

## مقدمه

ارزیابی کیفیت آب یکی از مهم‌ترین موضوعات زیست محیطی در سطح جهان به شمار می‌رود. کیفیت آب برای مصارف مختلف بستگی به نوع و غلظت مواد محلول در آب دارد. اغلب منابع مورد نیاز در بخش کشاورزی توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود و از آنجایی که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب کشور است؛ بنابراین مدیریت و پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی بسیار ضروری است. کیفیت آب زیرزمینی به محیط، مسیر حرکت و منشأ آن بستگی دارد. با عبور آب از لایه‌های مختلف خاک و سازندهای موجود در مسیر حرکت آب از بالادست به پایین دست و فاصله گرفتن از منطقه تغذیه و نزدیک شدن به محل تخلیه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. کانی‌های سازنده ساختمان خاک، در مسیر حرکت آب زیرزمینی انحلال می‌یابند و باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند [۲۶].

حرکت آلودگی در آب زیرزمینی، فاکتورهای مختلف نظیر ویژگی‌های خاک و شرایط اجتماعی اقتصادی بهره‌برداران، نقش قابل توجهی در دستیابی به توسعه همه‌جانبه منابع آب دارد [۱۰]. با توجه به اهمیت تأثیر املاح محلول در آب بر ساختمان خاک و عدم قطعیت همراه با اندازه‌گیری در مراحل نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها، استفاده از روش‌های کلاسیک در ارزیابی کیفیت آب چندان مناسب به نظر نمی‌رسند. یکی از روش‌های مقبول به منظور بررسی شرایط ناهمگن و با عدم قطعیت بالا، استفاده از منطق فازی است. تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کاربرد سیستم‌های فازی در منابع آب انجام شده است. از میان روش‌ها و مطالعات متنوع ارائه شده در منابع مختلف پیرامون ارزیابی کیفیت آب به روش فازی، به برخی از آن‌ها اشاره خواهند شد. نیکو و کراچیان [۱۸] به بررسی کیفیت آب رودخانه جاجرود با تلفیق سیستم استنتاج فازی و شبکه‌های بی‌زی پرداختند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی کیفیت رودخانه جاجرود، کارایی مدل پیشنهادی را نشان می‌داد. هاشمی و همکاران [۹] سیستم استنتاج فازی را برای بررسی کیفیت شیمیایی آب شرب بکار بردند. آن‌ها از ۹ پارامتر 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 این پژوهش، برتری روش فازی را در ارزیابی کیفیت

## ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی با استفاده از مدل استنتاج فازی

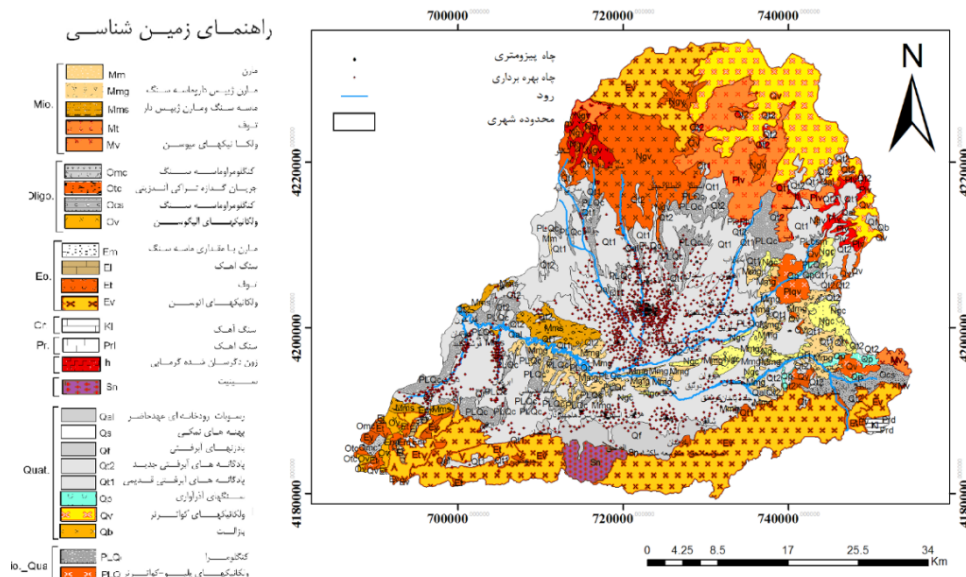
میثم ودیعی<sup>۱</sup>، اصغر اصغری مقدم<sup>۲</sup> و محمد نخعی<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۱۱

## چکیده

امروزه تغییر کیفیت و شور شدن آب‌های زیرزمینی خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود. در این تحقیق، کاربرد تئوری مجموعه فازی جهت ارزیابی میزان کیفیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، روش‌هایی با مبنای منطق فازی تطبیق یافته‌اند تا عدم قطعیت همراه با مسائل زیست محیطی را در نظر بگیرند. در این تحقیق کیفیت ۴۹ نمونه آب زیرزمینی دشت سراب در سال ۱۳۹۳ که در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز اندازه‌گیری شده بودند؛ استفاده شده است. مقادیر شاخص‌های آبیاری شامل نسبت جذب سدیم، شاخص تراوایی، نسبت کلی، نسبت جذب منیزیم، بیکربنات سدیم باقی مانده، درصد انحلال سدیم و هدایت الکتریکی به عنوان نماینده تمامی املاح محلول در آب، در این پژوهش استفاده گردید. با استفاده از مدل کیفی فازی، کیفیت آب زیرزمینی به سه طبقه مطلوب، قابل قبول و غیرقابل قبول تقسیم شد. نتایج نشان دادند؛ ۴۱ نمونه در رده مطلوب و با سطح اطمینان ۶۵ درصد تا ۸۳ درصد و ۲۶ نمونه در رده قابل قبول و با سطح اطمینان ۳۷ درصد تا ۶۵/۴ درصد قرار گرفتند. ۳ نمونه باقیمانده نیز در رده غیرقابل قبول و با حداکثر سطح اطمینان ۲۳/۴ درصد قرار گرفتند.

