

ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی و انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شهرستان سقز

چکیده

افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها سبب وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور از جمله منابع آب زیرزمینی شده است. آلودگی‌های مختلف انتشار یافته در سطح آب‌های زیرزمینی دارای مضرات زیست‌محیطی فراوانی بوده که مستقیماً زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هدف از انجام این تحقیق، بررسی کیفیت آب زیرزمینی شهرستان سقز جهت شرب و کشاورزی می‌باشد. به همین منظور از داده‌های اندازه‌گیری شده مربوط به سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۱ و در مجموع ۱۸۸ نمونه برای هر کدام از پارامترها که شامل میزان شوری (EC)، کلر (Cl)، غلظت مواد محلول (TDS)، سولفات (SO₄)، سختی آب (TH)، سدیم (Na)، نسبت سدیم قابل جذب (SAR) و نیترات (NO₃) استفاده شده است. برای مقایسه تیمارها از تجزیه واریانس ANOVA و برای آزمون تفاوت بین ایستگاه‌های مختلف از آزمون LSD استفاده شد. همچنین برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی و پهنه‌بندی پارامترهای فوق‌الذکر، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بکار گرفته شد. بدین منظور، از روش میان‌یابی زمین‌آمار کریجینگ دایره‌ای، گوسن و روش‌های معین مانند وزن‌دهی عکس فاصله، تخمین‌گر موضعی و تخمین‌گر عام استفاده شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب شهرستان سقز برای شرب و کشاورزی مناسب و نتایج میان‌یابی مکانی بر اساس معیارهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریب (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) نشان داده که برای پارامترهای سدیم، کلر، نسبت سدیم قابل جذب و سولفات روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان یک و برای پارامترهای شوری، سختی و غلظت املاح محلول وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۲ و برای نیترات روش کریجینگ دایره‌ای مناسب‌ترین روش جهت پهنه‌بندی هستند.

واژگان کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی، شهرستان سقز.

حسین صالحی^{۱*}

حسین زینی‌وند^۲

شادی احمدی^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

*مسئول مکاتبات:

Ho.salehi2144@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۶۰۲۰۲۶۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۳۰

این مقاله برگرفته از رساله دکتری است.

مقدمه

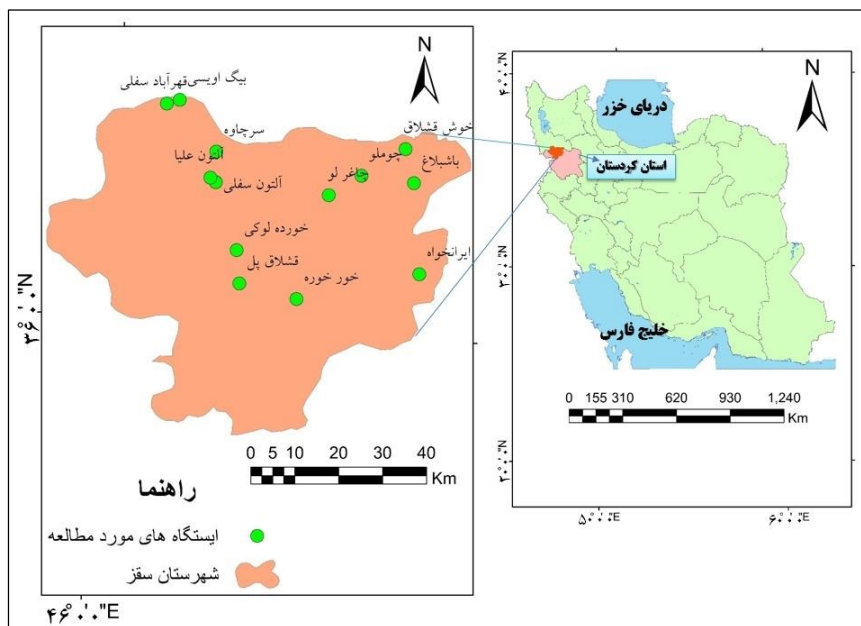
افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها سبب وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور از جمله منابع آب زیرزمینی شده است. در مناطق کم‌باران که آب سطحی وجود ندارد یا مقدار آن کم است، استفاده از آب زیرزمینی به‌عنوان جایگزینی مطمئن مورد توجه قرار گرفته، به طوری که در برخی مناطق آب زیرزمینی تنها منبع تأمین آب محسوب می‌شود. کیفیت آب‌های زیرزمینی همچون آب سطحی دائماً در حال تغییر است (مهردی، ۱۳۸۴؛ علیزاده، ۱۳۸۶). Nas (۲۰۰۹) با بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی موجود در شهر کونیا واقع در آنتالیای ترکیه گزارش کرد که نیم‌تغییرنمای قابلیت هدایت-الکتریکی، کلر، سولفات و سختی آب به ترتیب از مدل‌های حلقوی، درجه دوم، کروی و پایدار تبعیت نمودند. ایشان بیان کردند در بین متغیرهای مورد بررسی روند مکانی کلی وجود نداشته و تنها اسیدیتته (pH) از توزیع نرمال تبعیت نمود و سایر ویژگی‌ها با اعمال تبدیل به توزیع نرمال تبدیل شدند. در مدیریت یکپارچه آب، حفظ کیفیت



