



ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین آمار و سامانه اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: شهرستان اردبیل

بهرام ایمانی^۱

جعفر جعفرزاده^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۸

چکیده

بررسی‌های کیفی آب با توجه به پیشرفت‌های اخیر گسترش پیدا کرده و مسائل مربوط به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی را نیز شامل می‌شود. در حال حاضر تغییر دائمی کیفیت آب زیرزمینی به خصوص در زمینه شرب و شور شدن منابع آب خطری جدی در راه توسعه روستاهای کشور محسوب می‌شود. متأسفانه بسیاری از مردم به دلیل قابل رؤیت نبودن آب‌های زیرزمینی، در مورد اهمیت آن‌ها و آثار زیان‌بار آلودگی محیط بر منابع آب زیرزمینی آگاهی کافی ندارند. در این پژوهش کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی بخش مرکزی شهرستان اردبیل با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری و آمار فضایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی شده است. کیفیت منابع آب زیرزمینی شهرستان اردبیل از لحاظ شرب با استفاده از پارامترهای pH، EC، SO_4^{2-} ، Cl^- ، Na^+ و TDS مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی اقدام به تولید نقشه موضوعی کیفیت آب زیرزمینی شد. در این تحقیق از روش درون‌یابی کریجینگ برای به‌دست آوردن توزیع فضایی پارامترها و روش وزن‌دهی جمعی ساده برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی لایه‌ها استفاده شده است. در نهایت با توجه به نقشه نهایی کیفیت، می‌توان اظهار داشت که تقریباً ۳۶ درصد معادل ۸۸ کیلومترمربع آب زیرزمینی بخش مرکزی شهرستان اردبیل از لحاظ شرب در حد مطلوب واقع شده که در قسمت جنوبی نقشه کلی قرار گرفته است. کیفیت پایین نیز مربوط به قسمت شمالی و شمال شرقی می‌شود که معادل ۴۶ درصد منطقه یا ۱۱۲ کیلومترمربع است. همچنین بین تراکم جمعیت و تراکم چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق موجود در سطح شهرستان و افت کیفیت رابطه مستقیمی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، زمین‌آمار، نیم‌تغییرنما، کریجینگ، پهنه‌بندی

۱- دانشیار برنامه‌ریزی روستایی و شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول) bahram_imani60@yahoo.com

۲- مربی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه برنامه‌ریزی روستایی و شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران jjafar1364@gmail.com

۱- مقدمه

مزیت زمین آمار آن است که می توان با استفاده از داده های کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در درون دامنه ای که ساختار فضایی حاکم است، تخمین زد (استواری، ۱۳۹۰: ۲۳).

در تحقیقات داخلی و خارجی، روش های مختلفی برای مطالعه و پهنه بندی تغییرات خصوصیات آب های زیرزمینی به ویژه کیفیت آب شرب مناطق مسکونی و شهری و روستایی وجود دارد که هر کدام از آن ها بسته به شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات کافی دارای دقت های مختلفی هستند (شعبانی، ۱۳۸۱: ۷۱).

جاگر و همکاران (۱۹۹۰) از ابزارهای زمین آمار مثل کریجینگ برای مدل سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که روش کریجینگ از دیگر ابزارهای ژئواستاتستیکی برای مدل سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی بهتر است.

ناس (۲۰۱۰) در تحقیقی تحت عنوان تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی روش کریجینگ معمولی را برای به دست آوردن نقشه کیفیت به کار برده و از پارامترهایی مانند سختی آب و میزان نیترات و کلر سولفات استفاده کرده است.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۱)، گاوس و همکاران (۲۰۰۳؛ ۹۴۶)، جینگ یی و همکاران (۲۰۰۷؛ ۱۱۳) با استفاده از روش های مختلف زمین آمار به پهنه بندی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت های مختلف پرداختند. نتایج تحقیقات نشان دهنده کارایی بسیار خوب روش های زمین آمار از قبیل کریجینگ در پایش تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی می باشد.

پوربایرامیان و اسپهبد (۱۳۹۱) در پژوهش خود که به بررسی تغییرات کیفی آبخوان دشت اردبیل پرداخته اند، اظهار داشته اند که در ناحیه شرقی یعنی در محل ورودی آبخوان کیفیت آب مناسب بوده اما در ناحیه جنوب غربی به علت مجاورت با سازندهای گچدار، وجود جریان سطحی و شستشوی اطراف و نیز چشمه های آب معدنی سولفات ه کیفیت آب کاهش یافته و نوع آب کلروره و سولفات ه می شود.

آب به عنوان یک منبع قابل تجدید همواره یک رکن اصلی توسعه به شمار آمده است. با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش های مختلف کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت و نهایتاً افزایش تولید و ایجاد پتانسیل های آلودگی فشار زیادی به منابع آب ها وارد شده است (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۶: ۳). از آنجا که منابع تجدیدشونده آب در هر اقلیم مقدار نسبتاً ثابتی هستند از این رو بایستی سیاست ها و روش های اتخاذ شده در جهت حفظ و مصرف بهینه از این منابع ساماندهی شود (وجلانی، ۱۳۸۱؛ ۱۴، محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۶: ۲).

آب، برای مردم، همیشه ارزشمند، هدیه ای از سوی خدا، اساس توسعه جوامع، در زمره منابع طبیعی و از طرفی کالایی کمیاب، قابل استحصال و مبادله و دارای ارزش های متفاوت برای خانوارها، صاحبان صنایع و کشاورزان بوده است (پوران و همکاران، ۱۳۹۶: ۲). به این لحاظ همواره این سؤال مطرح است که آب چگونه تقسیم، تخصیص و قیمت گذاری شود؟ در مدیریت منابع آب، توجه به ارزش مصرفی آب برای تخصیص آن به عنوان یک اصل مطرح است. توسعه پایدار سیاستی است که در آن منافع مثبت حاصل از مصرف آب برای زمان های قابل پیش بینی در آینده تداوم داشته باشد. شرایطی چون استفاده مفید از زمین و آب، بهبود شیوه های تولید، کاهش هدر رفت منابع، بهبود کیفیت آب، تعادل اکوسیستم، جلوگیری از آلودگی آب، پیش گیری از شور شدن ذخایر آب زیرزمینی و آب های برگشتی از جمله محورهای مهم توسعه پایدار هستند (جعفری، ۱۳۸۵: ۱۰).

مهم ترین منبع آلودگی آب های زیرزمینی از طریق آب هایی است که به آن وارد می شود (14;1997;Ulibarri). برای کنترل آلودگی بایستی منشأ آلودگی را شناسایی کرد. در این راستا می توان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه های کیفیت آب زیرزمینی را تهیه و پارامترهای کیفی آب را بررسی نمود.

بررسی روند تغییرات و پهنه بندی به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش های زمین آمار انجام می شود.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۹۱)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین‌آمار و ... / ۱۵۳

منطقه مورد مطالعه بهترین کیفیت آب زیرزمینی را برای مصارف شرب دارد.

حسنعلی‌پور و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی اثرات توسعه شهر اردبیل را بر کیفیت آب سطحی و زیرزمینی دشت اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند و اظهار داشتند که در بخش‌های شمال، شمال‌شرق و شرق به طرف مرکز، جنوب و جنوب‌شرقی غلظت پارامترهای کیفیت آب افزایش یافته و آن را ناشی از کاهش کیفیت آب در اثر توسعه شهری عنوان کرده‌اند.

رستم‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل پرداختند. ایشان در این تحقیق از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی برای به‌دست آوردن توزیع فضایی پارامترها و روش وزن‌دهی جمعی ساده برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی لایه‌ها استفاده کردند. در نهایت با توجه به نقشه نهایی کیفیت، اظهار داشتند که تقریباً ۳۴ درصد (معادل ۲۸۰ کیلومترمربع) آب زیرزمینی دشت اردبیل از لحاظ شرب در حد مطلوب واقع شده است که در قسمت شرقی دشت قرار دارد. تحقیق ایشان بر روی دشت اردبیل بوده و تحقیق حاضر هم از آنجایی که بخشی از منطقه مورد مطالعه در دشت اردبیل واقع شده است، نتایج هر دو تحقیق مقایسه شد.

منطقه مورد مطالعه در سال‌های اخیر در پی برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی دچار افت سطح آب زیرزمینی شده است و همین امر عاملی شد برای ارزیابی وضعیت کیفیت آب آشامیدنی این منطقه که از اهداف این تحقیق به شمار می‌رود. یکی دیگر از اهداف تحقیق حاضر بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی بخش مرکزی شهرستان اردبیل در محیط GIS و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی این مناطق با هدف شرب هست. با توجه به بهره‌برداری زیاد و روزافزون از منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه که کیفیت آب منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و شورشیدن سفره‌های آب زیرزمینی را نیز به دنبال دارد، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

دانشور وثوقی و دین‌پژوه (۱۳۹۱) در بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش اسپیرمن، قسمت‌های شرق و جنوب‌شرق دشت را دارای کیفیت مطلوب معرفی کرده‌اند.

کرد و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود که به مدل‌سازی توزیع نیترات در آبخوان دشت اردبیل با استفاده از روش فازی پرداخته‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که غلظت نیترات در بخش‌هایی از حاشیه شمالی و جنوب غربی دشت بالا بوده و حدود ۱۷ درصد آبخوان را به خود اختصاص می‌دهد.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان اردبیل از نظر شرب و کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که آب زیرزمینی این آبخوان دارای خاصیت خورندگی بوده و استفاده از آن در سامانه‌های آب‌رسانی شهری، سرعت بروز بیماری و مسائل ناشی از خوردگی لوله‌ها را افزایش خواهد داد.

عبیدای و هوشمند (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی توزیع مکانی شاخص کیفیت آب مبتنی بر استانداردهای سازمان بهداشت جهانی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه مطالعه آب‌های زیرزمینی فیروزآباد استان خوزستان پرداختند. براساس یافته‌های ایشان، مقادیر چهار پارامتر کلسیم، کلرید، کدورت و سختی کل در بخش‌هایی از منطقه بیش از حد مجاز است؛ این در حالی است که مقادیر دیگر پارامترها بر استانداردهای سازمان بهداشت جهانی منطبق بود.

