https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2023.562131.2906

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۲، شماره ۱۲۷، پاییز ۱۴۰۲

صفحات ۱۷۰ - ۱۵۱

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 جدّی در راه توسعه روستاهای کشور محسوب می شود. متأسفانه بسیاری از مردم به‌دلیل 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 EC، pH، $SO4^{--}$، Cl^{-}، Na، TH 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 واقع‌شده که در قسمت جنوبی نقشه کلی قرار گرفته است. کیفیت پایین نیز مربوط به قسمت شمالی و شمال شرقی می‌شود که معادل ٤٦ 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

آب به‌عنوان یک منبع قابل تجدید همواره یک رکن اصلی توسعه به‌شمار آمده است. با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت و نهایتاً افزایش تولید و ایجاد پتانسیل‌های آلودگی فشار زیادی به منابع آب‌ها وارد شده است *(محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۶؛ ۳)*. از آنجا که منابع تجدیدشونده آب در هر اقلیم مقدار نسبتاً ثابتی هستند از این‌رو بایستی سیاست‌ها و روش‌های اتخاذ شده در جهت حفظ ومصرف بهینه از این منابع ساماندهی شود*(وجدانی، ۱۳۸۱ ،۱٤؛ محمدیاری و همکاران،۱۳۹٦؛۲)*.

آب، برای مردم، همیشه ارزشمند، هدیه‌ای از سوی خدا، اساس توسعه جوامع، در زمره منابع طبیعی و از طرفی کالایی کمیاب، قابل استحصال و مبادله و دارای ارزش‌های متفاوت برای خانوارها، صاحبان صنایع و کشاورزان بوده است *(پوران و همکاران،۱۳۹٦؛ ۲)*. به‌این لحاظ همواره این سؤال مطرح است که آب چگونه تقسیم، تخصیص و قیمت‌گذاری 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 زمان‌های قابل پیش‌بینی در آینده تداوم داشته باشد. شرایطی چون استفاده مفید از زمین و آب، بهبود شیوه‌های تولید، کاهش هدر رفت منابع، بهبود کیفیت آب، تعادل اکوسیستم، جلوگیری از آلودگی آب، پیش‌گیری از شور شدن ذخایر آب زیرزمینی و آب‌های برگشتی از جمله محورهای مهم توسعه پایدار هستند *(جعفری، ۱۳۸۵؛ ۱۰)*.

مهم‌ترین منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آب‌هایی است که به آن وارد می‌شود ***(14;1997;Ulibarri)***. برای کنترل آلودگی بایستی منشأ آلودگی را شناسایی کرد. در این راستا می‌توان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی را تهیه و پارامترهای کیفی آب را بررسی نمود.

بررسی روند تغییرات و پهنه‌بندی به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش‌های زمین آمار انجام می‌شود. مزیت زمین آمار آن است که می‌توان با استفاده از داده‌های کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در درون دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است، تخمین زد *(استواری، ۱۳۹۰؛ ۲۳)*.

در تحقیقات داخلی و خارجی، روش‌های مختلفی برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات خصوصیات آب‌های زیرزمینی به‌ویژه کیفیت آب شرب مناطق مسکونی و شهری و روستایی وجود دارد که هرکدام از آن‌ها بسته به شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات کافی دارای دقت‌های مختلفی هستند *(شعبانی، ۱۳۸۸:۷۱)*.

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

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

ژانگ و همکاران (۲۰۲۱)، گاوس و همکاران (۲۰۰۳؛ ۹٤٦)، جینگ‌یی و همکاران (۲۰۰۷؛ ۱۱۳) با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار به پهنه‌بندی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف پرداختند. نتایج تحقیقات نشان‌دهنده کارایی بسیار خوب روش‌های زمین آمار از قبیل کریجینگ در پایش تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی می‌باشد.

پوربایرامیان و اسپهبد (۱۳۹۱) در پژوهش خود که به بررسی تغییرات کیفی آبخوان دشت اردبیل پرداخته اند، اظهار داشته‌اند که در ناحیه شرقی یعنی در محل ورودی آبخوان کیفیت آب مناسب بوده اما در ناحیه جنوب غربی به‌علت مجاورت با سازندهای گچدار، وجود جریان سطحی و شستشوی اطراف و نیز چشمه‌های آب معدنی سولفاته کیفیت آب کاهش یافته و نوع آب کلروره و سولفاته می‌شود.

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 (۱۳۹٤) 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.

عبیداوی و هوشمند (۱٤۰۰) 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 ٦۹ 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 منطقه مورد مطالعه بهترین کیفیت آب زیرزمینی را برای مصارف شرب دارد.

حسنعلی‌پور و همکاران (۱٤۰۱) 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 (۱۳۹٤) 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 ۳٤ درصد (معادل ۲۸۰ کیلومترمربع) آب زیرزمینی دشت اردبیل از لحاظ شرب در حد مطلوب واقع‌شده 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 شورشدن سفره‌های آب زیرزمینی را نیز به دنبال دارد، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

۲- محدوده مورد مطالعه

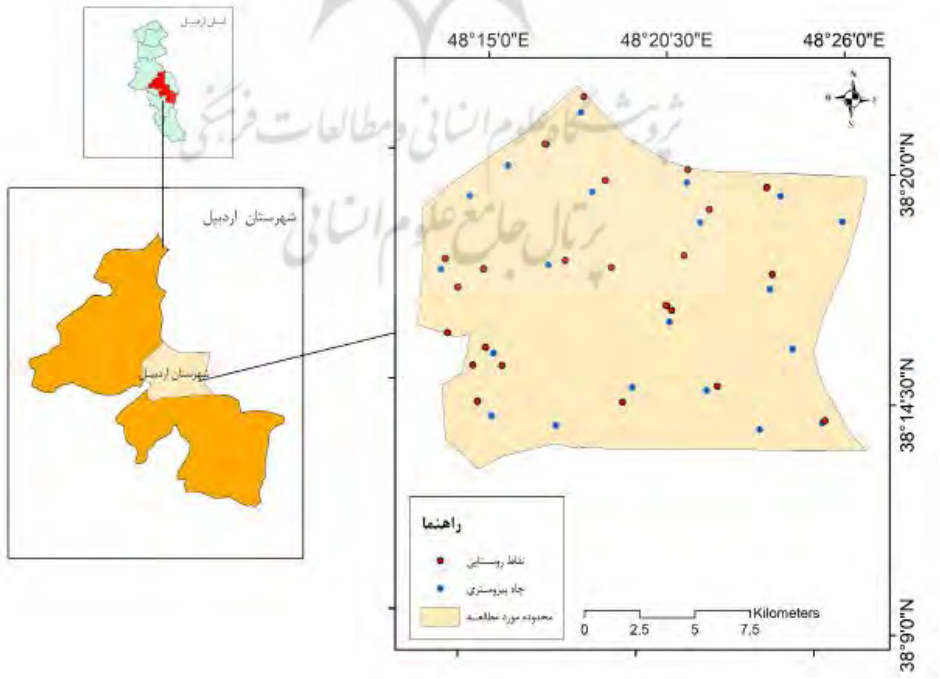
محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بخش مرکزی شهرستان اردبیل است. وسعت شهرستان اردبیل ۳۸۱۰ کیلومترمربّع است و چهره عمومی شهرستان اردبیل متأثّر از ارتفاعات کوهستان‌های ساوالان (سبلان)، باغرو (تالش) و بزغوش است که این عوامل طبیعی سبب محصور شدن آن شده‌اند.