آب به‌ویژه در مناطقی که با محدودیت نسبی منابع آب مواجه هستند، به‌عنوان یکی از ارکان برنامه‌ریزی مطرح است (فرید گیگلو و همکاران، ۱۳۹۲). آلودگی آب در دهه‌های اخیر به یک تهدید جدی و در حال گسترش برای جامعه انسانی و زیست‌بوم‌های طبیعی تبدیل شده است به‌طوری‌که برای مثال هر ساله ۲۵ میلیون نفر در کشورهای فقیر در اثر آلودگی آب از بین می‌روند (فریادی و همکاران، ۱۳۹۱). ناد و همکاران (۱۳۸۹) برای میان‌یابی داده‌های بارندگی در منطقه چهارباغ گرگان، هشت روش کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ-رگرسیون، وزنی عکس فاصله، اسپلین، گرادین‌های سه‌بعدی خطی، هیبرید خطی و غیرخطی و کریجینگ با روند خارجی را ارزیابی کردند. برای ارزیابی از شاخص‌های آماری MAD و RMSE استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش هیبرید خطی و غیرخطی در ۶۵ درصد موارد، بهترین روش برای میان‌یابی بارندگی ماهانه در منطقه مطالعاتی است. صادقی‌فر و ساریخانی (۱۳۹۳) برای ارزیابی کیفیت شرب و کشاورزی آب زیرزمینی منطقه کوه‌دشت از نرم‌افزار AqQA استفاده کردند که نتایج نشان داد کیفیت از لحاظ شرب و کشاورزی مناسب است. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰) توزیع مکانی بارندگی سالانه در استان قم را با استفاده از دو روش کریجینگ و عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۳ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در محدوده مورد مطالعه روش کریجینگ، مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است. نرم‌افزارهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل و بررسی کیفیت آب، توسعه یافته است. Ahmad and Balandeh (۲۰۱۳) به منظور بررسی تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی دشت چالدران آذربایجان و پراکنش شوری آن، از روش‌های زمین‌آمار و به‌طور خاص از روش کریجینگ استفاده نمودند. بر طبق مطالعه آن‌ها، در میان‌یابی با استفاده از روش کریجینگ همبستگی مناسبی بین داده‌های موجود و داده‌های تخمین زده شده وجود داشت. Hooshmand و همکاران (۲۰۱۱) به منظور بررسی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (نسبت جذب سدیم و یون کلرید) استان آذربایجان غربی از روش‌های زمین‌آمار استفاده نمودند. آن‌ها میان‌یابی پارامترها را با استفاده از دو تکنیک کریجینگ و کوکریجینگ انجام داده و پس از مقایسه نتایج حاصل از آنالیز آمارهای توصیفی و دقت هر کدام از روش‌های بالا به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ با اختلاف جزئی در میزان RMSE مناسب‌تر از روش کریجینگ تشخیص داده شد. Sarukkalige (۲۰۱۲) کیفیت آب زیرزمینی منطقه غرب استرالیا را با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار مورد بررسی قرار داد. او ۴ مدل واریوگرامی کریجینگ را شامل مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی را روی داده‌های منطقه مورد مطالعه‌اش برازش داده و میان‌یابی پارامترها را با استفاده از این مدل‌ها انجام داد. بر طبق نتایج این مطالعه، روش کریجینگ با مدل واریوگرامی نمایی بهترین نتیجه را برای میان‌یابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی ارائه می‌کند. Bhaskar و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در هند غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی و زیرزمینی ۷ منطقه را مورد ارزیابی قرار دادند. آب‌چاه‌های گمانه سه منطقه از ایالت کبی در نیجریه توسط Elinge و همکارانش در سال ۲۰۱۱ از نظر غلظت فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. Zerabruk و Mebrahtu در سال ۲۰۱۱ آب آشامیدنی ۱۶ منطقه پرجمعیت در ایالت تیگرای را از نظر فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار دادند. صالحی و زینی‌وند در سال ۱۳۹۳ اقدام به بررسی کیفیت آب زیرزمینی و انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی آن در غرب شهرستان مریوان پرداختند که از بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش تخمین گر موضعی برای پارامترهای سولفات، غلظت مواد محلول و شوری و روش تابع شعاعی برای پارامترهای سدیم و نسبت جذب سدیم و روش تخمین گر عام برای پارامتر کلر و روش کریجینگ ساده برای پارامتر سختی آب دارای مناسب‌ترین برآورد سالانه بودند. نرم‌افزار AqQA با قابلیت انجام شش آزمون یکنواختی داده‌ها بر اساس روش‌های استاندارد AWWA 1030-E و ترسیم ۱۱ نوع پلات، سری‌های زمانی، دیاگرام‌های Schoeller، تعادل یونی، دورو، Piper، استیف و غیره و همچنین محاسبه تعادل کربنات، TDS، چگالی و قابلیت هدایت الکتریکی و دارا بودن دو سیستم نوع آنالیز از پیش تعیین شده آلی، غیرآلی، بیولوژیکی، ایزوتوپ‌ها و رادیواکتیویته ابزار بسیار جدید و مناسبی برای تجزیه و تحلیل و بررسی کیفیت آب می‌باشد که در مطالعات جدید از آن استفاده شده است. به‌عنوان نمونه سلطانی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از این نرم‌افزار کیفیت آب رودخانه قره‌سو را در دو سال ترسالی و خشک‌سالی مقایسه نموده و نتیجه گرفتند که کیفیت آب این رودخانه در دوره خشک‌سالی نسبت به ترسالی افت می‌نماید. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی شهرستان سقز توسط روش‌های گرافیکی موجود در نرم‌افزار AqQA می‌باشد که در نهایت توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مناسب‌ترین روش درون‌یابی پهنه‌بندی می‌شود.

مواد و روش‌ها

شهرستان سقز در شمال استان کردستان واقع شده و دومین شهر این استان می‌باشد. با وسعتی حدود ۴۴۴۴ کیلومترمربع در شمال غرب، شمال و شمال شرق به ترتیب با شهرهای بوکان، شاهین دژ و تکاب (استان آذربایجان غربی) هم مرز می‌باشد، در شرق با دیواندره و در جنوب با مریوان مرز مشترک دارد، همچنین در حاشیه‌ی جنوب غربی به کردستان عراق چسبیده است و در غرب با شهر بانه همسایه است. این شهر در ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه عرض جغرافیایی از خط استوا واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۷۶ متر است. میانگین بارندگی سالیانه در منطقه از ۳۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر متغیر است و رطوبت نسبی آن نیز از ۱۴ تا ۹۵ درصد است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کردستان و ایران.

پارامترهای شیمیایی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان از ۱۳ ایستگاه که مربوط به سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۱ می‌باشد و در مجموع ۱۸۸ نمونه برای هر کدام از پارامترها که شامل میزان شوری (EC)، کلر (Cl)، غلظت مواد محلول (TDS)، سولفات (SO₄)، سختی آب (TH)، سدیم (Na)، نسبت سدیم قابل جذب (SAR) و نیترات (NO₃) در ماه‌های مختلف از ایستگاه‌ها بدست آمد. با استفاده از نرم‌افزار AqQA نمودارهای Piper، Schoeller، Wilcox، Gibbs و Durov برای آنالیز کیفی سال‌های آماری ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمودار Gibbs برای تعیین منشأ تغییرات بر کیفیت آب منطقه مورد مطالعه می‌گیرد (Gibbs, 1970). نمودار Durov برای تعیین نوع و منشأ آب سطحی که اساس آن مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها عمده آب برحسب درصد می‌باشد (Durov, 1959). نمودار نیمه‌لگاریتمی Schoeller به منظور بررسی قابلیت شرب آب رودخانه استفاده می‌شود (Schoeller, 1964). معیارهای کیفیت آب شرب طبق نظر Schoeller در جدول (۱) قابل مشاهده است. نمودار Wilcox نیز برای تعیین کیفیت آب کشاورزی استفاده شد (Wilcox, 1955). همچنین یکی از شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی، سختی آن است که بر مبنای کربنات کلسیم مورد سنجش قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های متداول در تعیین تیپ (رخساره هیدروشیمی) آب، استفاده از نمودار پایپر است (Piper, 1944). مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن است زیرا این دو، نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند. شوری با معیارهای هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با یکی از معیارهای نسبت جذب سدیم (SAR) یا درصد سدیم محلول

(SSP) و یا درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) سنجیده می‌شود. استانداردهای از پیش تعیین‌شده آب شرب در کشورهای مختلف، بسته به شرایط اقتصادی، اقلیمی، غذایی و جغرافیایی باهم متفاوت است. برای مقایسه تیمارها از روش تجزیه‌وتحلیل واریانس ANOVA در محیط نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۰ استفاده شد و برای نشان دادن میانگین‌های پارامترهایی که در سال‌های آماری مختلف باهم تفاوت معناداری داشتند آزمون LSD بکار گرفته شد. در این مطالعه، ایستگاه آلتون سفلی به‌عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شد و با تک‌تک ایستگاه‌ها از نظر میزان پارامترهای مربوطه مقایسه آماری شد. در پایان نیز با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی و از طریق مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطای ارب (MBE) اقدام به تعیین بهترین روش درون‌یابی جهت توزیع و پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه پرداخته شد که در ادامه، این روش‌ها به تفصیل بیان شده‌اند.

در زمین‌آمار می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار آن کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم برآورد نمود، به شرط آن‌که مختصات مقدار نامعلوم در دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است قرارگیرد (حسنی پاک، ۱۳۷۷؛ عساکره، ۱۳۸۷). برآورد مقادیر متغیر با توزیع و ساختار فضایی و ارزیابی خطای همراه با این برآورد کریجینگ نامیده می‌شود (Davis, 1973). کریجینگ یک تخمین‌گر زمین‌آمار است که دارای ویژگی‌هایی است که عبارت‌اند از:

۱- مقادیر برآوردی برای نقاط نامعلوم ترکیبی خطی از مقادیر نمونه‌های مجاور آن‌ها است، بنابراین:

$$\mu_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن μ_k تخمین کریجینگ و λ_i بردار وزن‌های اختصاص داده‌شده به نمونه‌ها است. به عبارت دیگر یک مقدار کریج شده یا برآورد شده با نسبت دادن وزن‌های λ_i به مقادیر معلوم اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور بدست می‌آید.

۲- ناریب است، یعنی امید ریاضی آن برابر میانگین واقعی ($w\mu$) نمونه‌ها است.

$$E(\mu_k - \mu_w) = 0 \quad \text{رابطه ۲:}$$

۳- میانگین مربعات خطا دارای کمترین مقدار ممکن است یعنی:

$$E[(\mu_k - \mu_w)^2] = a \text{ min} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این روش پس از اندازه‌گیری مقدار متغیر برای نمونه‌های متعدد همراه با در نظر گرفتن موقعیت آن‌ها، مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده نیز با توجه به موقعیت آن‌ها و فاصله‌ای که با نقاط معلوم دارند برآورد می‌گردد.

روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود. به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طوری که بتواند یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد؛ یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند (حسنی پاک، ۱۳۷۷). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Y_i = \frac{D_i - a}{\sum_{i=1}^n D_i - a} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن، Y_i : وزن ایستگاه i ام، D_i : فاصله ایستگاه i ام تا ایستگاه مجهول، a : توان وزن‌دهی می‌باشد.

درون‌یابی چندجمله‌ای برازش‌دهنده یک سطح همواری توسط توابع ریاضی بر روی نقاط ورودی می‌باشد. تغییرات سطح در چندجمله‌ای جهانی تدریجی است و اثرات تغییرات ناگهانی در داده‌ها کاهش می‌یابد. در درون‌یابی جهانی فقط یک چندجمله‌ای بر تمامی داده‌ها برازش می‌گیرد (حسینی‌پاک، ۱۳۷۷).

در درون‌یابی همگانی برای برآورد نقاط مجهول از داده‌های همه نقاط اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود، اما در مدل محلی از داده‌های همه نقاط برداشت‌شده برای برآورد مقدار نقطه مجهول استفاده نمی‌شود. در این روش ممکن است، تعداد نقاط محدودی که تا نقطه موردنظر کمترین فاصله را دارند در درون‌یابی به کار گرفته شوند یا از داده‌هایی استفاده شود که تا نقطه موردنظر کمترین فاصله را دارند به بیانی دیگر در این روش نقاط همسایه بر اساس تعداد یا فاصله تعریف می‌شوند. اگر تغییرات مکانی متغیر زیاد باشد مدل‌های محلی نتایج بهتری به دست می‌دهد. با این حال تعداد نقاط همسایه که برای برآورد در یک نقطه معین بکار گرفته می‌شوند در کیفیت نتایج تأثیر بسزایی دارد. از آنجاکه اندازه‌گیری‌ها همواره با مقداری خطا همراه هستند و برآوردها نمی‌توانند دقیق‌تر از اندازه‌گیری‌ها باشند، لذا روش‌های درون‌یابی جبری تنها زمانی سودمند خواهند بود که مقدار خطای اندازه‌گیری به اندازه کافی کوچک باشد. از این گذشته اگر تغییرات مکانی خیلی زیاد باشد، مدل‌های زمین‌آماری نتایج بهتری دارند. برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی به منظور تهیه نقشه تغییرات منطقه مورد مطالعه از روش ارزیابی متقابل استفاده شد. در این روش یک نقطه به‌طور موقتی حذف‌شده و با اعمال روش موردنظر برای آن نقطه، مقداری برآورد می‌شود. سپس مقدار حذف‌شده بجای خود برگردانده شده و برآورد برای بقیه نقاط بصورت مجزا صورت می‌گیرد. این عمل برای کلیه نقاط دارای داده اندازه‌گیری شده تکرار می‌گردد. به‌طوری‌که در آخر به تعداد کل نقاط دارای داده، نقاط برآوردی وجود خواهد داشت. در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده‌شده را تعیین نمود (حسینی‌پاک، ۱۳۷۷؛ Gibels and Fan, 1996). به منظور ارزیابی و دقت روش‌های مختلف میان‌یابی از معیارهای ارزیابی استفاده می‌شود. معیارهای مختلفی برای این کار وجود دارد که می‌توان به میانگین خطای مطلق (Mean Absolute Error, MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (Root Mean Square Errors, RMSE) و میانگین خطای اریب (Mean Bias Error, MBE) اشاره نمود، برای مطالعه تطبیقی و ارزیابی میزان دقت روش اعتبار متقاطع (Cross Validation) و مقدار معیارهای MAE، RMSE و MBE در واحد سالانه که از روش‌های معتبر ارزیابی در این زمینه می‌باشند استفاده شده است (Scott and Fred, 1992; Hyndman and Koehler, 2005; Stone, 1993).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(xi) - Z(xi)]^2}{n}} \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{Z}(xi) - Z(xi)|}{n} \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$\text{MBE} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(xi) - Z(xi))}{n} \quad \text{رابطه ۷:}$$

که در آنها n تعداد نمونه مشاهداتی، $Z^*(xi)$ مقدار برآوردی بر نقطه xi ، $Z(xi)$ مقدار مشاهداتی بر نقطه xi است.

نتایج

پارامترهای شیمیایی نمونه آب‌ها با استفاده از داده‌های بدست آمده از آنالیز کیفی آب به‌صورت میانگین تعداد نمونه‌های برداشت‌شده در جدول ۱ ارائه شده و به‌صورت نمودارهای پایپر، Schoeller، Wilcox، Gibbs و Durov مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. طبق نمودار Wilcox که برای استفاده جهت کشاورزی می‌باشد، تمام ایستگاه‌ها در کلاس آب‌های خوب (C2-S1) و متوسط (C3-S1) قرار دارند (شکل ۲). بر اساس دیگرام Schoeller تمام نمونه‌های مربوط به آب منطقه مورد مطالعه در دسته مناسب قرار گرفته‌اند (شکل ۳). با توجه به تجمع نمونه‌ها در نمودار

Gibbs می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره آماری کیفیت شیمیایی آب منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر تشکیلات زمین‌شناسی قرارداد (شکل ۴). با توجه به شکل ۵ با توجه به نمودار پایپر تیپ آب Ca-Hco₃ می‌باشد، و با توجه به نمودار Durov غلظت املاح در منطقه مورد مطالعه کمتر از ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هست و اسیدیته در حد قلیایی هست.

جدول ۱: نتایج سنجش‌های شیمیایی (یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر، TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر و EC برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر).