نخعی و ودیعتی (۱۳۹۱) در تحقیقی به ارزیابی کیفیت آب شرب دشت درگز در استان خراسان رضوی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که ۶۹ درصد از منطقه مورد مطالعه از نظر طبقه‌بندی شولر در محدوده خوب تا قابل قبول، ۲۱ درصد در محدوده نامناسب، هشت درصد در محدوده بد و دو درصد در مواقع ضروری قابل شرب هستند. به طور کل، بخش جنوب غربی

متوسط ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال در مناطق مختلف استان گزارش شده است. جریان پایه بخش مهمی از جریان رودخانه‌ای را در این استان تشکیل می‌دهد (مهری و همکاران، ۱۳۹۶: ۳).

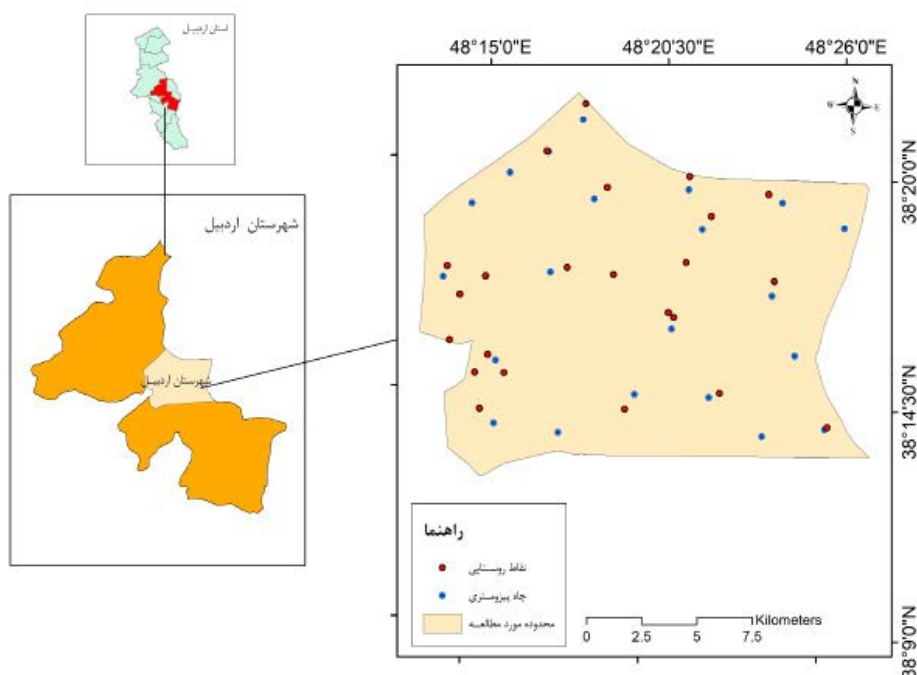
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل بخش مرکزی شهرستان اردبیل است که از سه شهر و نوزده روستا تشکیل شده و وسعتی معادل ۲۴۳ کیلومترمربع دارد. نگاره شماره ۱ محدوده مورد مطالعه را در شهرستان اردبیل نشان می‌دهد. مبنای انتخاب منطقه مورد مطالعه، واقع شدن این منطقه در محدوده دشت اردبیل هست که سعی شده است ارتباط بین برداشت از آب‌های زیرزمینی این منطقه با افت کیفیت آب آشامیدنی بررسی شود. نگاره شماره ۲ خوارزمیک حل تحقیق و مراحل انجام و اجرای آن را نشان می‌دهد.

در نگاره شماره ۳ موقعیت چاه‌های پیزومتری منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین در جدول شماره ۱، اطلاعات مربوط به این چاه‌ها ارائه شده است.

۲- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بخش مرکزی شهرستان اردبیل است. وسعت شهرستان اردبیل ۳۸۱۰ کیلومترمربع است و چهره عمومی شهرستان اردبیل متأثر از ارتفاعات کوهستان‌های ساوالان (سبلان)، باغرو (تالش) و بزغوش است که این عوامل طبیعی سبب محصور شدن آن شده‌اند.

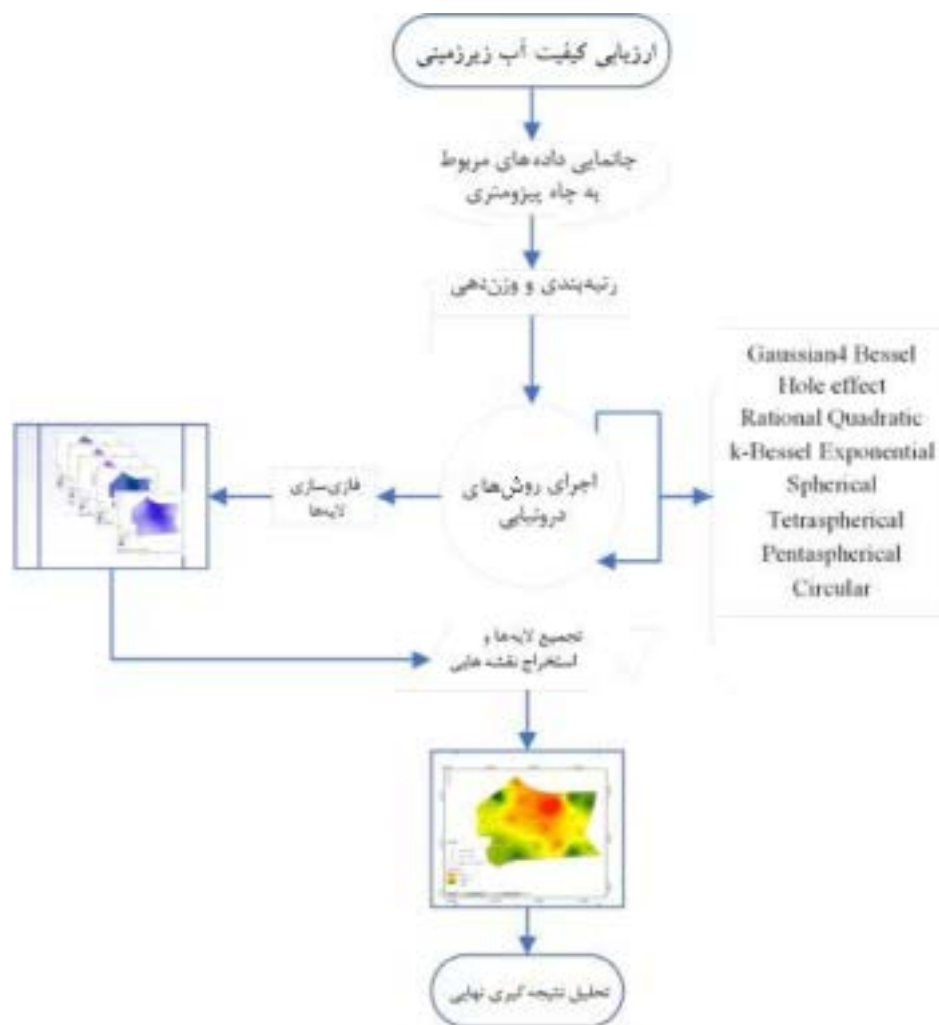
شهر اردبیل مرکز شهرستان اردبیل است. جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۵ خورشیدی بالغ بر ۵۲۹۳۷۴ نفر بوده که این رقم با احتساب جمعیت ساکن در حومه شهر به بیش از ۵۸۰۰۰۰ نفر می‌رسد. این شهر در ۲۱۹ کیلومتری تبریز و ۵۷۸ کیلومتری تهران و بین مختصات جغرافیایی ۳۷/۴۵ تا ۳۹/۴۲ و عرض شمالی ۴۸/۵۵ تا ۴۷/۳۰ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (سالنامه آماری، ۱۳۹۵: ۲۴). با توجه به قرار گرفتن استان اردبیل در منطقه کوهستانی و سردسیر، مقدار نزولات جوئی در این استان به طور



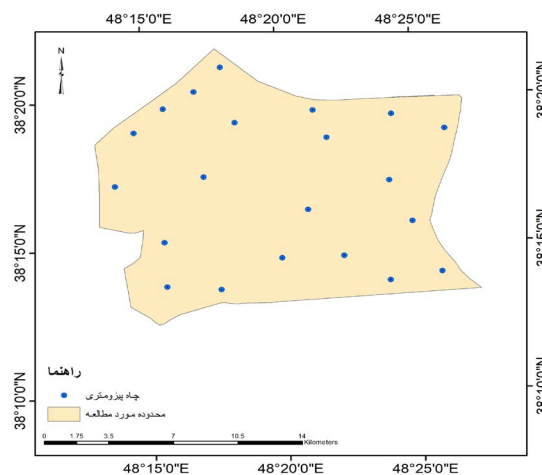
نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (پژ)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین آمار و ... / ۱۵۵



نگاره ۲: خوارزمیک حل مسئله



نگاره ۳: نقشه موقعیت چاه‌های پیزومتری در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: نام و مختصات چاه‌های پیرومتری محدوده دشت اردبیل به همراه سطح ایستابی آن‌ها