شهر اردبیل مرکز شهرستان اردبیل است. جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۵ خورشیدی بالغ بر ۵۲۹۳۷٤ 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 ۳۷/٤۵ تا ۳۹/٤۲ و عرض شمالی ٤۸/۵۵ تا ٤۷/۳۰ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است *(سالنامه آماری،۱۳۹۵: ۲٤)*. با توجه به قرار گرفتن استان اردبیل در منطقه کوهستانی و سردسیر، مقدار نزولات جوّی در این استان به طور متوسط ۲۵۰ تا ٦۰۰ 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، ۱۳۹٦: ۳)*.

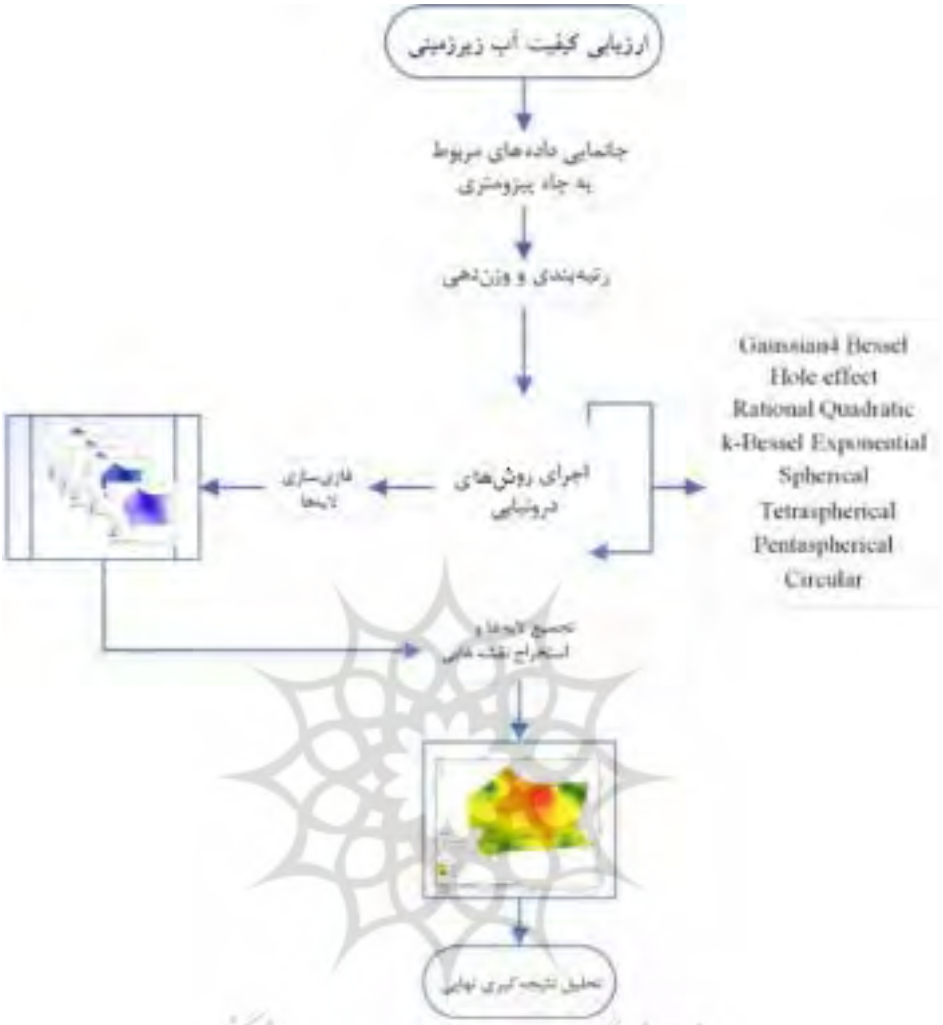
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل بخش مرکزی شهرستان اردبیل است که از سه شهر و نوزده روستا تشکیل شده و وسعتی معادل ۲٤۳ کیلومترمربع دارد. نگاره شماره ۱ محدوده مورد مطالعه را در شهرستان اردبیل نشان می‌دهد. مبنای انتخاب منطقه مورد مطالعه، واقع شدن این منطقه در محدوده دشت اردبیل هست که سعی شده است ارتباط 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.

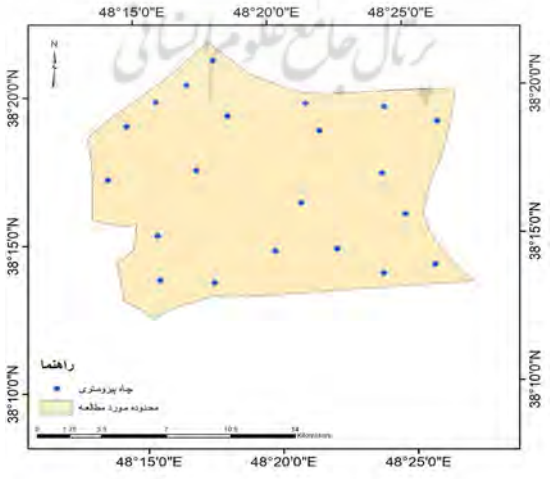
در نگاره شماره ۳ موقعیت چاه‌های پیزومتری منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین در جدول شماره ۱، اطلاعات مربوط به این چاه‌ها ارائه شده است.



