

پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش WQI و روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سیلوه)

مجتبی دولت کردستانی^۱، احمد نوحه‌گر^{۲*}، سعید جانی‌زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲۹

چکیده

یکی از عوامل مهم در توسعه پایدار، فراهم بودن منابع آب مناسب برای مصارف مختلف است که وضع کیفی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه مدیریت منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بازی می‌کند. بررسی تغییرات مکانی شاخص کیفیت آب (WQI) زیرزمینی و تعیین مناسب‌ترین راهکارهای مدیریتی اهمیت ویژه‌ای دارد. روش‌های زمین‌آمار و نرم‌افزار ArcGIS می‌توانند در این راستا ابزار مفیدی باشند. هدف از این مقاله، پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت در حوزه آبخیز سیلوه (استان آذربایجان غربی) است. در بخش شرب پارامترهای pH, TDS, Cl, Ca, Mg, HCO₃, K, Na و SO₄، در بخش کشاورزی پارامترهای SSP, EC و Cl و در بخش صنعت پارامترهای pH, TDS, Cl, TH و SO₄ بررسی شدند. برای انجام این مطالعه، ابتدا شاخص کیفیت آب برای ۱۴۵ نقطه نمونه‌برداری شده محاسبه شد. سپس برای پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب در بخش شرب و کشاورزی از روش زمین‌آمار RBF و در بخش صنعت از روش Kriging به دلیل کمترین میزان RMSE استفاده شد. نتایج نشان داد که ۱۰۰ درصد سطح منطقه برای مصرف شرب مناسب طبقه عالی، در بخش کشاورزی ۳۶/۹۴ درصد سطح منطقه، طبقه عالی و ۶۳/۰۴ درصد طبقه خوب و در بخش صنعت ۱۶/۹۱ درصد منطقه، طبقه عالی و ۸۳/۰۹ درصد طبقه خوب قرار دارند. بدین ترتیب با توجه به نتایج، در هیچ‌یک از مصارف مختلف محدودیت استفاده وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، زمین‌آمار، حوزه آبخیز سیلوه، شاخص کیفیت آب.

۱. دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، راتبه دانشگاه جیرفت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت

۲. استاد گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران؛ nohegar@ut.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

مقدمه

توان اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی یک منطقه برای کاربری‌های عمده و کلان، متأثر از کمیت و کیفیت آب‌هاست. از این رو، به روش‌های مناسب آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد بررسی کیفی و کمی قرار گرفته‌اند تا از نتایج آن در ارزیابی توان سرزمین استفاده شود (ماهینی و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از عوامل مهم در پایداری توسعه منطقه، فراهم بودن منابع آب مناسب برای مصارف مختلف است که وضع کیفی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. در مدیریت یکپارچه منابع آب، حفظ کیفیت آب به‌ویژه در مناطقی که با محدودیت نسبی آب مواجه‌اند، به‌عنوان یکی از ارکان برنامه‌ریزی مطرح است (اکبال^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی کیفیت آب مورد بررسی قرار گرفته‌اند که از میان آن‌ها شاخص کیفیت آب (WQI^۲) یکی از روش‌های بسیار پرکاربرد است (بابایی و همکاران، ۲۰۰۸). در شاخص کیفیت آب، داده‌های چندین متغیر کیفی آب در یک رابطه ریاضی که با یک عدد میزان سلامتی آب را نشان می‌دهد، شرکت داده می‌شوند (فولازاکی^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). با استفاده از این شاخص می‌توان داده‌ها و اطلاعات تخصصی کارشناسان را به اعداد ساده‌تر، کلی‌تر و قابل استفاده در تصمیم‌گیری‌های مدیران تبدیل کرد (بابایی و همکاران، ۲۰۰۸).

امروزه آب زیرزمینی در بیشتر مناطق جهان از اهمیت بسیار زیادی در جهت تأمین آب شیرین برخوردار است. افزایش جمعیت و در نتیجه آن افزایش بهره‌برداری از این منابع ارزشمند باعث شده است که نه تنها کمیت منابع آب زیرزمینی کاهش یابد، بلکه کیفیت این منابع نیز تحت تأثیر قرار گیرد. بنابراین، با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی، استفاده بهینه از این منابع، مورد توجه محققان قرار گرفته است. پیشرفت‌های اخیر در معرفی و بسط روش‌های غیرکلاس یک باعث افزایش تمایل برای استفاده از زمین‌آمار به‌منظور بررسی و شناخت بیشتر این تغییرات شده است (چاندراسخارانا^۴ و

همکاران، ۲۰۰۹). زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است که قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در مکانی که نمونه‌برداری نشده، با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده است. زمین‌آمار در بیان کمی تغییرات مکانی و زمانی متغیرها یک ابزار قدرتمند به حساب می‌آید (فلپیو^۵ و همکاران، ۲۰۰۷). با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان مقادیر عظیمی از داده‌ها را با سرعت زیاد و هزینه بسیار کم، نگهداری و بازیابی کرد. همچنین استفاده از GIS، امکان تحلیل‌های زمین‌آمار را برای کاربر فراهم می‌کند (احمدی و سدغمیزا^۶، ۲۰۰۸). مطالعات گسترده‌ای درباره کاربرد زمین‌آمار و شاخص کیفیت آب در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دنیا و ایران صورت گرفته که از جمله می‌توان به مطالعات محققان زیر اشاره کرد:

ریبو-آریاس^۷ و همکاران (۲۰۱۲) در مکزیکوسیتی، اندازه‌گیری پارامترهای نیتروژن، فلوئور، کلر، فسفر و pH را به‌صورت ماهانه از ده ایستگاه در دو عمق ۱ و ۲ متری انجام دادند. نتایج نشان داد که شاخص WQI به‌دست‌آمده آب خوب ولی متغیر بود، بنابراین این آب برای شرب قابل اطمینان نبوده و نیاز به تصفیه پیشرفته داشت. ایشاکو^۸ (۲۰۱۱) به‌منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه جمیتی-یولا^۹ در شمال شرق نیجریه تحقیقی انجام داد. شاخص WQI نشان داد که در فصل خشک نسبت به فصل تر دارای مقدار شاخص کمتری است و این نشان از کیفیت بهتر منابع آب دارد. جمشیدزاده و میرباقری (۲۰۱۱) در ارزیابی کمیت و کیفیت برای مطالعه کیفیت آب زیرزمینی، عواملی نظیر EC، TH، TDS، و pH را آنالیز کردند و مقایسه نتایج با کیفیت استاندارد آب شرب توسط سازمان بهداشت جهانی نشان داد که در اکثر نمونه‌ها آب قابل شرب نیست. رضا و سینگ (۲۰۱۰) به ارزیابی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی منطقه Orissa پرداختند و اعلام