نام محل	مختصات X (درجه)	مختصات Y (درجه)	سطح آب (متر)	تراز (متر)
اراضی آرالوی بزرگ	۴۸,۴۱	۳۸,۱۵	۲۹/۱۲	۱۳۸۹/۵۳
اراضی رضی آباد	۴۸,۳۷	۳۸,۱۸	۲۶/۶۰	۱۳۶۲/۶۶
اراضی قره حسنلو-آقا باقر	۴۸,۴۲	۳۸,۲۵	۲۶/۸۳	۱۳۳۳/۰۵
اراضی کرکرق	۴۸,۳۴	۳۸,۳۱	۷/۹۲	۱۳۱۸/۹۳
اراضی مرنی	۴۸,۵۶	۳۸,۲۴	۳۸	۱۳۴۷/۹۵
اراضی میرزا رحیملو	۴۸,۴۲	۳۸,۲۷	۱۹/۷۲	۱۳۲۴/۴۹
اراضی اغبالغ رستم خان	۴۸,۴۲	۳۸,۲۴	۳۱/۴۲	۱۳۳۴
انزاب پایین	۴۸,۳۳	۳۸,۳۵	۴/۰۶	۱۳۸۰/۴۱
پیراقوم	۴۸,۴۰	۳۸,۲۰	۴۹/۳	۱۳۵۶/۲۷
تازه کندشریف آباد	۴۸,۲۷	۳۸,۳۳	۴/۹۲	۱۳۱۴/۸۹
تپراقلو	۴۸,۴۵	۳۸,۱۹	۶۲/۹۹	۱۳۷۳/۴۵
خلیفه لو-شیخ	۴۸,۴۹	۳۸,۲۶	۳۳/۲۳	۱۳۳۲/۹۵
سربند	۴۸,۳۹	۳۸,۳۶	۲/۷۲	۱۳۰۸/۶۵
سلطان آباد	۴۸,۳۵	۳۸,۲۹	۹/۱۹	۱۳۲۰/۹۴
قره لر	۴۸,۴۰	۳۸,۲۹	۱۷/۵۹	۱۳۲۲/۶۴
کلخوران شیخ	۴۸,۲۹	۳۸,۲۸	۷/۹۷	۱۳۲۹/۸۶
کلخوران فولادلو	۴۸,۴۹	۳۸,۱۱	۰/۳۴	۱۴۵۶/۸۲
کنازق	۴۸,۴۵	۳۸,۳۶	۵/۴۵	۱۳۲۲/۰۷
گلی جدید	۴۸,۵۰	۳۸,۳۳	۴/۵۲	۱۳۱۵/۷۵
نوران	۴۸,۱۹	۳۸,۲۳	۴/۷۱	۱۴۰۶/۸۵
نوشهر	۴۸,۴۱	۳۸,۰۸	۳۵/۴۵	۱۵۰۵/۶۱

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

این تحقیق از نوع کاربردی بوده و روش جمع‌آوری اطلاعات به دو شکل کتابخانه‌ای و میدانی انجام گرفته است. داده‌های مربوط به کیفیت آب شرب از شرکت آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل تأمین شده که مربوط به گزارش چاه‌های مشاهده‌ای این سازمان است (بی‌نام، ۱۳۹۵؛ ۵۱). از نرم‌افزار ArcGIS10 برای انجام تحلیل‌های تحقیق استفاده شده است. همچنین نرم‌افزار برنامه‌نویسی RStudio برای تحلیل نقشه نهایی و محاسبه منحنی مشخصه نسبی به کار رفته است.

۳-۲- رتبه‌بندی مستقیم

رتبه‌بندی مستقیم روشی است که براساس آن نمره ۱ معرف بیشترین اهمیت، نمره ۲ بیانگر اهمیت درجه دو و به همین ترتیب رتبه‌بندی سایر اولویت‌ها ادامه دارد (بلتون و گبیر، ۱۹۹۸؛ ۳۳۶). بعد از انجام عمل رتبه‌بندی بر روی مجموعه‌ای از معیارها، برای ایجاد وزن‌های عددی از روی اطلاعات دارای نظم ترتیبی از روش مجموع رتبه‌ای استفاده شده است که به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$W_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum (n - r_k + 1)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن W_j معرف وزن استاندارد شده (که از رابطه ۲ به دست می‌آید) برای معیار j ام و n معرف تعداد معیارهای مورد نظر

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۷)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین‌آمار و ... / ۱۵۷

یک نقطه گرفته می‌شود و در عرض یک شبکه گسترش می‌یابد (عساکره، ۱۳۸۷: ۲۵؛ چهارمی و رشچی، ۱۳۹۰: ۴۳۵). برای انتخاب بهترین مدل بایستی میانگین خطای استاندارد نزدیک به صفر و میزان جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمترین مقدار را داشته باشد و جذر میانگین مربع خطای استاندارد (RMSS) نزدیک به یک باشد. کریجینگ معمولی نیز دارای روش‌های مختلفی است. از میان روش‌های Gaussian، J-Bessel، Hole effect، Rational Quadratic، k-Bessel Exponential، Spherical، Circular، Tetraspherical، Pentaspherical با استفاده از ابزار Cross validation روشی انتخاب می‌شود که دارای کمترین میزان RMSE باشد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۸: ۷).

۳-۶- فازی‌سازی داده‌های ورودی

منطق فازی منطقی چندارزشی است که ارزش درستی هر گزاره می‌تواند عددی بین صفر و یک باشد. این منطق دقیق‌ترین روش برای بدون بعد کردن عناصر است به گونه‌ای که قضاوت تقریبی و نادقیق با به‌کارگیری آن ممکن می‌شود. تابعی که به هر یک از اعضای مجموعه فازی یک عدد را به عنوان درجه نسبت می‌دهد، تابع عضویت می‌گویند (غضنفری، ۱۳۸۵: ۴۱).

۳-۷- پارامترهای کیفیت آب

پارامتر هدایت الکتریکی آب نشان‌دهنده میزان قدرت یونی یک محلول برای انتقال نیروی الکتریسیته است. کلر یکی از مواد شیمیایی است که از آن به‌عنوان ماده گندزدا برای از بین بردن مواد و موجودات مضر استفاده می‌شود. استاندارد کلر برای مصرف آشامیدنی براساس استاندارد شماره ۱۰۵۳ سازمان استاندارد مقدار ۰/۵ تا ۰/۶ میلی‌گرم برلیتر است. مهم‌ترین آنیون‌های موجود در آب، بی‌کربنات‌ها، سولفات‌ها، کلرورها و نیترات‌ها هستند که با توجه به شرایط مختلف هر منطقه، مقادیر مختلفی از آن‌ها در آب وجود دارند و مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در

($n, \dots, 2, 1=k$) و r_j بیانگر موقعیت رتبه ای هر معیار است. در این روش، وزن هر معیار از روی ($n-r_j+1$) تعیین شده و سپس با تقسیم آن بر حاصل جمع وزن‌ها یعنی ($n-r_k+1$) به‌صورت استاندارد در می‌آید (مالچوفسکی، ۲۰۰۸: ۱۳۹۰).

۳-۳- روش استاندارد کردن

ساده‌ترین فرمول برای استانداردسازی داده خام در این است که هر نمره خام را در ارزش حداکثر بر یک معیار مورد نظر تقسیم کنیم. این فرمول به‌صورت رابطه (۲) بیان می‌شود:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j^{\max}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن X'_{ij} معرف نمره استاندارد شده در رابطه با عارضه یا گزینه i ام و صفت j ام است؛ X_{ij} معرف نمره خام و $X_j^{\max}$ بیانگر نمره حداکثر برای صفت j ام است (آسیابی میر و همکاران، ۱۳۹۸: ۷). ارزش نمره استانداردشده بین صفر و یک قرار می‌گیرد.

۳-۴- روش وزن‌دهی جمعی ساده

روش‌های وزن‌دهی جمعی ساده متداول‌ترین فنون مورد استفاده در کار بر روی مسائل مرتبط بر تصمیم‌گیری چندصفتی فضایی‌اند (مالچوفسکی، ۱۳۹۰: ۳۳۶). این روش یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کار رفته در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است (آسیابی میر و همکاران، ۱۳۹۶: ۷) به‌طوری که با مفروض بودن بردار W (اوزان اهمیت شاخص‌ها) برای آن، مناسب‌ترین گزینه A^* به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود (اصغری‌پور، ۱۳۹۲: ۲۳۲):

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max \frac{\sum_j^n w_j \cdot r_{ij}}{\sum_j w_j} \right\} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳-۵- روش درون‌یابی

به فرایند برآورد ارزش‌های کمی برای نقاط فاقد داده به کمک نقاط مجاور و معلوم که به‌نام نمونه یا مشاهده موسوم‌اند، درون‌یابی می‌گویند. در درون‌یابی، اطلاعات از

۴- یافته‌های تحقیق و بحث

هدف از مطالعه کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی، بررسی میزان املاح محلول در آب، تغییرات آن، شناخت و تعیین انواع محدودیت‌های موجود در زمینه مصارف مختلف به‌ویژه شرب می‌باشد.

در جدول شماره ۲ انواع روش‌های مختلف کریجینگ معمولی که از طریق آزمون روش‌ها برای پارامترها انتخاب شده‌اند، قابل مشاهده است. تمامی این موارد با روش ارزیابی متقابل به‌دست آمده‌اند که این ارزیابی با توجه به خطای RMS انجام شده است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱). سپس اقدام به رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب آشامیدنی با توجه به نظر کارشناسان شده است. هدف از رتبه‌بندی عوامل، وزن‌دهی به آن‌ها برای تهیه نقشه نهایی کیفیت می‌باشد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۹).

پس از رتبه‌بندی، وزن‌دهی و استانداردسازی لایه‌ها با توجه به توضیحات داده، انجام گرفته که نتایج در جدول شماره ۳ ارائه شده است. همچنین در این جدول میزان خطای RMS و RMSE و نیز میانگین خطای استاندارد برای پارامترهای کیفیت آب محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. در جدول شماره ۳، حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی از نظر مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۱) و استاندارد سازمان بهداشت جهانی به همراه حداکثر مجاز مواد معدنی و مدل‌های سمی واریوگرامی به‌کاررفته برای درون‌یابی به روش کریجینگ ارائه شده است. در ادامه با اجرای درون‌یابی به روش کریجینگ با انواع مدل‌های سمی واریوگرامی برای پارامترها (نگاره ۴) لایه‌های اولیه درون‌یابی شده در نگاره ۵ تا ۱۱ نشان داده شده‌اند.

به‌منظور تهیه نقشه کیفی آب شرب منطقه مورد مطالعه براساس مطالعات ناس (۲۰۱۰) از سه کلاس مختلف برای طبقه‌بندی پارامترها استفاده شده که در جدول شماره ۴ ارائه شده‌اند.

آب شامل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم است. واحدهای اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، برحسب میلی‌گرم بر لیتر (mg/L) و یا یک قسمت در یک میلیون قسمت (p.p.m) است. سولفات موجود در آب آشامیدنی در حال حاضر دارای حداکثر سطح آلودگی ثانویه (SMCL) ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر (mg/L) است. نیترات (NO₃) و نیتريت (NO₂) ترکیبات حاوی نیتروژن هستند که در آب و خاک یافت می‌شوند. یکی دیگر از شاخص‌های شیمیایی آب آشامیدنی سختی کل آن می‌باشد.