**واژه‌های کلیدی:** مدل استنتاج فازی، دشت سراب، شاخص‌های آبیاری، قوانین فازی، مدل ممدانی.

- ۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز پست الکترونیک: Mey\_vadiati@tmu.ac.ir
- ۲- استاد گروه علوم زمین دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز
- ۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین دانشگاه خوارزمی تهران



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی دشت سراب  
 Fig 2. Geology and Geographical situation of Sarab plain

مختلف تحلیل و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی پوشش یابد.

### مواد و روش‌ها

#### ۱- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غربی ایران در حوضه آبریز ارومیه با وسعتی حدود ۴۲۰ کیلومترمربع در فاصله ۱۳۰ کیلومتری شرق شهرستان تبریز واقع شده است. این محدوده امتداد شرقی - غربی دارد که از شمال به ارتفاعات کوه سبلان و از جنوب به ارتفاعات بزقوش محدود می‌گردد. متوسط بارش سالانه دشت سراب در یک دوره ۳۴ ساله ۳۴۰ میلی‌متر و جزء مناطق نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود. دشت سراب خود بخشی از حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای، وانق‌چای و بیوک‌چای به حساب می‌آید.

منطقه مورد مطالعه را می‌توان نسبت به ارتفاعات شمالی و جنوبی به صورت گرابنی در نظر گرفت که به وسیله دو هورست (کوه‌های بزقوش در جنوب و کوه‌های آغلان داغ و سبلان در شمال) احاطه شده است.

عمده سنگ‌های تشکیل‌دهنده قسمت شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه سنگ‌هایی با سن ائوسن از جنس آندزیت، لاتیت، ایگنیمبریت و بازالت می‌باشند. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

#### ۲- روش‌شناسی

##### ۲-۱- تحلیل و بررسی شاخص‌های مورد استفاده

با توجه به اینکه مقادیر مطلق غلظت آنیون و کاتیون‌های مختلف آب نمی‌توانند؛ به تنهایی به منظور تخمین کیفیت آب یا میزان مضر بودن آب برای گیاه مفید واقع گردد، از شاخص‌های مهم ارزیابی

آب شرب در مرزهای متغیرهای زبانی نشان داد. داهایا و همکاران [۴] از روش استنتاج فازی جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب ۳۶ نمونه از دو روستا در کشور هند استفاده کردند. در این پژوهش، سطوح اطمینان مربوط به هر یک از نمونه‌ها تعیین شد و و برتری این روش نسبت به روش‌های تعیین شاخص کیفیت آب<sup>۱</sup> مشخص گردید.

به منظور ارزیابی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی و خطر جذب سدیم، میرعباسی و همکاران [۱۶] از سیستم استنتاج فازی استفاده کردند و با نمودار USSL مقایسه نمودند. در مطالعه دیگری پریا [۲۱] از روش منطق فازی برای کیفیت آب کشاورزی در حوضه آبریز کارینو هند استفاده نمود. شاخص‌ها و پارامترهای مختلف استفاده می‌شوند تا کیفیت آب و قابلیت استفاده آن‌ها برای مصارف کشاورزی تعیین شود [۱]. 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 نظریه مجموعه‌های فازی و به دنبال آن منطق فازی به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در منابع آب گردیده است [۲، ۱۳].

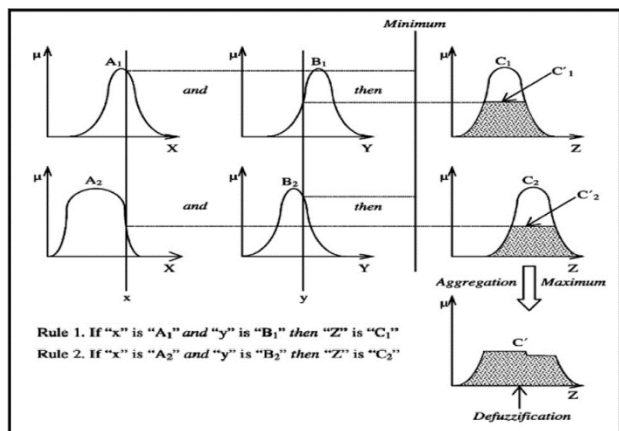
تاکنون مطالعات گسترده‌ای در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ مصارف کشاورزی انجام نشده است؛ درحالی‌که بزرگ‌ترین شبکه مصرف و توزیع آب زیرزمینی کشور در بخش کشاورزی است. در تصمیم‌گیری و ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی، عدم قطعیت فراوانی دخیل است که در این تحقیق تلاش شده است تا با استفاده از تئوری مجموعه فازی، عدم قطعیت همراه با مراحل

1. Water Quality Index (WQI)

جدول ۱- ویژگی‌های آماری شاخص‌های آبیاری دشت سراب.