5. Flipo
6. Ahmadi & Sedghamiz
7. Rubio-Arias
8. Ishaku
9. Jimeta-Yola

1. Akbal
2. Water Quality Index
3. Fulazzaky
4. Chandrasekharana

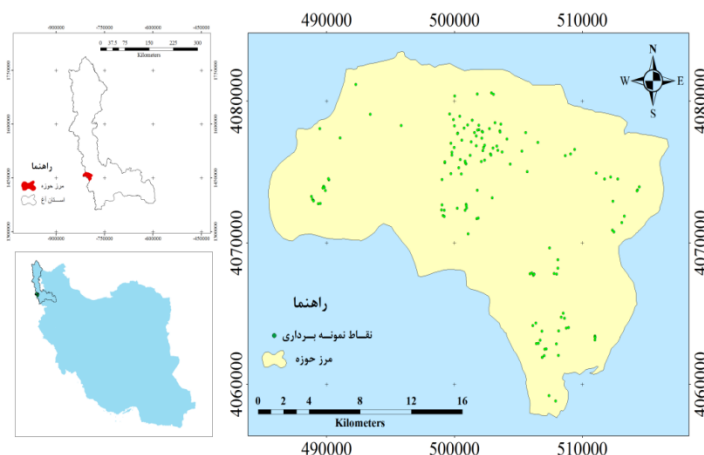
پرداختند. نتایج شاخص WQI نشانگر کاهش کیفیت آب چاه‌نیمه‌ها بوده است. بر اساس این شاخص اکثر نمونه‌های آب در محدوده خوب تا ضعیف قرار گرفتند. بنابراین این مطالعه در تلاش است تا ضمن مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی و تعیین بهترین روش پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، تغییرات مکانی توزیع آب زیرزمینی را در حوزه آبخیز سیلوه برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) پهنه‌بندی کند. در بیشتر مطالعات مورد بررسی یا از شاخص کیفیت آب و یا از روش‌های زمین‌آمار استفاده شده است، درحالی‌که در تحقیق حاضر از تلفیق این دو روش استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

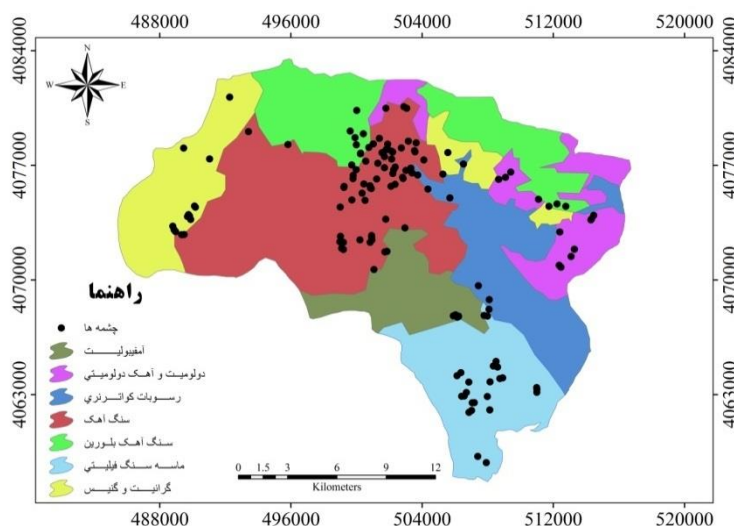
حوزه آبخیز سیلوه در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان پیرانشهر واقع در استان آذربایجان غربی است. موقعیت جغرافیایی آن بین طول‌های جغرافیایی $44^{\circ} 57' 02''$ و $45^{\circ} 11' 33''$ و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 40' 02''$ و $36^{\circ} 53' 50''$ است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالیانه حوضه که بیشتر در فصل زمستان و به شکل برف است، ۶۵۰ میلی‌متر، حداقل و حداکثر درجه‌حرارت سالیانه به ترتیب $7/ -$ و $4/ 31$ درجه سانتی‌گراد است. دامنه ارتفاعی از ۱۴۰۰ تا ۳۲۵۴ متر بالاتر از سطح دریاست. منطقه مورد مطالعه دارای مساحتی معادل $42615/78$ هکتار است (اسدی و همکاران، ۲۰۱۳). این حوضه تنوع لیتولوژی بسیاری دارد (شکل ۲).

بیش از ۶۵ درصد حوضه را سنگ‌های آهک، آهک دولومیتی و دولومیت می‌پوشاند که منابع با کیفیت آب محسوب می‌شوند. در این تحقیق برای پهنه‌بندی کیفیت آب بر اساس روش WQI برای مصارف مختلف شرب (pH، TDS، Ca ، Cl ، HCO_3 ، Mg ، K ، Na و SO_4)، کشاورزی (EC، SSP و Cl) و صنعت (pH، TDS، Cl ، TH و SO_4) از ۱۴۵ نقطه (چشمه) از سطح حوضه که نماینده منطقه مورد مطالعه بودند، نمونه‌برداری شد؛ این نمونه‌برداری در تیرماه سال ۱۳۹۱ انجام شد. سپس برای اندازه‌گیری پارامترها، نمونه‌ها به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل و آزمایش شدند و پارامترهای مذکور اندازه‌گیری گردید.

کردند که بر اساس شاخص WQI، آب زیرزمینی این ناحیه تأثیرپذیری زیادی از غلظت املاح محلول (فلوئور، نترات، کلسیم و منیزیم) دارد. افضلی و شاهدی (۲۰۱۴) تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۶ و تغییرات عوامل کیفی شامل K ، HCO_3 ، CL ، EC ، TH ، TDS ، SO_4 ، Mg ، Na و pH در ابتدا و انتهای دوره مذکور در محیط ArcGIS در بخشی از دشت آمل - بابل را بررسی کردند و روند تغییرات هر یک از عوامل کیفی با استفاده از آزمون من-کندال تعیین شد. نتایج تحقیق بیانگر کاهش ناچیز سطح آب زیرزمینی و بهبود وضعیت کیفی آب زیرزمینی در منطقه یادشده است. جاوید و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی وضعیت کیفی آب دریاچه سد دز با استفاده از شاخص WQI و TSI پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین و بهترین شاخص کیفی آب مخزن با مقدار ۶۱ برای وسط مخزن در دی ماه و کمترین آن در ایستگاه ورودی به مخزن در فروردین‌ماه است. آن‌ها این شاخص را برای تعیین وضعیت کیفی آب مناسب ارزیابی کردند. شعبانی (۲۰۱۰) در ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها به این نتیجه رسید که در بین روش‌های معین، روش RBF برای تهیه نقشه تغییرات شوری و تغییرات نترات در منطقه مناسب است. سپس از مقایسه دو روش کریجینگ و RBF روش کریجینگ را انتخاب کرد. عسکری و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت قزوین به‌وسیله تحلیل‌های زمین‌آمار و GIS به این نتیجه رسیدند که روش RBF نسبت به روش‌های درون‌یابی دیگر نتایج برتری نشان داده است. سابقه مطالعات، نشان از توانایی و کارایی بالای روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی کیفیت و مناسب بودن روش WQI برای بررسی آب‌های زیرزمینی دارد. حوزه آبخیز سیلوه در استان آذربایجان غربی به دلیل تعدد چشمه در این منطقه به‌عنوان حوضه مورد مطالعه تعیین شد و چون از آب چشمه‌ها برای مصارف مختلف به‌صورت محدود استفاده می‌شود، لزوم بررسی کیفیت آب آن‌ها در دستور کار قرار گرفت. حسینی و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی کیفیت آب سطحی و مخازن چاه‌نیمه استان سیستان بلوچستان با استفاده از شاخص WQI



