



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

مقایسه دو روش فازی و قطعی در ارزیابی کیفیت آب شرب دشت بیلوردی

صدیقه شکورا^۱، عطاالله نادیری^{۲*}، اصغر اصغری مقدم^۳، میثم ودیعی^۴

۱. کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. (نویسنده مسئول): استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳. استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

زمینه و هدف: سلامتی انسان بیش از هر چیز، به آب شرب سالم و بهداشتی بستگی دارد. در دشت بیلوردی تنها منبع آب شرب مصرفی، آب‌های زیرزمینی است که در بعضی نقاط از کیفیت پایینی برخوردار است، لذا آب شرب این منطقه از نظر کیفیت نیاز به بررسی دقیق دارد و در این تحقیق، با دو روش فازی و قطعی مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی: در مهر سال ۱۳۹۲ تعداد ۱۵ نمونه از نقاط مختلف دشت بیلوردی برداشته شدند و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، نیترات، فلئوئور و برخی پارامترهای فیزیکی آب در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی کیفیت شرب، نخست از دیاگرام شولر در محیط *GWW* و سپس از سیستم استنتاج فازی در محیط *MATLAB* استفاده کرده و نتایج آنها با هم مقایسه شدند.

یافته‌ها: براساس نتایج، در روش قطعی، کیفیت آب شرب در بازه خوب تا کاملاً نامطبوع دسته‌بندی شد ولی در روش فازی، علاوه بر بیان کیفیت آب، درصد قابلیت شرب نمونه‌ها نیز ارائه شد، بطوری‌که شش نمونه با درصد اطمینان ۱۳/۸ تا ۱۴/۷، پنج نمونه با درصد اطمینان ۵۰ و چهار نمونه با درصد اطمینان ۷۳ تا ۸۵، به ترتیب در گروه‌های غیرقابل قبول، قابل قبول و مطلوب برای شرب قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: نتایج، حاکی از دقت و توانایی بالای روش فازی نسبت به روش قطعی است، چون عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف نمونه‌برداری، آنالیز و تحلیل نتایج را پوشش می‌دهد و همه پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب را در ارزیابی لحاظ می‌کند، همچنین برای قابلیت شرب آب، درصد اطمینان ارائه می‌دهد.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۲
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۱۷
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۹/۳۰

واژگان کلیدی: کیفیت آب شرب، منطق فازی، روش قطعی، دشت بیلوردی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Nadiri@tabrizu.ac.ir

مقدمه

با عبور آب از لایه‌های مختلف خاک و سازندهای موجود در مسیر حرکت آب از بالادست به پایین دست، کیفیت آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد (۱). انحلال کانی‌های سازنده ساختمان خاک شامل: ترکیبات سدیم، پتاسیم و منیزیم و ... که در مسیر حرکت آب زیرزمینی قرار دارند، موجب می‌شود در آب‌های آشامیدنی ایجاد طعم کنند، بطوری‌که 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. کلسیم و منیزیم نیز از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز بدن هستند؛ از طرفی زیادی غلظت این دو فلز موجب سختی آب نیز می‌شود (۲) غلظت زیاد نیترات در آب باعث بروز بیماری متهموگلوبینا، سیانوزیس نوزادان، اختلالات تنفسی، بیماری‌ها و سرطان‌های گوارشی و ... می‌شود (۳). یکی از روش‌های مرسوم برای تعیین کیفیت آب شرب، دیاگرام نیمه لگاریتمی شولر است که نخستین بار توسط شولر در سال ۱۹۶۲ ارائه شده (۴) و تاکنون نیز نتایج قابل قبولی در پی داشته است که به چند مورد از آنها اشاره می‌شود. Ebadati و همکار (۵) جهت بررسی کیفیت آب رودخانه دز، از نمودار شولر استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که آب رودخانه دز به لحاظ شرب مناسب است. Homayon Nezhad و همکاران (۶) کیفیت آب مخازن چاه‌های نیمه زابل را با استفاده از نمودار شولر، قابل قبول ارزیابی کردند. Soleymani Motlagh و همکاران (۷) در ارزیابی تأثیرات خشکسالی بر کیفیت آب‌های سطحی از نمودار شولر بهره گرفتند و پی بردند که کیفیت آب شرب این منابع، از خوب به قابل قبول تغییر پیدا کرده است. Sajadi Mian Ab و همکاران (۸) در مطالعات خود بر تأثیر آب خلیج فارس بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه عسلویه از نمودار شولر استفاده کردند و آب را غیرقابل شرب برآورد کردند. در دیاگرام شولر، از میان پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب شرب تنها غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب لحاظ می‌شود و نمی‌توان در صورت لزوم هر کدام از

پارامترهای فیزیکی مانند دما، کدورت و پارامترهای شیمیایی مانند، سیلیس، نیترات، فلوراید و فلزات سنگین، مؤثر بر کیفیت آب شرب را به آن اضافه کرد، بنابراین بهتر است از روشی استفاده شود که این محدودیت را نداشته باشد و منطق فازی می‌تواند تا حدودی این محدودیت را برطرف کند. مطالعات متنوعی پیرامون کاربرد منطق فازی در ارزیابی، تصمیم‌گیری و پیش‌بینی پارامترهای مختلف منابع آب انجام شده است که به چند مورد از آنها اشاره می‌شود. Hasani و همکاران (۹) با استفاده سیستم استنتاج فازی ممدانی، شاخص کیفی برای آب‌های زیرزمینی طراحی کردند و سپس به دلیل جامع بودن این شاخص کیفی، از آن برای ارزیابی کیفی آب قنات‌ها استفاده کردند. Saberi و همکاران (۱۰) جهت طبقه‌بندی و شناسایی کیفیت و تجزیه تحلیل آب‌های زیرزمینی از سیستم استنتاج فازی استفاده کردند. Kahe و همکاران (۱۱) جهت پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه کارون از منطق فازی و خوشه‌بندی فازی به روش (C-Mean) بهره گرفتند و توانستند با ارائه یک مدل، بین مشخصات هیدرولوژیکی و پارامترهای کیفی رودخانه، ارتباط معنی‌داری جهت پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه برقرار کنند. Scannapieco و همکاران (۱۲) جهت ارزیابی کیفیت آب رودخانه از مقایسه منطق ارسطویی و منطق فازی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش فازی نتایج بهتری در ارزیابی کیفیت آب رودخانه ارائه می‌دهد. هر کدام از دو گروه محققین مذکور، برای ارزیابی کیفیت آب شرب به‌تنهایی یا از روش‌های قطعی یا فازی بهره گرفته‌اند ولی در این تحقیق هر دو روش بکار گرفته شدند و در آخر برای درک بهتر نتایج و پی بردن به نقاط ضعف و قوت آنها، دو روش با هم مقایسه شدند.

