pH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
12	Acceptable (57)	-	TDS, TA, F	Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
13	unacceptable (76)	F	TDS, TA, Cl	SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
14	Optimal (92)	-	-	TDS, TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
15	Optimal (100)	-	-	TDS, TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
16	unacceptable (92)	TDS, F	TA, Cl, TH, Ca	SO <sub>4</sub> , pH, Mg, NO <sub>3</sub>
17	Optimal (75)	TDS	TA, Cl, F	SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
18	Optimal (34)	-	-	TDS, TA, Cl, SO <sub>4</sub> , PH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
19	Optimal (81)	TDS	Cl, TH, F	TA, SO <sub>4</sub> , pH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
20	Acceptable (95)	-	TDS, F	TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
21	Optimal (99)	-	TDS	TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
22	Optimal (97)	-	-	TDS, TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
23	Optimal (48)	TDS, TH	TA, Cl, Ca, Mg, F	SO <sub>4</sub> , PH, NO <sub>3</sub>
24	Acceptable (67)	-	-	TDS, TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
25	Optimal (87)	-	-	TDS, TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub> , F
26	Optimal (71)	TDS	Cl, TH, Ca, Mg, F	TA, pH, NO <sub>3</sub>
27	Acceptable (45)	-	TDS, F	TA, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg, NO <sub>3</sub>
28	Optimal (64)	TDS	Cl, NO <sub>3</sub> , F	TA, SO <sub>4</sub> , pH, TH, Ca, Mg



شکل ۴- ارزیابی نهایی کیفیت آب شرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی.

Figure 4- Final evaluation of drinking water quality using fuzzy inference system.

در  $\text{NO}_3^-$  در رده مطلوب، پنج پارامتر  $\text{Ca}$ ،  $\text{Cl}$ ،  $\text{TA}$ ،  $\text{F}$  و  $\text{Mg}$  در گروه قابل قبول و دو پارامتر  $\text{TDS}$  و  $\text{TH}$  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 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 گرفته، در حالی که نمونه شماره ۵ با سطح اطمینان ۷۵ درصد در گروه قابل قبول قرار گرفته است. 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 محدوده مطلوب و محدوده مجاز هستند و به ترتیب در محدوده توابع عضویت فازی مطلوب و قابل قبول و همچنین در محدوده 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 محدوده 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

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 بکار برده شده برای نمونه آب شماره ۱۶ چهار پارامتر  $\text{pH}$ ،  $\text{Mg}^{+2}$ ،  $\text{NO}_3^-$  در رده مطلوب، و چهار پارامتر  $\text{TA}$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{TH}$  و  $\text{Ca}^{+2}$  در گروه قابل قبول و دو پارامتر  $\text{TDS}$  و  $\text{F}^-$  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  $\text{TA}$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{pH}$  و  $\text{NO}_3^-$  در رده مطلوب، چهار پارامتر  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{Ca}^{+2}$ ،  $\text{F}^-$  و  $\text{Mg}^{+2}$  در گروه قابل قبول و دو پارامتر  $\text{TDS}$  و  $\text{TH}$  در کلاس غیر قابل قبول قرار گرفتند و در نمونه شماره ۲۳ با همین روش، سه پارامتر  $\text{SO}_4$ ،  $\text{pH}$  و

سری زمانی (مطالعه موردی: سد جامیشان). مجله هیدروژئولوژی، ۶(۱): ۱۶۴-۱۵۳.

کرد، م.، اصغری مقدم، ا.، نخعی، م.، ۱۳۹۸. مدل‌سازی عددی آبخوان دشت اردبیل و مدیریت آن با استفاده از بهینه‌سازی برداشت آب زیرزمینی. مجله هیدروژئولوژی، ۴(۱): ۱۶۷-۱۵۳.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶. ویژگی‌های آب آشامیدنی استاندارد. کمیسیون استاندارد ویژگی‌های آب آشامیدنی، ۵(۱۰۵۳): ۸۹۵.