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه



نگاره ۲: خوارزمیک حل مسئله



نگاره ۳: نقشه موقعیت چاه‌های پیزومتری در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: نام و مختصات چاه‌های پیزومتری محدوده دشت اردبیل به‌همراه سطح ایستابی آن‌ها

نام محل	مختصات x(درجه)	مختصات y(درجه)	سطح آب (متر)	تراز (متر)
اراضی آراللوی بزرگ	٤٨,٤١	٣٨,١٥	٢٩/١٢	١٣٨٩/٥٣
اراضی رضی آباد	٤٨,٣٧	٣٨,١٨	٢٦/٦٠	١٣٦٢/٦٦
اراضی قره حسنلو-آقا باقر	٤٨,٤٢	٣٨,٢٥	٢٦/٨٣	١٣٣٣/٠٥
اراضی کرکرق	٤٨,٣٤	٣٨,٣١	٧/٩٢	١٣١٨/٩٣
اراضی مرنی	٤٨,٥٦	٣٨,٢٤	٣٨	١٣٤٧/٩٥
اراضی میرزا رحیملو	٤٨,٤٢	٣٨,٢٧	١٩/٧٢	١٣٢٤/٤٩
اراضی اغبلاغ رستم خان	٤٨,٤٢	٣٨,٢٤	٣١/٤٢	١٣٣٤
انزاب پایین	٤٨,٣٣	٣٨,٣٥	٤/٠٦	١٣٨٠/٤١
پیراقوم	٤٨,٤٠	٣٨,٢٠	٤٩/٣	١٣٥٦/٢٧
تازه کندشریف آباد	٤٨,٢٧	٣٨,٣٣	٤/٩٢	١٣١٤/٨٩
تپراقلو	٤٨,٤٥	٣٨,١٩	٦٢/٩٩	١٣٧٣/٤٥
خلیفه لو-شیخ	٤٨,٤٩	٣٨,٢٦	٣٣/٢٣	١٣٣٢/٩٥
سربند	٤٨,٣٩	٣٨,٣٦	٢/٧٢	١٣٠٨/٦٥
سلطان آباد	٤٨,٣٥	٣٨,٢٩	٩/١٩	١٣٢٠/٩٤
قره لر	٤٨,٤٠	٣٨,٢٩	١٧/٥٩	١٣٢٢/٦٤
کلخوران شیخ	٤٨,٢٩	٣٨,٢٨	٧/٩٧	١٣٢٩/٨٦
کلخوران فولادلو	٤٨,٤٩	٣٨,١١	٠/٣٤	١٤٥٦/٨٢
کنازق	٤٨,٤٥	٣٨,٣٦	٥/٤٥	١٣٢٢/٠٧
گلی جدید	٤٨,٥٠	٣٨,٣٣	٤/٥٢	١٣١٥/٧٥
نوران	٤٨,١٩	٣٨,٢٣	٤/٧١	١٤٠٦/٨٥
نوشهر	٤٨,٤١	٣٨,٠٨	٣٥/٤٥	١٥٠٥/٦١

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 به‌کار 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 گیبر، 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 به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$Wj = \frac{n - r_j + 1}{\sum(n - r_k + 1)}$$

رابطه (۱)

که در آن Wj معرف وزن استانداردشده (که از رابطه ۲ به‌دست می‌آید) برای معیار j ام و n معرف تعداد معیارهای مورد نظر

(n،...،2،1=k) و rj بیانگر موقعیت رتبه ای هر معیار است. در این روش، وزن هر معیار از روی (n-rj+1) تعیین شده و سپس با تقسیم آن بر حاصل جمع وزن ها یعنی (n-rk+1) به‌صورت استاندارد در می‌آید *(مالچوفسکی، ۱۳۹۰:۳۰۸)*.

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:

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}}$$ 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.

۳-٤- روش وزن‌دهی جمعی ساده

روش‌های وزن‌دهی جمعی ساده متداول‌ترین فنون مورد استفاده در کار بر روی مسائل مرتبط بر تصمیم‌گیری چندصفتی فضایی‌اند *(مالچوفسکی، ۱۳۹۰: ۳۳٦)*. این روش یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کار رفته در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است *(آسیابی میر و همکاران، ۱۳۹٦ :۷)* به‌طوری که با مفروض بودن بردار W (اوزان اهمیت شاخص‌ها) برای آن، مناسب‌ترین گزینه A^* به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود *(اصغرپور،۱۳۹۲:۲۳۲)*:

$$A^* = \left\{ A_i \,|\max \frac{\sum_j^n w_j . r_{ij}}{\sum_j w_j} \right\}$$ رابطه (۳)

۳-۵- روش درون‌یابی

به فرایند برآورد ارزش‌های کمّی برای نقاط فاقد داده به کمک نقاط مجاور و معلوم که به‌نام نمونه یا مشاهده موسوم‌اند، درون‌یابی می‌گویند. در درون‌یابی، اطلاعات از یک نقطه گرفته می‌شود و در عرض یک شبکه گسترش می‌یابد *(عساکره،۱۳۸۷:۲۵؛ چهارامی و رشچی، ۱۳۹۰:٤۳۵)*. 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، Tetraspherical،Pentaspherical ، Circular با استفاده از ابزار Cross validation روشی انتخاب می‌شود که دارای کمترین میزان RMSE باشد *(اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ ۷)*.

۳-٦- 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 ؛٤۱)*.

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 ۰/٦ 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

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 یک‌میلیون 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 نیتریت (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 ۱٤ 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 به‌وجود می‌آورد *(رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤: ۹۹)*.

۳-۸- منحنی مشخصه عملیاتی نسبی

در این مطالعه از بسته مدل‌سازی توزیع گونه R*(Naimi and Araujo, 2016: 5)* برای بررسی دقت نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. تجزیه و تحلیل منحنی مشخصه عملیاتی نسبی (ROC) [1] که معمولاً برای دقت یک آزمون تشخیصی به‌کار می‌رود، در این مطالعه استفاده می‌شود *(Pourghasemi et al., 2013: 3 ; Choubin et al., 2019: 4)*. سطح زیر منحنی‌های ROC (AUC) [2] 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.

٤- 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 برکیفیت 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 ٤) 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 ٤ ارائه شده‌اند.