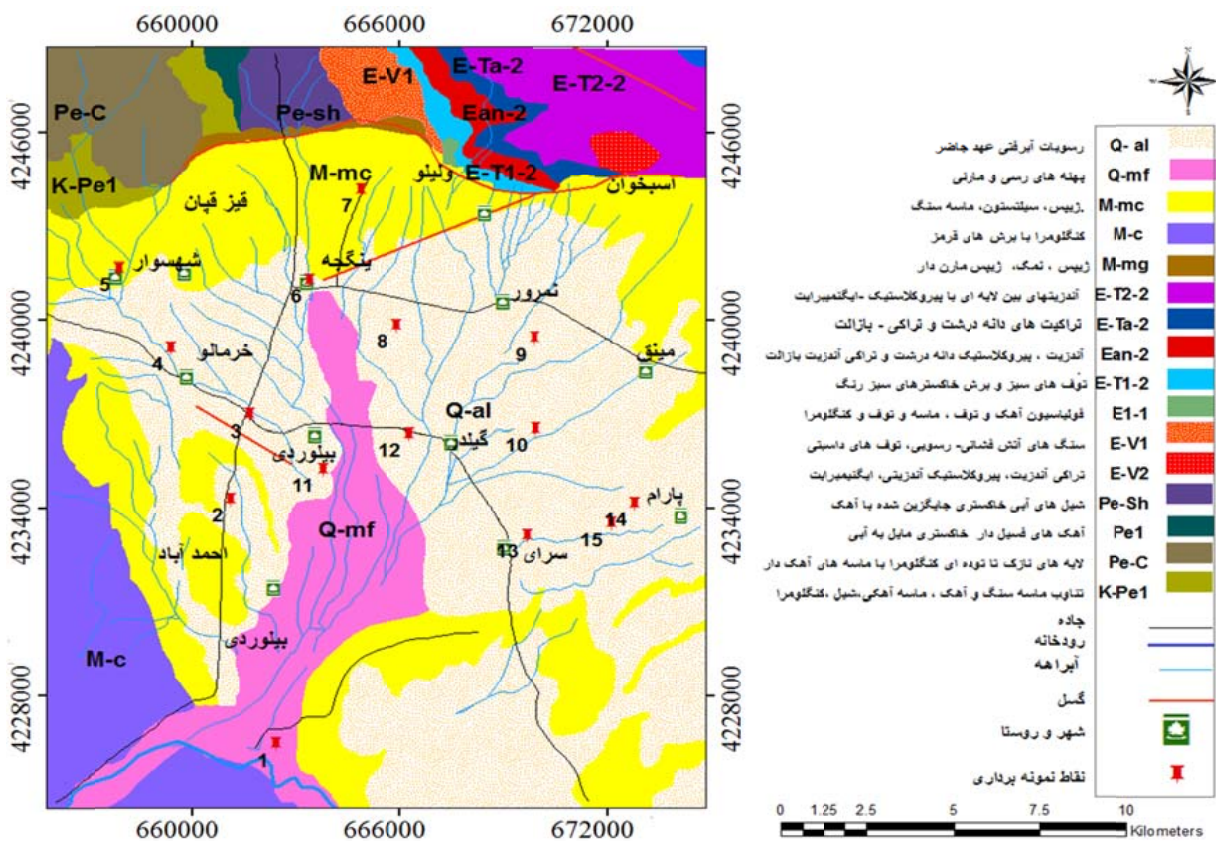
مواد و روش‌ها

عملیات میدانی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه:

محدوده مطالعاتی دشت بیلوردی با 289 km^2 در 45 کیلومتری شمال شرق شهرستان تبریز قرار دارد و از نظر هیدرولوژیکی، از

ایگنمبرایت، سنگ‌های آذرین - رسوبی، لاهای آندزیتی و داسیتی، لایه‌های غیریکنواخت مارن ژپیس‌دار، مارن، میوسن (لایه‌های غیریکنواخت مارن ژپیس، ماسه سنگ، سیلت سنگ، مارن ژپیس‌دار، مارن نمک‌دار، لایه‌های قرمز برش و گنگومرا) تا عهد حاضر (رسوبات و تراس‌های آبرفتی، پهنه‌های رسی و مارنی) است. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و نقاط نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه آمده است.

زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه محسوب می‌شود. جهت بررسی زمین‌شناسی منطقه در مهر سال ۱۳۹۲ عملیات میدانی انجام شد، پس از بازدید و شناخت پدیده‌های زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ خواجه، نقشه زمین‌شناسی دشت بیلوردی تهیه شده است. این دشت از نظر چینه‌شناسی شامل: رسوبات کرتاسه (ماسه سنگ‌های آهکی، شیل، کنگلومرا)، ائوسن (تراکی آندزیت، تراکیت، توف داسیتی تا ریوداسی‌تی،



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و نقاط نمونه‌برداری دشت بیلوردی

نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی:

منابع آب‌های زیرزمینی معمولاً در فصل پاییز دارای آب کمتر و املاح بیشتر هستند. جهت بررسی آب شرب در حالت دارای بیشترین غلظت املاح، در مهر سال ۱۳۹۲ اقدام به نمونه‌برداری شد و براساس دستورالعمل‌های موسسه استاندارد و تحقیقات

صنعتی ایران (۱۳) تعداد ۱۵ نمونه، از نقاط مختلف دشت، به روش نمونه‌برداری ناپیوسته یا لحظه‌ای برداشته شد و برای نمونه‌برداری از ظروف پلاستیکی پلی‌اتیلنی دو لیتری استفاده شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز

میان نمونه‌ها قرار داده می‌شوند، اگر آزمایش‌ها درست انجام شود بایستی گزارش آنالیز آزمایشگاهی برای نمونه‌های تکراری نتایج یکسانی را نشان دهد (۱۵). در نهایت برای بررسی دقت کلی داده‌های بدست آمده، از روش محاسبه بالانس یونی برای تمام نمونه‌ها استفاده شد زیرا در حالت کلی، آب شرب از نظر الکتریکی خنثی است و باید بین کاتیون‌ها و آنیون‌های آن برحسب meq/L تعادل برقرار باشد لذا در این تحقیق بالانس یونی نمونه‌ها محاسبه شده و نمونه‌های با خطای بالانس بیشتر از ۵ درصد را مجدداً مورد آنالیز قرار داده تا خطای آنها به کمتر از ۵ درصد برسد. نتایج آنالیز آزمایشگاهی در جدول ۱ آمده است.

منتقل شدند و براساس روش‌های استاندارد (۱۴)، pH و EC (هدایت الکتریکی) با دستگاه‌های pH متر و دستگاه سنجش هدایت الکتریکی، غلظت یون‌های: کلسیم، منیزیم، بیکربنات، کلرید، به روش تیتراسیون (حجم‌سنجی)، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم به روش فلیم‌فوتومتری (Flame photometry) و یون‌های فلوراید، نیترات و سولفات به روش اسپکتروفوتومتری (Spectrophotometry) اندازه‌گیری شدند. برای صحت‌سنجی نتایج از نمونه شاهد (Spiked) استفاده شد (۱۵). برای بررسی دقت نتایج از یک نمونه تکراری (Duplicate) در میان نمونه‌ها استفاده شد، بدین صورت که دو نمونه از یک چاه برداشته می‌شوند و در