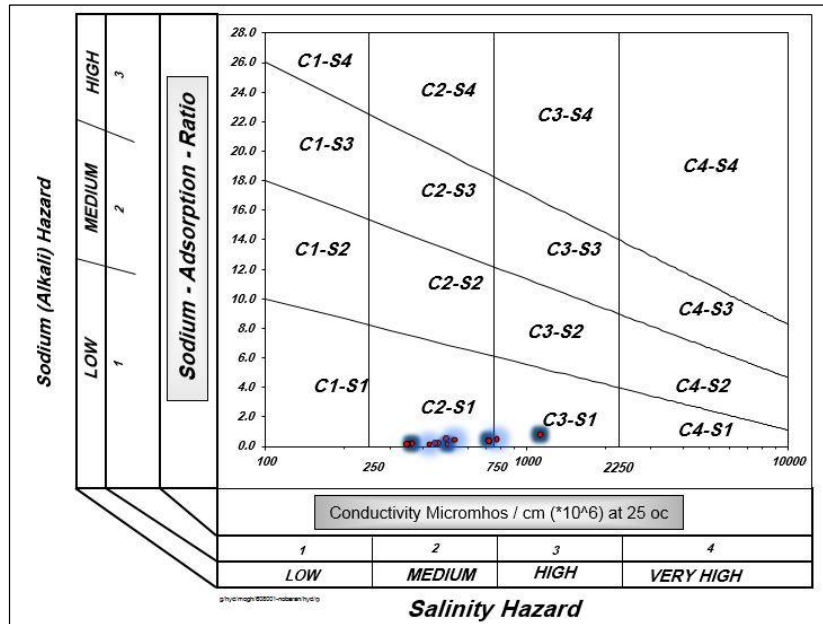
تعداد نمونه برداشت شده	UTM y	UTM x	Na	EC	SAR	Th	TDS	No3	Cl	So4	ایستگاه
۱۴	۴۰۱۷۰۹۲	۶۱۳۱۸۳	-/۱۹	۵۰۱/۳۳	-/۱۲	۲۷۰/۴	۳۲۲/۱	۰/۱	-/۱۰	-/۳۱	آلتون سفلی
۱۳	۴۰۱۸۰۰۰	۶۱۱۸۸۱	-/۷۵	۷۱۴/۷۱	-/۴۰	۳۵۱	۴۶۱/۶	۰/۳۵	۱/۰۸	-/۶۷	آلتون علیا
۱۴	۴۰۰۰۲۷۸	۶۶۱۱۲۸	۱/۸۰	۱۱۲۳/۱	-/۸۴	۴۴۳/۶	۷۳۶/۶	۰/۵۶	۶/۶۲	-/۹۸	ایرانخواه
۱۵	۴۰۲۰۷۶۹	۶۵۸۱۲۲	-/۲۷	۳۶۶/۵۳	-/۲۰	۱۸۱/۹	۲۳۴/۷	۰/۲۹	-/۱۳	-/۳۷	باشبلاغ
۱۴	۴۰۳۴۹۹۰	۶۰۳۴۱۹	۱	۷۷۲/۴۶	-/۵۱	۳۸۹/۵	۵۰۲/۲	۰/۰۳	-/۵۸	۱/۱۸	بیگ اویسی
۱۳	۴۰۱۶۳۶۸	۶۳۹۰۵۷	-/۳۲	۴۵۹/۶۷	-/۲۱	۲۳۹/۶	۲۹۷/۹	۰/۲۱	-/۱۴	-/۳۹	چاغر لو
۱۴	۴۰۲۱۳۹۷	۶۴۶۰۸۰	-/۷۳	۴۹۵/۳۳	-/۴۸	۲۳۱/۲	۳۱۷/۱	۰/۵	-/۲۲	-/۴۳	چوملو
۱۶	۳۹۹۲۲۵۶	۶۳۳۷۷۶	-/۱۶	۳۵۴/۴۷	-/۱۲	۱۸۶/۶	۲۲۶/۹	۰/۰۱	-/۱۳	-/۳۳	خور خوره
۱۶	۴۰۰۲۱۴۲	۶۱۹۲۵۳	-/۱۷	۴۲۷/۲۱	-/۱۲	۲۲۶/۸	۲۷۳/۴	۰/۰۵	-/۱۲	-/۴۳	خورده لوکی
۱۵	۴۰۲۸۳۰۴	۶۵۵۵۵۷	-/۶۸	۵۳۲/۶۲	-/۴۳	۲۵۳/۳	۳۴۰/۸	۰/۳۷	-/۲۱	-/۵۶	خوش قشلاق
۱۵	۴۰۲۴۰۱۷	۶۱۳۷۲۱	-/۱۵	۳۵۰/۶۹	-/۱۱	۱۸۱/۹	۲۲۴/۵	۰/۲	-/۱۰	-/۲۴	سرچاوه
۱۵	۳۹۹۴۶۶۶	۶۲۰۵۲۲	-/۲۷۶	۴۵۰	-/۱۸	۲۳۳/۳	۲۸۷/۹	۰/۰۴	-/۱۹	-/۳۹	قشلاق پل
۱۴	۴۰۳۳۸۹۹	۶۰۰۵۶۴	۰/۷	۷۱۹/۲	-/۳۷	۳۷۱/۸	۴۶۴/۳	۰/۳۴	-/۳۶	-/۷۲	قهرآباد سفلی

شرط نرمال بودن داده‌ها فقط جز شروط روش کریجینگ می‌باشد درحالی‌که دیگر روش‌ها چنین محدودیتی ندارند (شعبانی، ۱۳۸۷)، زمانی که میزان چولگی و کشیدگی بین -۲ تا ۲ باشد داده‌ها نرمال هستند (جدول ۲).

جدول ۲: مقادیر برخی از آماره‌های مربوط به پارامترهای کیفی.

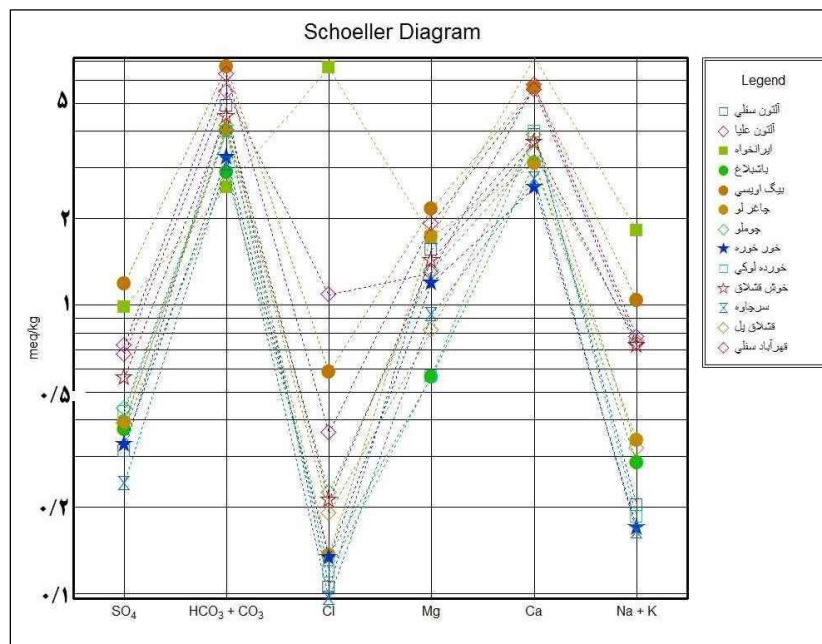
میان	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی	میانگین	حداقل	حداکثر	پارامتر
-/۲۰	۱/۹۲	۱/۹۵	۱/۵۳	۱/۰۰	۰/۱۰	۶/۶۲	Cl
-/۲۵	-/۱۸	-/۲۱	-/۱۶	۰/۲۵	۰/۰۱	-/۵۶	NO3
۳۱۹/۶	۱۴۰/۴	۱/۱	۱/۷	۲۵۸/۳	۲۲۴/۵	۷۳۶/۶	TDS
۲۴۶/۵	۸۹/۱	-/۱۲	۰/۶	۲۸۲/۶	۱۸۱/۹	۴۴۳/۶	TH
-/۲۹	-/۲۱	۱/۴۴	۱/۱۲	-/۳۲	۰/۱۱	-/۸۴	SAR
۴۹۸/۳	۲۱۳/۲	۱/۴	۱/۵	۵۶۵/۵	۳۵۰/۷	۱۱۲۳/۱	EC
-/۵۰	-/۴۶	۱/۵۱	۱/۴۲	-/۵۸	۰/۱۵	۱/۸۰	Na
۳/۷۵	۱/۴۴	-/۰۳	-/۹۰	۴/۰۳	۲/۳۰	۷/۱۶	Ca

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد که میزان چولگی و کشیدگی در محدوده نرمال قرار دارد پس نرمال بودن داده‌ها را نشان می‌دهد و احتیاجی به نرمال‌سازی وجود ندارد.

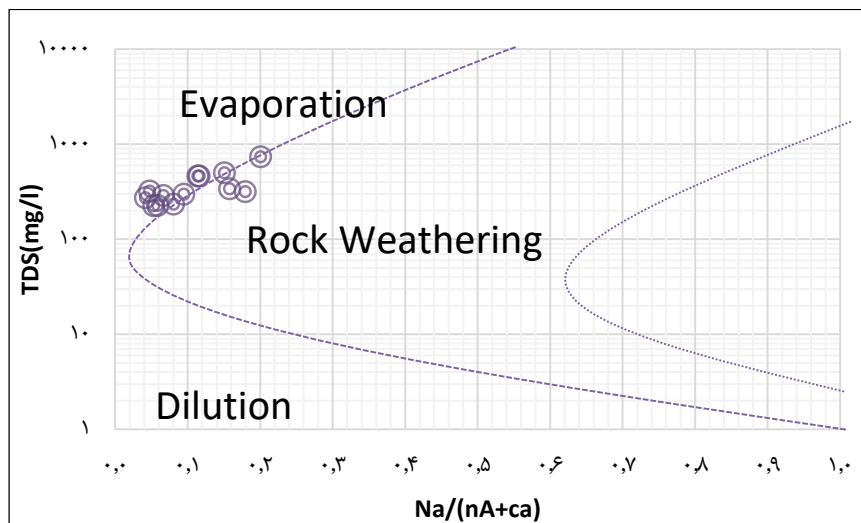


شکل ۲: نمودار Wilcox برای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه.