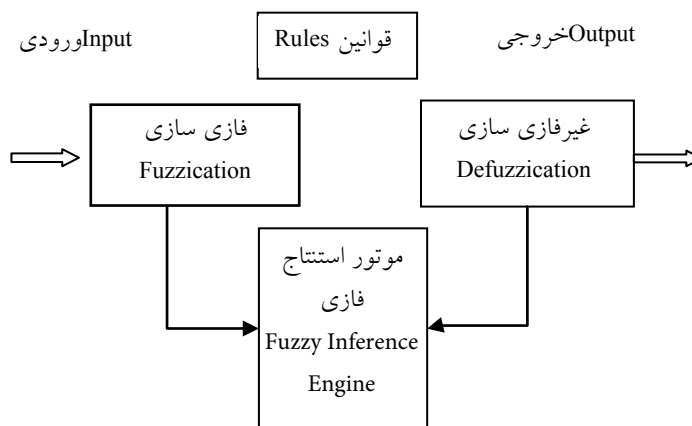
Table 1. Statistical characteristics of Sarab plain irrigation indices

SAR	SSP	RSBC	PI	MAR	KR	EC		
0.08	7.5	-13.1	29.4	9.5	0.03	185	Minimum	حداقل
47.2	75.9	8.2	91.2	51.1	7.6	3400	Maximum	حداکثر
2.6	53	-0.9	55.3	28.7	0.6	952	Average	میانگین
6.9	12.9	3.6	14.4	10.1	1.2	750	Standard Deviation	انحراف معیار



شکل ۳- سیستم استنتاج فازی ممدانی [۱۵]

Fig 3. Mamdani Fuzzy Inference System [15]



شکل ۲- سیستم استنتاج فازی [۲۵]

Fig 2. Fuzzy Inference System [25]

زیرزمینی به لحاظ آبیاری بسیار مهم است؛ زیرا مقادیر بالای سدیم باعث کاهش تراوایی خاک می‌شوند [۲۶]. مقادیر درصد انحلال سدیم و هدایت الکتریکی از اهمیت بالایی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی دارند [۱۲].

پالیوال [۱۹] شاخصی برای محاسبه خطر منیزیم معرفی کرده است که نسبت جذب منیزیم نامیده می‌شود. نسبت جذب منیزیم آب را در دو رده قرار می‌دهد. مقادیر کمتر از ۵۰ برای کشاورزی مناسب و مقادیر بالاتر از ۵۰ نامناسب تلقی می‌گردد. نسبت منیزیم بالا در نمونه‌های آب زیرزمینی منجر به واکنش آب سطحی و زیرسطحی با سنگ میزبان می‌شود [۲۰].

بی‌کربنات سدیم باقیمانده، پارامتر با ارزشی است که در تعیین مقبولیت آب برای مصارف کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است [۳]. دونین [۵] بر اساس شاخص تراوایی به بررسی کیفیت آب جهت آبیاری پرداخت. در جدول ۱ ویژگی‌های آماری منابع مورد استفاده به اختصار آورده شده است.

مقادیر شاخص تراوایی در منطقه مورد مطالعه از ۲۹/۴ تا ۹۱/۲ درصد متغیر است. نسبت کلی پارامتری است که کیفیت آب را بر اساس مقدار سدیم اندازه‌گیری شده نسبت به کلسیم و منیزیم ارزیابی می‌کند [۱۱]. نمونه‌هایی که مقدار نسبت کلی کمتر از ۱ باشد جهت آبیاری مناسب هستند. مقادیر نسبت کلی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه حداقل ۰/۰۳ و حداکثر برابر ۷/۶ است. آنیون‌ها و کاتیون‌های مورد استفاده بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر

کیفیت آب آبیاری استفاده گردید. به منظور بررسی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی دشت سرابه لحاظ مصارف کشاورزی، از مقادیر پارامترهای هیدروشیمیایی ۴۹ نمونه آب زیرزمینی شامل چاه، قنات و چشمه که در خردادماه ۱۳۹۳ در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز آنالیز شده بودند؛ استفاده گردید. پس از آنالیز نمونه‌های برداشت شده از منابع آب دشت سراب، شاخص‌های نسبت جذب سدیم<sup>۱</sup> (SAR)، شاخص تراوایی<sup>۲</sup> (PI)، نسبت کلی<sup>۳</sup> (KR)، نسبت جذب منیزیم<sup>۴</sup> (MAR)، بی‌کربنات سدیم باقی‌مانده<sup>۵</sup> (RSBC)، درصد انحلال سدیم<sup>۶</sup> (SSP) و هدایت الکتریکی برای منابع انتخابی منطقه مورد مطالعه محاسبه شدند.

مقدار هدایت الکتریکی بالاتر، باعث ایجاد خطر برای محصولات به دلیل کاهش فعالیت اسمزی گیاهان خواهد شد و جذب آب و مواد مغذی از خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۴].