1- Receiver Operating Characteristic
2- Area Under the Curve

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

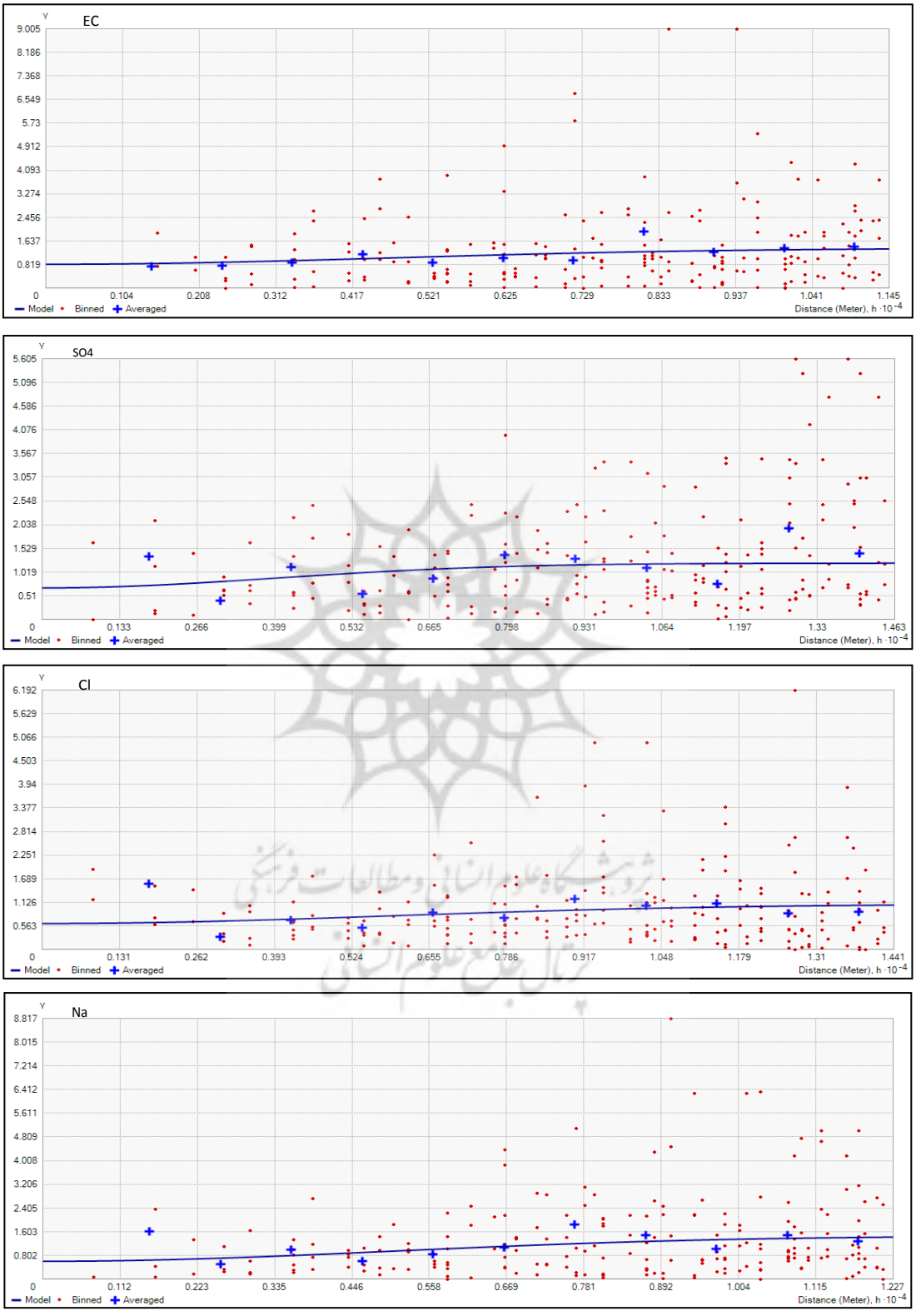
پارامتر	WHO (۲۰۰٤) MCL	(حد مطلوب) ISIRI	ISIRI (MCL)	رتبه مستقیم	وزن اولیه	وزن استاندارد	مدل سمی واریوگرام	Mean	SD	Min	Max
pH	۸/۵-٦/۵	۸/۵-٦/۵	٦/۵-۹	٤	۳	۰/۰۹٦	J-Bessel	٦/۲٤	۰/۳٦	٦/۳	۷/۹
هدایت الکتریکی (µS/cm)	-	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۳	٤	۰/۰٦۲	Gaussian	۱۰٤۷/۷۱	۳۹۹/۷۲	٤۰۵	۲۱۳۰
کلر (mg/L)	۲۵۰	۲۵۰	٤۰۰	٦	۱	۰/۲۲۱	Hole effect	۹٤/۱۵۹	۵۵/۹٦	۱۷/۷۵	۲٤٤/۹۵
سولفات (mg/L)	۲۵۰	۲۵۰	٤۰۰	۲	۲	۰/۰۹۲	J-Bessel	۱۵۲/٦٦	۱۲٤/۳۷	۸/٦٤	۳۹٦
سختی کل	۲۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۵	۵	۰/۱۱٤	Rational Quadratic	۲۹۱/۵۷	۲٤۱/۸۷	٤/٦	۱٤۹۱
سدیم (mg/L)	-	۲۰۰	۲۰۰	۱	٦	۰/۲۱۵	Hole effect	۱۰۷/۹۳	٤۹/٦۰	۲۹/۹	۲۳۹/۲
TDS	۵۰۰	۵۰۰	٤۰۰	۷	۷	۰/۲۰۰	Gaussian	٦۸۳/۵	٤۰۲/۷	۲۱۳	۱٦۸۷
مجموع				۷	۲۸	۱/۰۰۰					