مطابق نمودار Wilcox ۱۱ ایستگاه در کلاس C2-S1 قرار دارد و ۲ ایستگاه نیز در کلاس C3-S1 قرار دارد که این دو کلاس نشان از کیفیت خوب و قابل قبول بودن آب زیرزمینی جهت استفاده در آبیاری می‌باشد.

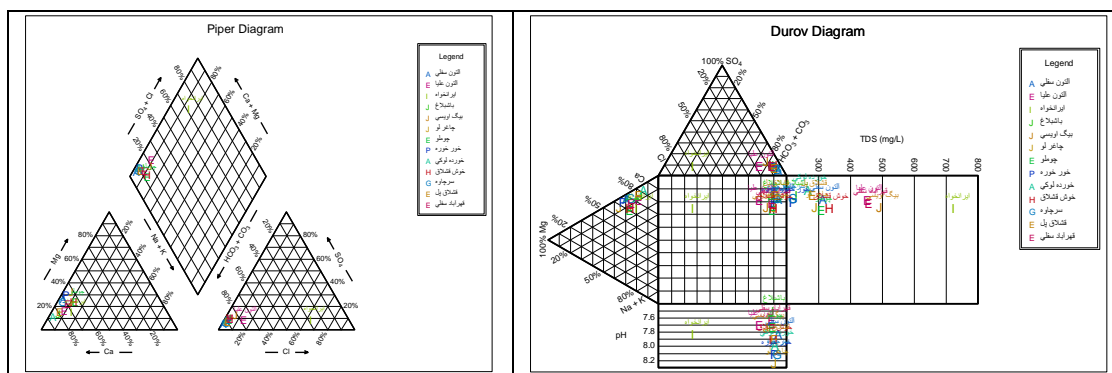


شکل ۳: نمودار Schoeller برای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴: نمودار Gibbs برای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه.

همان‌طور که در نمودار Gibbs قابل‌مشاهده است آب منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سنگ‌بستر و زمین‌شناسی منطقه است که با توجه به جنس سازندها که بیشتر آهکی می‌باشد می‌توان گفت غلظت عناصر تحت تأثیر سنگ‌آهک است.



شکل ۵: نمودار پایپر (سمت چپ) و نمودار Durov (سمت راست) برای ایستگاه مورد مطالعه.

طبق نمودار Durov میزان مجموع املاح محلول در منطقه مورد مطالعه کمتر از ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان PH نیز در حد قلیایی و محل تجمع پارامترها، غلظت بالای HCO_3+CO_3 را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار پایپر که نتایج نمودار پایپر را تایید می‌کند و نوع تیپ آب را HCO_3+CO_3 را تایید می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس‌ها نشان می‌دهد که در تمامی پارامترها اختلاف معنی‌داری در حد یک درصد وجود دارد یعنی مابین مقادیر پارامترها اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۳). برای مقایسه پارامترهای کیفی ایستگاه‌های مختلف با ایستگاه مبنای آنتون سفلی از روش مقایسه میانگین LSD با سطح اعتماد یک درصد و ۵ درصد استفاده شده است. نتایج آزمون LSD نشان می‌دهد پارامترهای TDS و TH دارای بیشترین تعداد اختلاف معناداری در سطح یک درصد را دارا می‌باشند (جدول ۴).

جدول ۳: آزمون تجزیه واریانس پارامترهای کیفی آب برای ایستگاه‌های مختلف.

یون	F	Sig.
SO4	۹۵۰/۷۳۹	.
TDS	۶۷/۰۵	.
TH	۵۴/۷۲۶	.
SAR	۲۸۷/۶۸۲	.
EC	۶۷/۹۶۵	.
Na	۶۲/۶۰۴	.
Ca	۹۱/۷۸۵	.
SO4	۵۳/۰۹۱	.

مطابق جدول ۳ مابین تمامی پارامترها اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۴: نتیجه آزمون LSD با انتخاب ایستگاه آلتون سفلی به‌عنوان شاهد.

پارامتر	SO4	Cl	TDS	TH	SAR	EC	Na	Ca
آلتون سفلی								
ایرانخواه	**۰	**	**	**	**	**	**	**
آلتون علیا	**	۰/۰۱**	**	**	**	**	**	**
باشبلاغ	۰/۳۷	۰/۹۴	۰/۰۰**	**	۰/۰۱**	۰/۰۰**	۰/۳۴	۰/۰۱**
بیگ اویسی	۰/۰۰**	۰/۲۲	۰/۰۰**	**	۰/۰۰**	۰/۰۰**	۰/۰۰**	۰/۰۰**
چاغر لو	۰/۲۱	۰/۹۴	۰/۴۰	۰/۰۸	۰/۰۰**	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۰۱**
چوملو	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۰۳*	۰/۰۰**	۰/۸۹	۰/۰۰**	۰/۰۶
خور خوره	۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۰۰**	۰/۰۰**	۰/۹۸	۰/۰۰**	۰/۶۸	۰/۰۰**
خورده لوکی	۰/۰۹	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۰۱**	۰/۹۶	۰/۰۹	۰/۸۲	۰/۷۰
خوش قشلاق	۰/۰۰**	۰/۷۹	۰/۵۳	۰/۳۴	۰/۰۰**	۰/۴۸	۰/۰۰**	۰/۴۷
سرچاه	۰/۳۰	۰/۹۸	۰/۰۰**	۰/۰۰**	۰/۹۳	۰/۰۰**	۰/۶۸	۰/۰۰**
قشلاق پل	۰/۲۶	۰/۸۲	۰/۲۴	۰/۰۳*	۰/۰۴*	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۹۸
قهرآباد سفلی	۰/۰۰**	۰/۵۱	۰/۰۰**	**	**	۰/۰۰**	**	**

*اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد **اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد.

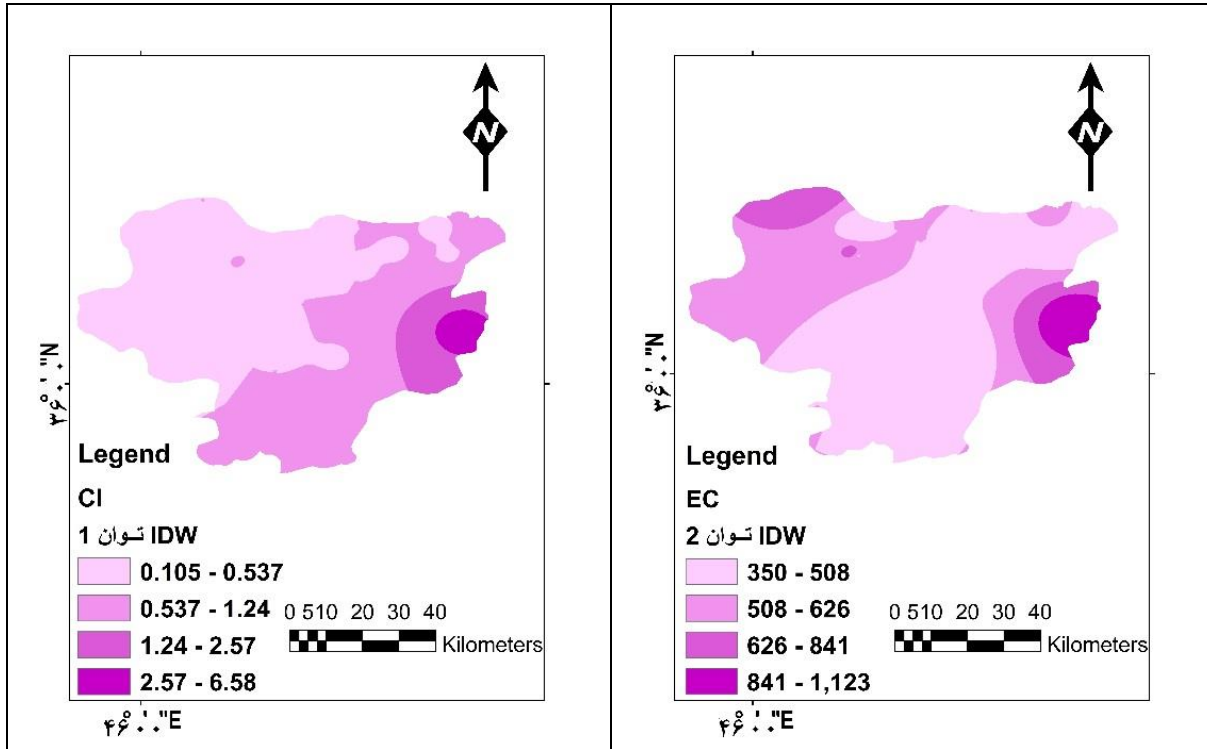
نتایج حاصل از آنالیز آزمون LSD نشان داد که در صورتی که یکی از ایستگاه‌ها را به‌عنوان شاهد بگیریم و مقادیر پارامترها دیگر ایستگاه‌ها را با آن مقایسه نماییم، اختلاف معناداری در دو سطح ۵ و یک درصد قابل‌مشاهده است به‌عنوان مثال مابین مقادیر EC ایستگاه‌ها و ایستگاه آلتون سفلی در بیشتر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. برای درک توزیع فضایی مناطق مناسب و نامناسب، روش پهنه‌بندی مکانی به هشت روش زمین‌آمار کریجینگ دایره‌ای، کریجینگ گوسن، وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) با توان‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، تخمین‌گر عام (GPI) و تخمین‌گر موضعی (LPI)، به‌وسیله نرم‌افزار ArcGIS 10 برای هر کدام از پارامترهای هیدروشیمیایی مذکور به‌صورت مجزا و تلفیقی انجام گرفت که بر اساس کمترین مقدار ریشه دوم میانگین مربع خطاها (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و خطای