سختی آب در اثر وجود دو کاتیون کلسیم و منیزیم ایجاد می‌شود. سختی آب در آب‌های زیرزمینی مناطق گچی از ۱۰۰۰ (ml/L) تجاوز می‌کند. میزان اسیدیته یا pH اندازه‌گیری ذرات باردار الکتریکی در یک ماده است و نشان می‌دهد که آن ماده چقدر اسیدی یا قلیایی (بازی) است. مقیاس pH از ۰ تا ۱۴ متغیر است. مجموع کل مواد آلی و غیرآلی محلول در آب یا TDS یکی از مهم‌ترین فاکتورها در استانداردسازی کیفیت مطلوب آب شرب محسوب می‌شود. زیاد یا کم بودن مقدار TDS در آب اثراتی را در سلامتی بدن انسان به وجود می‌آورد (رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۹).

۳-۸- منحنی مشخصه عملیاتی نسبی

در این مطالعه از بسته مدل‌سازی توزیع گونه (Naimi and R 2016: 5) برای بررسی دقت نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. تجزیه و تحلیل منحنی مشخصه عملیاتی نسبی (ROC) ^۱ که معمولاً برای دقت یک آزمون تشخیصی به‌کار می‌رود، در این مطالعه استفاده می‌شود (Choubin et al., 2019: 3; Pourghasemi et al., 2013: 4). سطح زیر منحنی‌های ROC (AUC) برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی محاسبه می‌شود. AUC یک شاخص واحد شرایط برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی است که از ۰/۵ تا ۱ متغیر است و AUC نزدیک به ۱ نشان‌دهنده عملکرد بهتر است.

1- Receiver Operating Characteristic

2- Area Under the Curve

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مسیر)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین آمار و ... / ۱۵۹

جدول ۲: پارامترها و مدل‌های مورد استفاده به همراه آماره‌های محاسبه و پیش‌بینی کیفیت آب شرب محدوده مورد مطالعه

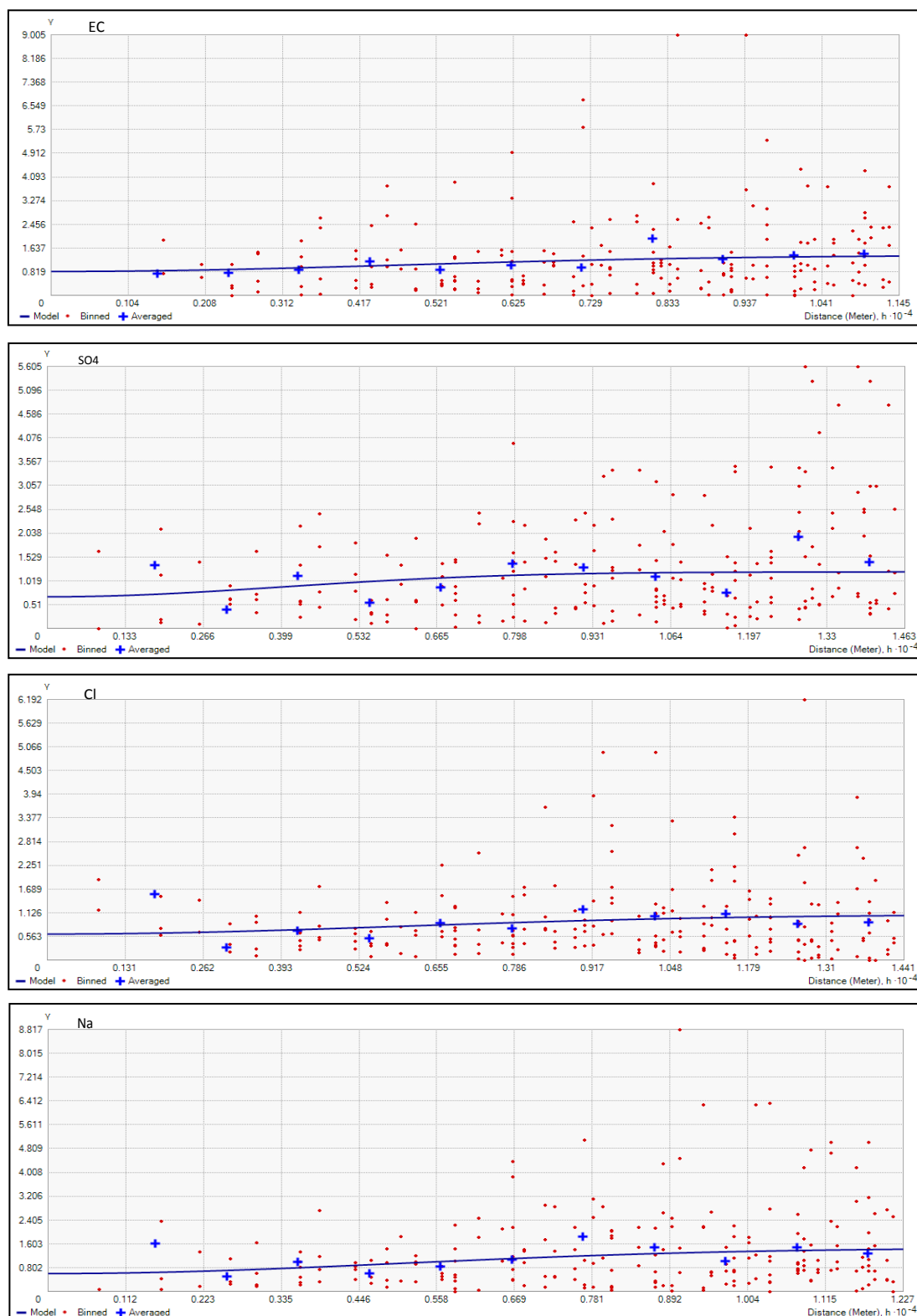
پارامتر	WHO (۲۰۰۴) MCL	(حدمطلوب) ISIRI	ISIRI (MCL)	رتبه مستقیم	وزن اولیه	وزن استاندارد	مدل سمی واریوگرام	Mean	SD	Min	Max
pH	۸/۵-۶/۵	۸/۵-۶/۵	۶/۵-۹	۴	۳	۰/۰۹۶	J-Bessel	۶/۲۴	۰/۳۶	۶/۳	۷/۹
هدایت الکتریکی ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۳	۴	۰/۰۶۲	Gaussian	۱۰۴۷/۷۱	۳۹۹/۷۲	۴۰۵	۲۱۳۰
کلر (mg/L)	۲۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۶	۱	۰/۲۲۱	Hole effect	۹۴/۱۵۹	۵۵/۹۶	۱۷/۷۵	۲۴۴/۹۵
سولفات (mg/L)	۲۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۲	۲	۰/۰۹۲	J-Bessel	۱۵۲/۶۶	۱۲۴/۳۷	۸/۶۴	۳۹۶
سختی کل	۲۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۵	۵	۰/۱۱۴	Rational Quadratic	۲۹۱/۵۷	۲۴۱/۸۷	۴/۶	۱۴۹۱
سدیم (mg/L)	-	۲۰۰	۲۰۰	۱	۶	۰/۲۱۵	Hole effect	۱۰۷/۹۳	۴۹/۶۰	۲۹/۹	۲۳۹/۲
TDS	۵۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۷	۷	۰/۲۰۰	Gaussian	۶۸۳/۵	۴۰۲/۷	۲۱۳	۱۶۸۷
مجموع				۷	۲۸	۱/۰۰۰					

جدول ۳: خطای پیش‌بینی و پارامترهای آماری محاسبه شده موجود در آب آشامیدنی منطقه مورد مطالعه
(ابعاد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

خطای پیش‌بینی					پارامتر
Root-mean-square	Average standard error	Mean standardized	Root-mean-square standardized	Mean	
۰/۵۰۲	۰/۴۱۰	-۰/۰۰۸	۱/۱۴	-۰/۰۰۴	PH
۳۴۰/۹۶	۲۴۰/۵۱	-۰/۱۴	۱/۴۰	-۲۳/۹۲	TDS
۷۱۱/۳۵	۳۹۱/۴۲	-۰/۰۷	۱/۴۲	-۳۹/۲۱	هدایت الکتریکی
۸۰/۸۷	۴۶/۱۲	-۰/۰۲	۰/۸۷	-۱/۴۱	کلر
۲۴۵/۱۶۲	۱۷۹/۲۴	-۰/۰۸	۱/۷۱	-۱۲/۷۲	سولفات
۱۴۱/۱۱	۱۴۱/۱۲	-۰/۰۳	۱/۲۱۵	-۱/۹۸	سختی کل
۸۴/۴۲	۷۱/۰۲	-۰/۰۴	۱/۰۷	۸۷/۲۴	سدیم

جدول ۴: طبقه‌بندی کیفیت آب شرب (ناس، ۲۰۱۰)

