هیدروژئومورفولوژی، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۴، صص ۶۰-۴۳
وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۷ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۵

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

هاشم رستم‌زاده[۱]
محمدرضا نیکجو[۲]
اسماعیل اسدی[۳]
جعفرجعفرزاده[۴]

چکیده

دشت اردبیل یک دشت میانکوهی به وسعت تقریبی ۸۲۰ کیلومترمربع است که در شمال غربی ایران و در شرق فلات آذربایجان در داخل استان اردبیل قرارگرفته است. آب موردنیاز دشت به‌منظور مصارف کشاورزی، صنعت و شرب از رودخانه‌های جاری و همچنین از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و چشمه‌ها تأمین می‌گردد. برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل از اطلاعات ۵۶ چاه عمیق، ۳ چاه نیمه‌عمیق، ۳ رشته قنات و ۷ دهنه چشمه از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای مربوط به سال ۱۳۸۹ استفاده شده است. هدف از پژوهش حاضر، ارائه یک نمای کلی از کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل از لحاظ شرب با استفاده از پارامترهای EC، PH، $SO4^{--}$، Cl^{-}، Na و TH (برحسب CaCo3) می‌باشد که در نهایت با استفاده از روش‌های زمین آمار در GIS از طریق نرم‌افزار ArcGIS10.3 اقدام به تولید نقشه موضوعی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل شده است. در این پژوهش از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی برای به‌دست آوردن توزیع فضایی پارامترها و روش وزن‌دهی جمعی ساده برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی لایه‌ها استفاده‌شده است. در نهایت با توجه به نقشه نهایی کیفیت، می‌توان اظهار داشت 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. کیفیت پایین آب نیز مربوط به قسمت جنوب غربی و شمال غربی دشت می‌باشد. هم‌چنین بین تراکم جمعیت و تراکم چاه های موجود در سطح دشت و افت کیفیت آب رابطه مستقیمی وجود دارد.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی؛ تغییر کیفیت آب؛ دشت اردبیل؛ تکنیک زمین‌آماری؛ مدل‌های چندمعیاری.

۱ـ عضو هیات علمی گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول) Email:h_rostamzadeh@tabrizu.ac.ir
۲ـ عضو هیات علمی گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
۳ـ عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز
۴ـ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز

مقدمه

مدیریت بهینه منابع آب و حفظ و ارتقای کیفیت آنها نیازمند وجود اطلاعات در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش فاکتورهای شیمیایی آب در یک منطقه جغرافیایی معین می‌باشد. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب در حال حاضر خطری جدی در راه توسعه کشاورزی کشور به‌خصوص در اراضی خشک می‌باشد (شعبانی، ۱۳۸۸: ۱۲). متأسفانه به‌دلیل غیرقابل رؤیت بودن آب‌های زیرزمینی، بسیاری از مردم در مورد اهمیت آنها و آثار زیان‌بار آلودگی محیط بر منابع آب زیرزمینی آنها آگاهی کافی ندارند (دیویس و همکاران، ۱۹۹۴: ۵۷۰). آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند ایران، که متوسط بارندگی آن کمتر از یک‌سوم میانگین بارندگی کره زمین است، اهمیت زیادی داشته و نقش قابل‌توجهی را به‌عنوان مخازنی برای آب شیرین ایفا می‌کند. در کشور ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، آب‌های زیرزمینی از جمله مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب محسوب می‌شود. خطر آلودگی کمتر این منابع نسبت به دیگر روش‌های استحصال آب، باعث شده است که حتی در مناطقی که از لحاظ آب سطحی کمبودی احساس نمی‌شود نیز استفاده از این منابع رونق داشته باشد (مهدوی، ۱۳۸۵: ۴۲۷). کیفیت آب‌های زیرزمینی همچون آب سطحی دائماً در حال تغییر است. البته این تغییر نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد. کیفیت آب زیرزمینی به عواملی از قبیل نوع لیتولوژی آبخوان، کیفیت آب تغذیه‌کننده، نوع فعل و انفعالات بین آب و آبخوان و فعالیت‌های انسان وابسته است.

آب منبع اصلی توسعه اقتصادی، امنیت اجتماعی و کاهش فقر می‌باشد. ارزش این منبع از یک‌سو و محدودیت آن از سوی دیگر باعث افزایش تدابیر مدیریتی برای حفظ کمیت و کیفیت آن توسط جوامع مختلف شده است. تغییرات محیطی و فعالیت‌های انسانی بر روی کمیت و کیفیت آب تأثیرگذار است (چنگ[1]، ۲۰۰۴: ۲۴۲). رشد شهرها افزایش فعالیت‌های صنعتی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است که این تغییرات بر سلامتی انسان‌ها و حیوانات و گیاهان مضر می‌باشد.کیفیت، کمیت و قابلیت شرب یکی از مهم‌ترین موضوعات زیست‌محیطی و اجتماعی در سطح جهان است. از نظر مدیریتی، مهم‌ترین انگیزه برای انجام مطالعات کیفیت آب، نیازهای کیفی آب و اثرات متقابل آن بر مصارف مختلف می‌باشد (معروفی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲). رفتار سنجی و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده، یکی از مشکلات مهندسان محیط‌زیست و هیدرولوژیست‌ها می‌باشد؛ چرا که در همه مراحل، از نمونه‌برداری تا بررسی و تحلیل نتایج، با انواع عدم قطعیت‌ها روبرو هستند (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۷).

1- Chang et al.,

آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی در تأمین آب کشاورزی هست به‌همین دلیل شناخت و آگاهی از کیفیت آب‌های زیرزمینی و طبقه‌بندی و مصور کردن این آب‌ها بر اساس کمیت عناصر مختلف در آنها ما را در اتخاذ تصمیمات مدیریتی و کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی یاری خواهد کرد. پیشرفت تکنیک‌های سنجش از دور از یک‌طرف و استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری در زمینه‌های مختلف کمیت و کیفیت آب از طرف دیگر، امکان دسترسی به حجم عظیمی از داده‌ها را در زمینه‌های مختلف مهندسی آب در مناطق مختلف جهان مهیا کرده است (المصری[1] و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۲۰).

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در علوم آب کاربردهای مختلفی دارد که از آن جمله می‌توان به تخمین رواناب ناشی از بارش، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، بررسی فرسایش حوضه‌های آبریز، بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی و ... اشاره کرد (سی‌کدر و همکاران[2]، ۲۰۰۴: ۱). نظارت بر تغییرات کیفیت آب یکی از اولویت‌های مهم در برنامه‌های حفاظت محیطی می‌باشد. بنابراین یک برنامه نظارتی که برآورد قابل قبولی از تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی داشته باشد موردنیاز هست. در نتیجه بایستی برنامه‌های نظارتی جامعی که شامل نمونه‌گیری‌های مکرر در اکثر مناطق و شامل آنالیزهای کامل تعداد بی‌شماری از پارامترهای فیزیوشیمیایی باشند جهت مدیریت بهینه کیفیت آب‌های زیرزمینی طراحی شوند (آسیف و همکاران[3]، ۲۰۱۱: ۱۰۳). تهیه نقشه‌های بهنگام تغییرات خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی می‌تواند گام مهمی در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. روش‌های مختلفی برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات خصوصیات آب‌های زیرزمینی وجود دارد که هرکدام از آنها بسته به شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات کافی دارای دقت‌های مختلفی می‌باشند (شعبانی، ۱۳۸۸: ۷۱). جاگر و همکاران[4] (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 می‌باشد. ناس[5] (۲۰۱۰: ۲) در مقاله‌ای تحت عنوان تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی از روش کرجینگ معمولی برای به دست آوردن نقشه کیفیت استفاده کرده است و از پارامترهایی مانند سختی آب و میزان نیترات و کلر سولفات استفاده کرده است. خلیل‌پور (۱۳۸۱:۱۳۰)، نظری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵)، زهتابیان و همکاران (۱۳۸۹: ۷۰)، شعبانی (۱۳۸۸: ۱۲)، گاوس و همکاران[6] (۲۰۰۳: ۹۴۶)، جینگ‌یی و همکاران[7] (۲۰۰۷: ۱۱۳) با استفاده از روش‌های مختلف زمین آمار به پهنه‌بندی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف

1- Almasiri et al.,
2- Sikdar et al.,
3- Arif et al.,
4- Jager et al.,
5- Nas
6- Gaus et al.,
7- Jingyi et al.,

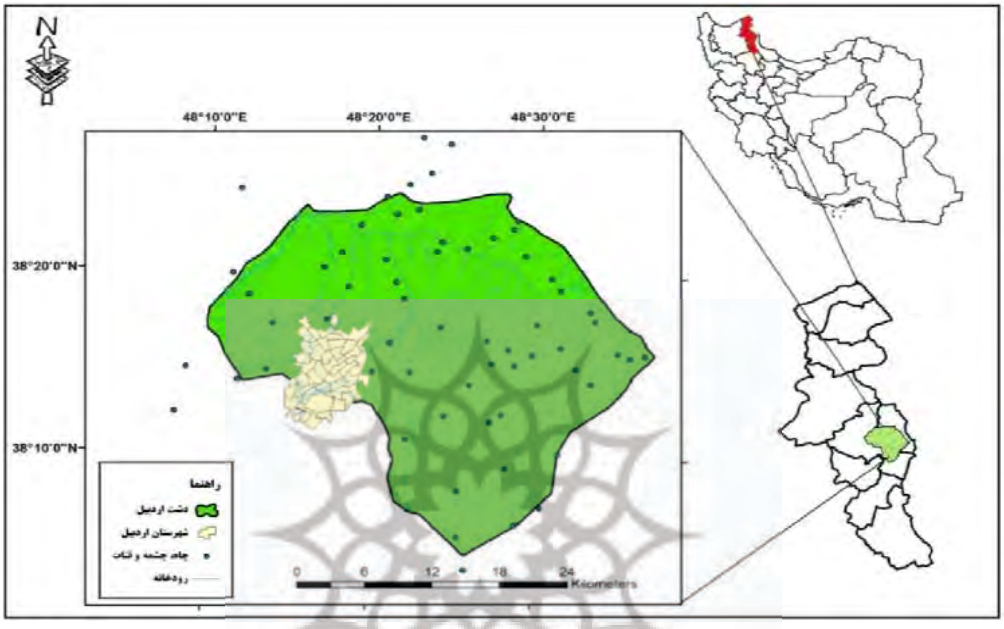
پرداختند. نتایج تحقیقات نشان‌دهنده کارایی بسیار خوب روش‌های زمین آمار از قبیل کریجینگ در پایش تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی می‌باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

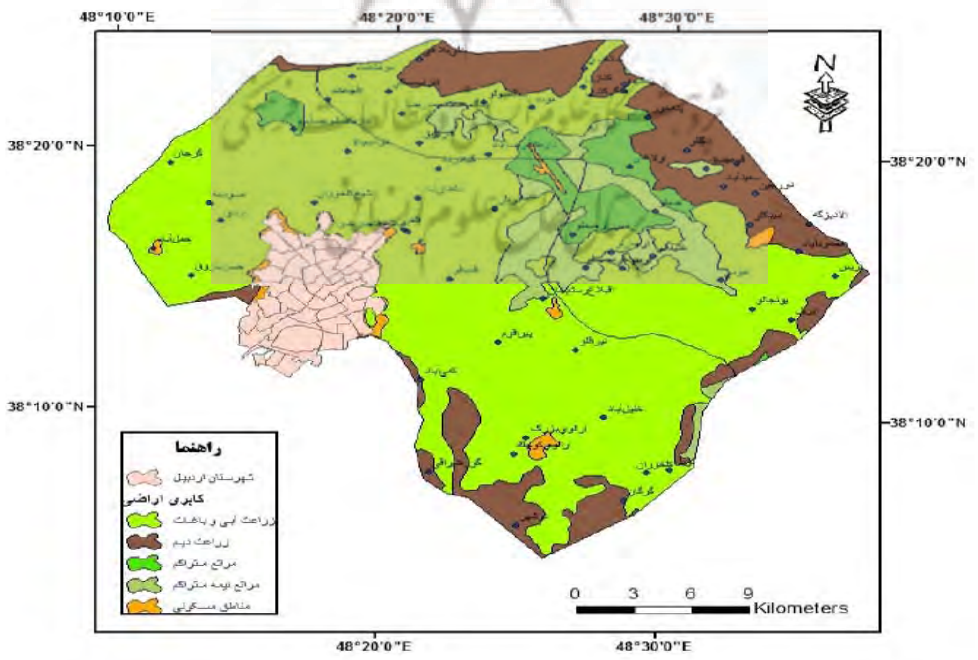
محدوده دشت اردبیل در ناحیه شمال غربی ایران و در محدوده‌ای بین عرض شمالی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه واقع‌شده است و از نظر تقسیمات کشوری به استان اردبیل تعلق دارد (شکل۱). ارتفاع متوسط آن حدود ۱۳۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. وسعت آن حدود ۹۰۰ کیلومترمربع بوده و جزئی از حوضه آبخیز رود قره‌سو به‌شمار می‌رود. این دشت یک دشت میانکوهی است که در بین ارتفاعات مرتفع و بلند اطرافش محصورشده است. در غرب آن توده آتش‌فشانی سبلان (به ارتفاع ۴۸۱۱ متر)، در شرق آن رشته‌کوه تالش یا باغروداغ (به ارتفاع ۳۳۰۰متر)، از طرف شمال به ادامه کوه‌های تالش که در اردبیل کوه‌های ارشق نامیده می‌شود و از طرف جنوب به کوه‌های کم‌ارتفاع که در حقیقت ادامه ارتفاعات بزغوش به‌شمار می‌روند، محدود می‌گردد. تنها راه خروجی دشت از طرف شمال غربی می‌باشد که به‌وسیله آن به‌طرف رودخانه قره‌سو که شاخه‌ای از ارس می‌باشد باز می‌شود. رودهای متعددی در سطح دشت جریان دارند که مهم‌ترین آنها رودخانه قره‌سو می‌باشد که از ارتفاعات باغروداغ در شرق اردبیل سرچشمه گرفته و با روند جنوب شرقی شمال غربی دشت را زهکشی نموده و سرانجام از دشت خارج می‌شود. رودهای بالخلوچای، قوری چای، ساری چای، نمین چای و سرشاخه‌های آنها و چندین رودخانه کوچک و بزرگ دیگر پس از زهکش نمودن دشت اردبیل به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد و از دشت خارج می‌گردند. از لحاظ زمین شناسی دشت اردبیل، دشت هموار و حاصلخیزی است که در مرکز استان اردبیل و در میان کوه‌های سبلان و بزغوش و تالش قرارگرفته است و به‌صورت یک گرابن (چاله فروافتاده بین گسل‌ها) است که در دوران سوم زمین‌شناسی به‌وجود آمده است (رزمجویی، ۱۳۸۷: ۴۲). دشت اردبیل متشکل از ۵۹ واحد روستایی و ۲ واحد شهری (اردبیل و آبی بیگلو) می‌باشد.