جدول ۱- نتایج آنالیز آزمایشگاهی و درصد خطای آزمایش برای نمونه‌ها

شماره نمونه	EC	pH	سدیم	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	بیکربنات	کلرور	سولفات	نیترات	فلوئور	درصد خطا بالانس یونی
W ₁	۷۶۰۰	۷/۲۵	۵۶/۲۱	۸/۵	۸/۸	۱۹/۲	۱۱/۶	۵۱/۸۸	۲۵/۸۴	۲/۸۸	۰/۱۲	۰/۲۸
W _۲	۴۳۰۰	۸	۱۲/۸	۰/۶۷	۲۰/۴	۲۸	۵/۸	۱۰/۱۵	۳۳/۸۲	۰/۸۶	۰/۴۹	۳/۲۴
W _۳	۲۳۰۰	۸/۱	۱۱/۰۵	۰/۲۳	۹/۲	۴/۴	۷	۹/۰۲	۲/۵۷	۰/۳۰	۰/۸۲	۴/۹
W _۴	۲۱۳۰	۸/۴	۱۳/۶۳	۰/۳۰	۵/۹۲	۵/۳۶	۱۰/۲۸	۹/۱۶	۴/۳۳	۰/۱۹	۰/۸۷	۱/۶۸
W _۵	۸۹۰	۸/۱	۲۰/۲۹	۰/۱۳	۲/۷۲	۴/۶۴	۷/۹۶	۲/۲۸	۰/۴۷	۰/۰۳	۰/۵۳	۴/۶۵
W _۶	۳۰۹۰	۸/۴	۲۰/۴۰	۰/۲۳	۱۰/۴	۶/۸	۸/۷۶	۱۶/۲۱	۱۵/۵۶	۰/۰۷	۱/۰۳	۳/۵۳
W _۷	۱۴۰۰	۷/۹	۸/۹۲	۰/۰۳	۴/۶۴	۳/۵۲	۱۲/۸	۲/۳۱	۴/۰۳	۰/۲۰	۱/۰۴	۳/۷۳
W _۸	۷۵۰	۷/۱	۲/۸۵	۰/۰۶	۱/۳۶	۴/۶۴	۴/۲۴	۲/۰۸	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۸۱	۴/۱۸
W _۹	۱۲۵۵	۷	۳/۳۲	۰/۰۵	۳/۴۴	۸/۹۶	۳/۴۴	۲/۵۷	۱۲/۸۵	۰/۱۳	۱/۳۸	۲/۷۳
W _{۱۰}	۱۶۴۰	۷/۸	۶/۹۹	۰/۱	۵/۳۶	۵/۹۴	۴/۹۶	۵/۰۱	۹/۸۱	۰/۲۰	۰/۴۵	۴/۴۲
W _{۱۱}	۵۳۰۰	۷/۲۵	۴۰/۵۰	۰/۳۷	۱۹/۲	۱۴/۸	۱۴/۵۶	۲۱/۹۹	۳۵/۸۵	۰/۳۸	۱/۳۸	۴/۴۱
W _{۱۲}	۱۲۵۰	۷/۹۱	۴/۳۱	۰/۰۶	۳/۵۲	۴/۰۸	۴/۳۶	۴/۲۸	۳/۶۵	۰/۰۳	۰/۴۵	۱/۴۸
W _{۱۳}	۱۷۰۴	۷/۸۲	۶/۵۶	۰/۱۷	۶/۴	۶	۵/۳۶	۵/۵۷	۱۱/۵۰	۰/۱۴	۱/۲۳	۳/۳۶
W _{۱۴}	۲۳۰۰	۷/۸۷	۱۴/۹۰	۰/۱۷	۷/۳۶	۸/۴	۵/۴۸	۵/۰۷	۱۶/۹۸	۰/۱۴	۱/۱۷	۱/۹۶
W _{۱۵}	۲۵۰۰	۷/۳	۱۱/۷۰	۰/۲۷	۹/۸۴	۸/۹۶	۶/۶	۷/۱۹	۲۰/۵۰	۰/۱۵	۱/۰۱	۰/۹۳

* واحد تمام یون‌ها به جز نیترات برحسب meq/L ، واحد نیترات برحسب meq/L یون نیترات، EC برحسب $\mu\text{mhos/cm}$ و pH واحد ندارد.

سپس از سیستم فازی ممدانی در محیط نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. این دو روش در ذیل توضیح داده شده‌اند.

پس از این مراحل، جهت ارزیابی کیفیت شرب نمونه‌ها نخست از نمودار نیمه لگاریتمی شولر در محیط نرم‌افزار GWW و

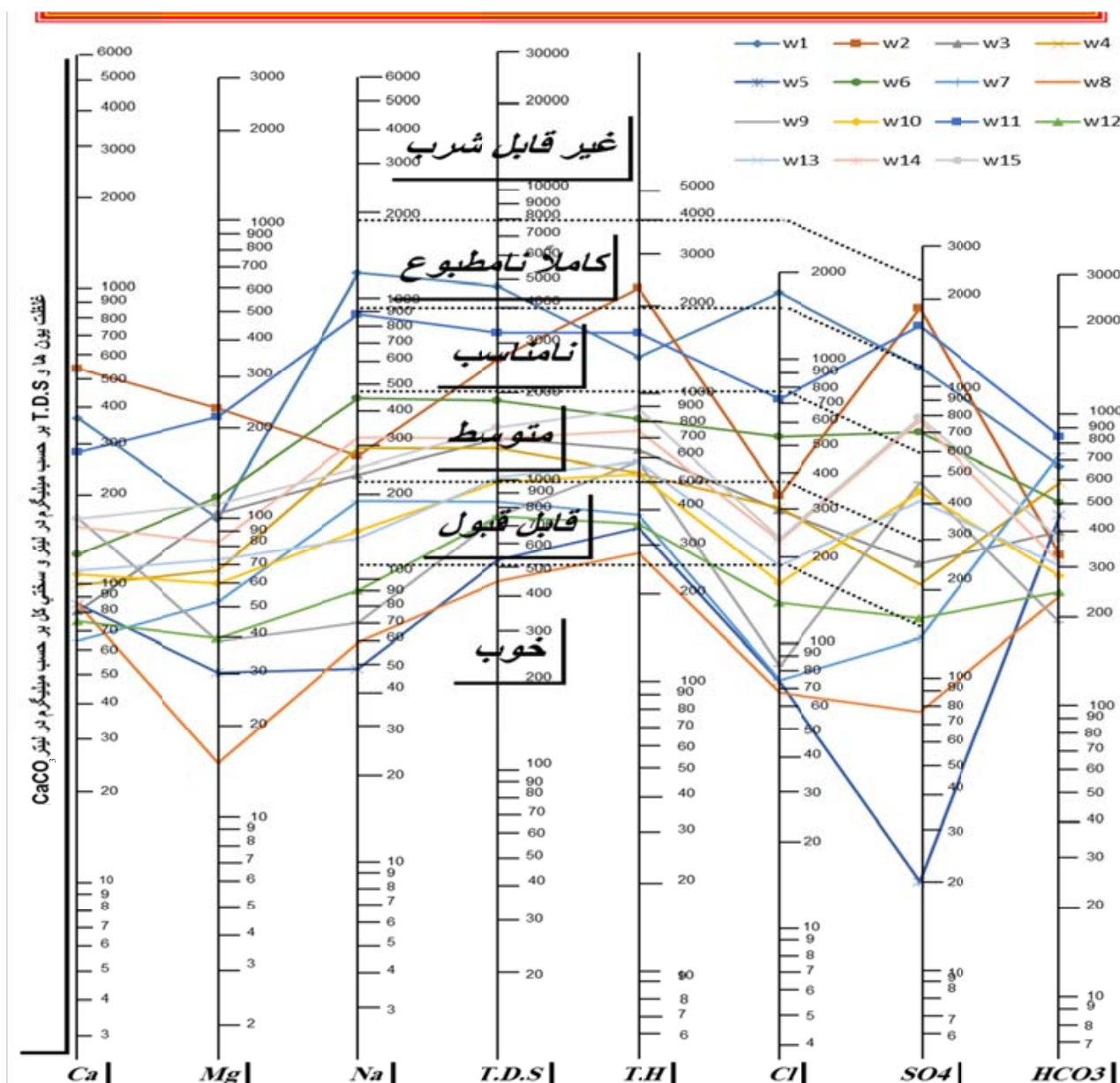
روش قطعی و روش فازی:

روش ترکیب قوانین را کنترل می‌کند (۱۷). غیرفازی‌سازی: این مرحله فرایندی است که خروجی فازی را به مقادیر غیرفازی تبدیل می‌کند و آن را بصورت مقدار عددی نمایش می‌دهد. به عبارتی در این تحقیق، مراحل زیر به ترتیب انجام شدند: ۱- فازی‌سازی مقادیر واقعی حاصل از آنالیز آزمایشگاهی، از طریق، تعیین ورودی‌ها و خروجی‌ها و مقدار تابع عضویت برای آنها. ۲- اعمال قوانینی به سیستم استنتاج فازی، تا موتور استنتاج فازی براساس این قوانین بین ورودی‌ها و خروجی‌ها ارتباط برقرار کند و برای مدل تصمیم‌گیری کند. ۳- غیرفازی‌سازی مقادیر، جهت اخذ نتیجه نهایی به صورت کمی، این مقادیر کمی که از سیستم فازی استخراج می‌شود، همان درصد اطمینان قابلیت شرب برای نمونه‌ها است.