مقدار سدیم یا خطر قلیائیت با پارامتر نسبت جذب سدیم بیان می‌شود [۶]. درصد انحلال سدیم، درصد نسبت مقدار سدیم آب زیرزمینی به کل کاتیون‌ها است [۲۲]. درصد سدیم بالاتر از ۶۰ درصد ممکن است بر اثر انباشتگی سدیم و احتمالاً تخریب ساختمان خاک، نفوذ و هوازدهی باشد [۸]. غلظت سدیم در ارزیابی کیفیت آب

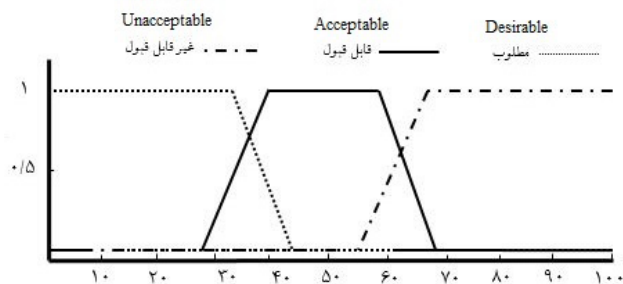
1. Sodium Absorption Ratio (SAR)
2. Permeability Index (PI)
3. Kelley's Ratio (KR)
4. Magnesium Absorption Ratio (MAR)
5. Residual Sodium Bi-carbonate (RSBC)
6. Soluble Sodium Percentage (SSP)

## بحث و نتایج

تعداد قوانین در مدل‌های استنتاج فازی، به تعداد پارامترهای ورودی و متغیرهای زبانی مورد استفاده بستگی دارد. هر قانون دارای وزن مشخصی (بین ۰ و ۱) است. این مقدار بر روی مقادیر حاصله از قسمت فرض اعمال می‌شود. عموماً مقدار وزن قوانین برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. در این مدل نیز وزن قوانین برابر ۱ در نظر گرفته شد. برای اینکه بتوان خروجی نسبی یا منطقی به دست آورد؛ تجمع قوانین انجام می‌شود. در سیستم‌های عملگر (and/or) قوانین با or و and به هم مرتبط می‌شوند [۲۳]. در این پژوهش برای پیاده‌سازی روش and از مینیمم (min) و برای پیاده‌سازی روش or از ماکزیمم (max) استفاده شده است.

پس از تخصیص مقادیر مناسب به وزن هر یک از قوانین، روش دلالت پیاده‌سازی می‌شود. در پژوهش حاضر از روش دلالت حداقل min استفاده شده است. از میان سه روش بیشینه (OR, max) احتمالی (probor) و محاسبه مجموع (sum) برای فرآیند تجمع از روش بیشینه max استفاده شد. همچنین از میان روش‌های مرسوم در راستای غیر فازی کردن، از روش غیر فازی‌ساز مرکز ثقل در مدل استنتاج فازی حال حاضر استفاده شده است [۲۳].

تمامی ۴۹ نمونه آب زیرزمینی با وارد کردن مقادیر قطعی شاخص‌های آبیاری مورد استفاده در ورودی مدل، مورد ارزیابی قرار گرفتند. کیفیت آب از نظر شوری و سطوح اطمینان بر حسب درصد برای تمامی نمونه‌ها مشخص گردید. مقایسه این دو روش در جدول ۳ ارائه شده است. نمونه ۱۶ و ۱۷ هر دو از نظر کیفیت آب به روش فازی مطلوب هستند. سطح اطمینان نمونه ۱۶ توسط مدل ۸۲ درصد و سطح اطمینان نمونه ۱۷ برابر ۸۳ درصد تعیین شد. به دلیل اینکه در پارامترهای ورودی مدل، اغلب پارامترها در رده مطلوب قرار گرفتند؛ مدل استنتاج فازی نیز کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف آبیاری را مطلوب تعیین نمود. همچنین مقادیر عددی نمونه ۱۶ بیشتر از نمونه ۱۷ بود؛ بنابراین مدل برای نمونه ۱۶ سطح اطمینان کمتری را در نظر گرفته است. همین حالت برای نمونه‌های ۴۰ و ۴۱ نیز اتفاق افتاده است. بدین ترتیب می‌توان ادعا نمود در نمونه‌هایی با کیفیت مشابه، مدل استنتاج فازی در ارزیابی میزان کیفیت آب زیرزمینی بسیار توانمند است و قدرت تصمیم‌گیری بهتری دارد. نمونه ۱۹ و ۲۰ به روش ارزیابی فازی در رده غیرقابل قبول طبقه‌بندی شده است. نمونه ۱۹ سطح اطمینان ۲۳/۴ درصد و نمونه ۲۰ سطح اطمینان ۱۸/۵ درصد دارد. با بررسی مقادیر توابع عضویت پارامترهای ورودی مدل براساس جدول ۲ و مقادیر عددی نمونه ۱۹ و ۲۰ مشخص می‌شود برای هر دو نمونه پارامترهای SSP و MAR در رده کم، EC در رده متوسط و پارامترهای PI و KR در رده بالا قرار گرفته‌اند. در نمونه ۱۹، SAR و RSBC در رده متوسط و در نمونه ۲۰ این دو پارامتر در رده بالا قرار گرفته‌اند. به همین دلیل مدل استنتاج فازی سطح اطمینان بالاتری برای نمونه ۱۹ در نظر گرفته است. نمونه ۲۱ و ۲۲ نیز در رده قابل قبول قرار گرفته‌اند.