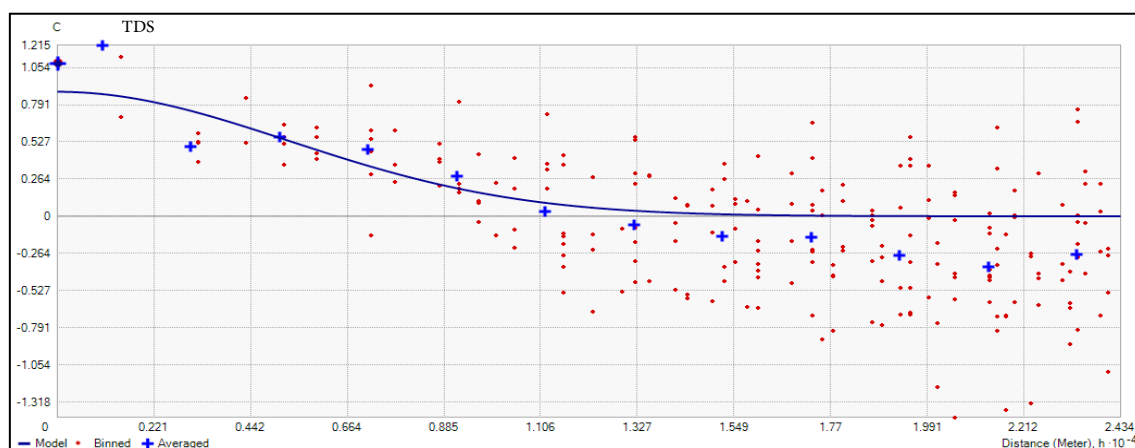
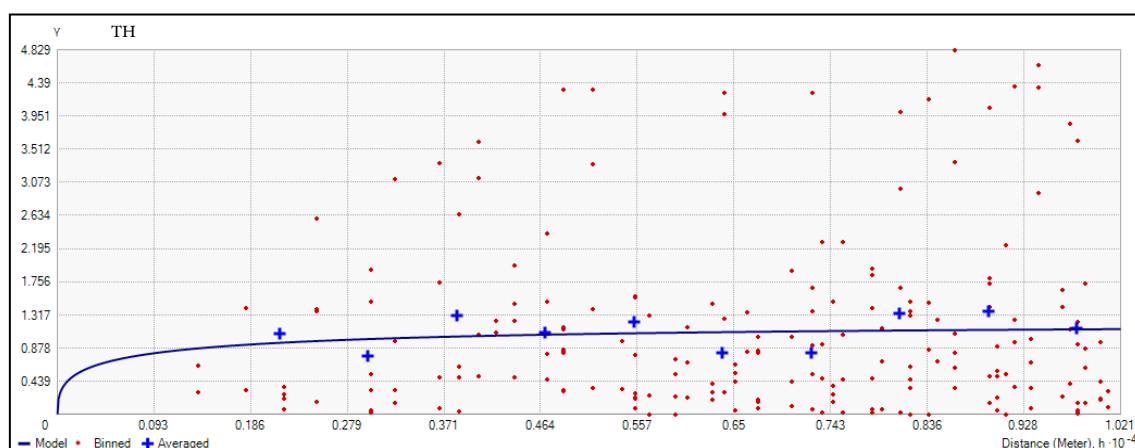
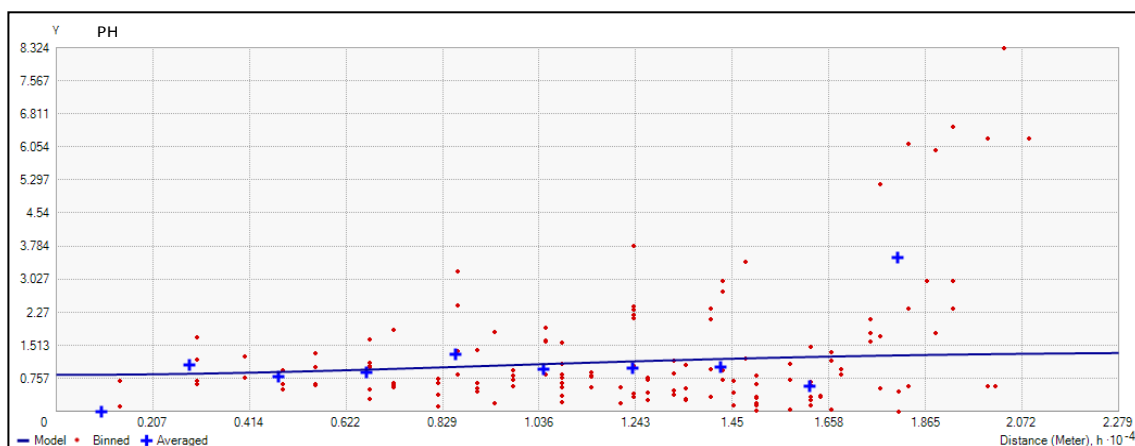
کیفیت	کلر	TDS	سولفات	سختی کل	هدایت الکتریکی	سدیم	اسیدیته
مطلوب	<۵۰	<۵۰۰	<۲۵۰	<۲۰۰	<۱۰۰۰	<۵۰	<۷/۲
نیمه مطلوب	۵۰-۱۰۰	۲۰۰-۱۰۰۰	۲۵۰-۴۰۰	۲۰۰-۵۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰-۲۰۰	۷/۷-۲/۵
نامطلوب	>۱۰۰	>۸۰۰	>۴۰۰	>۵۰۰	>۲۰۰۰	>۲۰۰	>۷/۵



نگاره ۴: نیم تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

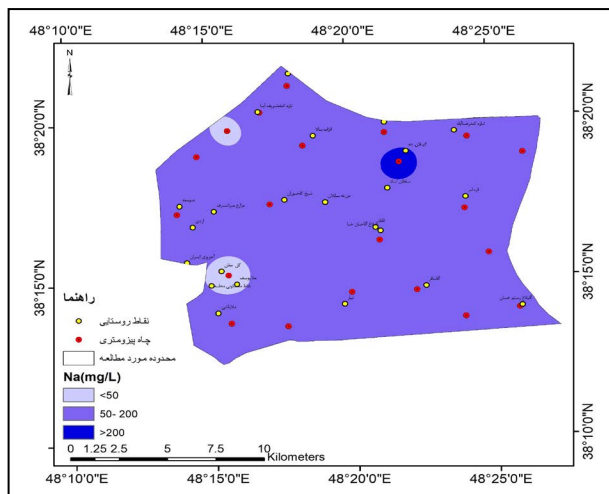
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (جغ)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین آمار و ... / ۱۶۱



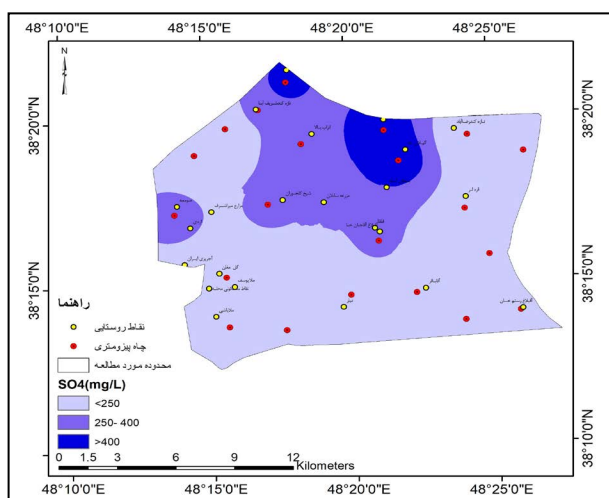
ادامه نگاره ۴: نیم تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

نگاره ۷ میزان تغییرات سدیم را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به این نگاره، بیشترین میزان تغییرات این پارامتر در قسمت شمال شرقی منطقه مورد مطالعه متمرکز شده است (نگاره ۷).



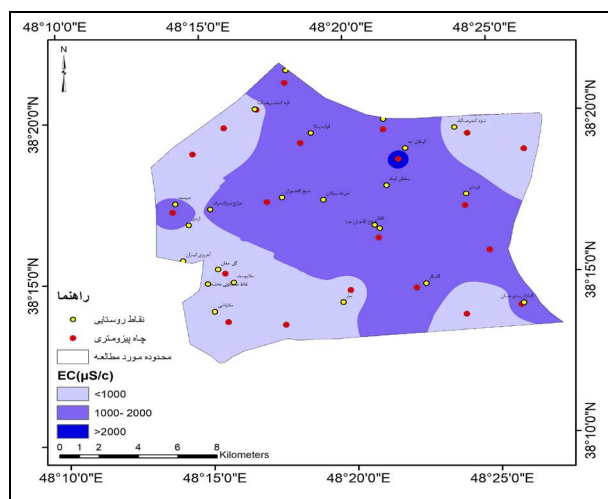
نگاره ۷: نقشه درونیابی شده تغییرات پارامتر سدیم آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

همچنین نگاره ۸ میزان تغییرات سولفات را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به این نگاره بیشترین میزان تغییرات این پارامتر در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است (نگاره ۸).



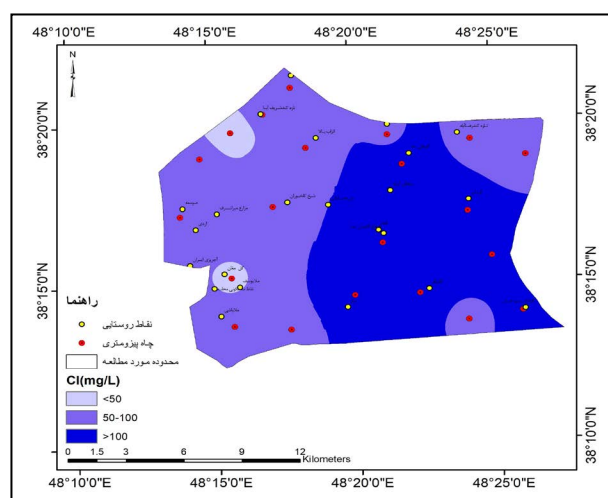
نگاره ۸: نقشه درونیابی شده تغییرات پارامتر سولفات آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

براساس توزیع فضایی که برای پارامتر هدایت الکتریکی محاسبه شده است، این پارامتر در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه به تدریج افزایش می‌یابد و مقدار حداکثر پارامتر هدایت الکتریکی در قسمت شمال شرقی منطقه واقع شده است (نگاره ۵).



نگاره ۵: نقشه درونیابی شده پارامتر قابلیت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

براساس نقشه به دست آمده از درونیابی پارامتر کلر در منطقه مورد مطالعه، روند تغییرات افزایشی یون کلر در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه صورت می‌گیرد (نگاره ۶).