یافته‌ها

آب آشامیدنی باید فاقد رنگ، بو و طعم بوده و به لحاظ عناصر و مواد موجود در آن، باید در محدوده مجازی که توسط سازمان‌های بهداشتی تعیین شده است، باشد (۱۸). بر پایه دیاگرام شولر منابع آب دشت بیلوردی، می‌توان گفت: کیفیت آب‌های زیرزمینی از خوب تا کاملاً نامطبوع متغیر است بطوری‌که کیفیت آب در نمونه‌های ۱ و ۲، نامناسب تا کاملاً نامطبوع، در نمونه شماره ۱۱ قابل قبول تا نامناسب، در نمونه‌های ۳، ۴، ۶، ۷، دارای کیفیت متوسط، در نمونه‌های ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ دارای کیفیت قابل قبول و در نمونه‌های ۵ و ۸، دارای کیفیت خوب است. در شکل ۲ نمودار شولر نمونه‌های برداشت شده از دشت بیلوردی آمده است. جهت بررسی آب شرب به روش فازی، ۱۰ پارامتر مؤثر بر کیفیت آب شامل: Cl^- ، HCO_3^- ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، SO_4^{2-} ، NO_3^- ، F^- ، Na^+ ، TDS و TH انتخاب شدند، سپس برای کاهش تعداد ورودی‌ها و در نتیجه کاهش پیچیدگی و خطای مدل سه گروه بدین شرح است: گروه اول: HCO_3^- ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ ، گروه دوم: SO_4^{2-} ، Cl^- ، TDS و TH؛ گروه سوم: NO_3^- ، F^- ، خروجی گروه‌های اول و دوم تعریف شدند. قابل

در نمودار شولر، آب‌ها از نظر مصرف آشامیدن براساس پارامترهای شیمیایی: سدیم، کلرور، سولفات، کل مواد جامد محلول (Total Dissolved Solid) و سختی کل (Total Hardness)، به شش گروه شامل: خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطلوب و غیرقابل شرب تقسیم می‌شوند (۴). برای رسم نمودار شولر پارامترهای: Cl^- ، HCO_3^- ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، SO_4^{2-} ، Na^+ ، برحسب mg/L و مقدار TDS برحسب $\mu\text{mhos/cm}$ به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار GWW داده می‌شوند و نرم‌افزار نیز کیفیت آب شرب را (به‌عنوان خروجی) در قالب نمودار شولر ارائه می‌دهد. GWW نرم‌افزاری جامع است که در محیط اکسل برنامه‌نویسی شده و می‌تواند نمودارهای هیدروشمی از جمله شولر را ترسیم نماید. مزایای استفاده از این نرم‌افزار کاهش محاسبات دستی، افزایش صحت و دقت محاسبات، ساماندهی حجم زیاد اطلاعات و کیفیت بالای گرافیکی است. در این نرم‌افزار مقادیر اندازه‌گیری شده یون‌های اصلی آب به نرم‌افزار داده می‌شوند و نرم‌افزار نیز کیفیت آب را در قالب نمودارهایی (به‌عنوان خروجی) ترسیم می‌کند. یک سیستم استنتاج فازی فرایندی است که استدلال زبان انسان را با استفاده از قوانین فازی (اگر-آنگاه) به‌صورت توابع ریاضی در می‌آورد و عموماً متشکل از چهار بخش اصلی شامل: فازی‌سازی، قوانین فازی، موتور استنتاج فازی و غیرفازی‌سازی است که در ذیل به اختصار توضیح داده می‌شوند. فازی‌سازی: عبارت است از فرایندی که مقادیر اندازه‌گیری شده را به متغیرهای زبانی بکار رفته در قسمت شرط قوانین فازی تبدیل می‌کند و این کار با استفاده از تعیین تابع عضویت برای ورودی‌ها انجام می‌گیرد. قوانین فازی: در سیستم‌های فازی جهت ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های مدل، از یک سری قوانین فازی استفاده می‌شود که هر قانون شامل دو بخش: شرط (اگر) و نتیجه (آنگاه) است (۱۶). موتور استنتاج فازی: عملیات استنتاج قوانین بر عهده سیستم استنتاج یا واحد تصمیم‌گیرنده است و این سیستم



شکل ۲- نمودار شولر نمونه‌های برداشت شده از منابع آب زیرزمینی دشت ییلوردی

گروه، مشخصه‌های زبانی (مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول) و متغیرهای زبان‌شناختی (پارامترهای مؤثر در کیفیت آب از جمله سدیم، پتاسیم و...) تعریف کرده که در جدول ۲ مشخصه‌های زبانی و متغیرهای زبان‌شناختی پارامترهای هر سه گروه آمده است. بعد از مشخص شدن استانداردها، مشخصه‌های زبانی، متغیرهای زبان‌شناختی و تعیین معادلات

ذکر است، در این گروه‌بندی‌ها برای اینکه تصمیم‌گیری نهایی براساس یک گروه واحد و نهایی انجام شود، از خروجی‌های گروه‌های اول و دوم بعنوان ورودی برای گروه سوم استفاده شده است. در سیستم‌های فازی هر قانون فازی شامل متغیرهای زبان‌شناختی و مشخصه‌های زبانی است، بنابراین براساس استاندارد WHO و نظر کارشناس خبره برای هر

عضویت بین ۰ و ۱ را برای آنها در نظر گرفته شد. برای نمونه در شکل ۳ نوع فازی ساز و شکل تابع عضویت پارامترهای گروه اول آمده است.