شکل ۴- تابع عضویت درصد سدیم انحلالی.

Fig 4. Sodium Soluble Percent membership function

و هدایت الکتریکی بر حسب میکرو زیمنس بر سانتی متر است. استنتاج فازی فرآیندی است که طی آن نداشت از ورودی‌ها به خروجی‌ها با استفاده از منطق فازی قانونمند می‌گردد. سیستم فازی شامل فرآیندهای فازی‌سازی، قوانین فازی، موتور استنتاج فازی و غیرفازی‌سازی است (شکل ۲).

مدل‌های استنتاج فازی بسیار زیادی وجود دارند. مشهورترین آن‌ها در علوم مهندسی، مدل فازی ممدانی است. اغلب از این مدل جهت حل مسائل مربوط به منابع آب استفاده می‌شود [۷، ۲۴]. در این پژوهش نیز از عملگر استنتاج ممدانی استفاده شده است. در شکل ۳ مدل سیستم استنتاج فازی ممدانی نشان داده شده است.

در این شکل تمامی عملیات از فازی‌سازی تا غیرفازی‌سازی به صورت فشرده نشان داده شده است. فرآیند تبدیل خروجی فازی یک سیستم استنتاج فازی به مقدار عددی را غیر فازی‌سازی گویند. جریان اطلاعات از سمت چپ آغاز شده و پس از پردازش هر قانون، خروجی‌ها در سمت راست با هم ترکیب شده و خروجی نهایی تولید می‌شود. تصمیم‌سازی سیستم استنتاج فازی، بر اساس قوانین اعمال شده توسط کارشناس خبره صورت می‌گیرد. قوانین از دو بخش «اگر-آن‌گاه» تشکیل شده‌اند.

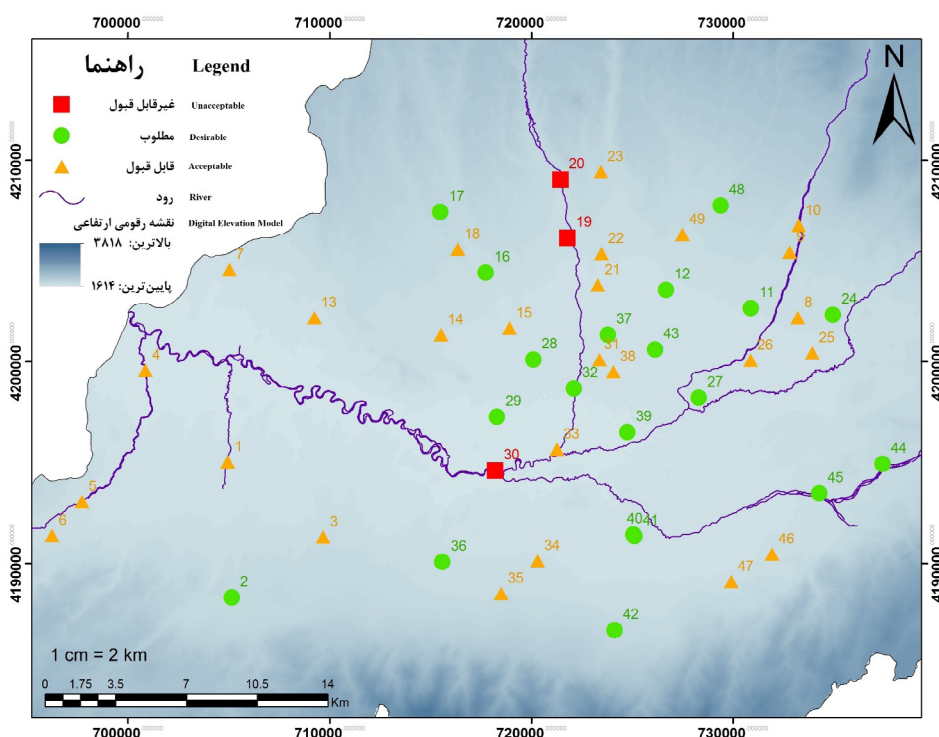
در بخش «اگر» ورودی مدل تعریف می‌شود. پارامترهای کیفی ورودی مدل شامل پارامترهای EC, PI, RSBC, SSP, SAR, MAR و KR به سه مشخصه زبانی «کم»، «متوسط» و «بالا» تقسیم شده‌اند. در بخش آن‌گاه خروجی مدل تعریف شده است. خروجی مدلیز به صورت سه مشخصه زبانی «غیرقابل قبول»، «قابل قبول» و «مطلوب» در نرم‌افزار MATLAB تقسیم شدند. در این پژوهش از توابع عضویت مثلی و دوزنقه‌ای به عنوان مشهورترین و پرکاربردترین تابع عضویت فازی استفاده گردید [۲۳]. در شکل ۴ تابع عضویت درصد سدیم انحلالی برای نمونه آورده شده است.

تابع عضویت هر یک از ورودی‌ها را مجموعه فازی تعیین می‌کند. با مشخص کردن ورودی‌های کلاسیک و اعداد قطعی در محدوده از قبل تعیین شده (تمام غلظت‌های ممکن پارامتر کیفی آب) هر یک از مجموعه‌های فازی تابع عضویتی بین ۰ و ۱ می‌گیرند. جدول ۲ توابع عضویت پارامترهای استفاده شده در مدل استنتاج فازی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- توابع عضویت پارامترهای ورودی استفاده شده در مدل استنتاج فازی.