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان آذربایجان غربی
Figure (1): Location of study area in Iran and West Azarbaijan province



شکل (۲): نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه
Figure (2): Lithology map of the study area

توسط سازمان‌های ذی‌صلاح (سازمان استاندارد ملی ایران، شرکت مدیریت منابع آب ایران).

$$qi = (Ci/Si) * 100 \quad (1)$$

در این رابطه، qi زیرشاخص آلودگی برای متغیر کیفیت آب، Ci میزان متغیر در هر نمونه و Si استاندارد سازمان‌های ذی‌صلاح برای متغیر مربوط است.

ب. تعیین فاکتور وزن Wi برای هریک از متغیرهای کیفیت آب بر اساس اهمیت نسبی آن متغیر بر کیفیت کلی آب (ماهینی و همکاران، ۲۰۱۳؛ واسانتاویگار و همکاران، ۲۰۱۰؛ پوار و همکاران، ۲۰۱۴؛ راولیکومار^۳ و همکاران، ۲۰۱۳).

در این تحقیق سعی بر آن است که روش‌های مختلف درونیابی با هم مقایسه شوند و بهترین روش انتخاب گردد تا بر اساس آن، نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص WQI تهیه شود. در ابتدا شاخص WQI برای کل نقاط نمونه‌برداری محاسبه شد. روش محاسبه این شاخص شامل مراحل زیر است (واسانتاویگار^۱ و همکاران، ۲۰۱۰؛ پوار^۲ و همکاران، ۲۰۱۴):

الف. محاسبه زیرشاخص آلودگی (qi) برای هر متغیر کیفیت آب با تقسیم میزان آن متغیر بر استاندارد تعیین‌شده

3. Ravikumar

1. Vasanthavigar
 2. Pawar

ج. ضرب هر زیرشاخص آلودگی در فاکتور وزنی مربوط $WQI = \sum SI_i$ (۳)
به آن و محاسبه Si :
کیفیت آب بر اساس شاخص WQI مطابق جدول (۱)

$$Si = Wi * qi \quad (۲)$$

د. محاسبه جمع وزنی زیرشاخص‌ها و ایجاد شاخص نهایی WQI:

جدول (۱): طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص WQI

Table (1): Water quality classification based on WQI index

کیفیت آب	عالی	خوب	ضعیف	بسیار ضعیف	نامناسب
WQI	کمتر از ۵۰	۵۰ تا ۱۰۰	۱۰۰ تا ۲۰۰	۲۰۰ تا ۳۰۰	بیشتر از ۳۰۰

تخمین‌گر موضعی دارد. در این تحقیق از تخمین‌گر عام با توان‌های ۱ تا ۳ استفاده گردید و تخمین‌گر با خطای کم به منظور پهنه‌بندی استفاده شد.

روش توابع شعاعی (RBF⁴): تابع شعاعی تابعی به صورت $\Phi_j(X) = \Phi(X - X_j)$ می‌باشد که وابسته به فاصله بین $x = R^d$ و نقطه ثابت $X_j \in R^d$ است. در این تابع Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\Omega \in R^d$ می‌باشد. R نشان‌دهنده فاصله اقلیدوسی بین هر جفت نقطه در مجموعه Ω است. این روش دارای ۵ تابع کرنال (Completely Regularized Spline, Spline With Tension, Multiquadric, Inverse Multiquadric, Thin Plate Spline) می‌باشد که تابع دارای کمترین مقدار RMSE انتخاب شد.

روش کریجینگ^۵: کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین‌گر خطی نارایب است^۶ (ناس^۷، ۲۰۰۹). در صورتی که $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i) ، مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه (x_0) از ترکیب خطی (۵) است:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (۵)$$

که در آن، λ_i وزن داده شده به متغیر x در نقطه i و n تعداد نقاطی که متغیر در آن‌ها اندازه‌گیری شده است. لین نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند؛ زیرا ترکیب خطی از

بعد از محاسبه شاخص کیفیت آب، برای پهنه‌بندی کیفیت آب در کل سطح منطقه، از روش‌های زمین‌آمار استفاده شد. روش‌های زمین‌آمار مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر است (حسنی پاک، ۱۹۹۸):

روش عکس فاصله (IDW¹): در این روش مقدار فاکتور وزنی (λ_i) با استفاده از معادله (۴) محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-a}} \quad (۴)$$

که در آن، D_i فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه i و a تعداد نقاط مشاهده شده است. این روش دارای توان‌های مختلف است که در این تحقیق توان ۱ تا ۳ استفاده گردید و توان دارای کمترین خطا استفاده شد.

روش تخمین‌گر موضعی (GPI²): این روش یک مدل رگرسیونی چندمتغیره بر اساس تمامی داده‌ها ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه‌برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چندضلعی با توان یک، دو یا چهار باشد. این روش نیز دارای توان‌های مختلف است؛ در این تحقیق از تخمین‌گر موضعی با توان‌های ۱ تا ۳ استفاده گردید و تخمین‌گر با خطای کم به منظور پهنه‌بندی استفاده شد.

روش تخمین‌گر عام (LPI³): این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد، بدین گونه که پنجره حرکت کرده و مقادیر سطحی در مرکز هر پنجره در هر نقطه به وسیله برازش یک چندضلعی تخمین زده می‌شود. این روش انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به روش

4. RBF: Radial Basis Function

5. Kriging

6. Best Linear Unbiased Estimator

7. Nas

1. IDW: Inverse Distance Weighting

2. GPI: Global Polynomial Interpolation

3. LPI: Local Polynomial Interpolation

تکرار می‌شود و در پایان به‌ازای هر نقطه مشاهده‌ای یک نقطه برآورد وجود خواهد داشت. در نهایت با استفاده از بهترین روش زمین‌آماري با کمترین میزان RMSE پهنه‌بندی کیفیت آب برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت با استفاده از طبقات مختلف شاخص کیفیت آب انجام شد.