بایس میانگین (MBE) مناسب‌ترین روش جهت پهنه‌بندی مشخص گردید (جدول ۴). بر اساس مناسب‌ترین روش حاصل از جدول ۴ در شکل‌های ۶ الی ۹ مورد پهنه‌بندی قرار گرفت.

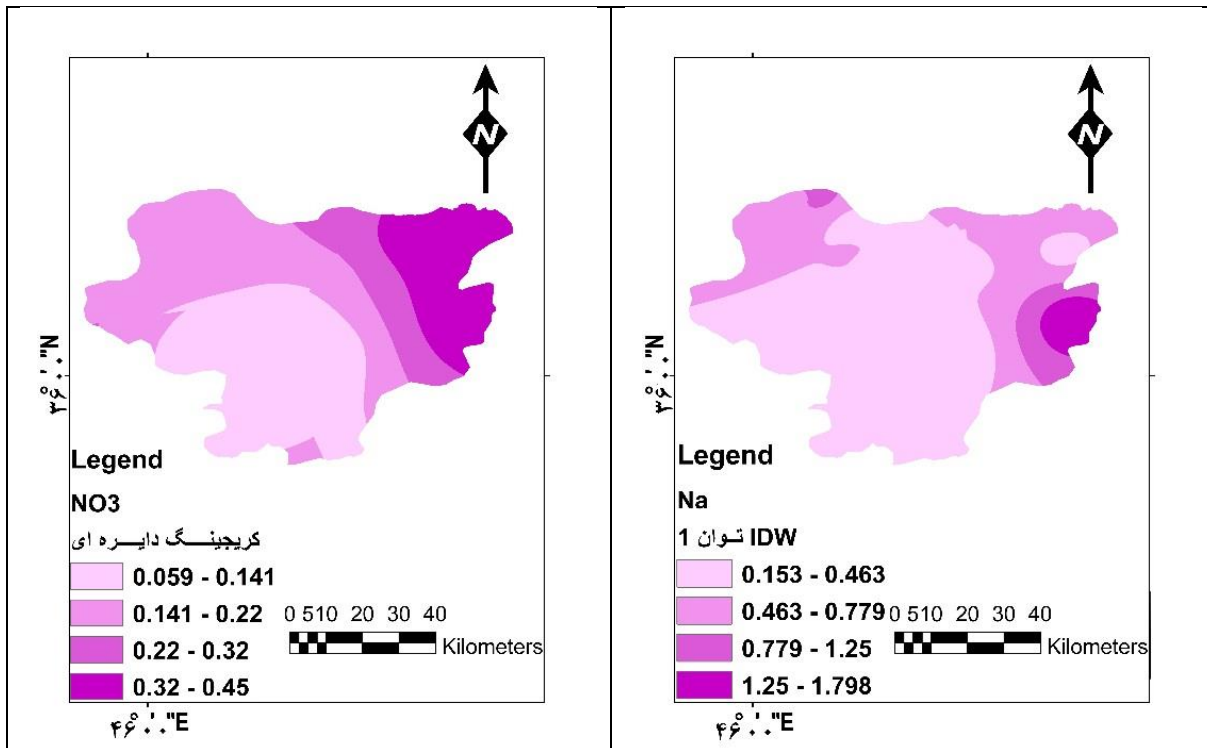
جدول ۵: مقادیر MAE, RMSE و MBE برای شاخص‌های مورد مطالعه.

روش	معیارهای ارزیابی	SO4	Cl	NO3	TDS	Th	SAR	Na	EC
IDW	RMSe	-۰/۲۸*	۱/۸۳۶*	-۰/۱۸۶	۱۵۲/۷	۸۵/۰۱	-۰/۲۲۷*	-۰/۵*	۲۳۰/۹
توان ۱	MAE	-۰/۲۱*	-۰/۹۶*	-۰/۱۶	۱۰۸/۹	۶۵/۷۸	-۰/۱۸*	-۰/۳۸*	۱۹۶
	MBE	-۰/۰۰۲۶*	-۰/۱۹*	-۰/۰۰۷۴	۱۰/۷	۳/۵۰	-۰/۰۰۸۲*	-۰/۰۱۵*	۱۵/۹
IDW	RMSe	-۰/۲۹۴	۱/۸۴	-۰/۱۹۷	۱۵۰/۴*	۸۴/۶۱*	-۰/۲۳۴	-۰/۵۰۹	۲۳۰/۳*
توان ۲	MAE	-۰/۲۳۲	-۰/۸۸	-۰/۱۶۹	۱۰۲/۲*	۵۴/۰۶*	-۰/۱۹۵	-۰/۳۹	۱۵۵*
	MBE	-۰/۰۰۸۳	-۰/۲۸	-۰/۰۰۳۵	۵/۵۴*	۱/۱۲*	-۰/۰۱۴	-۰/۰۳۹	۸/۵۲*
IDW	RMSe	-۰/۲۹۹	۱/۸۴	-۰/۲۰۲	۱۵۱/۸	۸۶/۱۸	-۰/۲۳۹	-۰/۵۱۶	۲۳۵
توان ۳	MAE	-۰/۲۳۵	-۰/۸۱	-۰/۱۶۹	۱۰۳/۵	۵۹/۸۳	-۰/۲۰۳	-۰/۴۰۵	۱۵۸/۲
	MBE	-۰/۰۰۸۶	-۰/۳۶	-۰/۰۰۳۷	۱۰/۵۶	-۰/۶۴	-۰/۰۱۵	-۰/۰۴۶	۱۵/۱
IDW	RMSe	-۰/۳۰۱	۱/۸۴	-۰/۲۰۴	۱۵۶/۴	۸۷/۳	-۰/۲۴۳	-۰/۵۲۱	۲۷۳/۱
توان ۴	MAE	-۰/۲۳۶	-۰/۹۸	-۰/۱۶۹	۱۰۳/۹	۶۰/۲۹	-۰/۲۰۷	-۰/۴۱	۱۵۸/۹
	MBE	-۰/۰۱۱	-۰/۴۰۵	-۰/۰۰۵	۱۳/۷	۲/۴۱	-۰/۰۱۷	-۰/۰۵۳	۱۹/۸
GPI	RMSe	-۰/۳۴۷	۲/۱۹	-۰/۱۷۶	۱۹۴/۳	۱۱۰/۵	-۰/۲۲۵	-۰/۵۹۳	۲۹۳/۳
	MAE	-۰/۲۵۱	۱/۵۴	-۰/۱۵۱	۱۴۷/۷	۸۴/۷۶	-۰/۱۹۹	-۰/۴۴	۲۲۳/۱
	MBE	-۰/۰۱۷	-۰/۳۷	-۰/۰۰۵۴	۵/۵۹	۳/۵۴	-۰/۰۰۸۴	-۰/۰۱۹	۸/۵۴
LPI	RMSe	-۰/۳۱۶	۱/۹۷	-۰/۱۸۷	۱۸۰	۱۰۲/۶۷	-۰/۲۴۵	-۰/۵۵۸	۲۷۳
	MAE	-۰/۳۷۵	۱/۰۳	-۰/۱۵۴	۱۱۶/۴	۶۹	-۰/۱۸۸	-۰/۴۰۸	۱۷۶/۸
	MBE	-۰/۰۰۸	-۰/۲۰۴	-۰/۰۱	۱۳/۹۷	۷/۲۱	-۰/۰۱۴۲	-۰/۰۳۸	۲۰/۹
کریجینگ	RMSe	-۰/۲۹۳	۱/۹۵	-۰/۱۷۳*	۱۷۰/۶	۹۲/۹	-۰/۲۲۷	-۰/۵۳۳	۲۵۷/۷
دایره‌ای	MAE	-۰/۲۲	۱/۰۲۶	-۰/۱۱۵*	۱۱۰/۵۱	۶۵/۲	-۰/۱۸۸	-۰/۳۹۷	۱۶۷/۶
	MBE	-۰/۰۳۴	۱/۲۳۷	-۰/۰۰۳۵*	۱۲/۶	۶/۱۰۴	-۰/۰۱۵	-۰/۰۴	۱۹/۰۵
کریجینگ	RMSe	-۰/۲۹	۲/۰۵۹	-۰/۱۷۴	۱۷۲/۵	۹۳/۷۵	-۰/۲۴۴	-۰/۵۵۸	۲۶۰/۷
گوسن	MAE	-۰/۲۱۷	۱/۳۳۹	-۰/۱۴۴	۱۱۴	۶۵/۰۵۸	-۰/۱۹۳	-۰/۴۱۷	۱۷۳/۹۵
	MBE	-۰/۰۳۲	-۰/۲۶۶	-۰/۰۰۳۷	۱۸/۶	۷/۹۴	-۰/۰۲۴	-۰/۰۵۷	۲۷/۸۷