نقشه کاربری اراضی دشت اردبیل با پردازش شی‌گرای تصویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده +ETM ماهواره لندست مربوط به تاریخ ۲۰۰۲ استخراج شده است (شکل ۲). اراضی دشت اردبیل با توجه به نحوه استفاده به دو دسته اراضی زراعی و غیرزراعی تقسیم می‌شوند. اراضی زراعی شامل اراضی آبی، دیم و باغات مثمر و غیرمثمر و اراضی غیرزراعی شامل اراضی بایر و مراتع، مناطق مسکونی و تأسیسات و رودخانه‌ها و سایر اراضی می‌باشد. بر اساس نتایج مطالعات کاربری اراضی، مساحت کل دشت اردبیل در حدود ۸۲۰۰۰ هکتار می‌باشد که ۷۰ هزار هکتار آن اراضی زراعی و مابقی غیرزراعی می‌باشد. حدود ۲۵ درصد از کل اراضی زراعی به‌صورت دیم و حدود ۷۰ درصد به‌صورت زراعی آبی و باغات و مابقی نیز اراضی غیرزراعی را به‌خود اختصاص

داده است. در محدوده دشت اردبیل تعداد ۲۲۴۳ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۲۰ دهنه چشمه و ۱۸ رشته قنات وجود دارد که به مصارف کشاورزی اختصاص دارند (شکل۱۰). مجموع برداشت سالانه از چاه‌ها به‌منظور آبیاری دشت در حدود ۱۷۷ میلیون مترمکعب هست همچنین برداشت از چشمه‌ها و قنوات به‌منظور آبیاری دشت به ترتیب در حدود ۱/۲ و ۰/۹ میلیون مترمکعب در سال هست.



شکل (۱) موقعیت دشت اردبیل در سطح استان و کشور



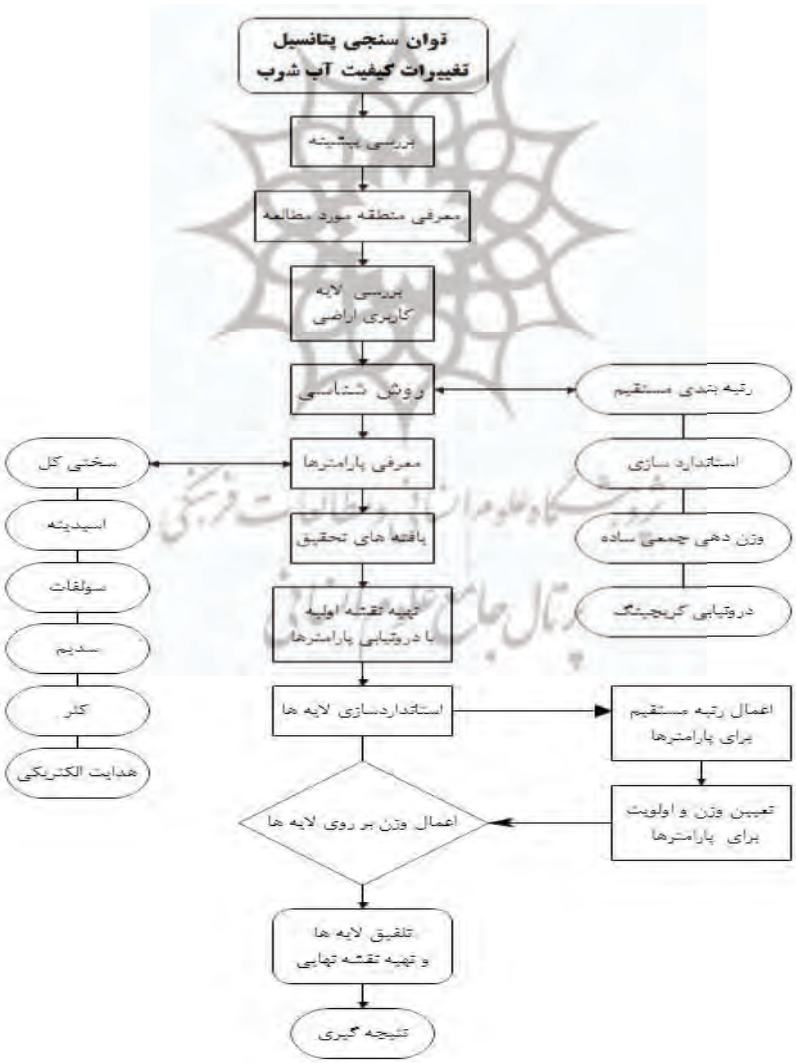
شکل (۲) نقشه کاربری اراضی دشت اردبیل (ماخذ: نگارنده)

جدول (۱) حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی برای تأمین نیازهای آبی کشاورزی

چاه		چشمه		قنات	
تعداد(حلقه)	حجم برداشت سالانه (مترمکعب)	تعداد (دهنه)	حجم برداشت سالانه (مترمکعب)	تعداد (رشته)	حجم برداشت سالانه (مترمکعب)
۲۲۴۳	۱۷۷۱۲۷۰۸۸	۲۰	۱۱۶۰۶۸۸	۱۸	۸۶۰۰۷۵

مواد و روش

در این پژوهش از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تولید نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی و از نرم‌افزار آماری SPSS19 جهت تجزیه و تحلیل و به‌دست آوردن آمار توصیفی پارامترها استفاده شده است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از نرم‌افزار eCognition و از نتایج داده‌های آنالیز شیمیایی چاه‌های مشاهده‌ای شرکت آب منطقه‌ای اردبیل مربوط برای سال ۱۳۸۹ استفاده شده است.



شکل (۳) خوارزمیک حل مساله

۱-رتبه‌بندی مستقیم[1]

مرتب‌سازی وزن‌ها در یک نظم ترتیبی ساده‌ترین روش تعیین اهمیت آنها می‌باشد. در این روش، رتبه‌بندی هر معیار مورد نظر بر حسب اولویت تصمیم‌گیران صورت می‌پذیرد. رتبه‌بندی مستقیم روشی است که بر اساس آن نمره ۱ معرف بیشترین اهمیت، نمره ۲ بیانگر اهمیت درجه دو و به همین ترتیب ادامه دارد (بلتون و گییر، ۱۹۹۸: ۳۳۶). بعد از انجام عمل رتبه بندی بر روی مجموعه‌ای از معیارها، برای ایجاد وزن های عددی از روی اطلاعات دارای نظم ترتیبی از روش مجموع رتبه‌ای استفاده می‌کنیم که به‌صورت زیر می‌باشد:

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

که در آن W_j معرف وزن استانداردشده (که از رابطه ۲ به‌دست می‌آید) برای معیار j ام و n معرف تعداد معیارهای مورد نظر $(k=1,2,\ldots,n)$ و r_j بیانگر موقعیت رتبه‌ای 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$(n-r_k+1)$ به صورت استاندارد در می‌آید.

۲- روش استاندارد کردن

ساده‌ترین فرمول برای استانداردسازی[2] داده خام در این است که هر نمره خام را در ارزش حداکثر بر یک معیار مورد نظر تقسیم کنیم. این فرمول به‌صورت زیر بیان می‌شود:

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

یا

$$X'_{ij} = 1 - \frac{X_{ij}}{X_j^{max}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

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. ارزش نمره استاندارد شده بین صفر و یک قرار می گیرد. معادله ۲ زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به حداکثر رساندن معیار مدنظر باشد یعنی هر چه نمره خام بیشتر باشد، مطلوبیت برای اجرا بیشتر است. از این نوع معیار تحت عنوان معیار سود یاد می‌شود. اگر معیار از نوع کمینه‌سازی باشد یعنی هرچه نمره پایین‌تر باشد مطلوبیت برای اجرا بیشتر است، از فرمول ۳ استفاده می‌شود که به معیار هزینه معروف است.