Table 2. Membership functions of used input parameters in fuzzy inference model

«بالا»		«متوسط»					«کم»			Model Input	ورودی مدل
High		Moderate					Low				
C=D	B	A	D	C	B	A	D	C	A=B		
50	14	10	13	10	7	3	7	4	0	Sodium Absorption Ratio	نسبت جذب سدیم
100	67	55	67	57	42	28	42	35	0	Soluble Sodium Percentage	درصد سدیم انحلالی
9	2.8	2	3.5	2.5	1.25	0.5	1.5	0.5	-13.1	Residual Sodium Bi-carbonate	بی کربنات باقیمانده سدیم
100	62	50	62	56	42	33	44	36	0	Permeability Index	شاخص تراوایی
100	63	55	66	58	44	36	42	35	0	Magnesium Absorption Ratio	نسبت جذب منیزیم
9	0.9	0.65	0.9	0.65	5.0	0.3	5.0	0.35	0	Kelley's Ratio	نسبت کلی
4000	3400	2800	3500	3000	780	600	800	695	0	Electrical Conductivity	هدایت الکتریکی



شکل ۵- تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت سراب

Fig 5. Spatial variation of Sarab plain groundwater quality

مرکز دشت و به طور مشخص خروجی دشت (غرب دشت سراب) کیفیت آب بدتر می شود.

با توجه به نقشه پراکندگی کیفی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، کیفیت اغلب نمونه های آب زیرزمینی در فاصله کوتاهی از یکدیگر، تغییر می کنند و نشان دهنده تأثیرپذیری کیفیت آب زیرزمینی از سازندهای منطقه مورد مطالعه است. نتایج بررسی نشان می دهد؛ روش ارزیابی استنتاج فازی کمک شایانی به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در مناطقی با پیچیدگی هیدروژئولوژیکی می کند

سطح اطمینان این دو نمونه نیز بسیار به هم نزدیک است؛ زیرا مقادیر عددی برای هر دو نمونه مشابه و کیفیت آب زیرزمینی در آن مشابه است. بنابراین مدل استنتاج فازی برای هر دو نمونه کیفیت قابل قبولی را در نظر گرفته است.

در شکل ۵ پراکندگی کیفیت آب زیرزمینی دشت سراب برای مصارف کشاورزی آورده شده است. با فاصله گرفتن از منطقه تغذیه و نزدیک شدن به منطقه تخلیه کیفیت آب زیرزمینی کاهش می یابد. همان طور که در شکل شماره ۵ آورده شده است؛ کیفیت آب در شمال دشت یعنی منطقه تغذیه مطلوب بوده و با نزدیک شدن به



جدول ۳- مقایسه مقادیر قطعی و نتایج تصمیم‌گیری به روش فازی

Table 3. Comparison of crisp values and decision making results based on fuzzy approach