برای هر ورودی، براساس نظر کارشناس خبره از فازی‌سازهای مثلثی و ذوزنقه‌ای برای فازی‌سازی مقادیر قطعی استفاده شد. برای تعیین تابع عضویت هر ورودی، مقادیر واقعی پارامترها را در جایگاه از قبل تعریف شده در نرم‌افزار وارد کرده و تابع

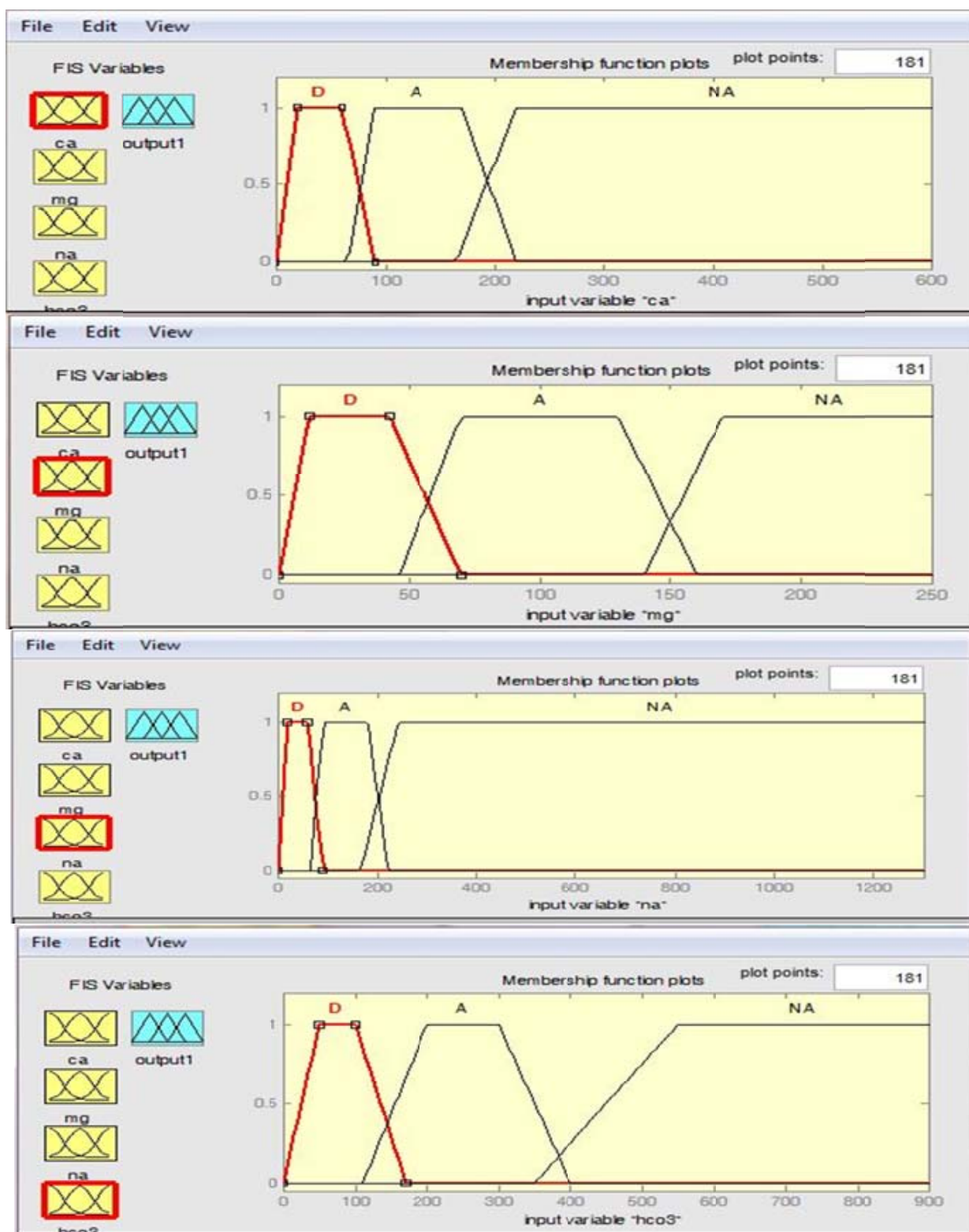
جدول ۲- مقادیر فازی و مشخصه‌های زبانی گروه اول، دوم و سوم

گروه	پارامترهای کیفی	متغیرهای زبانی		
		مطلوب	قابل قبول	غیر قابل قبول
اول	کلسیم	[۰ ۲۰ ۶۰ ۹۰]	[۶۵ ۹۰ ۱۷۰ ۲۲۰]	[۱۶۰ ۲۲۰ ۴۰۰ ۵۶۰]
	منیزیم	[۰ ۱۲ ۴۲ ۷۰]	[۴۶ ۷۰ ۱۳۰ ۱۶۰]	[۱۴۰ ۱۶۰ ۲۲۰ ۲۵۰]
	سدیم	[۰ ۲۰ ۶۰ ۹۰]	[۶۵ ۹۰ ۱۸۰ ۲۲۰]	[۱۶۰ ۲۵۰ ۸۰۰ ۱۳۰۰]
	بیکربنات	[۰ ۳۰ ۶۰ ۱۵۰]	[۱۰۰ ۲۰۰ ۳۰۰ ۴۵۰]	[۳۵۰ ۵۵۰ ۷۵۰ ۹۰۰]
دوم	کلر	[۰ ۴۰ ۱۶۰ ۲۳۰]	[۱۸۰ ۲۴۰ ۵۴۰ ۶۳۰]	[۵۶۰ ۶۶۰ ۱۰۰۰ ۱۸۴۰]
	سولفات	[۰ ۴۰ ۲۳۰ ۲۸۰]	[۲۳۰ ۲۸۰ ۳۸۰ ۴۳۰]	[۳۸۰ ۵۰۰ ۱۱۰۰ ۱۹۸۰]
	سختی کل	[۰ ۳۰ ۶۰ ۱۳۰]	[۱۰۰ ۳۰۰ ۵۰۰ ۷۰۰]	[۵۰۰ ۱۰۰۰ ۱۷۰۰ ۲۴۰۶]
	مواد جامد محلول	[۰ ۱۰۰ ۴۰۰ ۵۸۰]	[۴۰۰ ۶۸۰ ۱۸۰۰ ۲۰۵۰]	[۱۸۵۰ ۲۱۰۰ ۴۰۰۰ ۴۸۷۰]
سوم	نتایج گروه اول	[۵۰ ۶۵ ۸۵ ۱۰۰]	[۲۵ ۴۰ ۵۰ ۶۰]	[۰ ۱۵ ۳۰ ۴۰]
	نتایج گروه دوم	[۵۰ ۶۵ ۸۵ ۱۰۰]	[۳۰ ۴۰ ۵۰ ۶۰]	[۰ ۱۰ ۲۵ ۴۰]
	نیترات	[۰ ۰ ۳۰]	[۱۵ ۲۵ ۴۵ ۷۰]	[۴۰ ۸۰ ۱۲۰ ۱۸۰]
	فلوراید	[۰ ۰/۵ ۱ ۱/۵]	[۰/۹/ ۱/۳ ۱/۷۵ ۲]	[۱/۶۵ ۲/۱ ۲/۷ ۳]