1- straught ranking
2- Normalized

۳- روش وزن‌دهی جمعی ساده[1]

روش‌های وزن‌دهی جمعی ساده متداول‌ترین فنون مورد استفاده در کار بر روی مسائل مرتبط بر تصمیم گیری چند صفتی فضایی‌اند. این روش‌ها بر پایه میانگین وزنی قرار دارند. تصمیم‌گیر به‌طور مستقیم وزن‌هایی از اهمیت نسبی را به هر صفت اختصاص می‌دهد. این روش یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کارگیری شده در تصمیم‌گیری های چند معیاره است به‌طوری که با مفروض بودن بردار W (اوزان اهمیت شاخص‌ها) برای آن، مناسب‌ترین گزینه *A به‌صورت ذیل محاسبه می‌گردد (اصغرپور،۱۳۹۲: ۲۳۲):

$$A^* = \left\{ A_i \middle| \max \frac{\sum_j^n w_j . r_{ij}}{\sum_j w_j} \right\}$$ رابطه (۴)

۴- روش درونیابی

به فرایند برآورد ارزش‌های کمی برای نقاط فاقد داده به‌کمک نقاط مجاور و معلوم که به نام نمونه یا مشاهده موسوم‌اند، درون‌یابی مـی‌گویند (عساکره، ۱۳۸۷: ۲۵). در واقع در درون‌یابی اطلاعات از یـک نقطه گـرفته می‌شود و در عرض یک شبکه گسترش می‌یابد (چهاراهی و رشچی، ۱۳۹۰: ۴۳۵). این روش با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند که میزان خطای آن تابع مشخصات ساختار فضایی است. اگر مطالعات مربوط به واریوگرافی و تشخیص مدل واریوگرام به‌دقت کافی انجام شود، درون‌یابی به روش کریجینگ با دقت بالایی همراه خواهد بود. کریجینگ به مدل‌های ریاضی و آماری وابسته است (فاضل‌نیا،۱۳۹۱: ۹۶).

مدل‌های کریجینگ به خودهمبستگی‌ها[2] استناد می‌کنند و همبستگی نیز گرایش دو متغیر به هم وابسته را نشان می‌دهد. 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 استاندار (RMSS[3]) نزدیک به یک باشد، همچنین این روش با کمترین میزان خطای RMS[1] کریجینگ معمولی از رابطه (۱) تبعیت می‌کند:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$$ رابطه (۵)

که در آن μ ضریب ثابت مجهول می‌باشد. کریجینگ معمولی در داده‌هایی که دارای روند محلی یا مقطعی هستند می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. (فاضل‌نیا، ۱۳۹۱: ۹۸). کریجینگ معمولی نیز دارای روش‌های مختلفی می‌باشد. از میان روش‌های Gaussian، J-Bessel، Hole effect، Rational Quadratic، Circular، Spherical، Tetraspherical، Pentaspherical، Exponential، k-Bessel با استفاده از ابزار Cross validation روشی انتخاب می‌گردد که دارای کمترین میزان RMSE باشند (ناس،۲۰۱۰: ۲).

1- SAW
2- Autocorrelation
3- Root-mean-square standardized

بحث و نتایج

قابلیت هدایت الکتریکی یا EC[۲]

بر اساس توزیع فضایی که برای این پارامتر محاسبه‌شده است، هدایت الکتریکی از حاشیه به سمت قسمت میانی و خروجی دشت به‌تدریج افزایش می‌یابد و روند افزایش از نواحی مجاور شرقی و غربی به سمت نواحی مرکزی، شمالی و جنوبی دشت می‌باشد. مقدار حداکثر این پارامتر در قسمت جنوبی واقع‌شده است(شکل ۴).

تغییرات یون کلر (Cl)

مقدار کلرورها در آب یکی از عوامل مهم و تعیین‌کننده کیفیت آب به‌ویژه برای مصارف شرب و کشاورزی بوده و ازدیاد آن سبب شوری آب و سمی بودن از لحاظ رشد گیاه می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۸۱۵). بر اساس نقشه به‌دست‌آمده از درون‌یابی پارامتر کلر در دشت اردبیل(شکل ۵)، روند تغییرات افزایشی یون کلر از بخش‌های شمال، شرق و جنوب به سمت نواحی میانی و در مجاورت قسمت‌های شمالی منطقه هست.

آنیون‌ها و کاتیون‌ها

مهم‌ترین آنیون‌های موجود در آب، بی‌کربنات‌ها، سولفات‌ها، کلرورها و نیترات‌ها بوده 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 هست. واحدهای اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، برحسب میلی‌گرم بر لیتر (mg/L) و یا یک قسمت در یک‌میلیون قسمت (p.p.m) هست که اولی نسبت وزن به حجم و دومی نسبت وزن به وزن است و تقریباً معادل یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. یکی از واحدهای بسیار رایج دیگر میلی‌اکی والان در لیتر (meq/L) می‌باشد که از رابطه (۶) به‌دست می‌آید (علیزاده، ۱۳۸۹: ۸۱۶) (شکل‌های ۶ و ۷).

$$meq/L = D/W \qquad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن، D غلظت به میلی گرم در لیتر و W وزن معادل آنیون یا کاتیون می‌باشد.

از طریق رابطه (۷) می‌توان واحد اکی والان بر لیتر را به واحد گرم بر لیتر تبدیل نمود. به‌عنوان‌مثال برای تبدیل یک واحد اکی والان بر لیتر از کلر به یک واحد از گرم بر لیتر آن بایستی واحد مربوطه را در عدد ۳۵/۵ ضرب کنیم.

1- Root-mean-square
2- Electrical Conductivity

$$W=C/b \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن،W برابر وزن معادل؛ C ظرفیت و b جرم اتمی می‌باشد.

سختی کل آب یا TH[1]:

یکی دیگر از شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی، سختی آن می‌باشد که بر مبنای کربنات کلسیم مورد سنجش قرار می‌گیرد. بیشترین سختی آب مربوط به یون‌های کلسیم و منیزیم بوده و سختی کل برحسب میلی‌گرم بر لیتر از رابطه (۸) به دست می‌آید(علیزاده،۱۳۸۹:۸۱۸):

$$TH=2.497Ca^{++}+4.115Mg^{++} \quad \text{رابطه (۸)}$$

با توجه به درون‌یابی محاسبه‌شده برای این پارمتر، ملاحظه می‌شود(شکل ۷) که مقدار سختی کل در ناحیه شرقی در حدود ۹۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و در ناحیه میانی نیز سختی کل از حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ در نقاط مختلف در تغییر است. در قسمت کمی از ناحیه غربی سختی کل به ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد.(شکل ۸).

میزان PH

به درصد اسیدیته و قلیائیت آب pH اطلاق می‌شود. درجه اسیدیته یا قلیائیت آب بین ۰ و۱۴ متغیر است و عدد ۷ که حد وسط آن می‌باشد به معنی نقطه مرزی یا خنثی می‌باشد که به معنی این است که نه آب‌اسیدی نه قلیایی است. از نظر اسیدیته pH در آب شرب نباید از ۶/۵ کمتر یا از ۹/۲ بیشتر باشد، محدوده ۷ تا ۸/۵ برای آب شرب مطلوب است (علیزاده،۱۳۸۹:۸۱۷)(شکل ۹).