مقادیر قطعی پارامترهای ورودی							تصمیم‌گیری به روش فازی decision making based on fuzzy approach	شماره نمونه Sample No.
Crisp Values of Input Parameters								
SAR	SSP	KR	MAR	RSBC	PI	EC		
2.0	47.5	0.5	31.6	-2.1	51.3	1510	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۱
0.8	59.0	0.2	27.8	-1.2	48.5	580	Desirable (۷۴.۷) مطلوب (۷۴/۷)	۲
0.5	64.6	0.2	25.0	-0.9	48.4	510	Acceptable (۵۴.۸) قابل قبول (۵۴/۸)	۳
3.2	29.0	0.7	51.1	-3.9	55.5	1460	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۴
1.7	38.0	0.4	46.1	-2.3	51.8	1020	Acceptable (۶۳.۶) قابل قبول (۶۳/۶)	۵
1.5	37.5	0.4	50.0	-2.2	47.1	880	Acceptable (۶۵) قابل قبول (۶۵)	۶
3.5	51.4	0.5	25.6	-19.7	38.9	3400	Acceptable (۴۰.۹) قابل قبول (۴۰/۹)	۷
0.1	62.1	0.0	36.8	-0.6	53.3	290	Acceptable (۵۷.۷) قابل قبول (۵۷/۷)	۸
0.2	57.4	0.1	40.5	-0.8	51.3	325	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۹
0.3	46.6	0.1	48.1	-0.6	62.1	185	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۱۰
0.3	59.2	0.1	33.3	-0.3	62.5	290	Desirable (۷۳) مطلوب (۷۳)	۱۱
1.5	51.7	0.4	26.4	-2.1	53.8	740	Desirable (۶۵.۴) مطلوب (۶۵/۴)	۱۲
5.2	38.3	0.9	27.6	-12.7	53.8	3000	Acceptable (۴۴.۲) قابل قبول (۴۴/۲)	۱۳
2.8	54.0	0.5	19.5	-7.4	45.9	2130	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۱۴
2.0	53.0	0.5	23.0	-6.0	44.6	1200	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۱۵
1.5	66.2	0.3	16.3	-12.6	29.4	1765	Desirable (۸۲) مطلوب (۸۲)	۱۶
0.6	69.3	0.2	20.5	-5.0	31.0	847	Desirable (۸۳) مطلوب (۸۳)	۱۷
1.8	54.9	0.4	24.1	-6.1	42.7	1330	Acceptable (۶۵.۴) قابل قبول (۶۵/۴)	۱۸
6.1	30.7	1.9	17.7	2.9	85.2	1300	Unacceptable (۲۳.۴) غیر قابل قبول (۲۳/۴)	۱۹
15.6	20.0	4.2	16.3	7.1	91.2	3230	Unacceptable (۱۸.۵) غیر قابل قبول (۱۸/۵)	۲۰
0.9	63.2	0.2	23.0	-1.4	47.5	760	Acceptable (۵۸.۶) قابل قبول (۵۸/۶)	۲۱
0.8	64.3	0.3	20.1	-0.8	53.3	660	Acceptable (۵۶.۷) قابل قبول (۵۶/۷)	۲۲
2.8	42.2	1.3	13.1	0.9	89.2	584	Acceptable (۳۷) قابل قبول (۳۷)	۲۳
1.3	50.4	0.4	28.8	-0.6	60.9	600	Desirable (۶۵.۴) مطلوب (۶۵/۴)	۲۴
0.8	48.8	0.2	40.7	-2.1	46.6	620	Acceptable (۵۶.۴) قابل قبول (۵۶/۴)	۲۵
0.2	49.9	0.1	46.7	-1.0	46.8	310	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۲۶
0.5	52.8	0.2	36.4	0.0	70.2	254	Desirable (۸۳) مطلوب (۸۳)	۲۷
1.0	56.7	0.2	31.0	-4.7	37.0	1130	Desirable (۸۲.۵) مطلوب (۸۲/۵)	۲۸
2.1	56.6	0.4	23.1	-12.5	36.1	1900	Desirable (۷۴.۵) مطلوب (۷۴/۵)	۲۹
47.2	7.5	7.7	36.0	-14.2	89.8	1656	Unacceptable (۱۷.۴) غیر قابل قبول (۱۷/۴)	۳۰
1.8	55.1	0.5	18.0	-2.6	54.7	870	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۳۱
1.8	52.5	0.4	28.7	-5.2	43.2	1350	Desirable (۶۵.۴) مطلوب (۶۵/۴)	۳۲
0.8	69.6	0.3	9.5	-0.6	59.7	450	Acceptable (۵۲.۷) قابل قبول (۵۲/۷)	۳۳
0.4	61.6	0.2	28.4	-0.1	64.5	310	Acceptable (۶۱.۵) قابل قبول (۶۱/۵)	۳۴
1.1	48.1	0.5	29.9	0.0	71.4	360	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۳۵
0.9	58.0	0.2	30.3	-3.6	38.6	835	Desirable (۸۱.۵) مطلوب (۸۱/۵)	۳۶
0.6	63.0	0.1	28.1	-2.5	39.4	800	Desirable (۶۵.۳) مطلوب (۶۵/۳)	۳۷
0.8	63.4	0.2	24.0	-2.5	41.1	870	Acceptable (۶۰.۷) قابل قبول (۶۰/۷)	۳۸
1.6	53.7	0.4	27.0	-6.1	41.3	1200	Desirable (۶۵.۴) مطلوب (۶۵/۴)	۳۹
0.3	62.5	0.1	33.0	-1.7	36.6	760	Desirable (۷۲.۷) مطلوب (۷۲/۷)	۴۰
0.5	55.3	0.2	34.8	-0.7	55.0	320	Desirable (۸۳) مطلوب (۸۳)	۴۱
0.4	53.7	0.1	38.5	-0.6	56.0	300	Desirable (۶۷) مطلوب (۶۷)	۴۲
0.7	75.9	0.2	11.2	-2.6	39.5	800	Desirable (۶۵) مطلوب (۶۵)	۴۳
0.9	54.5	0.3	31.8	-0.2	57.7	540	Desirable (۸۱.۷) مطلوب (۸۱/۷)	۴۴
1.3	56.1	0.3	26.0	-2.8	46.1	860	Desirable (۸۳) مطلوب (۸۳)	۴۵
0.5	68.1	0.2	17.1	-0.1	64.4	300	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۴۶
0.8	68.8	0.2	14.5	0.1	56.0	540	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۴۷
0.8	50.7	0.3	37.0	-0.6	59.1	320	Desirable (۸۱.۹) مطلوب (۸۱/۹)	۴۸
1.4	43.6	0.5	36.2	-1.0	62.9	430	Acceptable (۵۲.۹) قابل قبول (۵۲/۹)	۴۹