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

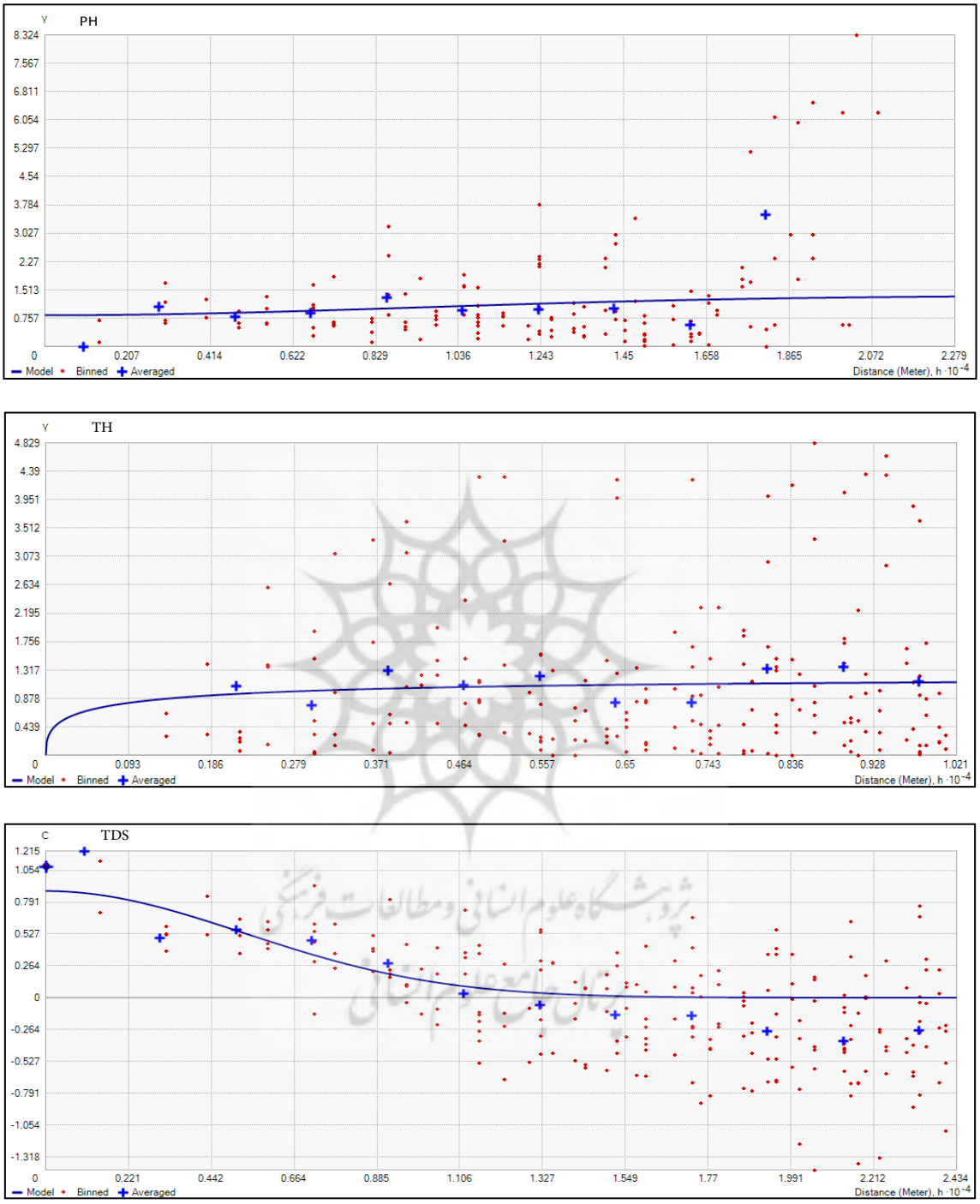
پارامتر	خطای پیش‌بینی				
	Mean	Root-mean square	Average standard error	Mean standardized	Root-mean-square standardized
PH	-۰/۰۰٤	۰/۵۰۲	۰/٤۱۰	-۰/۰۰۸	۱/۱٤
TDS	-۲۳/۹۲	۳٤۰/۹٦	۲٤۰/۵۱	-۰/۱٤	۱/٤۰
هدایت الکتریکی	-۳۹/۲۱	۷۱۱/۳۵	۳۹۱/٤۲	-۰/۰۷	۱/٤۲
کلر	-۱/٤۱	۸۰/۸۷	٤٦/۱۲	-۰/۰۲	۰/۸۷
سولفات	-۱۲/۷۲	۲٤۵/۱٦۲	۱۷۹/۲٤	-۰/۰۸	۱/۷۱
سختی کل	-۱/۹۸	۱٤۱/۱۱	۱٤۱/۱۲	-۰/۰۳	۱/۲۱۵
سدیم	۸۷/۲٤	۸٤/٤۲	۷۱/۰۲	-۰/۰٤	۱/۰۷

جدول ٤: 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	۱۰۰۰-۲۰۰۰	٤۰۰-۲۵۰	۵۰۰-۲۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰-۵۰	۲/۵-۷/۷
نامطلوب	>۱۰۰	>۸۰۰۰	>٤۰۰	>۵۰۰	>۲۰۰۰	>۲۰۰	>۷/۵

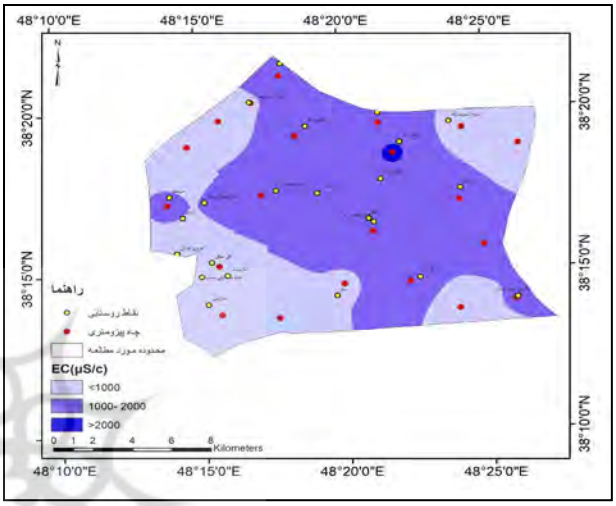


نگاره ٤: نیم تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



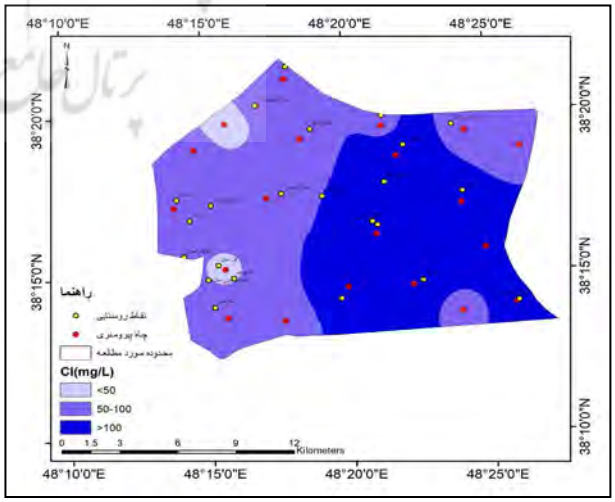
ادامه نگاره ٤: نیم تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

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



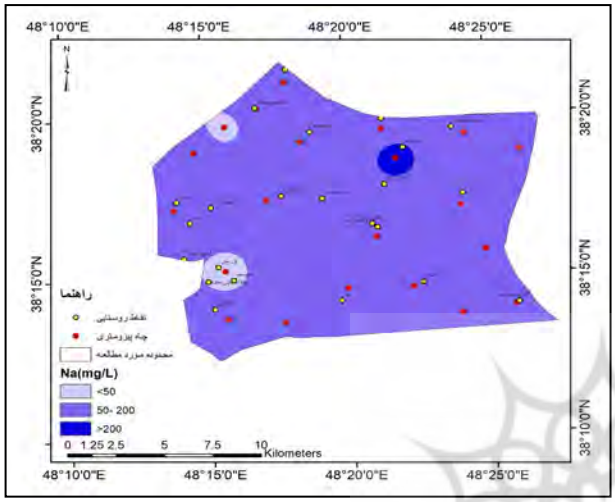
نگاره ۵: نقشه درون‌یابی شده پارامتر قابلیت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

براساس نقشه به‌دست‌آمده از درون‌یابی پارامتر کلر در منطقه مورد مطالعه، روند تغییرات افزایشی یون کلر در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه صورت می‌گیرد (نگاره ٦).