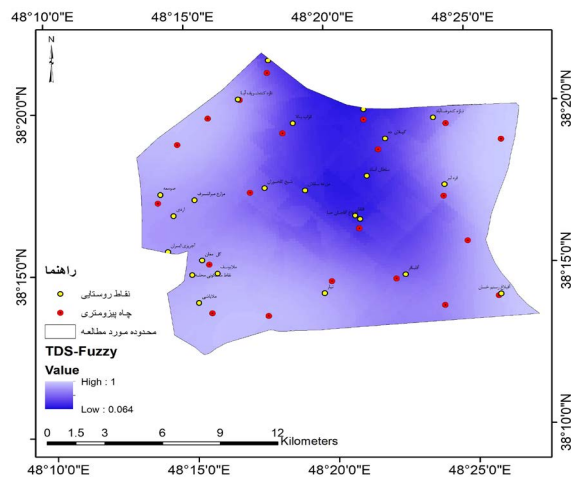


نگاره ۶: نقشه درونیابی شده تغییرات پارامتر یون کلر آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین‌آمار و ... / ۱۶۳

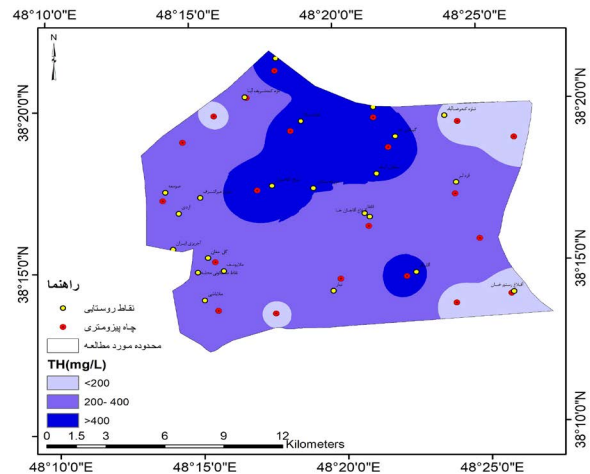
نگاره ۱۱ میزان تغییرات TDS را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نقشه به‌دست آمده می‌توان مشاهده کرد که میزان بالای این پارامتر در قسمت شمالی منطقه متمرکز شده است.



نگاره ۱۱: نقشه درونیابی شده تغییرات پارامتر میزان TDS آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

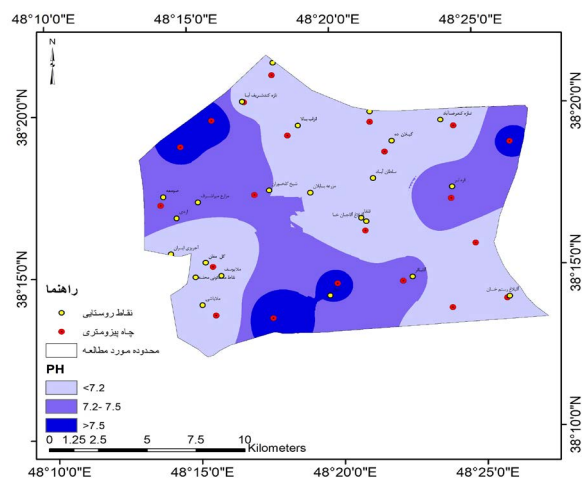
پس از به‌دست‌آوردن لایه‌های اطلاعاتی اولیه از طریق درونیابی به روش کریجینگ، اقدام به استانداردسازی لایه‌ها با روش فازی شد که در نگاره ۱۲ ارائه شده‌اند.

با توجه به درونیابی محاسبه‌شده برای این پارامتر، مقدار سختی کل در ناحیه شمالی بیشتر به چشم می‌خورد (نگاره ۹).

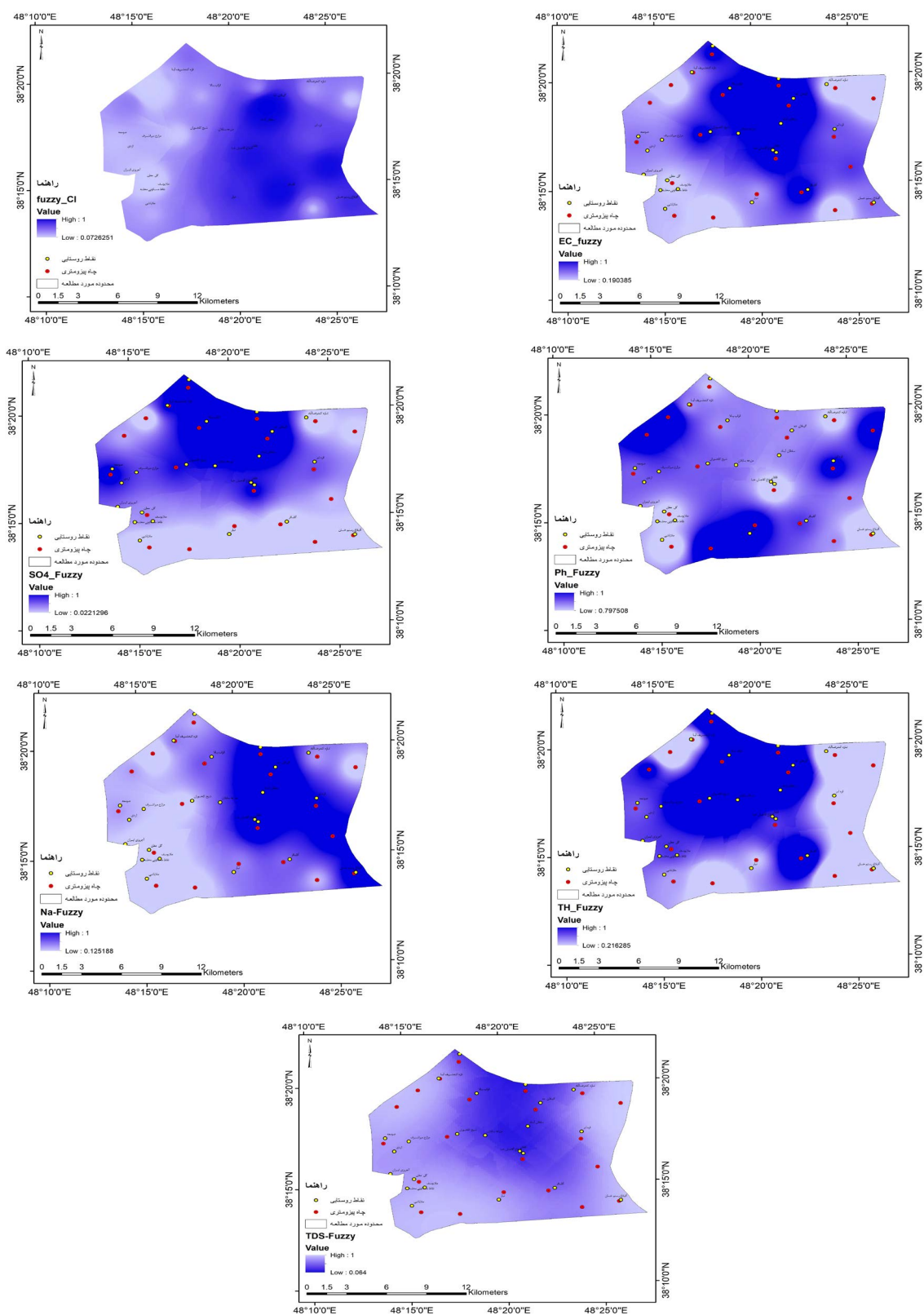


نگاره ۹: نقشه درونیابی شده تغییرات پارامتر سختی آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

نگاره ۱۰ میزان تغییرات پارامتر اسیدیته یا pH کیفیت آب را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مطابق این نگاره، بیشترین تغییرات این پارامتر در قسمت جنوبی و در بخش‌هایی از شمال‌شرقی و شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه مشهود است.



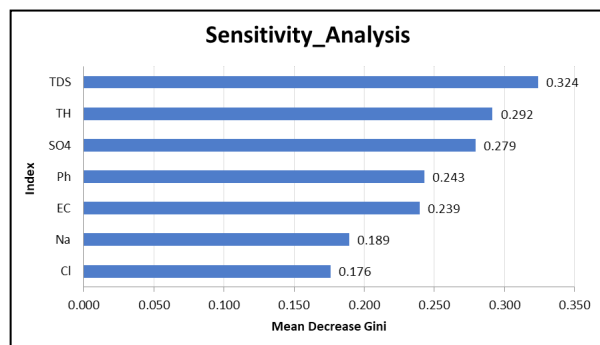
نگاره ۱۰: نقشه درونیابی شده تغییرات پارامتر میزان اسیدیته آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه



نگاره ۱۲: نقشه فازی سازی شده پارامترهای کیفیت آب آشامیدنی محدوده مورد مطالعه

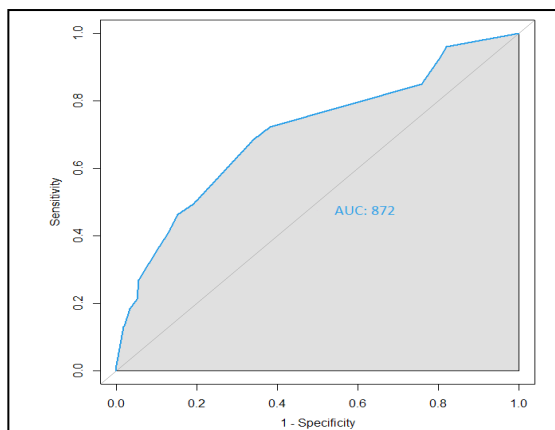
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مجله)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین آمار و ... / ۱۶۵



نمودار ۱: آنالیز حساسیت برای تعیین میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها در پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه

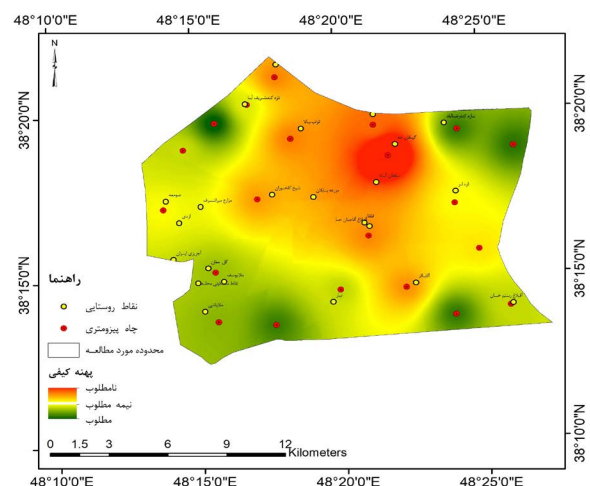
نمودار ۲، نتیجه ارزیابی و عملکرد مدل براساس AUC به‌دست آمده از نمودار ROC را نمایش می‌دهد که با مقدار ۰/۸۷۲ دقت تقریباً مناسبی در ارزیابی مقادیر داشته است.