6. Gholami, S. and Srikantaswamy, S. 2009. Analysis of agricultural impact on the Cauvery river water around KRS dam. *World Applied Sciences Journal* 6(8): 1157-1169.
7. Gokceoglu, C. 2002. A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of the Ankara agglomerates from their petrographic composition. *Engineering Geology* 66(4): 39-51.
8. 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*. 5(3): 413-419.
9. Hashemi, A. Mousavi, F. Taheri, M and Ghareh, E. 2010. Analysis of quality acceptability for drinking purposes in nine cities in Isfahan province using fuzzy inference system. *Iran Water Resources Research*. 6(3), 25-34. (In Persian)
10. Kawy, W. 2012. Use of spatial analyses techniques to suggested irrigation scheduling in WadiElNatrur Depression, Egypt. *Arab Journal Geoscience*. 5(6):1199-1207.
11. Kelley, W.P. 1940. Permissible composition and concentration of irrigation water. *American Society civil engineering*. 66(3) 607-613.
12. Khodapanah, L. Sulaiman, W.A. and Khodapanah, M. 2009. Ground water quality assessment for different purposes in Eshtehard district, Tehran, Iran. *European Journal of Scientific Research*. 36(4): 543-553.
13. Li, Y.P. Huang, G.H. Huang, Y.F. and Zhou, H.D. 2009. A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting sustainable water-resources and management. *Environmental Modeling and Software*. 24(2): 786-797.
14. Malpe, D.B. and Zade, A.B. 2010: Geochemical characterization of groundwater from north-eastern part of Nagpur urban, India, *Environmental Earth Science*. 62(3), p. 1419-1430.
15. Mamdani, E.H. and Assilian, S. 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 7(1): 1-13.
16. Mirabbasi, R. Mazlounzade, S.M. Rahnama, M.B. 2008. Evaluation of irrigation water quality using fuzzy logic. *Research Journal Environmental Science*. 2:340-352.

## نتیجه گیری

به سبب عدم قطعیت ذاتی، همیشه مشکلاتی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد و عدم قطعیت قابل توجهی در فرآیند تعیین کیفیت آب برای مصارف مختلف وجود دارد. در بخش هایی که کیفیت نمونه های آب، مقادیر مرزی دارند؛ عدم قطعیت ارزیابی کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می دهد. مطالعه حاضر با هدف کاربرد روش ارزیابی فازی در تعیین میزان شوری آب زیرزمینی انجام شد. ارزیابی کیفیت آب بر اساس روش های قبلی و تقسیم بندی کیفیت آب به رده های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول بر اساس استانداردهای کیفیت آب چندان مناسب به نظر نمی رسید. در این پژوهش، از مدل استنتاج فازی ممدانی استفاده گردید؛ تا بتوان کیفیت آب را به شیوه دقیق تری و با در نظر گرفتن عدم قطعیت تعیین نمود. با توجه به این که در ارزیابی فازی، برای هر یک از پارامترهای کیفیت آب حدود فازی تعیین می شود، کیفیت آب زیرزمینی در قالب رده های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول طبقه بندی گردید. سطح اطمینان مربوط به هر نمونه نیز مشخص شد. نتایج نشان داد ۴۱ درصد از نمونه ها در رده مطلوب، ۵۳ درصد در رده قابل قبول و ۶ درصد نیز در رده غیر قابل قبول قرار گرفتند. به صورت کلی می توان ادعا کرد روش استنتاج فازی به جهت تصمیم گیری یکپارچه بر اساس تمامی شاخص های مهم آبیاری روش مناسبی جهت تعیین میزان شوری آب زیرزمینی است.

## منابع

1. Aghazadeh, N. and Moghaddam, AA. 2010. Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh area, Northwest of Iran. *Journal Environmental Protection*. 34(1): 30-40.
2. Bardossy, A. Bronstert, A. and Merz, B. 1995. 1. 2 and 3 dimensional modeling of water movement in the unsaturated soil matrix using a fuzzy approach. *Advanced Water Resources*. 18(2): 237-251.
3. Bokhari, A.Y. and Kan, MA. 1992. Deterministic modeling of al-Madinah groundwater quality using lumped parameter approach. *King Abdul Aziz University Earth Sciences* 5(4): 89-107.
4. 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*. 147(3): 938-946.
5. Doneen, L.D. 1962. The influence of crop and soil on percolating water. *Proceeding of Biennial Conference on Groundwater Recharge*. 156-163.

22. Raguhnath, H.M. 1987. Groundwater. Wiley Eastern, New Delhi, 305 pp.
23. Ross, T. 1995. Fuzzy logic with engineering applications. McGraw-Hill, New York, 648 pp.
24. Sonmez, H. Tuncay, E. and Gokceoglu, C. 2004. Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for agglomerate. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 41(2): 717-729.
25. Teshnelab, M. Safarpor, N. and Afyoni, D. 2009. Fuzzy sets and fuzzy Control (1 th Ed.). The Khaje Nasir Eldin University Press, Tehran, 630 p.(In Persian)
26. Todd, K.D. and Mays, L.W. 2005. Groundwater hydrology. John Wiley and Sons, New York. 636 pp.
17. Nakhaei, M. and Talkhabi, M. 2008. Robustness of fuzzy c-mean method for delineation of hydrochemical facies distribution in Varamin groundwater system. Proceeding 12th Geological Society of Iran Conference. Ahvaz.(In Persian)
18. Niko, M. and Karachian, R. 2010. Water quality evaluation of rivers using hybrid fuzzy inference system and bayesian networks- Jajrood River. The 4 th Environmental Engineering Expert Conference.(In Persian)
19. Paliwal, K.V. 1972. Irrigation with saline water, Monogram no. 2 (New series). New Delhi, 198 pp.
20. Pandian, K. and Sankar, K. 2007. Hydrogeochemistry and groundwater quality in the Vaippar river basin, Tamil Nadu Journal of GSI. 69(3): 970-982.
21. Priya, K.L. 2013. A fuzzy logic approach for irrigation water quality assessment: a case study of Karunya Watershed, India. Journal Hydrogeology Engineering. 2(1):2-8.