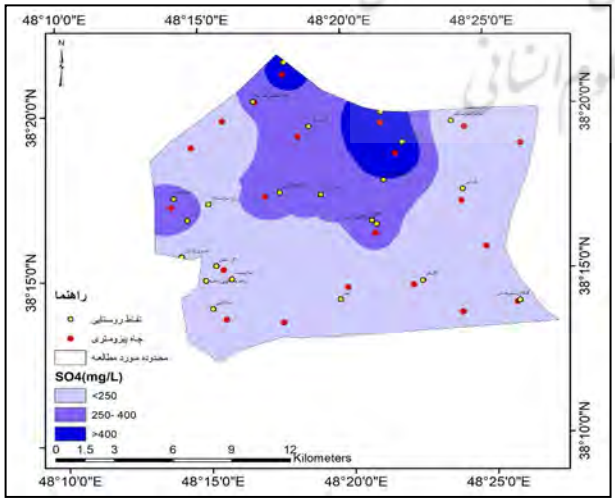
نگاره ٦: نقشه درون‌یابی شده تغییرات پارامتر یون کلر آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

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).



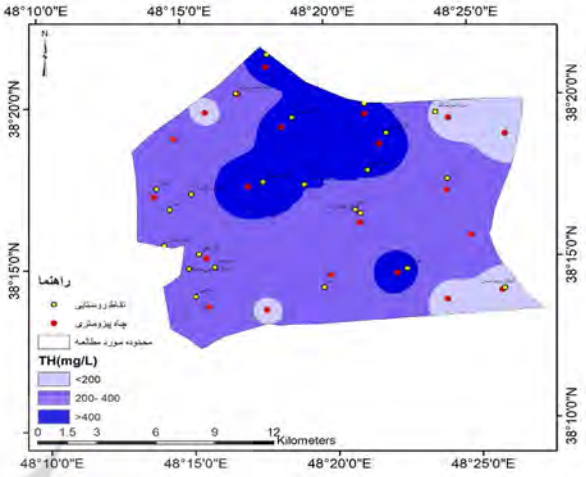
نگاره ۷: نقشه درون‌یابی شده تغییرات پارامتر سدیم آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

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).



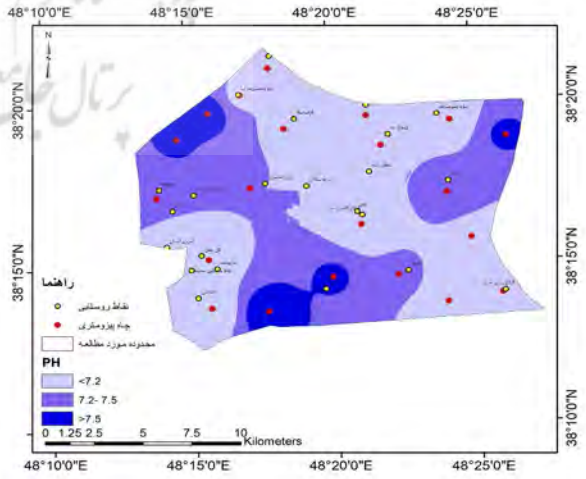
نگاره ۸: نقشه درون‌یابی شده تغییرات پارامتر سولفات آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

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



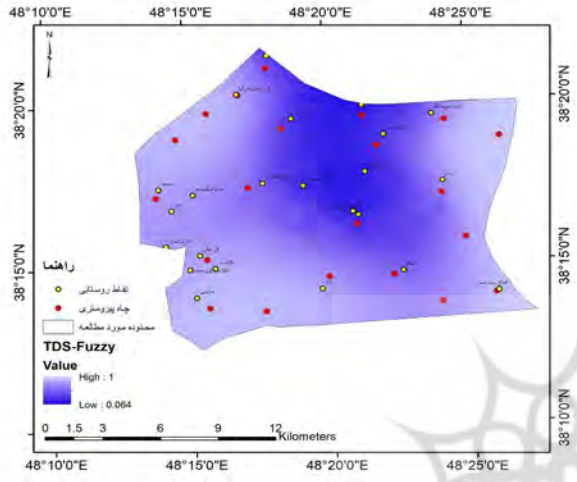
نگاره ۹: نقشه درون‌یابی شده تغییرات پارامتر سختی آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه

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

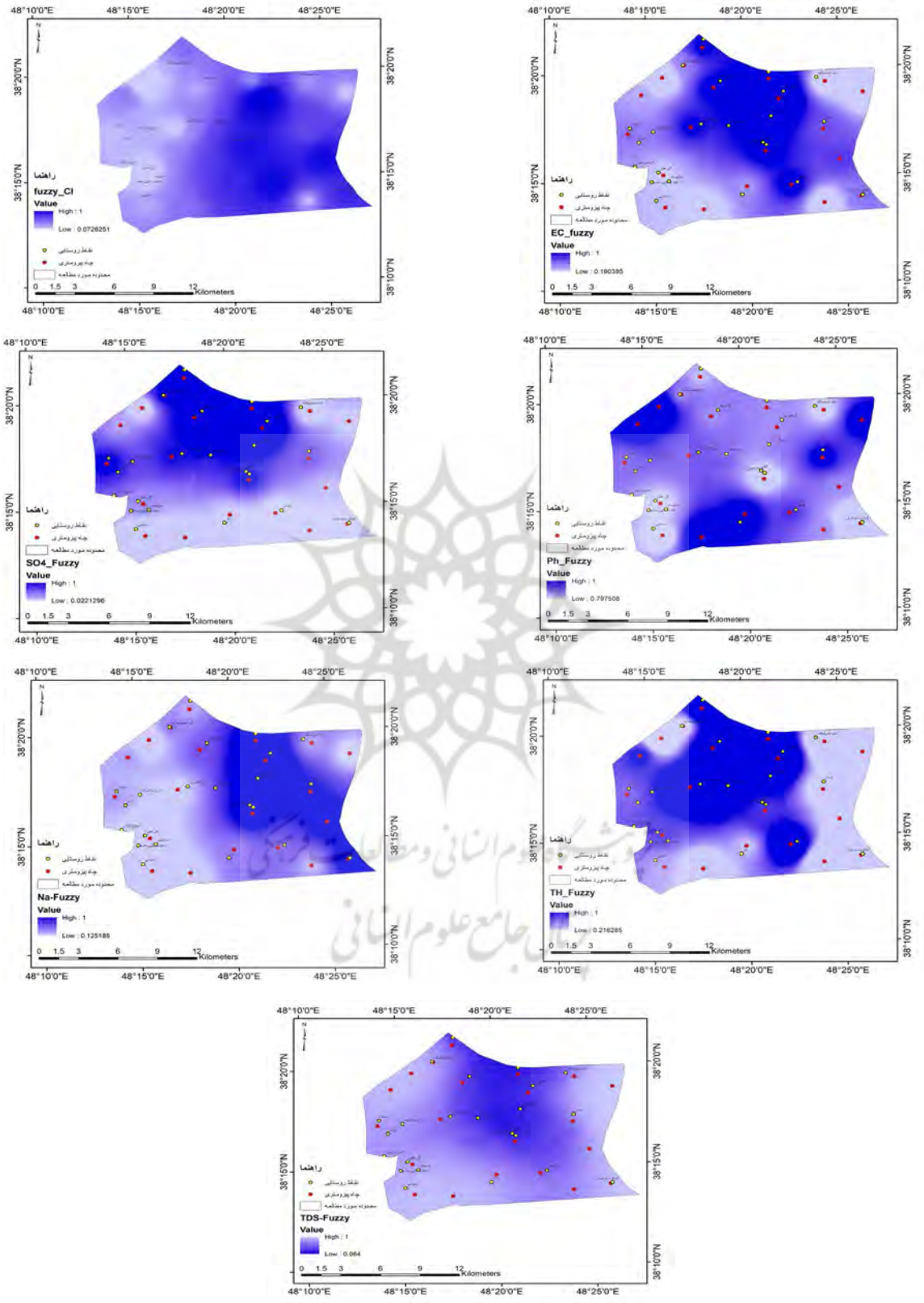
نگاره ۱۱ میزان تغییرات TDS را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نقشه به‌دست آمده می‌توان مشاهده کرد که میزان بالای این پارامتر در قسمت شمالی منطقه متمرکز شده است.



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

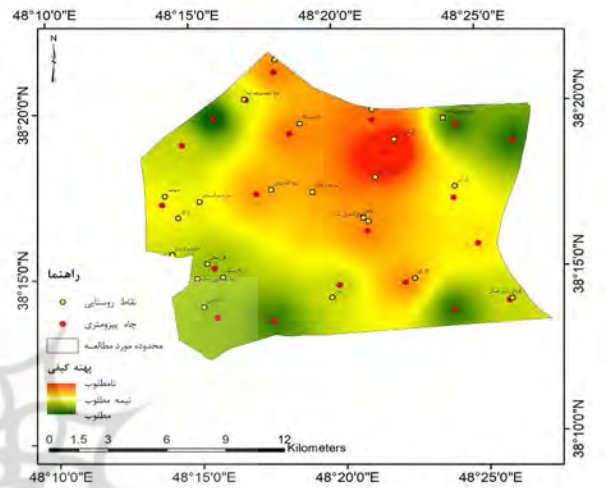
پس از به‌دست‌آوردن لایه‌های اطلاعاتی اولیه از طریق درون‌یابی به روش کریجینگ، اقدام به استانداردسازی لایه‌ها با روش فازی شد که در نگاره ۱۲ ارائه شده‌اند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



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

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.

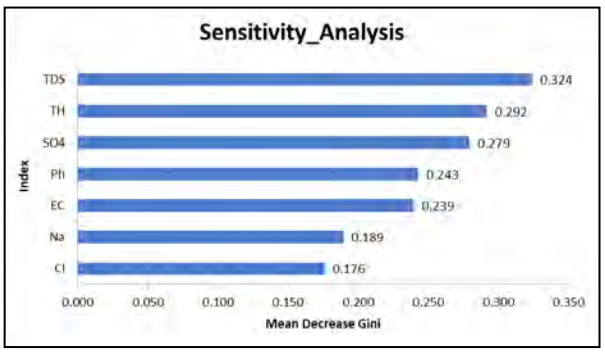


نگاره ۱۳: نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه

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)*** .

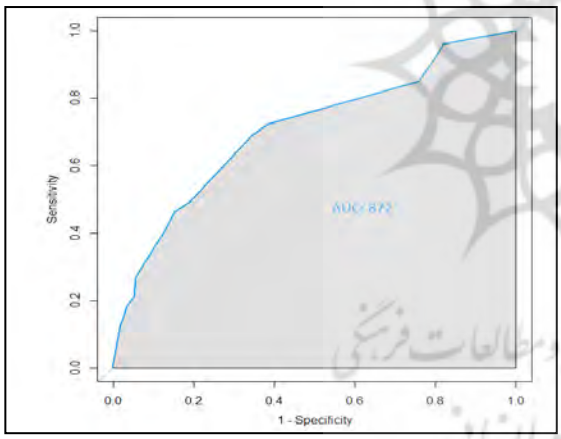
نمودار ۱ مربوط به آنالیز حساسیت است که میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها در پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق نمودار ۱٤، میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها در پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه به شرح زیر است:

بیشترین تأثیر مربوط به شاخص TDS با میزان ۰/۳۲٤ است. کمترین میزان تأثیر هم مربوط به شاخص CL با مقدار ۰/۱۷٦ است. شاخص‌های TH با میزان ۰/۲۹۲، SO4 با میزان ۰/۲۷۹، شاخص PH با میزان ۰/۲٤۳، EC با میزان ۰/۲۳۹ و شاخص Na با میزان ۰/۱۸۹ به ترتیب مقادیر تأثیرگذار بر پهنه‌بندی کیفیت آب شرب هستند.



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

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.