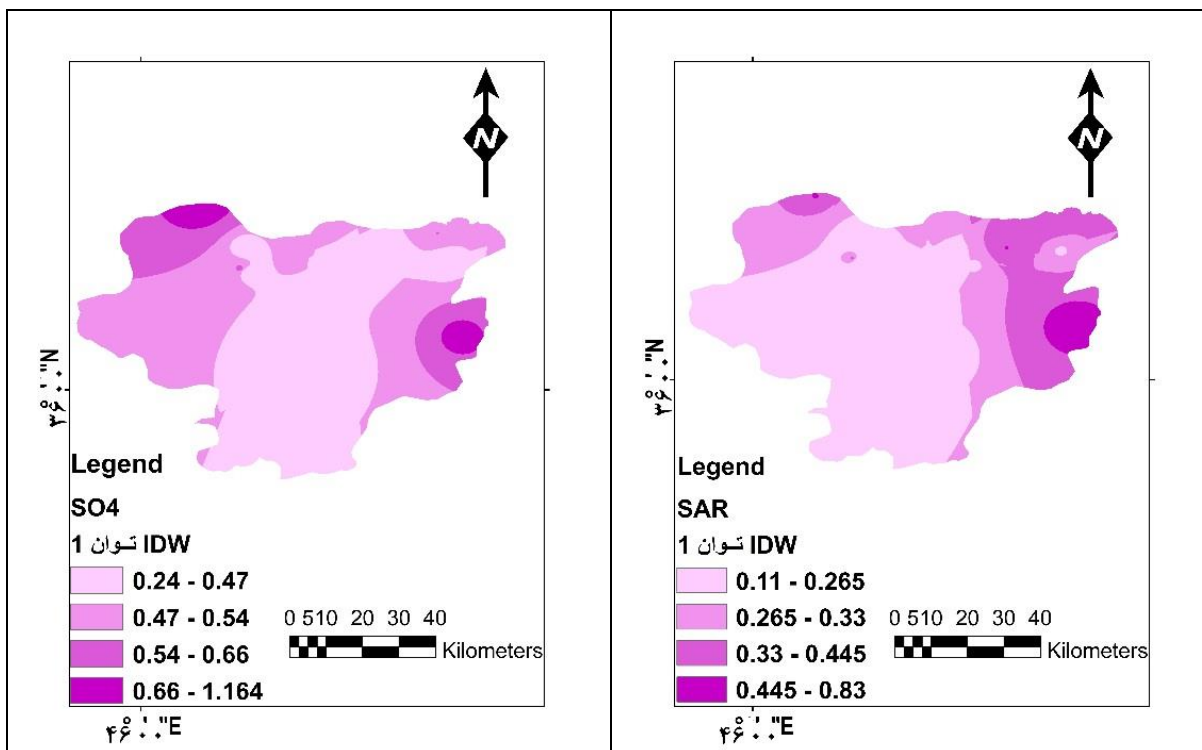
*مناسب‌ترین روش جهت پهنه‌بندی.



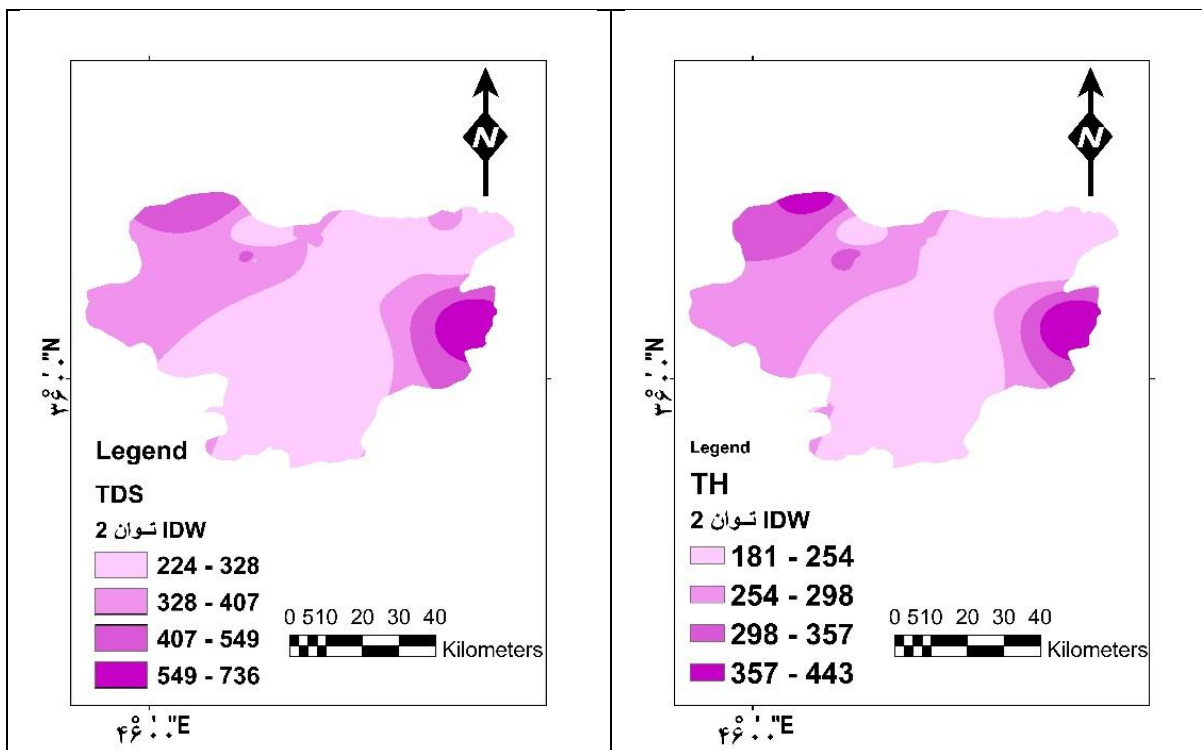
شکل ۶: نقشه هم پارامتر مناسب‌ترین روش برای EC سمت راست و CI سمت چپ.