نمودار ۲: منحنی ROC و مقدار AUC محاسبه شده برای ارزیابی عملکرد شاخص‌ها

سپس برای تعیین روستاهای واقع شده در هر منطقه از لحاظ کیفیت آب شرب و همچنین مساحت هر پهنه کیفی، پهنه‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌صورت برداری تبدیل شد (نگاره ۱۴) و نتایج در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

پس از استانداردسازی لایه‌های به‌دست آمده از درون‌یابی، با استفاده از روش وزن‌دهی جمعی ساده و تلفیق لایه‌ها در محیط GIS، نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت با استفاده از پارامترهای مشخص‌شده و وزن داده شده به‌دست آمد که در نگاره ۱۳ نشان داده شده است.



نگاره ۱۳: نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه

در مطالعه حاضر، یک آنالیز حساسیت برای ارائه یک برآورد قوی از عدم قطعیت‌های مرتبط با لایه‌های ورودی مدل و همچنین بررسی اثرات حذف هر یک از عوامل شرطی‌سازی بر روی نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب شرب مورد استفاده قرار گرفت (Rahmati et al., 2015: 4).

نمودار ۱ مربوط به آنالیز حساسیت است که میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها در پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق نمودار ۱۴، میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها در پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه به شرح زیر است:

بیشترین تأثیر مربوط به شاخص TDS با میزان ۰/۳۲۴ است. کمترین میزان تأثیر هم مربوط به شاخص CL با مقدار ۰/۱۷۶ است. شاخص‌های TH با میزان ۰/۲۹۲، SO4 با میزان ۰/۲۷۹، شاخص PH با میزان ۰/۲۴۳، EC با میزان ۰/۲۳۹ و شاخص Na با میزان ۰/۱۸۹ به ترتیب مقادیر تأثیرگذار بر پهنه‌بندی کیفیت آب شرب هستند.

در منطقه مطلوب واقع شده‌اند. همچنین هرچه به سمت شمال و شمال شرقی این منطقه پیش می‌رویم از کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب به شدت کاسته می‌شود و کیفیت بسیار پایین آب زیرزمینی در منتهی‌الیه قسمت شمالی واقع شده است که ۴۶ درصد منطقه مطالعاتی را دربر می‌گیرد.

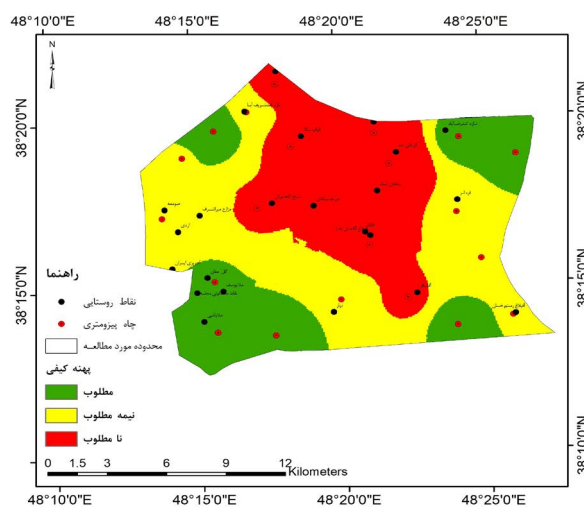
با توجه به جدول شماره ۵، روستاهای تازه کند رضا آباد- گل مغان- ملایوسف- ملاباشی- محله در پهنه آباد- گل مغان- ملایوسف- ملاباشی- محله در پهنه کیفی مطلوب، روستاهای آق بلاغ رستم‌خان- نیار- قره لر- میراشرف- اردی- صومعه- تازه کند شریف‌آباد در پهنه کیفی نیمه مطلوب و روستاهای سلطان آباد- گیلان ده- آق‌باقر- آق بلاغ آقاجان خان- آق بلاغ قولقا- شیخ کلخوران- انزاب علیا- بابلان در پهنه کیفی نامطلوب از لحاظ کیفیت آب شرب قابل دسترس در این محدوده مطالعاتی واقع شده‌اند.

با توجه به تحقیقات مشابه برای منطقه مورد مطالعه، به وضوح می‌توان تراکم چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، میزان برداشت سالانه از رودخانه‌های جاری در سطح منطقه بخش مرکزی اردبیل (بر حسب هزار مترمکعب در سال)، تراکم جمعیت و مناطق صنعتی را مشاهده کرد و اظهار داشت که بین تراکم جمعیت، تراکم چاه‌های موجود و نیز میزان برداشت از رودخانه‌ها و افت شدید کیفیت آب زیرزمینی با توجه به برداشت بالا از این منابع ارتباط مستقیمی وجود دارد، به نحوی که کیفیت بسیار پایین آب‌های زیرزمینی درست در این مناطق واقع شده است که براساس گزارش شرکت آب منطقه‌ای اردبیل برای تأمین نیاز شرب مصارف شهری و روستایی مقداری در حدود ۳۲ میلیون مترمکعب در سال آب نیاز است که تأمین این نیاز می‌تواند آسیب جدی به کیفیت آب‌های زیرزمینی این ناحیه داشته باشد (رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲؛ جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱؛ حسینی‌پور و همکاران، ۱۴۰۱: ۹؛ آسیابی میر و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱).

جدول ۵: وضعیت روستاهای واقع در منطقه مورد مطالعه از

لحاظ کیفیت آب شرب

وضعیت آب شرب	روستا	تعداد
مطلوب	تازه کند رضا آباد- گل مغان- ملایوسف- ملاباشی- محله	۵
نیمه مطلوب	آق بلاغ رستم‌خان- نیار- قره‌لر- میراشرف- اردی- صومعه- تازه کند شریف‌آباد	۶
نامطلوب	سلطان آباد- گیلان ده- آق‌باقر- آق بلاغ آقاجان خان- آق بلاغ قولقا- شیخ کلخوران- انزاب علیا- بابلان	۸



نگاره ۱۴: نقشه‌برداری پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه

با توجه به یافته‌های تحقیق و نقشه‌های به‌دست آمده از تحلیل داده‌های مربوط به پارامتر کیفیت آب می‌توان اظهار داشت که قسمت شمالی و اندکی از قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه دارای کیفیت نامطلوبی هستند که ۴۶ درصد معادل ۱۱۲ کیلومترمربع از منطقه موردنظر را شامل می‌شود و تعداد ۸ روستا در این محدوده واقع شده‌اند. تعداد ۶ روستا در منطقه نیمه مطلوب و تعداد ۵ روستا

۵- نتیجه گیری

می‌یابد که حاکی از کاهش کیفیت آب در اثر توسعه شهری است، مطابقت دارد.

همچنین نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج تحقیق پیران قرنی و همکاران (۱۳۹۷) مبنی بر این که برداشت از آب‌های زیرزمینی در شهرستان اردبیل نسبت به سایر شهرستان‌ها بالا بوده و بیشترین میزان برداشت مربوط به دشت اردبیل می‌باشد، مطابقت دارد.

با توجه به موقعیت شهرستان اردبیل مشاهده می‌شود که آب زیرزمینی موجود در این قسمت دارای کیفیت متوسطی است که حاکی از وجود صنایع و به ویژه قرارگرفتن دو شهرک صنعتی شماره ۱ و شماره ۲ در بالادست و پایین‌دست این شهرستان می‌تواند باشد. هر چه قدر به سمت مرکز و بخش میانی و جنوبی در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه حرکت کنیم (در نگاره ۱۴ با رنگ‌بندی قرمز مشخص شده است) با توجه به موقعیت منطقه از لحاظ ارتفاع از سطح دریا و همچنین ساختار زمین‌شناسی منطقه، شرایط برای کشاورزی مساعد بوده و به این دلیل برداشت از آب زیرزمینی زیاد بوده و کیفیت آب تنزل پیدا کرده است که با یافته‌های جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. براساس نقشه نهایی کیفیت آب شرب زیرزمینی، حدود ۳۶ درصد از منطقه معادل ۸۸ کیلومترمربع دارای کیفیت مطلوب است که به نظر می‌رسد میزان درصد پایین این منطقه، نسبت به درصد منطقه با کیفیت نامطلوب قابل تأمل باشد. در نهایت پیشنهاد می‌شود از روش‌های زمین آماری و سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری مفید برای شناسایی کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده شود و به تدریج این روش جایگزین روش‌های قدیمی شود تا علاوه بر کاهش هزینه، بازده پروژه‌های آبی به علت استفاده از آمار دقیق افزایش یابد.

هدف اصلی و کلی این تحقیق ارزیابی کیفیت آب شرب محدوده مطالعاتی بخش مرکزی شهرستان اردبیل است. نقشه نهایی کیفیت آب قابل شرب در محدوده مطالعاتی بخش مرکزی شهرستان اردبیل نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی قسمت شمالی و اندکی از قسمت مرکزی این منطقه دارای کیفیت نامطلوبی هستند. بر همین اساس، در سمت شمال و شمال شرقی این منطقه از کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب به شدت کاسته می‌شود و کیفیت بسیار پایین آب زیرزمینی در منتهی‌الیه قسمت شمالی واقع شده است که ۴۶ درصد منطقه مطالعاتی را در بر می‌گیرد.

با توجه به تحقیقات رستم‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) و همچنین جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۴) می‌توان اظهار داشت که بین تراکم جمعیت، تراکم چاه‌های موجود و نیز میزان برداشت از رودخانه‌ها و افت شدید کیفیت آب زیرزمینی با توجه به برداشت بالا از این منابع ارتباط مستقیمی وجود دارد به نحوی که کیفیت بسیار پایین آب‌های زیرزمینی درست در این مناطق واقع شده است که براساس گزارش سازمان آب منطقه‌ای اردبیل برای تأمین نیاز شرب مصارف شهری و روستایی حدود ۳۲ میلیون مترمکعب در سال، آب مورد نیاز است و تأمین این نیاز می‌تواند آسیب جدی به کیفیت آب‌های زیرزمینی این ناحیه وارد کند که با توجه به نتایج تحقیقات رستم‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) می‌توان اظهار داشت که بین برداشت از آب‌های زیرزمینی و افت کیفیت آب رابطه مستقیمی در این منطقه وجود دارد.