نتایج

استفاده از روش‌های زمین‌آماري مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌هاست و شرط استفاده از آن نرمال بودن داده‌هاست. پارامترهای pH، Cl، Na، SO₄ در این تحقیق با توجه به هیستوگرام داده‌ها نرمال نبودند و دارای چولگی بودند که با گرفتن لگاریتم از داده‌ها نرمال شدند. بقیه پارامترها نرمال بودند. برخی از خصوصیات آماری جامعه آماری در جدول (۲) آورده شده است.

داده n است. شرط استفاده از لین روش نرمال بودن متغیر است (الیاس آذر، ۱۳۸۱).

برای ارزیابی روش‌های زمین‌آماري و انتخاب بهترین روش از نرم‌افزار ArcGIS که توانایی انجام تکنیک ارزیابی متقابل و معیار آماری ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) را دارد، استفاده شد که به صورت معادله (۶) محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2} \quad (6)$$

که در آن، $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآوردشده در نقطه x_i ، مقدار $Z(x_i)$ اندازه‌گیری شده در نقطه x_i ، شماره نقاط، و n تعداد نقاط مشاهده شده است. سیسکا و کویی هانگ (۲۰۰۱)، RMSE را پارامتر مهمی برای نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS و RS می‌دانند. در لین روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌گردد. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای

جدول (۲): نتایج آنالیز آماری پارامترهای مورد بررسی

Table (2): Results of statistical analysis of the parameters studied

متغیر مورد بررسی	تعداد نمونه	حدافل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	میانه
pH	۱۴۵	۱/۹۳	۲/۱۴	۲/۰۲	۰/۰۳	۰/۴۶	۴/۵	۲/۰۲
TDS (mg/l)	۱۴۵	۵۳	۲۷۵	۱۶۳/۸۳	۳۹/۶۶	-۰/۰۷	۳/۴۳	۱۶۴
Cl (mg/l)	۱۴۵	۱/۹۵	۳/۲۱	۲/۵۷	۰/۱۸	۰/۱۷	۳/۳۹	۲/۶۵
Ca (mg/)	۱۴۵	۸/۰۱	۷۶/۱۵	۴۵/۲۷	۱۳/۲	-۰/۳۷	۳/۱۷	۴۸/۰۹
Mg (mg/l)	۱۴۵	۰	۵۸/۳۶	۱۸/۹۷	۱۱/۲۸	۰/۵۱	۲/۹۲	۱۷/۰۲
TH (mg/l)	۱۴۵	۸۰	۳۰۰	۱۹۰/۹۷	۴۶/۷۹	۰/۲۴	۲/۵۷	۱۹۰
Na (mg/l)	۱۴۵	۲/۴۹	۵/۵۳	۳/۷۱	۰/۵	۰/۴۲	۳/۷۲	۳/۶۸
SO ₄ (mg/l)	۱۴۵	۰/۷۳	۶/۰۳	۳/۷	۱/۱۵	-۱/۰۸	۴/۴۷	۳/۹۴
HCO ₃ (mg/l)	۱۴۵	۳/۰۵	۲۳۵/۵۴	۹۵/۶۵	۴۹/۶۷	۰/۵۳	۲/۹۲	۸۸/۴۷
K (mg/l)	۱۴۵	۱۱/۴۹	۴۹/۳۴	۱۲/۴۲	۳/۴۷	۸/۸۱	۹۰/۲۷	۱۱/۸
SSP	۱۴۵	۱۰/۲۴	۸۳/۳۸	۳۳/۲۵	۱۱/۸۹	۱/۱۹	۵/۰۲	۳۰/۸۹
EC (umhos/cm)	۱۴۵	۱۰۶	۵۴۰	۳۲۶/۶۷	۷۷/۴۸	۰/۱۹	۳/۲۷	۳۲۷

کل نمونه‌ها برای مصرف شرب در طبقه عالی قرار گرفتند. در بخش کشاورزی (شکل ۴) به صورت پراکنده در سطح حوضه، نمونه‌ها در دو طبقه عالی و خوب قرار گرفتند. در بخش صنعت بیشتر نمونه‌ها در طبقه خوب قرار گرفتند (شکل ۵).

در ادامه، ابتدا استانداردهای کیفیت آب شرب (جدول ۳) و وزن نسبی (جدول ۴) متغیرهای مورد بررسی تعیین و سپس شاخص کیفیت آب برای کل نمونه‌ها به صورت جداگانه برای مصارف مختلف محاسبه شد که نتایج آن در اشکال ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳)

جدول (۳): استانداردهای کیفیت آب شرب، کشاورزی و صنعت در ایران

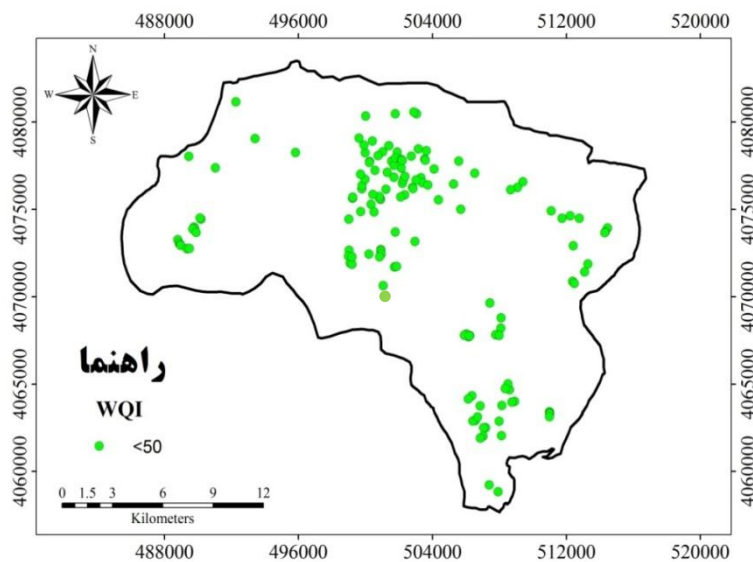
Table (3): Quality standards for drinking water, agriculture and industry in Iran

شرب (میلی‌گرم بر لیتر)									
pH	TDS	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	متغیر
۷/۵	۱۵۰۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۲	۲۰۰	۱۵۰	۲۰۰	مقدار استاندارد
صنعت					کشاورزی				
SO ₄	TH	Cl	TDS	pH	Cl	EC	SSP	متغیر	مقدار استاندارد
۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۷/۵	۱۵	۷۵۰	۴۰		

جدول (۴): وزن نسبی متغیرهای کیفیت آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت

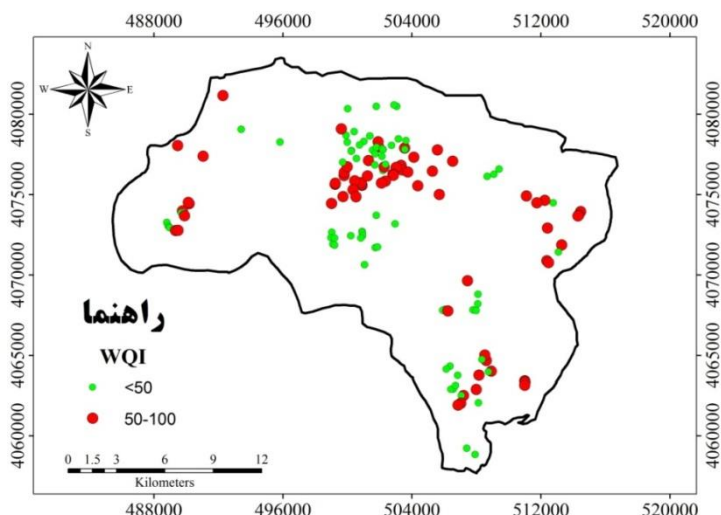
Table (4): Relative weight of water quality variables for drinking, agricultural and industrial uses

شرب									
pH	TDS	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	متغیر
۴	۴	۳	۴	۱	۱	۲	۲	۳	وزن
۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۲۵	۰/۱۶۶۷	۰/۰۴۱۷	۰/۰۴۱۷	۰/۰۸۳۳	۰/۰۸۳۳	۰/۱۲۵	وزن نسبی (Wi)
صنعت					کشاورزی				
SO ₄	TH	Cl	TDS	pH	Cl	EC	SSP	متغیر	وزن
۱	۲	۱	۲	۱	۱	۲	۲	۲	وزن نسبی (Wi)
۰/۱۴۲۹	۰/۲۸۵۷	۰/۱۴۲۹	۰/۲۸۵۷	۰/۱۴۲۹	۰/۲	۰/۴	۰/۴		



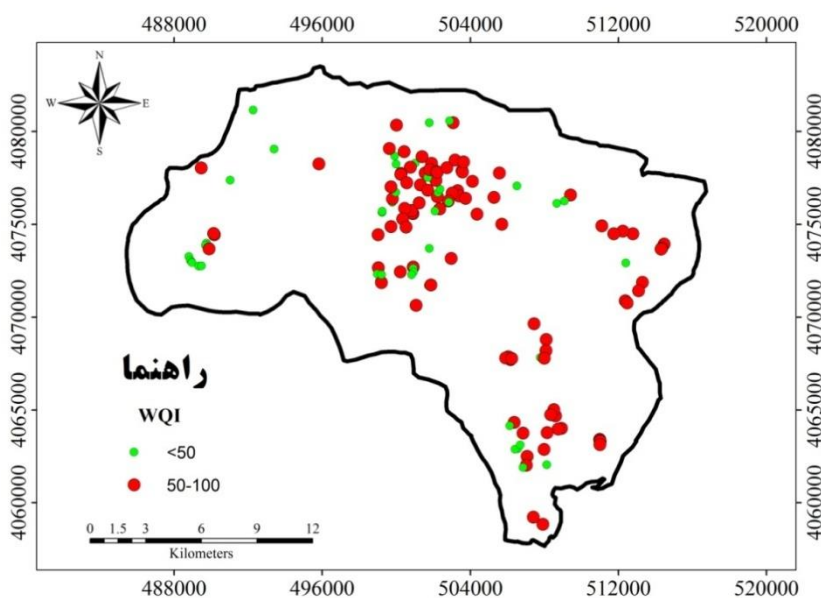
شکل (۳): مقادیر شاخص کیفیت آب برای مصرف شرب

Figure (3): Water quality index for drinking



شکل (۴): مقادیر شاخص کیفیت آب برای مصرف کشاورزی

Figure (4): Water quality index for agricultural consumption



شکل (۵): مقادیر شاخص کیفیت آب مصرف صنعت

Figure (5): Indicators of water quality index for industry consumption

در ادامه، بعد از تعیین شاخص کیفیت آب برای کل بودن مقادیر WQI برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت نمونه‌ها و بررسی خصوصیات آماری (جدول ۵) و نرمال از روش‌های زمین‌آماری برای پهنه‌بندی استفاده شد.

جدول (۵): نتایج آنالیز آماری شاخص کیفیت آب (WQI)

Table (5): Statistical Analysis of Water Quality Index (WQI)

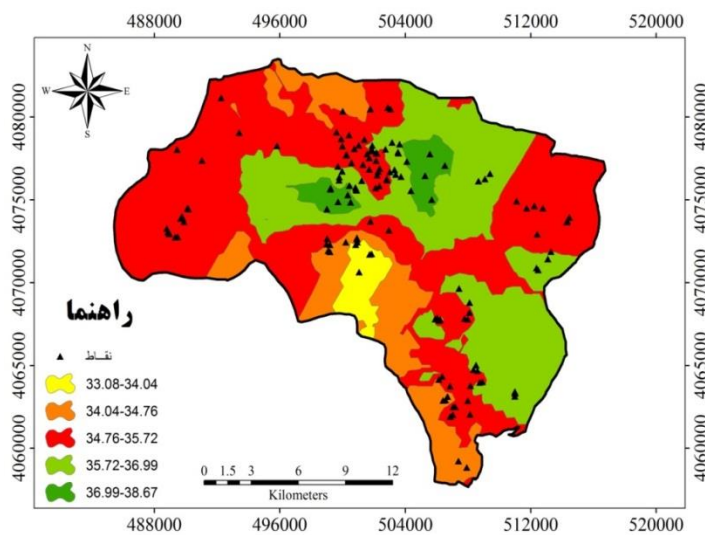
مصارف	تعداد شاخص	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	میان
شرب	۱۴۵	۳۰/۱۳	۴۷/۷۲	۳۵/۴۳	۲/۸۴	۱/۵۳	۷/۴۴	۳۵/۱۲
کشاورزی	۱۴۵	۲۳/۰۷	۹۹/۴۸	۵۱/۱۸	۱۲/۶	۰/۹۷	۴/۳۳	۴۸/۳۸
صنعت	۱۴۵	۳۴/۳۲	۸۰/۹۶	۵۵/۱۳	۹/۹۸	۰/۵۱	۲/۹۳	۵۴/۶۷

برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی در بین روش‌های درون‌یابی، از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج آن در جدول (۶) نشان داده شده است. در انتها شاخص کیفیت آب برای کل منطقه پهنه‌بندی شد که نتایج آن در اشکال (۶)، (۷) و (۸) نشان داده شده است. مقدار مساحت هریک از طبقات شاخص کیفیت آب برای مصارف مختلف در جدول (۷) آورده شده است.