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، آورده شده است. تمامی این موارد را می‌توان با روش ارزیابی متقابل۲ به‌دست آورد که این ارزیابی با توجه به خطای RMS می‌باشد (فاضل‌نیا،۱۳۹۱: ۱۳۱) (ناس،۲۰۱۰: ۸). 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 (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۹). پس از رتبه‌بندی، وزن‌دهی و استانداردسازی لایه ها با توجه به توضیحات داده انجام گرفته است که نتایج در جدول (۲) آورده شده است. هم چنین در این

1- Total Hardness
1- Cross validation

جدول، حداکثر مجاز[1] و مطلوب[2] مواد شیمیایی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی از نظر مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران۳ (ISIRI) و استاندارد سازمان بهداشت جهانی[4] (WHO) به همراه حداکثر مجاز مواد معدنی و مدل های سمی وایوگرامی به کار رفته برای درون‌یابی به روش کریجینگ آورده شده است. در جدول (۳) میزان خطای RMS و RMSE و نیز میانگین خطای استاندارد برای پارامترهای کیفیت آب شـرب دشت اردبیل آورده شده است. در ادامه با اجرای درون‌یابی به روش کریجینگ با انواع مدل‌های سمی واریوگرامی برای پارامترها، لایـه‌های اولیه درون‌یابی شده در شـکل‌های ۴ تا ۹ نشان داده شده‌اند. در این اشکال توزیع فضایی پارامترها نمایش داده شده است.

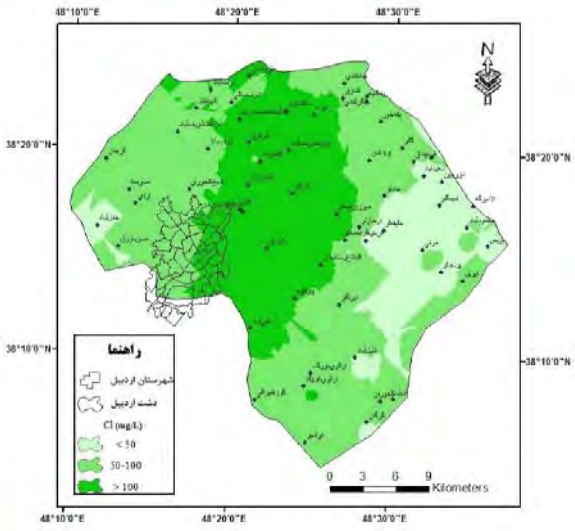
جدول (۲) حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی (ابعاد برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

پارامتر	WHO (2004) MCL	ISIRI (حد مطلوب)	ISIRI (MCL)	رتبه مستقیم	وزن اولیه	وزن استاندارد	مدل سمی واریوگرام	Mean	Median	SD	Skewness	Min	Max
pH	۸/۵-۶/۵	۸/۵-۶/۵	۶/۵-۹	۵	۲	۰/۰۹۵	J-Bessel	۷/۴۲	۷/۳	۰/۴۴	۰/۳۱	۶/۳	۸/۳
هدایت‌الکتریکی (µS/cm)	-	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۶	۱	۰/۰۴۷	Gaussian	۱۰۵۰/۹۳	۸۱۱	۷۶۳/۶۶	۱/۹	۶۵	۴۵۴۰
کلر (mg/L)	۲۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۳	۴	۰/۱۹۰	Hole effect	۷۷/۰۷	۶۰/۳۵	۵۳/۴۳	۱/۳	۱۰/۶۵	۲۴۴/۹۵
سولفات(mg/L	۲۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۴	۳	۰/۱۴۲	J-Bessel	۱۹۴/۷۷	۹۰/۷۲	۲۸۷/۷۸	۳/۱۶	۰	۱۷۷۶/۹۶
سختی کل	۲۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۱	۶	۰/۲۸۵	Rational Quadratic	۲۹۲/۵۷	۲۴۰	۱۸۷/۸۷	۱/۱	۵۵	۹۴۰
سدیم (mg/L)	-	۲۰۰	۲۰۰	۲	۵	۰/۲۳۸	Hole effect	۱۰۷/۹۳	۷۳/۶	۹۹/۹۵	۲/۶۹	۷/۸۲	۶۲۵/۶
مجموع				۶	۲۱	۱/۰۰۰							

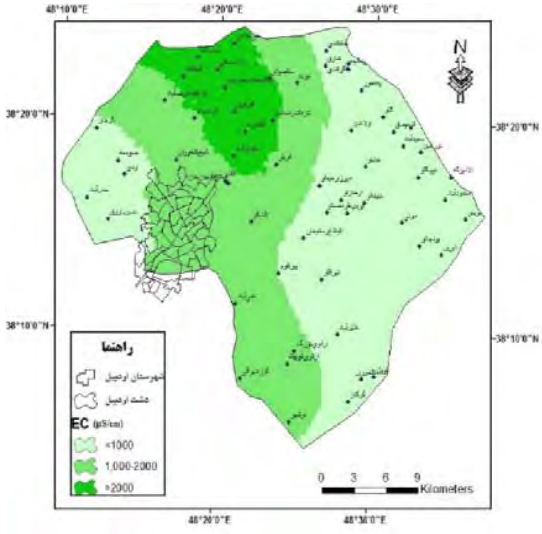
جدول (۳) پارامترها و مدل‌های انجام‌شده به همراه آماره‌های محاسبه و پیش‌بینی کیفیت آب شرب دشت اردبیل

پارامتر	خطای پیش‌بینی				
	Mean	Root-mean square	Average standard error	Mean standardized	Root-mean-square standardized
PH	-۰/۰۰۱	۰/۴۱۹	۰/۴۰۶	-۰/۰۰۳	۱/۰۴
هدایت الکتریکی	-۴۶/۵۱	۷۲۶/۱۱	۳۹۲/۲۱	-۰/۰۳	۱/۵۴
کلر	-۱/۰۲	۸۹/۲۱	۴۸/۱۵	-۰/۰۱	۰/۹
سولفات	-۱۳/۹۳	۲۴۴/۹۶۴	۱۸۴/۹۳	-۰/۰۹	۱/۸۱
سختی کل	-۲/۲۹	۱۳۶/۷۳	۱۰۹/۴۵	-۰/۰۱	۱/۲۰۶
سدیم	۸۳/۸۴	۸۸/۶	۷۸/۴۲	-۰/۰۳	۱/۰۲

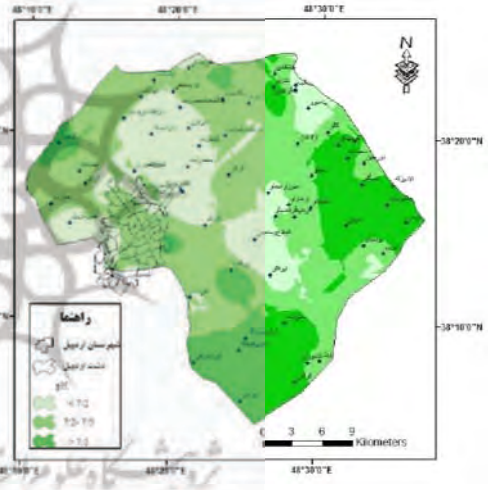
2- MCL=Maximum Contaminant Level
3- Acceptability
4- Institute of Standards and Industrial Research of Iran
5- World Health Organization



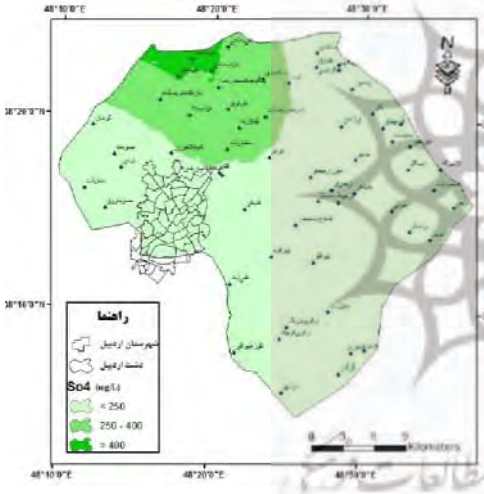
شکل (۴) نقشه تغییرات هدایت الکتریکی (EC)