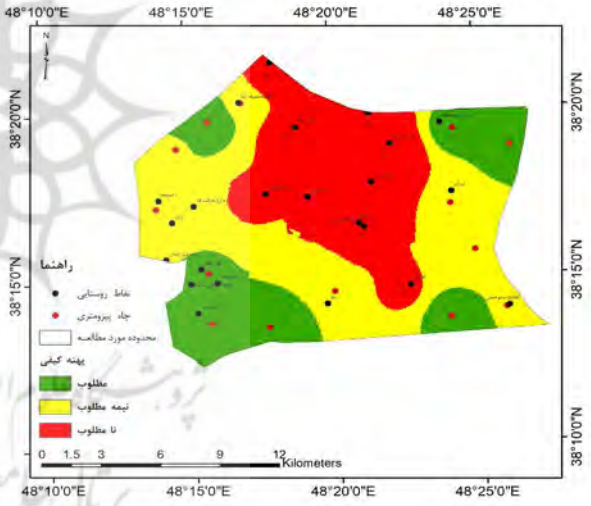


نمودار ۲: منحنی ROC و مقدار AUC محاسبه شده برای ارزیابی عملکرد شاخص‌ها

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 ۱٤) و نتایج در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

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	٦
نامطلوب	سلطان آباد- گیلان ده- آقاباقر- آق بلاق آقاجان خان- آق بلاق قولقا- شیخ کلخوران- انزاب علیا- بابلان	۸



نگاره ۱٤: 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 ٤٦ درصد معادل ۱۱۲ کیلومترمربع از منطقه موردنظر را شامل می‌شود و تعداد ۸ روستا در این محدوده واقع شده‌اند. تعداد ٦ روستا در منطقه نیمه مطلوب و تعداد ۵ روستا در منطقه مطلوب واقع شده‌اند. همچنین هرچه به سمت شمال و شمال شرقی این منطقه پیش می‌رویم از کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب به‌شدت کاسته می‌شود و کیفیت بسیار پایین آب زیرزمینی در منتهی‌الیه قسمت شمالی واقع‌شده است که ٤٦ درصد منطقه مطالعاتی را دربر می‌گیرد.

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

باتوجه 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 ملیون مترمکعب در سال آب نیاز است که تأمین این نیاز می‌تواند آسیب جدی به کیفیت آب‌های زیرزمینی این ناحیه داشته باشد *(رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤: ۱۲؛ جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹٤: ۱۱؛ حسنعلی‌پور و همکاران، ۱٤۰۱: ۹؛ آسیابی هیر و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱).*

۵- نتیجه‌گیری

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 به‌شدت کاسته می‌شود و کیفیت بسیار پایین آب زیرزمینی در منتهی‌الیه قسمت شمالی واقع‌شده است که ٤٦ درصد منطقه مطالعاتی را در بر می‌گیرد.

با توجه به تحقیقات رستم‌زاده و همکاران (۱۳۹٦) و هم‌چنین جعفرزاده و همکاران (۱۳۹٤) 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 جدّی به کیفیت آب‌های زیرزمینی این ناحیه وارد کند که با توجه به نتایج تحقیقات رستم‌زاده و همکاران (۱۳۹٤) 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 (۱٤۰۱) مبنی بر اینکه بخش‌های شمال، شمال شرق و شرق به‌طرف مرکز، جنوب و جنوب شرقی دشت اردبیل غلظت پارامترهای کیفیت آب افزایش می‌یابد که حاکی از کاهش کیفیت آب در اثر توسعه شهری است، مطابقت دارد.

همچنین نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج تحقیق پیران قرنی و همکاران (۱۳۹۷) مبنی بر این‌که 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 چه‌قدر به سمت مرکز و بخش میانی و جنوبی در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه حرکت کنیم (در نگاره ١٤ 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 پیداکرده است که با یافته‌های جعفرزاده و همکاران (۱۳۹٦) مطابقت دارد. براساس نقشه نهایی کیفیت آب شرب زیرزمینی، حدود ۳٦ 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.

٦- منابع و مآخذ

۱- آسیابی‌هیر، مصطفی‌زاده، رئوف، اسمعلی‌عوری؛ رقیه، رئوف، مجید، اباذر (۱۳۹۸). ارزیابی پایداری منابع آب سطحی در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(٤)، ۹۸٤-۹۹۸. 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، ۹۲٦ - ۹۱۸ .

۳- اسفندیاری، قربانی فیل‌آبادی، نصیری خیاوی، 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

٤- بی‌نام (۱۳۹۵). داده‌های مربوط به کیفیت آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری. شرکت آب منطقه‌ای اردبیل.

۵- پوران، راغفر، قاسمی، بزازان؛ رقیه، حسین، عبدالرسول، فاطمه (۱۳۹٦). محاسبه ارزش اقتصادی آب مجازی با رویکرد حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری. فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ٦(۲۱)، ۱۸۹-۲۱۲. doi: 10.22084/aes.2017.1803

٦- 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 ۲٤. ٤۵-۲۷.

۷- پیران قرنی‌نمین، جاوید، قدوسی؛ سمانه، امیر حسین، جمال (۱۳۹۷). بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی برروی 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 (۱۳۹٦). ارزیابی پتانسیل منابع آب دشت اردبیل با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (FANP) در محیط GIS. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱(٦۱)، 145-164. doi: 2-10

۹- جعفری، سید عباس (۱۳۸۵). ارزش و هزینه کامل آب : مطالعه موردی سد علویان. تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۳)، ۱-۱۲.

۱۰- چهاراهی، رشچی؛ ذبیح‌الله، ژاله (۱۳۹۰). تسلط بر GIS با ArcGIS. انتشارات کیان رایانه سبز. چاپ اول.

۱۱- حسنعلی‌پور، مصطفی‌زاده، اسمعلی‌عوری، احمدی، ایمانی؛ یوسف، رئوف، اباذر، محمد، رسول (۱٤۰۱). ارزیابی اثرات توسعه شهری اردبیل بر کمیّت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت اردبیل. مطالعات علوم محیط زیست، ۷(۳)، ۵۳۷٤-۵۳۸۵. doi: 10.22034/jess.2022.343220.1792

۱۲- خسروی، حیدری علمدارلو، نسب‌پور؛ حسن، اسماعیل، سحر (۱۳۹٦). مطالعه تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان با استفاده از شاخص GQI. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، ۲٦(۱۰٤)، ۳۵-٤٤. 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 ٤ . ۲۹-٤٤.

۱٤- 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(٤)، ۳٦۰-۳۷۵.

۱۵- رستم‌زاده، نیکجو، اسدی، جعفرزاده؛ هاشم، محمدرضا، اسماعیل، جعفر (۱۳۹٤). 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)،

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- محمدیاری، اقدر، بصیری؛ فاطمه، حسین، رضا (۱۳۹۶). پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب با استفاده از روش‌های زمین آمار - 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، اسمعلی عوری، قربانی؛ سونیا، رئوف، اباذر، اردوان (۱۳۹۶). تغییرات زمانی و مکانی 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 Berktay.(2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. Environ Monit Assess 160:215–227.

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–Dehgelan 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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)