جدول (۶): مقادیر RMSE شاخص کیفیت آب با استفاده از روش‌های زمین‌آمار

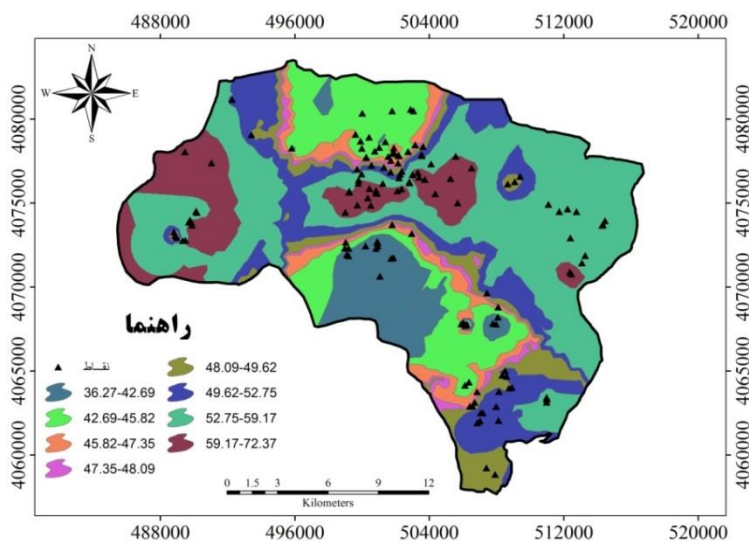
Table (6): RMSE values of water quality index using statistical methods

مدل انتخابی	روش تخمین انتخابی با توجه به RMSE کمتر	Kriging	RBF	LPI	GPI	IDW	متغیرها
Inverse Multiquadric	RBF	۲/۸۱	۲/۷۹	۳/۰۷	۲/۸۷	۲/۸	شرب
Spline With Tension	RBF	۱۰/۳۵	۱۰/۱۹	۱۰/۶۷	۱۲/۴۴	۱۰/۲۶	کشاورزی
Exponential	Kriging	۹/۲۹	۹/۴۱	۹/۵۷	۹/۴۲	۹/۵۵	صنعت



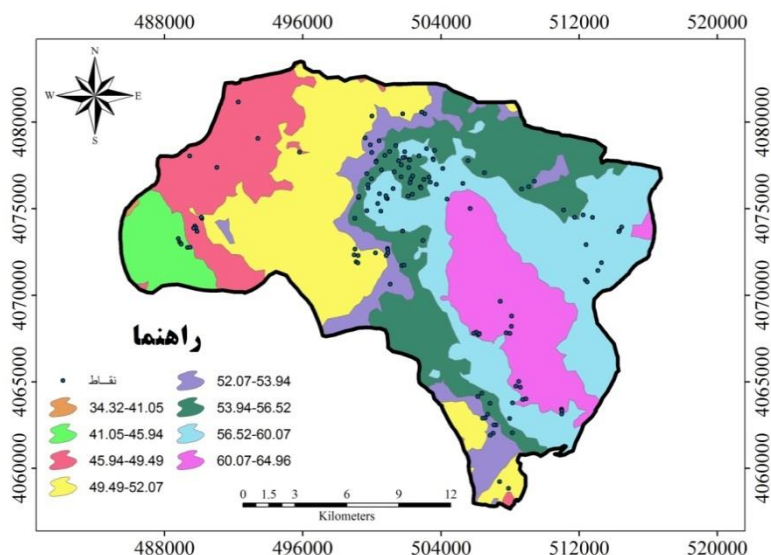
شکل (۶): مقادیر شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصرف شرب

Figure (6): Indicators of groundwater quality index for drinking



شکل (۷): مقادیر شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصرف کشاورزی

Figure (7): Indicators of Groundwater Quality Indicators for Agricultural Use



شکل (۸): مقادیر شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصرف صنعت

Figure (8): Indicators of groundwater quality index for industry consumption

جدول (۷): میزان مساحت هر یک از طبقات شاخص کیفیت آب به تفکیک مصارف مختلف (هکتار) بر اساس شاخص WQI

Table (7): The area of each water quality index category by different uses (hectares) based on WQI Index

۳۰۰ <		۲۰۰-۳۰۰		۱۰۰-۲۰۰		۵۰-۱۰۰		۵۰ >		میزان WQI
نامناسب		بسیار ضعیف		ضعیف		خوب		عالی		کیفیت آب
درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	
---	---	---	---	---	---	---	---	۱۰۰	۴۲۶۱۵/۷۸	شرب
---	---	---	---	---	---	۶۳/۰۴	۶۵۶۹/۰۵	۳۶/۹۴	۳۶۵۴/۵	کشاورزی
---	---	---	---	---	---	۸۳/۰۹	۸۸۲۳/۹۷	۱۶/۹۱	۳۸/۹۷	صنعت

خصوصیات آب زیرزمینی و پهنه‌بندی کیفیت آن دارند. نبود اطلاعات معتبر در کیفیت آب زیرزمینی معمولاً برای پایش کیفی منابع آب زیرزمینی محدودیتی جدی است (اسدی و همکاران، ۲۰۱۳). توسعه سامانه اطلاعات مکانی (GIS) در برنامه‌های مختلف آب شرب امری ضروری است. سیستم اطلاعات مکانی بر اساس الگوی کیفیت آب زیرزمینی با شناخت الگوهای شیمیایی، در تفهیم فرایندهای ژئوشیمیایی منطقه استفاده شد و می‌تواند برای مدیریت سلامت عمومی مورد استفاده قرار گیرد (سور^۱ و همکاران، ۲۰۱۲؛ اسدی و همکاران، ۲۰۱۳).

پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب (WQI) در حوزه آبخیز سیلوه برای مصارف مختلف نشان داد که این حوزه به‌لحاظ کیفیت آب زیرزمینی مطلوب می‌باشد و استفاده از آب

با توجه به شکل (۶) کل سطح منطقه در طبقه کمتر از ۵۰ برای مصرف شرب قرار گرفت. برای مصرف کشاورزی (شکل ۷) کل منطقه در طبقه ۵۰-۱۰۰ قرار گرفت که شاخص کیفیت آب به‌صورت یکنواخت توزیع شده است. برای مصرف صنعت نیز کل منطقه در طبقه ۵۰-۱۰۰ قرار گرفت و به‌صورت منظم از سمت جنوب به‌سمت شرق و جنوب شرقی در حال افزایش است.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که روش‌های زمین‌آمار و شاخص کیفیت آب (WQI) با توجه به مطالعات قبلی (افضلی و شاهدی، ۲۰۱۴؛ جاوید و همکاران، ۲۰۱۴؛ عسکری و همکاران، ۲۰۰۹؛ رویو-آریس و همکاران، ۲۰۱۲، ایشاکو، ۲۰۱۱؛ جمشیدزاده و میرباقری، ۲۰۱۱؛ رضا و سینگ، ۲۰۱۰) و این مطالعه، توانایی قابل ملاحظه‌ای در تحلیل مکانی