حدود ۲۸ درصد منطقه مطالعاتی کیفیت آب شرب نیمه‌مطلوبی دارد که بیشترین کاربری اراضی آبی در این نواحی واقع شده است و نیاز به برداشت از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی دارند، به نظر می‌رسد در آینده دچار افت کیفیت خواهند شد که با یافته‌های تحقیق حسنعلی‌پور و همکاران (۱۴۰۱) مبنی بر اینکه بخش‌های شمال، شمال شرق و شرق به طرف مرکز، جنوب و جنوب شرقی دشت اردبیل غلظت پارامترهای کیفیت آب افزایش

۶- منابع و مآخذ

- ۱- آسیابی‌هیر، مصطفی‌زاده، رئوف، اسمعیلی‌عوری؛ رقیه، رئوف، مجید، اباذر (۱۳۹۸). ارزیابی پایداری منابع آب سطحی در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۴)، ۹۸۴-۹۹۸. doi: 10.22092/ijwmse.2018.109649.1277
- ۲- ابراهیمی، امین، هاشمی، فولادی‌فرد، وحیددستجردی؛ اصغر، محمد، حسن، رضا، مرضیه (۱۳۸۹). بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه سجاد شهرستان زرین شهر، مجله تحقیقات نظام سلامت، ۹۲۶ - ۹۱۸.
- ۳- اسفندیاری، قربانی فیل‌آبادی، نصیری خیای، مصطفی‌زاده؛ فریبا، راضیه، علی، رئوف (۱۳۹۸). مقایسه عملکرد روش‌های جبری و زمین‌آمار در تعیین تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بروجن. مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۰)، ۱۱۵-۱۳۰. doi: 10.22111/jneh.2018.22500.1335
- ۴- بی‌نام (۱۳۹۵). داده‌های مربوط به کیفیت آب زیرزمینی چاه‌های پی‌زومتری. شرکت آب منطقه‌ای اردبیل.
- ۵- پوران، راغفر، قاسمی، بزازان، رقیه، حسین، عبدالرسول، فاطمه (۱۳۹۶). محاسبه ارزش اقتصادی آب مجازی با رویکرد حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری. فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۶(۲۱)، ۱۸۹-۲۱۲. doi: 10.22084/aes.2017.1803
- ۶- پوربایرامیان، اسپهبد؛ سهیلا، محمدرضا (۱۳۹۱). ارزیابی تغییرات کیفی آبخانه دشت اردبیل با نگرشی ویژه بر تأثیر کاهش پتانسیل آب زیرزمینی بر شوری، فصلنامه زمین، سال هفتم، شماره ۲۴. ۴۵-۲۷.
- ۷- پیران قرنی‌نمین، جاوید، قدوسی؛ سمانه، امیر حسین، جمال (۱۳۹۷). بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰(۳)، ۱-۱۰. doi: 10.22034/jest.2018.13250
- ۸- جعفرزاده، رستم‌زاده، نیک‌جو، اسدی؛ جعفر، هاشم، محمدرضا، اسماعیل (۱۳۹۶). ارزیابی پتانسیل منابع آب دشت اردبیل با استفاده از GIS. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱(۶)، ۱۴۵-۱۶۴. doi: 10.22034/jest.2018.13250
- ۹- جعفری، سید عباس (۱۳۸۵). ارزش و هزینه کامل آب: مطالعه موردی سد علویان. تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۳)، ۱۲-۱.
- ۱۰- چهاراهی، رشچی؛ ذبیح‌الله، ژاله (۱۳۹۰). تسلط بر GIS با ArcGIS. انتشارات کیان رایانه سبز. چاپ اول.
- ۱۱- حسنعلی‌پور، مصطفی‌زاده، اسمعیلی‌عوری، احمدی، ایمانی؛ یوسف، رئوف، اباذر، محمد، رسول (۱۴۰۱). ارزیابی اثرات توسعه شهری اردبیل بر کمیّت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت اردبیل. مطالعات علوم محیط زیست، ۷(۳)، ۵۳۷۴-۵۳۸۵. doi: 10.22034/jess.2022.343220.1792
- ۱۲- خسروی، حیدری علمدارلو، نسب‌پور؛ حسن، اسماعیل، سحر (۱۳۹۶). مطالعه تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان با استفاده از شاخص GQI. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۴)، ۳۵-۴۴. doi: 10.22131/sepehr.2018.30516
- ۱۳- دانشور وثوقی، دین پژوه؛ فرزاد، یعقوب (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش اسپیرمن. نشریه محیط شناسی. سال ۳۸. شماره ۴. ۲۹-۴۴.
- ۱۴- رحیمی، بشارت، وردی‌نژاد؛ مینا، سینا، وحیدرضا (۱۳۹۵). ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی. محیط زیست و مهندسی آب، ۲(۴)، ۳۶۰-۳۷۵.
- ۱۵- رستم‌زاده، نیک‌جو، اسدی، جعفرزاده؛ هاشم، محمدرضا، اسماعیل، جعفر (۱۳۹۴). توان‌سنجی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب در پهنه‌های جمعیتی دشت اردبیل با استفاده از ترکیب مدل‌های زمین آماری و تصمیم‌گیری چندمعیاری در محیط GIS. هیدروژئومورفولوژی، ۲(۳)، ۲۷-۴۵.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۴)

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیل‌های زمین‌آمار و ... / ۱۶۹

شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل.

فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳)، ۶۲۳-۶۳۴. doi: 10.22059/jesphys.2017.60293

۲۶- نخعی، ودیعتی؛ محمد، میثم (۱۳۹۱). ارزیابی کیفیت آب شرب دشت درگز با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی. پژوهش آب ایران، ۶(۲)، ۱۱۵-۱۲۱.

۲۷- وجدانی، حبیب (۱۳۸۱). چالش عمده پیشروی ناپایداری آب - مطالعه موردی استان همدان، مجله آب و محیط زیست، ۵۳: ۱۲ - ۱۶.

28-Belton.V and Gear.T. (1997). On the meaning of relative importance. Journal of MultiCriteria Decision Analysis.6 (6); 335-338.

29- Choubin, B., Rahmati, O., Soleimani, F., Alilou, H., Moradi, E., & Alamdari, N. (2019). Regional groundwater potential analysis using classification and regression trees. In Spatial modeling in GIS and R for earth and environmental sciences (pp. 485-498). Elsevier.

30- Gaus, I; Kinniburgh, D.G; Talbot, J.C; and Webster, R. (2003). Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging. J of Environmental Geology. 44: 939-948.

31- Jager, N. (1990). Hydrogeology and Groundwater simulation. Lewis Publishers.

32- Jingyi, Z. and Hall, M. J. (2004). Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China. Journal of Hydrology 296:98-117.

33- Khan, Q., Liaqat, M. U., & Mohamed, M. M. (2021). A comparative assessment of modeling groundwater vulnerability using DRASTIC method from GIS and a novel classification method using machine learning classifiers. Geocarto International, 1-19. doi:10.1080/10106049.2021.19238

34- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. Ecography, 39(4), 368-375.

35- Nas Bilgehan, Ali Berkay.(2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. Environ Monit Assess 160:215-227.

۴۳-۶۰.

۱۶- سازمان ملی استاندارد ایران (۱۳۹۱). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی. ۱۵.

۱۷- سالنامه آماری (۱۳۹۵). نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵. استانداری اردبیل (معاونت برنامه ریزی- دفتر آمار و اطلاعات و GIS).

۱۸- شعبانی، محمد (۱۳۸۸). بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان. فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۳، ۱۲ ص.

۱۹- عبیداوی، هوشمند فیروزآبادی؛ زینب، فاطمه (۱۴۰۰). بررسی توزیع مکانی شاخص کیفیت آب مبتنی بر استانداردهای سازمان بهداشت جهانی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: آب‌های زیرزمینی فیروزآباد). انسان و محیط زیست، انتشار آنلاین.

۲۰- عساکره، حسین (۱۳۸۷). کاربرد روش کریجینگ در میان یابی بارش، مطالعه موردی: میان یابی بارش. فصلنامه جغرافیا و توسعه. ۱۲. ۲۵-۴۲.

۲۱- غضنفری، رضایی؛ محمد، مهدی (۱۳۸۵). مقدمه‌ای بر نظریه مجموعه‌های فازی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

۲۲- کرد، اصغری مقدم، نخعی؛ مهدی، اصغر، محمد. (۱۳۹۴). نشریه محیط شناسی. دوره ۴۱. شماره ۱. ۶۷-۷۹.

۲۳- مالچوفسکی، یاچک. (۱۳۹۰). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری. اکبر پرهیزگار؛ عطا غفاری گیلانده، چاپ دوم، انتشارات سمت.

۲۴- محمدپاری، اقدر، بصیری؛ فاطمه، حسین، رضا (۱۳۹۶). پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب با استفاده از روش‌های زمین‌آمار - مطالعه موردی: مناطق خشک مهران و دهلران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، ۲۶(۱۰۱)، ۱۹۹-۲۰۸. doi: 10.22131/sepehr.2017.25737

۲۵- مهری، مصطفی‌زاده، اسمعیلی عوری، قربانی؛ سونیا، رئوف، اباذر، اردوان (۱۳۹۶). تغییرات زمانی و مکانی

36- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural hazards*, 63, 965-996.

37- Rahmati, O., Samani, A. N., Mahmoodi, N., & Mahdavi, M. (2015). Assessment of the contribution of N-fertilizers to nitrate pollution of groundwater in western Iran (Case Study: Ghorveh-Dehgela Aquifer). *Water quality, exposure and health*, 7, 143-151.

38- Ulibarri. C.A., Wellman. K.F. (1997). *Natural Resource Valuation: A Primer on Concepts and Techniques*.

39- Zhang, Q., Xu, P., Chen, J., Qian, H., Qu, W., & Liu, R. (2021). Evaluation of groundwater quality using an integrated approach of set pair analysis and variable fuzzy improved model with binary semantic analysis: A case study in Jiaokou Irrigation District, east of Guanzhong Basin, China. *Science of The Total Environment*, 767, 145247. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145247

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