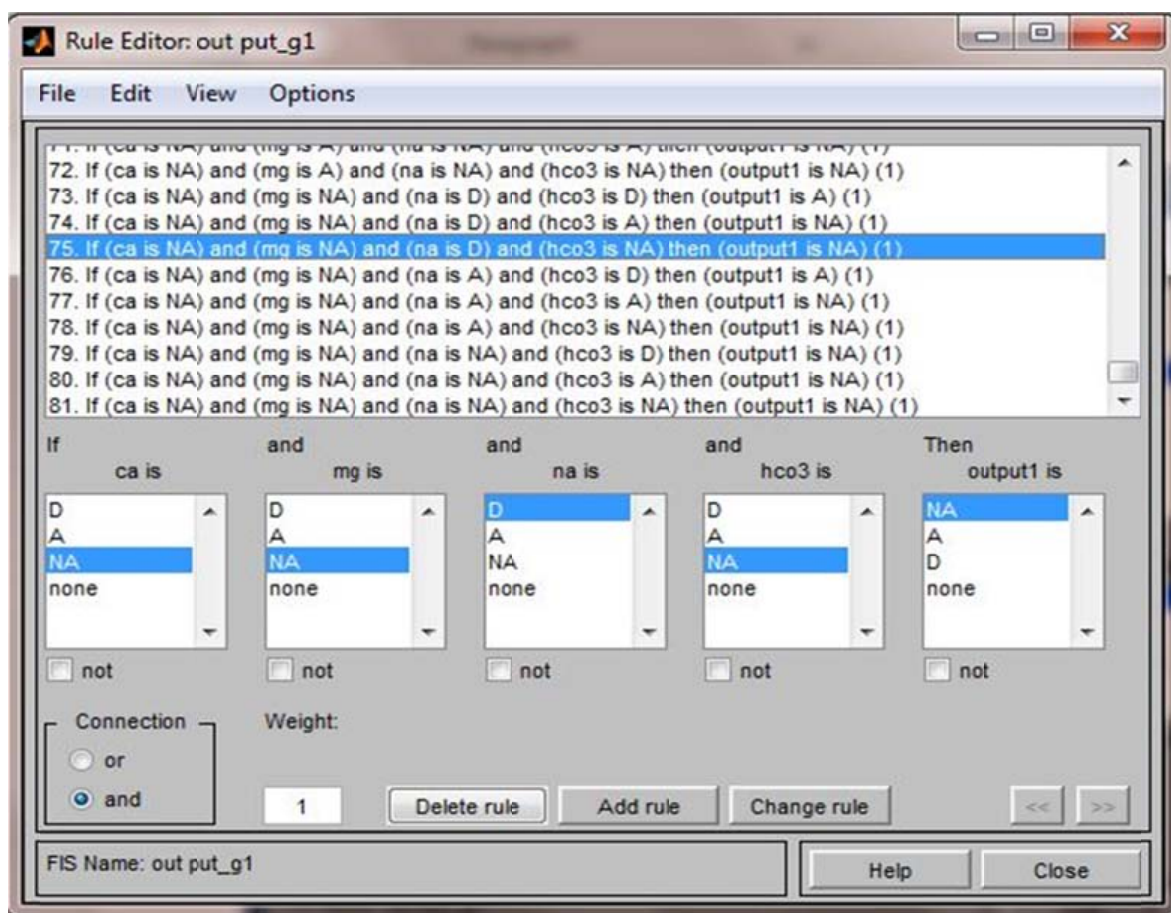
کلسیم، غیر قابل قبول؛ منیزیم، غیر قابل قبول؛ سدیم، مطلوب و بیکربنات، غیر قابل قبول باشند (ورودی‌های مدل)، آنگاه کیفیت آب زیرزمینی (خروجی مدل) به لحاظ شرب، دارای خاصیت غیر قابل شرب است.

جهت غیر فازی‌سازی، وزن هر یک از قوانین برابر یک در نظر گرفته شد و از غیر فازی‌ساز مرکز ثقل (Center Of Gravity Difuzzifier) به عنوان رایج‌ترین غیر فازی‌ساز (۱۹) استفاده شده است، سپس برای خروجی گرفتن از مدل، مقادیر عددی و قطعی پارامترهای تمام نمونه‌های آب زیرزمینی

تصمیم‌سازی سیستم استنتاج فازی، براساس قوانین اعمال شده توسط کارشناس خبره صورت می‌گیرد. در این مدل برای ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها از عملگر استنتاج ممدانی و قوانین "اگر- آنگاه" استفاده شده است بدین صورت که در بخش "اگر"، ورودی مدل و در بخش آنگاه، خروجی مدل تعریف می‌شود. برای هر کدام از گروه‌های اول، دوم و سوم، ۸۱ قانون تعریف شده است که در شکل ۴ قوانین شماره ۷۲ تا ۸۱ از گروه اول آمده است، همچنین قانون ۷۵ با رنگ آبی نمایش داده شده است و به این معناست که اگر



شکل ۳- نوع فازی ساز و تابع عضویت پارامترهای گروه اول



شکل ۴- تعدادی از قوانین به کار گرفته شده در گروه اول

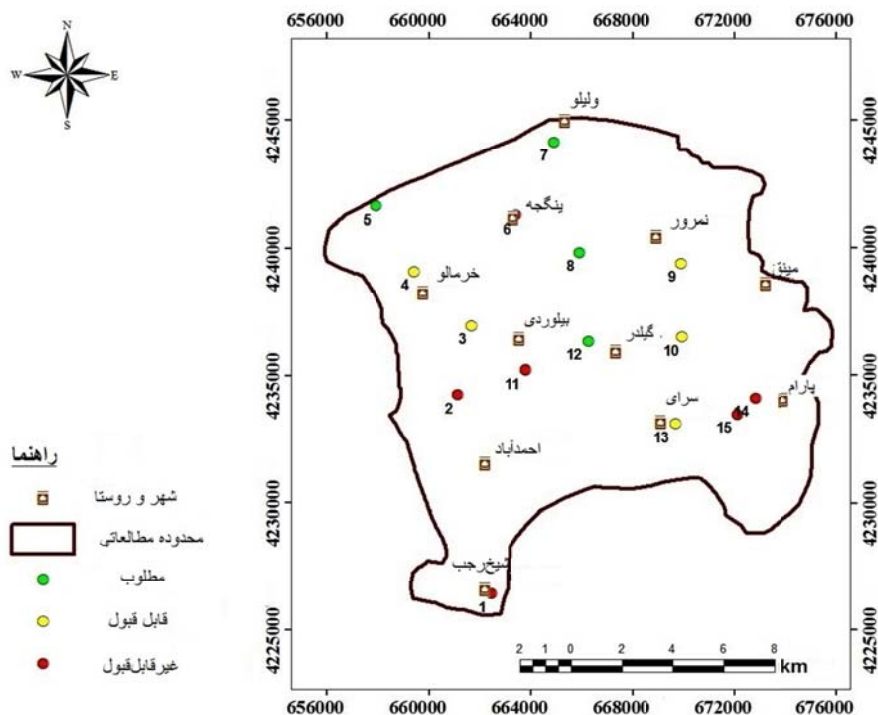
بحث

در این تحقیق کیفیت شرب آب‌های زیرزمینی دشت بیلوردی به دو روش‌های: نمودار شولر (به‌عنوان یک روش قطعی) و روش فازی ارزیابی شد. روش شولر با وجود اینکه معمول‌ترین روش برای بررسی کیفیت آب شرب هست ولی نتایج آن بصورت کیفی منطبق با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۱۸) هستند، با این تفاوت که در دیاگرام شولر از میان تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب، تنها، عناصر اصلی آب شامل: کلسیم، منیزیم، سدیم، بیکربنات، کلرور، سولفات و سختی کل لحاظ می‌شوند و نمی‌توان سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب، از جمله: نیترات و فلوراید، فلزات سنگین، پارامترهای باکتریایی آب و ... را دخیل کرد،

را در بخش نمایشگر قوانین MATLAB وارد کرده و کیفیت آب شرب و سطوح اطمینان تمام نمونه‌ها را مشخص کرده که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. براساس نتایج بدست آمده از روش فازی، ۴۰ درصد داده‌ها شامل: نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۶، ۱۱، ۱۴ و ۱۵ دارای درصد اطمینان پایین‌تر از ۱۶ درصد است که در گروه غیرقابل قبول برای شرب قرار گرفتند و حدوداً ۳۳ درصد از نمونه‌ها شامل: نمونه‌های شماره ۳، ۴، ۹، ۱۰ و ۱۳ با درصد اطمینان ۵۰، در گروه قابل قبول برای شرب قرار گرفتند و در نهایت تنها ۲۷ درصد از داده‌ها شامل: نمونه‌های ۵، ۷، ۸، ۱۲ با درصد اطمینان بالاتر از ۸۴ درصد در گروه مطلوب برای شرب قرار گرفتند. در شکل ۵ موقعیت نمونه‌برداری و کیفیت شرب آنها براساس نتایج روش فازی نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه نتایج روش قطعی و فازی براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای آب شرب (WHO, ۲۰۱۱)