1. Sour

شرب محدودیتی ندارد. فقط در بخش‌هایی از جنوب و جنوب شرقی منطقه که شهر پیرانشهر در حال رشد است، بعضی از پارامترها (سدیم، سختی و سولفات) در محدوده مجاز استانداردهای مؤسسه استاندارد و تحقیقاتی صنعتی ایران (ISIRI) قرار گرفته‌اند. تفکیک کاربری اراضی سطح حوزه به صورت اراضی کشاورزی در حدود ۱۹/۹۷ درصد، مراتع خوب در حدود ۵۰/۰۶ درصد، مراتع فقیر در حدود ۶/۳۳ از سطح حوضه، اراضی بایر و مسکونی به ترتیب ۲۳/۲۷ و ۰/۳۴ درصد از سطح حوزه را در بر گرفته‌اند (سور و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج نیز به‌خوبی بیانگر تفکیک کاربری اراضی در سطح حوزه است، زیرا شاخص کیفیت آب بیشتر در مناطقی که اراضی کشاورزی و بایر است در طبقه خوب (۵۰-۱۰۰) قرار گرفته است. با توجه به اینکه ۵۰ درصد حوزه را مراتع خوب پوشانده است (این مراتع خود پالایش آب زیرزمینی را به‌خوبی انجام می‌دهند) چنین نتایجی دور از انتظار نیست. نتایج این تحقیق با توجه به بازدیدهای میدانی از حوزه کارایی بالای روش‌های زمین‌آمار و شاخص کیفیت آب را تأیید و پیشنهاد می‌کند در تحقیقات مشابه مورد استفاده قرار گیرد. البته نباید لیتولوژی منطقه را نیز نادیده گرفت؛ زیرا کیفیت آب همبستگی بالایی با سنگ‌شناسی یک منطقه دارد. وجود سنگ‌های آهکی و دولومیتی در منطقه مورد مطالعه نیز دلیلی بر کیفیت آب خوب منطقه است. البته از بخش شرقی منطقه، فعالیت‌های کشاورزی در حال افزایش است که اثر کودهای شیمیایی در این منطقه بر پارامترهای Cl و K اثر گذاشته است و در این مناطق این دو پارامتر افزایش پیدا کرده‌اند.

زیرزمینی برای کل مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بر اساس استاندارد موجود در زمینه شرب، کشاورزی و صنعت مجاز است. کمترین و بیشترین میزان شاخص کیفیت آب برای مصرف شرب در سطح حوزه به ترتیب ۳۳/۰۸ و ۳۸/۶۷ به دست آمد که در طبقه عالی شاخص کیفیت آب (کمتر از ۵۰) قرار می‌گیرد و جهت مصرف شرب بدون محدودیت است. کمترین و بیشترین میزان شاخص کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در سطح حوزه به ترتیب ۳۶/۲۷ و ۷۲/۳۷ به دست آمد که در طبقه عالی و خوب شاخص کیفیت آب (کمتر از ۵۰ و ۵۰-۱۰۰) قرار می‌گیرد و برای مصرف کشاورزی نیز بدون محدودیت است. همچنین کمترین و بیشترین میزان شاخص کیفیت آب برای مصرف صنعت در سطح حوزه به ترتیب ۳۴/۳۲ و ۶۴/۹۶ به دست آمد که در طبقه عالی و خوب شاخص کیفیت آب (کمتر از ۵۰ و ۱۰۰-۵۰) قرار می‌گیرد و برای مصرف صنعت بدون محدودیت است. با توجه به اینکه این حوزه در ارتفاعات قرار دارد و فعالیت‌های انسانی در آن محدود است (به‌جز جنوب و شرق منطقه که دارای فعالیت‌های کشاورزی است) کیفیت آب خوبی دارد. هر چند از سمت جنوب شرقی منطقه شهر پیرانشهر در حال رشد است که باید تمهیداتی برای جلوگیری از تخریب کیفیت آب زیرزمینی منطقه در اثر فعالیت‌های مختلف اندیشیده شود. اسدی و همکاران (۲۰۱۳) نیز توزیع آلاینده‌های کیفی pH، TDS، Cl، Ca، Mg، TH، Na و SO₄ در سطح آب‌های زیرزمینی حوزه آبخیز سیلوه شهرستان پیرانشهر در استان آذربایجان غربی را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار پهنه‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که منابع آب منطقه به‌لحاظ

منابع

1. Afzali, A., Shahedi, k., 2014. Investigation on Trend of Groundwater Quantity-Quality Variation in Amol-Babol Plain. *Journal of Watershed Management Research* 5, 144-156.
2. Ahmadi, S.H., Sedghamiz, A., 2008. Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping. *Environment Monitoring Assessment* 138, 357-368.
3. Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, I., Bakan, G., Büyükgüngör, H., 2011. Multivariate Statistical Techniques for the Assessment of Surface Water Quality at the Mid-Black Sea Coast of Turkey. *Water Air Soil Pollution* 216, 21-37.
4. Asadi Nalivan, O., Haydari, F., Sour, A., Shahbazi, A., Kavandi, R., Gheiasi, S., 2013. Investigation of groundwater contamination trend in Silveh basin in terms of drinking applications. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 8, 1826-1834.
5. Askari, M., Mosaedi, A., Dehghani, A.A.,