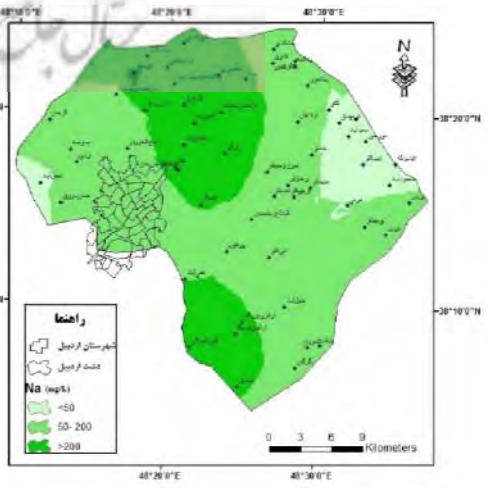
شکل (۵) نقشه تغییرات یون کلر(Cl)



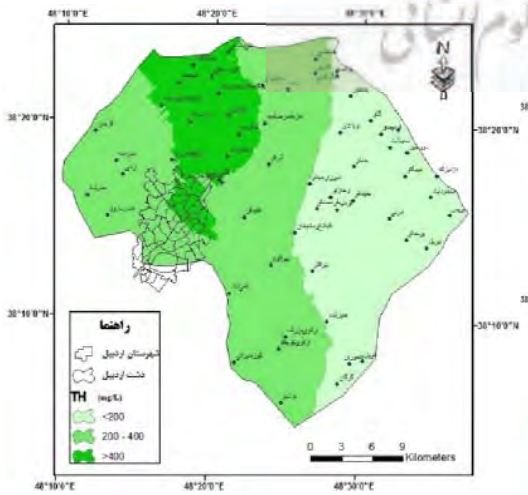
شکل (۶) نقشه تغییرات سولفات (SO4)



شکل (۷) نقشه تغییرات یون سدیم(Na)

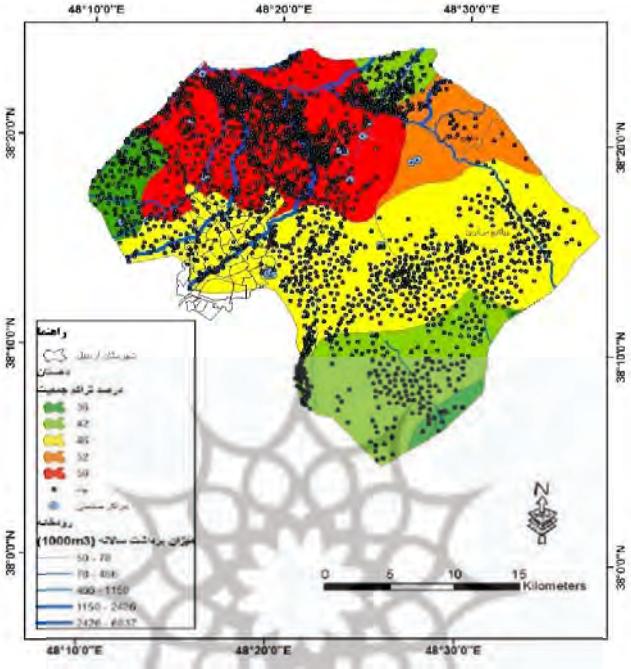


شکل (۸) نقشه تغییرات سختی کل(TH)



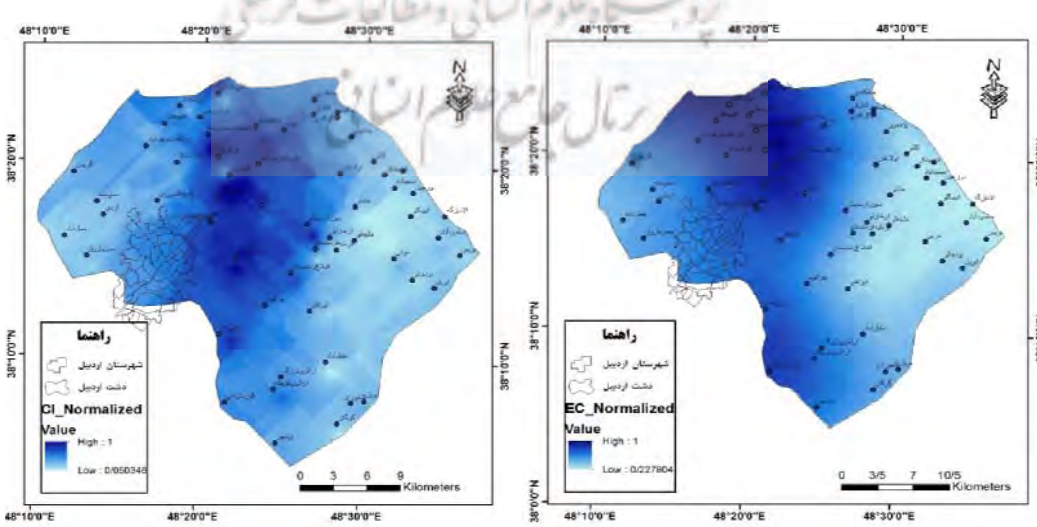
شکل (۹) نقشه تغییرات میزان اسیدیته (pH)

در شکل (۱۰) درصد تراکم جمعیت دهستان‌های موجود در سطح اردبیل به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. همچنین در این شکل، تراکم چاه‌های موجود در سطح دشت به همراه میزان برداشت سالانه آب از رودخانه‌های جاری در سطح دشت اردبیل نیز نشان داده شده است.



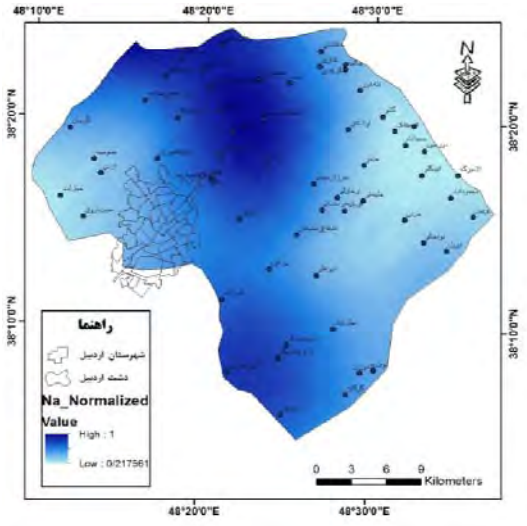
شکل (۱۰) نقشه تراکم جمعیت و تراکم چاه‌ها و میزان برداشت سالانه از رودخانه‌ها

پس از به‌دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی اولیه از طریق درونیابی، اقدام به استانداردسازی لایه‌ها با روش تقسیم بر حداکثر (به‌طوری که توضیح داده شد) شده که در شکل‌های (۱۱ الی ۱۶) آورده شده است:

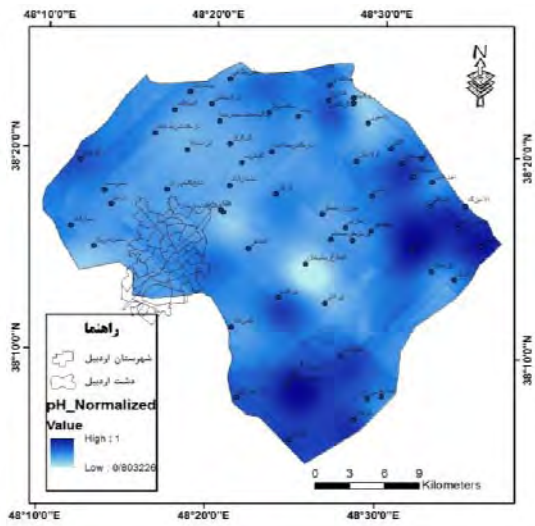


شکل (۱۱) نقشه استاندارد شده تغییرات کلر

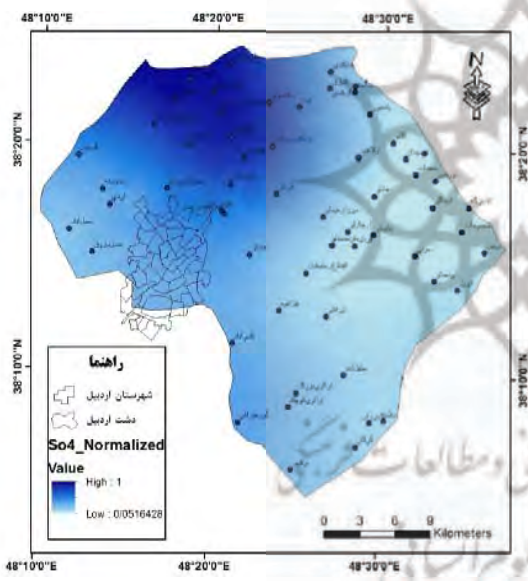
شکل (۱۲) نقشه استاندارد شده تغییرات هدایت الکتریکی



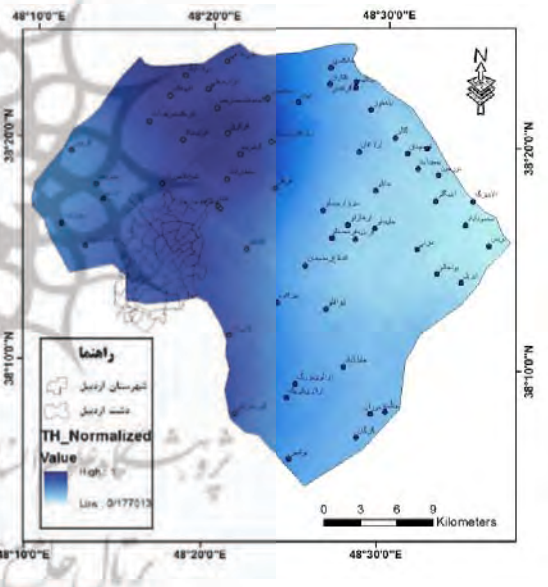
شکل (۱۴) نقشه استاندارد شده تغییرات اسیدیته



شکل (۱۳) نقشه استانداردشده تغییرات سدیم



شکل (۱۶) نقشه استاندارد شده تغییرات سختی کل

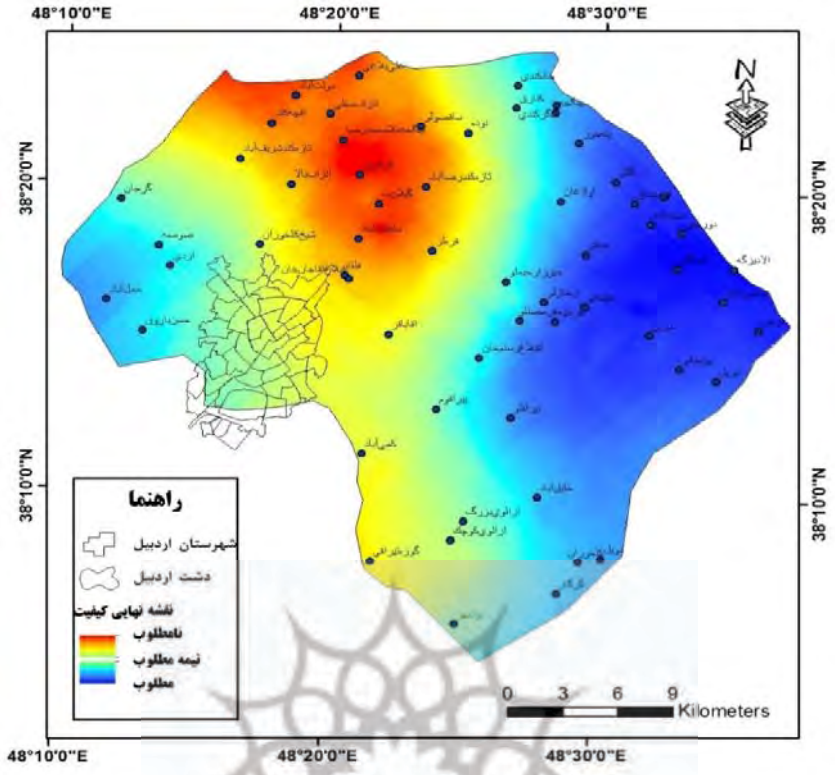


شکل (۱۵) نقشه استاندارد شده تغییرات سولفات

به منظور تهیه نقشه کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل از سه کلاس مختلف برای طبقه‌بندی پارامترها استفاده شده که در جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۴) طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی (ناس، ۲۰۱۰)

کیفیت	کلر	سولفات	سختی کل	هدایت الکتریکی	سدیم
خوب	<۵۰	<۲۵۰	<۲۰۰	<۱۰۰۰	<۵۰
متوسط	۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۴۰۰	۲۰۰-۵۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰-۲۰۰
ضعیف	>۱۰۰	>۴۰۰	>۵۰۰	>۲۰۰۰	>۲۰۰



شکل (۱۶) نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت آب شرب به روش SAW

پس از این‌که لایه‌های به‌دست آمده از درونیابی استانداردسازی شد، در نهایت با استفاده از روش وزن‌دهی جمعی ساده و تلفیق لایه‌ها در محیط GIS، نقشه نهایی پهنه‌بندی کیفیت با استفاده از پارامترهای مشخص شده و وزن داده شده به دست آمد که در شکل (۱۶) نشان داده شده است:

جدول (۵) وضعیت و تعداد روستاها از لحاظ وضعیت کیفیت آب شرب

نام روستا	وضعیت کیفیت آب شرب	تعداد	درصد تعداد
کرگان-دویل-کلخوران- خلیل‌آباد- تپراقلو- قره تپه- ایریل-یونجالو- مرنی- بریس- محمودآباد- ارخازلو- خلیفه لو-جابلو- آبی‌بیگلو- الادیزگه- دورجین- گللو- اولاغان- پته‌خور-ینگجه- سعیدآباد- قره چناق- قره‌حسنلو	مطلوب	۲۴	۴۱
کوزه تپراقی-کمی‌آباد- آقاباقر- حسن باروق- اردی- صومعه-گرجان	نیمه مطلوب	۸	۱۳
علی بلاغی- آقچه کند- انزاب سفلی-تازه کندرضاآباد- تازه‌کند شریف‌آباد- سلطان‌آباد- قلقا- گیلان‌ده-کرکرق - انزاب علیا- ینگجه ملا- دولت‌آباد-ساقصلو	نامطلوب	۱۳	۲۳
خانکندی- میرزارحیملو- پیراقوم- آرالوی بزرگ- آراللوی کوچک- نوشهر- حمل‌آباد- جگرکندی-کنازق- آقبلاغ رستم خان	مطلوب به سمت نیمه مطلوب	۱۰	۱۷
قره لر- نوده- شیخ کلخوران- آقبلاغ آقاجان خان	نیمه مطلوب به سمت نامطلوب	۴	۶