استاندارد سازمان بهداشت جهانی			کیفیت آب به روش فازی		شماره
غیر قابل قبول	قابل قبول	مطلوب	درصد قابلیت شرب	کیفیت آب	نمونه
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl, SO ₄ , TH, TDS	NO ₃ ⁻ , F ⁻	-	۱۳/۸	غیر قابل قبول	۱
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ , SO ₄ ⁻ , TH, TDS		Cl ⁻	۱۴/۷	غیر قابل قبول	۲
Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , TH	HCO ₃ ⁻ , Ca ⁺⁺ , SO ₄ ⁻ , TDS, NO ₃ ⁻	Cl ⁻ , F ⁻	۵۰	قابل قبول	۳
Na ⁺ , HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , SO ₄ ⁻ , TH, TDS, NO ₃ ⁻	Cl ⁻ , F ⁻	۵۰	قابل قبول	۴
	Ca ⁺⁺ , HCO ₃ ⁻ , TH, TDS	Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻	۸۴/۹	مطلوب	۵
Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻ , TH, TDS	Ca ⁺⁺ , Cl ⁻ , F ⁻	NO ₃ ⁻	۱۴/۵	غیر قابل قبول	۶
Na ⁺ , HCO ₃ ⁻	Mg ⁺⁺ , TH, TDS, NO ₃ ⁻ , F ⁻	Ca ⁺⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻	۷۳	مطلوب	۷
---	Ca,	Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , TH, TDS, NO ₃ ⁻	۸۵/۲	مطلوب	۸
SO ₄ ⁻ , TH	Ca ⁺⁺ , Na ⁺ , TDS, F ⁻	Mg ⁺⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	۵۰	قابل قبول	۹
SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , TH, TDS, NO ₃ ⁻ , F ⁻	Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻	۵۰	قابل قبول	۱۰
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl, SO ₄ ⁻ , TH, TDS, NO ₃ ⁻	F ⁻	---	۱۴/۱	غیر قابل قبول	۱۱
----	Ca ⁺⁺ , Na ⁺ , TH, TDS	Mg ⁺⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻	۸۴/۵	مطلوب	۱۲
SO ₄ ⁻ , TH	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , TDS, F ⁻	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	۵۰	قابل قبول	۱۳
Na ⁺ , SO ₄ ⁻ , TH, F ⁻	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , TDS	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	۱۴/۵	غیر قابل قبول	۱۴
Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , SO ₄ ⁻ , F ⁻ , TH, TDS	Ca ⁺⁺ , HCO ₃ ⁻	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	۱۵/۲	غیر قابل قبول	۱۵



شکل ۵- نمایش توزیع کیفی منابع آب دشت بیلوردی براساس ارزیابی سیستم فازی

غیر قابل قبول قرار نگرفته است و بیشتر پارامترها در رده مطلوب قرار گرفته‌اند، لذا همان‌طور که انتظار می‌رود سطح اطمینان نمونه شماره ۸ بیشتر از نمونه شماره ۷ است، این موضوع تایید کننده کارایی بالای روش فازی در ارزیابی کیفیت آب شرب است. علاوه بر مزایای مذکور، روش فازی برتری‌های دیگری نسبت به روش قطعی دارد که بدین شرح است: در روش قطعی کیفیت آب بصورت کیفی بیان می‌شود، در حالی که در روش فازی، کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، سطح اطمینان و میزان تعلق هر یک از نمونه‌ها به رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول مشخص می‌گردد یعنی خروجی مدل به صورت کمی و کیفی است و همچنین روش فازی شرایط مرزی را بهتر پوشش می‌دهد بطوری که مشخصه‌های زبانی هر پارامتر را از حالت ۰ یا ۱ مطلق خارج می‌کند و برای هر کدام از آنها یک تابع عضویت بین اعداد ۰ تا ۱ تعریف می‌کند ولی در روش قطعی هر پارامتر، فقط حالت ۰ یا ۱ دارد. تفاوت این تحقیق با سایر تحقیقات این است که در مطالعات کیفیت آب شرب،

ولی در استاندارد مذکور سایر پارامترهای هیدروشیمیایی نیز در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین جهت تحلیل روش فازی، نتایج فازی را با استاندارد سازمان بهداشت جهانی مقایسه کرده و نتایج آن در جدول ۳ آمده است. در جدول ۳، براساس استاندارد WHO نمونه‌های شماره ۱۳ و ۱۴ از لحاظ جایگاه پارامترهای موجود در رده‌های مطلوب، قابل قبول و غیر قابل قبول، تقریباً مشابه هستند و تنها در پارامترهای Na^+ و F^- متفاوت‌اند، بطوری که براساس استاندارد WHO این دو پارامتر برای نمونه ۱۳ و ۱۴ به ترتیب در رده قابل قبول و غیر قابل قبول هستند، در حالی که در روش فازی کیفیت نمونه‌های ۱۳ و ۱۴ به ترتیب قابل قبول (با درصد اطمینان ۵۰) و غیر قابل قبول (با درصد اطمینان ۱۴/۵) طبقه‌بندی شده‌اند. برتری روش فازی نسبت به روش قطعی با مقایسه سطح اطمینان در نمونه‌های آب زیرزمینی بهتر مشخص می‌شود، بطور مثال، براساس استاندارد WHO پارامترهای سدیم و بیکربنات نمونه شماره ۷ در رده غیر قابل قبول قرار گرفته ولی در نمونه شماره ۸ هیچ پارامتری در رده

نتیجه گیری

این تحقیق به ارزیابی کیفیت آب شرب دشت بیلوردی با استفاده از نمودار شولر و سیستم استنتاج فازی ممدانی پرداخته است. نتایج نشان داد که علاوه بر توانایی و مقبولیت دیاگرام شولر در تعیین کیفیت آب شرب، ورودی‌های این روش (داده‌های هیدروشیمیایی) دارای عدم قطعیت بالایی است، لذا در این تحقیق برای کاهش عدم قطعیت روش قطعی از سیستم استنتاج فازی که روشی مناسب برای کار با داده‌های دارای عدم قطعیت است، استفاده شد. در مقایسه نتایج این دو مدل علاوه بر قابل قبول بودن هر دو روش، مزیت‌ها و کاستی‌های روش فازی آشکار شد. مزیت‌های روش فازی شامل: پوشش دادن به عدم قطعیت‌ها، ارزیابی جامع‌تر و خروجی کمی و کیفی برای مدل است و کاستی احتمالی روش فازی هم نتایج سخت‌گیرانه و دور از انتظار ناشی از افزایش پیچیدگی مدل است. با توجه به کاهش منابع آب با کیفیت برای شرب این روش می‌تواند در تعیین آب‌های با کیفیت مناسب کارا باشد. براساس نتایج این تحقیق، روش فازی برای بیشتر روش‌های گرافیکی قطعی مانند *Piper*، *Stiff* و غیره، نیز قابل استفاده هست و توانایی آن در کاهش عدم قطعیت این روش‌ها قابل بررسی است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل (بخشی از) پایان‌نامه با عنوان "بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت بیلوردی" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۹۳ با کد ۲۲۲۷۰۵۷ است که با حمایت دانشگاه تبریز اجرا شده است.