- Meftah Helghi, M., 2009." Investigation of spatial variation of groundwater quality by geostatistical analysis and geographic information system, case study of Qazvin Plain". International Water Resources Conference with Regional Approach. Mashhad Ferdowsi University. Mashad.
6. Babayi, F., Torabian, A., Hassani, A.H., Karbasi, A., 2008. "Water Quality Indexing Framework (WQI)". 7th National Biennial Conference of the Iranian Environmentalists Association, Tehran.
 7. Chandrasekharana, H., Sarangia, A., Nagarajanb, M., Singha, V.P., Natarajanc, K., and Anbazhagan, S., 2009. Variability of soil-water quality due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district. *Tamilnadu Journal of Environmental Management* 89, 63–72.
 8. Elyas Azar, kh., 2002. Modification of saline and sodium soils (soil and water management). Jahad University Press, Tehran.
 9. Flipo, N., Jeanne´e, N., Poulin, M., Even, S. and Ledoux, E., 2007. Assessment of nitrate pollution in the Grand Morin aquifers (France). Combined use of geostatistics and physically based modeling. *Environmental Pollution* 146, 241-256.
 10. Fulazzaky, M.A., Seong, T.W., Masirin, M.I.M., 2010. Assessment of Water Quality Status for the Selangor River in Malaysia. *Water Air Soil Pollution* 205, 63-77.
 11. Hasani Pak, A., 1998. Geostatistics. Tehran university press. Tehran.
 12. Hosseini, H. Shakeri, A. Rezaei, M. Dashti Barmaki, M. Shahraki, M. 2019. Application of water quality index (WQI) and hydro-geochemistry for surface water quality assessment, Chahnimeh reservoirs in the Sistan and Baluchestan Province. *ijhe*. 11 (4) :575-586
 13. Ishaku, J.M. 2011. Assessment of Groundwater Quality Index for Jimeta-Yola area, Northeastern Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, 9, 219-231.
 14. Jamshidzadeh, Z., Mirbagheri, S.A., 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran, Desalination, 270, 23-30.
 15. Javid, A.H., Mirbagheri, S.A., Karimian, A., 2014. Assessing Dez Dam reservoir water quality by application of WQI and TSI indices. *Iran Journal Health & Environment* 2, 133-142.
 16. Mahini, A.S., Jezi, H., Karimipur, H., Mehri, A., Kamyab, H., Zare, A., Mansuri, F., Rastin, M., Najafinejad, A., Pishdad, L., Moemeni, A., 2013. Assessing the Capacity and Management of Integrated Water Management Land. Organization of Forests, Rangelands and Watersheds of the Country, Watershed Management, Sustainable Water Management Project of Hableh Roud. 338 p.
 17. Nas, B., 2009. Geostatistical Approach to Assessment of Spatial Distribution of Groundwater Quality. *Polish Journal of Environment Study* 6, 1073-1082.
 18. Pawar, R.S., Panaskar, D.B., Wagh, V.M., 2014. Characterization of Groundwater using Water Quality Index of Solapur industrial belt, Maharashtra, India. *International Journal of Research in Engineering & Technology* 4, 31-36.
 19. Ravikumar, P., Mehmood, M.A., Somashekar, R.K., 2013. Water quality index to determine the surface water quality of Sankey tank and Mallathahalli Lake, Bangalore urban district, Karnataka, India. *Applied Water Science*.
 20. Reza, R., Singh, G., 2010. Assessment of groundwater quality status by using water quality index method in Orissa, India. *World Applied Sciences Journal* 12, 1392-1397.
 21. Rubio-Arias, H., Contreras-Caraveo, M., Quintana, R.M., Saucedo-Teran, R.A., Pinales-Munguia, A., 2012. An overall water quality index (WQI) for a man-made aquatic reservoir in Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 5, 1687-98.
 22. Shabani, M., 2011. Estimation of ground-based methods in the preparation of groundwater quality maps and their zoning, Case study: Neyriz plain. Fars province, *Journal of natural geography Lar* 13, 83-96.
 23. Siska, p.p. and Kuai Hung, I., 2001. Assessment of Kriging Accuracy in the GIS Environment. The 21st Annual ESRI International User Conference San Diego.
 24. Sour, A., Tavili, A., Alizadeh, E., Barbari, M., Simonini, S. and Asadi, O., 2012. A GIS model for the assessment of water resources suitability for livestock grazing. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 2, 997-1004.
 25. Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Vijayaragavan, K., Ganthi, R., Chidambaram, S., Anandhan, P., Manivannan, R., Vasudevan, S., 2010. Application of water quality index index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamil Nadu, India. *Environ Monitoring Assess*.

Groundwater quality zoning using WQI and Geo-statistical Methods for various consumptions

Mojtaba Dolat Kordestani¹, Ahmad Nohegar^{2*}, Saeid Janizadeh³

Received: 19/11/2018

Accepted: 20/07/2019

Expanded abstracts

Introduction: The ecological, economic, and social potential of an area for large and large uses is influenced by the quantity and quality of the waters. Therefore, appropriate methods of surface water and groundwater have been investigated qualitatively and quantitatively in order to use its results in assessing the power of the land. One of the important factors for sustainable development is the availability water resources for different uses, which imposed its quality is very important. Nowadays, groundwater resource management plays the main role in arid and semiarid regions. Investigations on the spatial variations of Water Quality Index (WQI) are very important to determine the best management program. Geo-statistical methods and ArcGIS software can be useful for this purpose. The aim of this study is WQI zoning for various uses (drinking, agriculture and industry) in the Silveh watershed (West Azerbaijan province).

Material and method: In this research, water quality zoning based on WQI method for different drinking uses (pH, TDS, HCO₃, Cl, Ca, Mg, K, Na and SO₄), agriculture (EC, SSP and Cl) and industry (pH, TDS, Cl, TH and SO₄) were sampled from 145 points (springs) from the basin level representing the studied area, which was carried out in July 2012. Then, to measure the parameters, the samples were transferred to the laboratory of the Faculty of Natural Resources of Tehran University and tested and the parameters were measured. In this research, we try to compare different methods of interpolation and select the best method to base the groundwater quality zonation map using the WQI index. Initially, the WQI index was calculated for all sampling points. After calculating the water quality index, the zoning water quality in the area was used Inverse Distance Weighting, Global Polynomial Interpolation, Local Polynomial Interpolation, Radial Basis Function and Kriging methods. Geostatistical methods to evaluate and select the best method of ArcGIS is the ability to perform cross-validation techniques and statistical criteria Root Mean Square Error (RMSE) is used.

Result: Water Quality Index (WQI) zoning in the Silveh watershed for various uses showed that this area has no limitations in terms of groundwater quality and the use of groundwater for drinking, agricultural and industrial uses. The lowest and highest water quality index for drinking water in the area was 33.08 and 38.67, respectively, which is in the high-class of water quality index (less than 50). The lowest and the highest water

¹ Graduated Ph.d ,Department of desertification, Scholarship Jiroft University

² Full professor Department of Environmental Management Planning, Faculty of Environmental, Tehran University; nohegar@ut.ac.ir

³ PhD student of watershed engineering, Department of Nautral Resource, Faculty of Watershed, Tarbiat Modares University

DOI: 10.22052/deej.2018.7.24.59

quality index for agricultural consumption in the area was 36.27 and 72.77, respectively, which is in the high and good class of water quality index (less than 50 and 100-100), and There is no limit to agricultural consumption. Also, the lowest and the highest water quality index for industry consumption in the area was 34.32 and 64.96, respectively, which is in the excellent and good water quality index (less than 50 and 100-100) respectively and for the unlimited use of the industry.

Discussion and Conclusion: Based on mountainous conditions and limited human activities (except for the southern and eastern areas of agricultural activities), the quality of water in the area is good. Although it is growing from the southeastern part of the city of Piranshahr, measures should be taken to prevent degradation of groundwater quality in the area due to various activities. Land use surveys show that agricultural use is about 19.97%, good rangelands are about 50.66%, good poor rangelands, 6.33% of the basin, and county of Birland and residential land cover 23.27% and 34% of the area respectively. The results also clearly illustrate the distinction of land use in the catchment area, because the water quality index in the agricultural and vegetation areas is in a good class (100-150). Given that 50% of the area is covered with good pastures (these rangelands do well to clean up underground water). The results of this study confirm the field performance in terms of high performance and water quality indexes, and recommends that similar research be used. Of course, the lithology of the area should not be ignored. Because water quality has a high correlation with the region's mineralogy. The existence of calcareous and dolomitic stones in the studied area is also a reason for the good water quality of the area.

Keywords: Groundwater, Geo-statistical, Silveh watershed, Water Quality Index.