نتیجه‌گیری و بحث

نقشه نهایی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی قسمت شرقی و اندکی از قسمت غربی دشت اردبیل دارای کیفیت مطلوبی می‌باشند که ۳۴ درصد منطقه موردنظر را شامل می‌شود که تعداد ۲۴ روستا یا ۴۱ درصد روستاها در منطقه مطلوب کیفیت قرار دارند. تعداد ۸ روستا یا ۱۳ درصد روستاها در منطقه نیمه مطلوب و تعداد ۱۳ روستا یا ۲۳ درصد آنها در منطقه نامطلوب واقع شده‌اند. بر همین اساس، تعداد ۱۰ روستا که ۱۷ درصد روستاها را شامل می‌شود از کیفیت مطلوب به سمت کیفیت نیمه مطلوب در حال گذر هستند و تعداد۴ روستا یا ۶ درصد روستاها در حال گذر از حالت نیمه مطلوب به سمت نامطلوب می‌باشند. هم‌چنین هرچه به سمت جنوب و شمال غربی دشت می‌رویم از کیفیت آب زیرزمینی به‌شدت کاسته می‌شود و کیفیت بسیار پایین آب زیرزمینی در منتهی‌الیه قسمت جنوب غربی دشت واقع‌شده است که ۱۲ درصد منطقه مطالعاتی را در بر می گیرد. با توجه به شکل شماره ۱۰ که تراکم چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، میزان برداشت سالانه از رودخانه‌های جاری در سطح دشت اردبیل (بر حسب هزار مترمکعب در سال)، تراکم جمعیت و مناطق صنعتی در سطح دشت اردبیل را به نمایش می‌گذارد، 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 برای تأمین نیاز شرب مصارف شهری و روستایی چیزی در حدود ۳۲ ملیون مترمکعب در سال آب نیاز می‌باشد که تأمین این نیاز می‌تواند آسیب جدی به کیفیت آب‌های زیرزمینی این ناحیه داشته باشد.

۵۴ درصد منطقه مطالعاتی دشت اردبیل دارای کیفیت آب شرب نیمه‌مطلوبی می‌باشند که بیشترین کاربری اراضی آبی در این نواحی واقع شده است و نیاز به برداشت از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی دارند، به‌نظر می‌رسد در آینده دچار افت کیفیت خواهند شد. با توجه به موقعیت شهرستان اردبیل مشاهده می‌شود که آب زیرزمینی موجود در این قسمت دارای کیفیت متوسطی می‌باشد که حاکی از وجود صنایع و به‌ویژه قرار گرفتن دو شهرک صنعتی شماره ۱ و شماره ۲ در بالادست و پایین دست این شهرستان می‌تواند باشد. به‌تدریج به سمت مرکز و بخش میانی و جنوبی دشت به علت مساعد بودن شرایط کشاورزی ازنظر ارتفاع و زمین‌شناسی، برداشت از آب زیرزمینی زیاد بوده و کیفیت آب تنزل پیداکرده است. در ناحیه جنوب غربی و شمال غربی (خروجی دشت) به‌علت مجاورت با سازند گچدار، وجود جریان سطحی، تراکم بالای چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، شستشوی اطراف و نیز چشمه‌های آب‌معدنی، کیفیت آب کاهش شدیدی یافته است.

منابع

ـ اصغرپور، محمدجواد (۱۳۹۲)، **تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره**، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ یازدهم.

ـ پوربایرامیان، سهیلا؛ اسپهبد، محمدرضا (۱۳۹۱)، **ارزیابی تغییرات کیفی آبخوان دشت اردبیل با نگرشی ویژه بر تأثیر کاهش پتانسیل آب زیرزمینی بر شوری**، فصلنامه زمین، سال هفتم، شماره ۲۴. ۴۵-۲۷.

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

ـ خلیل‌پور، احمد (۱۳۸۱)، **بررسی روند کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت قم و تأثیر آن بر بیابانزایی منطقه**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

ـ رزمجویی، شهرام (۱۳۸۷)، **شناسایی و تحلیل هوای شهرستان اردبیل**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا. دانشگاه محقق اردبیلی.

ـ زهتابیان، غلامرضا، جان‌افزا، عنایت‌الله، محمدعسگری، حسین و نعمت‌اللهی، محمدجواد (۱۳۸۹)، **مدل‌سازی تغییرات مکانی بعضی خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی گرمسار**، مجله تحقیقاتی مرتع و بیابان ایران، ۱۷، صص ۷۳-۶۱.

ـ دانشور وثوقی، فرزاد؛ دین پژوه، یعقوب (۱۳۹۱)، **بررسی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش اسپیرمن**، نشریه محیط‌شناسی، سال ۳۸، شماره ۴، صص ۲۹-۴۴.

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

ـ عساکره، حسین (۱۳۸۷)، **کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، مطالعه موردی: میان‌یابی بارش**، فصلنامه جغرافیا و توسعه. ۱۲، صص ۲۵-۴۲.

ـ علیزاده، امین (۱۳۸۹)، **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ بیست و هشتم.

ـ فاضل‌نیا، غریب (۱۳۹۱)، **راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS در برنامه‌ریزی شهری، روستایی و محیطی**، انتشارات آزادپیما، جلد اول.

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

ـ مالچوفسکی، یاچک (۱۳۹۰)، **سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری**، اکبر پرهیزگار؛ عطا غفاری گیلانده، چاپ دوم، انتشارات سمت.

ـ معروفی، صفر، ترنجیان، امین. و زارع ابیانه، حمید (۱۳۸۸)، **ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای همدان- بهار**، مجله پژوهش‌های حفاظت، آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۶. صص ۱۶۹-۱۷۸.

ـ مهدوی، محمد (۱۳۸۵)، **هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم.

ـ نظری‌زاده، فرزاد؛ ارشادیان، بهناز و زند وکیلی، کامران (۱۳۸۵)، **بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان**، اولین همایش منطق‌های بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد.

ـ هاشمی، سیدابراهیم؛ موسوی، سیدفرهاد؛ طاهری، سیدمحمود و قره‌چاهی، عباس (۱۳۸۹)، **ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ۹ شهر استان اصفهان برای مصارف شرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی**، فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران ۶، صص ۳۴-۲۵.

-Asif, M., Waqas, M., Muhammad, W.M. Farooq, A. (2011), **Application of multivariate statistical techniques for the characterization of groundwater quality of Lahore, Gujranwala and Sialkot (Pakistan).** Pak. J. Anal. Environ. Chem. Vol. 12, No. 1, pp 102-112.

-Almasri, M N. jagath j. kaluarachchi, (2007), **Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds**. Journal of Hydrology, 343: 211-229.

-Belton, V & Gear,T. (1997), O**n the meaning of relative importance**. Journal of MultiCriteria Decision Analysis.6 (6); pp 335-338.

-Chang, H. (2004), **Water quality impacts of climate and land use changes in shoutheastern Pennsylvania, the Professional Geographer**. 56 (2): pp 240-257.

-Davis, A., J.H., Kempton, & A., Nicholson (1994), **Groundwater transport of arsenic and chromium at a historical tannery,** Applied Geochemistry, Vol. 9, pp. 569-582.

-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: pp 939-948.

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

-Jalili, M. (2007), **Assessment of the chemical components of Famenin groundwater, western Iran**. Environmental Geochemistry and Health, 29(5): 357-374.

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

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

-Sahasrabuddhe, K, Mahabaleshwarkar, M, Joshi, J, Kanade, R, Goturkar, S, Oswal, P, and Patwardhan, A . (2003), **Changing status of urban water bodies and associated health concern in Pune, India**, Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health, York University, pp 339-345.

-Sikdar. PK, Chakraborty. S, et al. (2004), **Land use/land cover changes and groundwater potential zoning in and around Raniganji coal mining area, Bardhaman District**, West Bengal- a GIS and remote sensing approach, J Spatial Hydrol, 4 (2): pp 1-24.