هاشمی، ا.، موسوی، ف.، طاهری، م.، 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، ۳(۶): ۳۴-۲۵.

Akgun, A., Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Pradhan, B., 2019. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers & Geosciences*, 38(1): 23-24.

Bakhtyar, R., Ghaheri, A., Yeganeh-Bakhtiary, A., Jeng, D., 2011. Cross-shore sediment transport estimation using fuzzy inference system in the swash zone. *Journal of the Franklin Institute*, 348: 2005-2025.

Chang, N.B., Chen, H.W., Ning, S.K., 2001. Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach, *Journal of Environmental Management*, 63: 293-305.

Dahiya, S., Singh, B., Gaur, S., Garg, V.K., Kushwaha, H.S., 2007. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. *Journal of Hazardous Materials*, 147: 938-946.

Firat, M., Erkan.Turan, M., Yurdusev, M.A., 2018. Comparative analysis of fuzzy inference systems for water consumption time series prediction. *Journal of Hydrology*, 374: 235-241.

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

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

Kwok-wing C. A., 2006. review on integration of artificial intelligence into water quality modelling. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 726-733.

۳). اما در روش MFIS، نمونه شماره ۲۵ با سطح اطمینان ۸۷ درصد در رده 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 رده مطلوب هستند. بنابراین، روش MFIS نقشی مهم در فرآیند تصمیم‌گیری آب زیرزمینی از نظر شرب را ایفا می‌کند.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از روش‌های قطعی و سیستم استنتاج فازی مددانی، کیفیت آب زیرزمینی با اهداف آشامیدنی بررسی شده است. در روش قطعی، کیفیت هر پارامتر بر اساس حدود تعیین شده در استانداردهای آب آشامیدنی (WHO, 2006 و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶) 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 مددانی، 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 کرد. 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

جمعدار، م.، سرائی تبریزی، م.، یوسفی، ح.، ۱۳۹۹. پتانسیل یابی میزان کارستی‌شدن چشمه‌ها از منظر هیدروژئوشیمیایی در محدوده مطالعاتی هشتگرد. مجله هیدروژئولوژی، ۵(۲): ۱۱۳-۱۲۶.

سرائی تبریزی، م.، جلالی، م.، یوسفی سهرابی، ح.، ۱۴۰۰. پیش‌بینی جریان ورودی با استفاده از تحلیل مدل‌های

- Mahapatra, S.S., Nanda, S.K., Panigrahy, B.K., 2011. A Cascaded Fuzzy Inference System for Indian river water quality prediction. *Advances in Engineering Software*, 42: 787-796.
- Ocampo-Duque, W., Ferre-Huguet, N., Domingo, J.L., Schuhmacher, M., 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. *Environment International*, 32: 733-742.
- Sowlat M.H., 2019. A novel, fuzzy-based air quality index (FAQI) for air quality assessment. *Atmospheric Environment*, (45): 2050-2059.
- Singh, P.K., Basant, A., Malik, A., Jain, G., 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality-A case study. *Ecological Modelling*, 220: 888-895.
- Srebotnjak, T., Carr, G., De Sherbinin, A., Rickwood, C., 2011. A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. *Ecological Indicators*.
- Silvert, W., Fuzzy indices of environmental conditions. *Ecological Modelling*. 2011; (130): 111-119.10. Sowlat MH. A novel, fuzzy-based air quality index (FAQI) for air quality assessment. *Atmospheric Environment*, (45): 2050-2059.
- Tosun, M., Dincer, K., Baskaya, S., 2011. Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of thermal performance of multi-layer precast concrete panels used in residential buildings in Turkey, 38: 5553-5560.
- Venkat Kumar, N., Mathew, S., Swaminathan, G., 2009. Fuzzy Information Processing for Assessment of Groundwater Quality. *International journal of soft Computing*, 4(1): 1-9.