برخی از محققین تنها بر پارامترهای اصلی آب اکتفا کرده و سایر آنومالی‌های احتمالی را در نظر نگرفته‌اند (۵، ۶) و یا اینکه آب شرب را از نقطه نظر هر نوع آلودگی جداگانه مورد بررسی قرار داده‌اند، بطوری که *Dehghani* و همکاران (۲۰) کیفیت آب شرب را تنها از دیدگاه آلودگی میکروبی مورد مطالعه قرار داده‌اند. برخی دیگر از محققین (۹) تنها از روش فازی استفاده کرده‌اند، ولی در این تحقیق از هر دو روش قطعی و فازی استفاده شده تا نقاط ضعف و قوت دو روش مشخص شود. در نمودار شولر از میان تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب، تنها، عناصر اصلی آب شامل: کلسیم، منیزیم، سدیم، بیکربنات، کلرور، سولفات و سختی کل لحاظ می‌شوند و نمی‌توان سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب، از جمله: نیترات و فلوراید، فلزات سنگین، پارامترهای باکتریایی آب و ... را دخیل کرد، ولی در روش فازی می‌توان در صورت لزوم همه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب را با توجه به استانداردهای موجود، توأمًا در ارزیابی لحاظ کرد و به یک تصمیم‌گیری جامع‌تر از کیفیت آب شرب دست یافت. در این پژوهش نیز روش فازی، علاوه بر پارامترهای موجود در روش قطعی، یون‌های نیترات و فلوراید را نیز به کار گرفت و تصمیم‌گیری جامع‌تری را ارائه داد. روش فازی محدودیت‌های روش قطعی را برای انجام یک ارزیابی جامع و پوشش دادن به عدم قطعیت‌های مراحل مختلف برطرف می‌سازد، ولی خود نیز ممکن است تحت تأثیر تنوع زیاد و رابطه درونی پارامترها با هم، نتایج سخت‌گیرانه‌ای را نسبت به روش‌های قطعی ارائه دهد، بطوری که در مطالعه *Hasani* و همکاران (۹) بر روی آب قنات‌ها، اندیس فازی طراحی شده، کیفیت آب پایین‌تری را نسبت به اندیس (National NSF Sanitation Foundation Water Quality Index) نشان داده است، البته قابل ذکر است، در تحقیق حاضر نتایج دور از انتظاری حاصل نشد و کاستی احتمالی روش فازی در این تحقیق اثرگذار نبوده است.

منابع

- Todd DK, Mays LW. Groundwater Hydrogeology. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons; 2005.
- Lalehzari R, Tabatabaei SH. Groundwater quality analysis in Shahrekord aquifer. *Journal of Environmental Studies*. 2010;36(53):55-62 (in Persian).
- Wylie BK, Shaffer MJ, Hall MD. Regional assessment of NLEAP No3-N leaching indices. *Journal of the American Water Resources Association*. 1995;31(3):399-408.
- Schoeller H. The groundwater. 1th ed. Paris: Masson and Cie; 1962.
- Ebadati N, Hooshmand Zadeh M. Water quality evaluation of Dez river in the Dezful hydrometric station. *Iranian Journal of Ecohydrology*. 2014;1(2):69-81 (in Persian).
- Homayoon Nezhad I, Amirian P, Piri I. Investigation on water quality of Zabol Chahnimeh reservoirs from drinking water and agricultural viewpoint with focus on Schoeller and Vilcoks diagrams. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016;18(1):1-13 (in Persian).
- Soleimani Motlagh M, Talebi A, Zareei M. The study of drought on the quality of surface water resources in Kashkan watershed. *Journal of Watershed Management Research*. 2015;6(12):154-65 (in Persian).
- Sajadi Mian Ab Z, Kalantari N, Mozafari Zadeh J. Effect of Persian Gulf saline water on quality of Asaluyeh plain groundwater and determine the origin of NaCl anomaly. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2012;5(1):63-76 (in Persian).
- Hasani Gh, Mahvi AH, Naseri S, Arabalibeik H, Yonesian M, Gharibi H. Designing fuzzy-based groundwater quality index. *Journal of Health*. 2012;3(1):18-31 (in Persian).
- Saberi Nasr A, Rezaie M, Mansuri M. Evaluating Mamdani fuzzy inference system usage in the analysis of groundwater quality (Case study: Tabas Aquifer). *Iranian Journal of Water and Environment Engineering*. 2013;1(1):25-34 (in Persian).
- Kahe M, Aghili R, Gheshmi M. Forecast Karoon river water quality by using Fuzzy Logic and C-Mean Clustering method. 8th International Conference of River Engineering; 2010 Jan 26-28; Ahvaz, Iran (in Persian).
- Scannapieco D, Naddeo V, Zarra T, Belgiorno V. River water quality assessment: a comparison of binary and fuzzy logic based approaches. *Ecological Engineering*. 2012;47:132-40.
- ISIRI. Water quality – Guidance on sampling techniques, number 2347. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 1983 (in Persian).
- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater. 21th ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
- Barcelona MJ, Gibb JP, Hehenfrich JA, Garske EE. Practical guide for groundwater sampling. USA: Illinois State Water Survey; 1985.
- Katambara Z, Ndiritu J. A fuzzy inference system for modelling streamflow: Case of Letaba River, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2009;34(10):688-700.
- Mahapatra SS, Nanda SK, Panigrahy BK. A cascaded fuzzy inference system for Indian river water quality prediction. *Advances in Engineering Software*. 2011;42(10):787-96.
- WHO. Guidelines for drinking water quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.
- Hellendoorn H, Thomas C. Defuzzification in fuzzy controllers. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 1993;1(2):109-23.
- Dehghani MH, Ghaderpoori M, Fazl Zadeh M, Golmohamadi S. Survey of bacteriological quality of the drinking water in rural areas of Saqqez city. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2009;2(2):132-39 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Comparison of Fuzzy and Deterministic Methods in Evaluation of the Quality of Bilverdi Plain Drinking Water

S Shakur¹, AA Nadiri^{2,*}, A Asghari Moghaddam³, M Vadiati⁴

1. MSc in Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3. Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4. Ph.D. Candidate in Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 11 June 2016

Revised: 29 August 2016

Accepted: 7 September 2016

Published: 20 December 2016

Key words: Drinking water quality, Fuzzy logic, Deterministic method, Bilverdi plain

*Corresponding Author:

Nadiri@tabrizu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Human health depends on clean and safe drinking water more than anything. In Bilverdi Plain, the main source of drinking water is groundwater that has got a low quality in some places. Therefore, the drinking water of this area needs detailed evaluation of quality. In this research, the drinking water of Bilverdi Plain was evaluated based on fuzzy and deterministic methods.

Materials and Methods: Totally, 15 samples were collected from different places in September 2013. Major water ions including fluoride and nitrate of the samples taken were measured at hydrological lab of University of Tabriz. To check the quality of water, Schoeller diagram in GWW environment and MATLAB software in fuzzy inference system were used and their results were compared with each other.

Results: Based on the results in deterministic method, the quality of drinking water was classified ranging from good to undesirable. However, in fuzzy method in addition to water quality, the potability confidence of samples was offered in which water in six samples with reliability percent from 13.8 to 14.7; in five samples with 50% confidence level and in four samples with confidence percent from 73 to 85 were desirable, acceptable and unacceptable respectively.

Conclusion: The results show the higher accuracy and capability of fuzzy method rather than deterministic method. Because it is proper to deal with uncertainty in the different parameters and all effective parameters on water quality could be considered together in the evaluation and it offers confidence level for potability of water.