شکل ۷: نقشه هم پارامتر مناسب‌ترین روش برای Na سمت راست و NO3 سمت چپ.



شکل ۸: نقشه هم پارامتر مناسب‌ترین روش برای سمت راست SAR و سمت چپ SO4.



شکل ۹: نقشه هم پارامتر مناسب‌ترین روش برای سمت راست TH و سمت چپ TDS.

نتایج میان‌یابی مکانی بر اساس معیارهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریب (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) نشان داده که برای پارامترهای سدیم، کلر، نسبت سدیم قابل جذب و سولفات روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان یک و برای پارامترهای شوری، سختی و غلظت املاح محلول وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۲ و برای نترات روش کریجینگ دایره‌ای مناسب‌ترین روش جهت پهنه‌بندی هستند. مطابق نقشه‌های بدست آمده هرچه به سمت شرق منطقه مورد مطالعه حرکت کنیم بر میزان غلظت املاح افزوده می‌شود که دلیل آن نزدیک شدن به محیط شهری، افزایش صنایع، کارخانه‌ها، فاضلاب‌های شهری و صنعتی است.

بحث و نتیجه‌گیری

آلودگی‌های مختلف انتشار یافته در سطح آب‌های زیرزمینی دارای مضرات زیست‌محیطی فراوانی بوده که مستقیماً زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از جمله این تأثیرات می‌توان به آلودگی آب شرب مصرفی و محصولات مختلف کشاورزی و مسمومیت‌های ناشی از استفاده آن‌ها همچنین به از بین رفتن آبزیان در سطح منطقه‌های مختلف اشاره کرد. ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی با توجه به اینکه آب‌های سطحی دارای کیفیت نامناسبی می‌باشند و نیز انتخاب مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی همواره مسئله‌ای مهم پیش روی مدیران بوده است. اکثر آب‌های زیرزمینی بدون انجام هرگونه آزمایشی مورد استفاده مردم قرار می‌گیرد. کیفیت آب زیرزمینی شهرستان سقز جهت شرب با توجه به نمودار Schoeller و برای آبیاری با توجه به نمودار Wilcox مناسب می‌باشد که با نتایج صالحی و زینی‌وند (۱۳۹۳) و صادقی فر و ساریخانی (۱۳۹۳) همخوانی دارد، همچنین طبق نمودار Gibbs کیفیت منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل زمین‌شناسی و فرسایش سنگ‌بستر قرار دارد و تیپ آب با توجه به نمودار پایپر $Ca-HCO_3$ می‌باشد، غلظت املاح محلول کمتر از ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که نشان‌دهنده کم بودن این مقدار می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تعیین میزان تغییرات مکانی انواع پارامترها وجود دارد که انتخاب مناسب‌ترین روش که کمترین میزان خطا را داشته باشد می‌تواند ابزاری مناسب جهت مدیریت منابع باشد، در این پژوهش روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان ۱ و ۲ روش‌های مناسبی جهت پهنه‌بندی پارامترهای مورد استفاده می‌باشد که با نتایج ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰)، Ahmadi و Balandeh (۲۰۱۳) و Sarukkhalige (۲۰۱۲) مطابقت ندارد و آن‌ها روش کریجینگ را به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی کردند.

منابع

- حسینی پاک، ع.، ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ذبیحی، ع.، سلیمانی، ک.، شعبانی، م. و آبروش، ص.، ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان قم)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۸: صفحات ۱۱۲-۱۰۱.
- شعبانی، م.، ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت ارسنجان. مجله علمی پژوهشی مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، (۱): صفحات ۴۴-۲۳.
- صادقی فر، م. و ساریخانی، ر.، ۱۳۹۳. مطالعه کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه کوه‌دشت استان لرستان. دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط‌زیست) شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.
- صالحی، ح. و زینی‌وند، ح.، ۱۳۹۳. بررسی کیفیت آب زیرزمینی و انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی آن در غرب شهرستان مریوان. مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۱۵، ۳: صفحات ۱۶۶-۱۵۳.
- عساکره، ح.، ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. جغرافیا و توسعه، ۱۲: صفحات ۴۲-۲۵.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۶. هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی.

- فریادی، س.، شاهی ک. و نباتپور، م.، ۱۳۹۱. مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال سوم، شماره ۶.
- فرید گیگلو، ب.، نجفی نژاد، ع.، مغانی بیله سوار، و. و غیاتی، ا.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد بیستم، شماره اول.
- مهدوی، م.، ۱۳۸۴. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- نادی، م.، خلیلی، ع.، پورطهماسی، ک. و بذرافشان، ج.، ۱۳۸۹. ارزیابی برخی از روش‌های زمین‌آمار برای میان‌یابی داده‌های بارندگی در منطقه چهارباغ. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.

Balandeh, N. and Ahmadi, A., 2013. Zoning of the groundwater-level and salinity using geostatistic. International Journal of Agricultural Research. And Rev, 3(1): 109-112.

Bhaskar, C. V., Kumar, K. and Nagendrappa, G., 2010. Assessment of heavy metals in water samples of certain locations situated around Tumkur, Karnataka, India. Journal of Chemistry, 7(2):349-52.

Davis, J. C., 1973. Statistics and Data Analysis in Geology., New York, 550pp.

Durov, S. A., 1959. Geometriceskij metod v gidrochimii. Rostovskoje kniznoje izdatelstvo, Rostov.USSR. (Geometrical methods in hydrochemistry).

Elinge, C., Itodo, A., Peni, I., Birnin-Yauri, U. and Mbongo, A., 2011. Assessment of heavy metals concentrations in bore-hole waters in Aliero community of Kebbi State. Advances in Applied Science Research, 2(4):279-282.

Fan, J. and Gibels, I., 1996. Local Polynomial Modelling and Its Applications, Chapman&Hall, London.

Gibbs, R. J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry, Science, 170:1088-1090.

Hooshmand, A., Delghandi, M., Izadi, A. and Ali, K. H., 2011. Application of kriging in spatial estimation of groundwater quality parameters, African Journal of Agricultural Research, 6(14): 3402-3408.

Hyndman, R. and Koehler, A., 2005. Another look at measures of forecast accuracy.

Mebrahtu, G. and Zerabruk, S., 2011. Concentration and Health Implication of Heavy Metals in Drinking Water from Urban Areas of Tigray Region, Northern Ethiopia. Momona Ethiopian Journal of Science, 3(1):105-21.

Nas, B., 2009. Geostatistical approach to assessment of spatial distribution of groundwater quality. Polish Journal of Environmental Studying, 6: 1073-1082.

Piper, A. M., 1944. Agraphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, Eos Transactions American Geophysical Union Journal, 25: 914-923.

Sarukkalige, R., 2012. Geostatistical analysis of groundwater quality in Western Australia. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2(4): 790-794.

Schoeller, H., 1964. La classification geochemique des eaux. LASH Publication no. 64, Gen. Assembly of Berkeley, V. 4, pp. 16-24.

Scott, A. and Fred, C., 1992. Error Measures for Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons. International Journal of Forecasting, 8 (1): 69-80.

Soltani, J., Khodabakhshi, F. and Dadashi, M., 2014. Classification of water quality of Gharasoo River for different uses in the wet and dry years. Journal of River Engineering, Volume 2, Issue 3.

Stone, R. J., 1993. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. Solar energy, Vol. 5 I, No. 4, pp. 289-291.

Wilcox, L. V., 1955. Classification and use of irrigation waters. USDA Circ. 969, Washington, DC.