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

حسین صالحی[1*]
حسین زینی‌وند[2]
شادی احمدی[3]

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.

چکیده

افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها سبب وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور ازجمله منابع آب زیرزمینی شده است. آلودگی‌های مختلف انتشاریافته در سطح آب‌های زیرزمینی دارای مضرات زیست‌محیطی فراوانی بوده که مستقیما 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 درمجموع ۱۸۸ نمونه برای هرکدام از پارامترها که شامل میزان شوری (EC)، کلر (Cl)، غلظت مواد محلول (TDS)، سولفات (SO4)، سختی آب (TH)، سدیم (Na)، نسبت سدیم قابل‌جذب (SAR) و نیترات (NO3) استفاده‌شده 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 نشان‌داد 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 قابل‌جذب و سولفات روش وزن دهی 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.

مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها سبب وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور ازجمله 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 موردتوجه قرارگرفته، به‌طوری‌که در برخی مناطق آب زیرزمینی تنها منبع تأمین آب محسوب می‌شود. کیفیت آب‌های زیرزمینی همچون آب سطحی دائماً در حال تغییر است (مهدوی، 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 موردبررسی روند مکانی کلی وجود نداشته و تنها اسیدیته (pH) از توزیع نرمال تبعیت نمود و سایر ویژگی‌ها با اعمال تبدیل به توزیع نرمال تبدیل شدند. در مدیریت یکپارچه آب، حفظ کیفیت

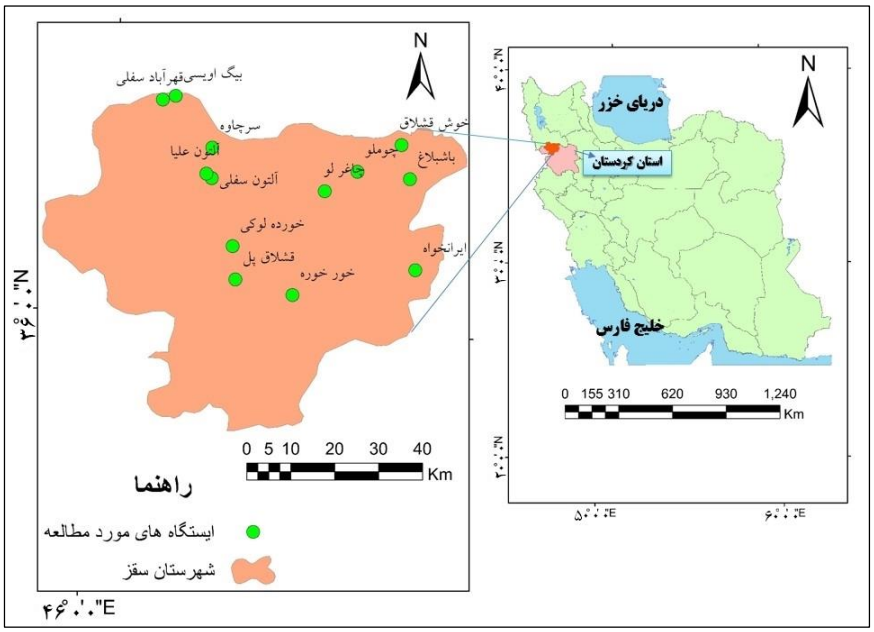
[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

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 تبدیل‌شده است به‌طوری‌که برای مثال هرساله ۲۵ میلیون نفر در کشورهای فقیر در اثر آلودگی آب از بین می‌روند (فریادی و همکاران، ۱۳۹۱). نادی و همکاران (۱۳۸۹) برای میان‌یابی داده‌های بارندگی در منطقه چهارباغ گرگان، هشت روش کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ -رگرسیون، وزنی عکس فاصله، اسپلاین، گرادیان‌های سه‌بعدی خطی، هیبرید خطی و غیرخطی و کریجینگ با روند خارجی را ارزیابی کردند. برای ارزیابی از شاخص‌های آماری MADو 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 ازلحاظ 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 موردمطالعه روش کریجینگ، مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است. نرم‌افزارهای مختلفی برای تجزیه‌وتحلیل و بررسی کیفیت آب، توسعه‌یافته است. Balandeh و Ahmadi (۲۰۱۳) به‌منظور 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) به‌منظور 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 هرکدام 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 موردبررسی قرار داد. او ۴ مدل واریوگرامی کریجینگ را شامل مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی را روی‌داده‌های منطقه موردمطالعه‌اش 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. آب چاه‌های گمانه سه منطقه از ایالت کبی در نیجریه توسط Elinge و همکارانش در سال ۲۰۱۱ ازنظر غلظت فلزات سنگین موردبررسی قرار گرفت. Zerabruk و Mebrahtu در سال ۲۰۱۱ آب آشامیدنی ۱۶ منطقه پرجمعیت در ایالت تیگرای را ازنظر 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 تخمین‌گر موضعی برای پارامترهای سولفات، غلظت مواد محلول و شوری و روش تابع شعاعی برای پارامترهای سدیم و نسبت جذب سدیم و روش تخمین‌گر عام برای پارامتر کلر و روش کریجینگ ساده برای پارامتر سختی آب دارای مناسب‌ترین برآورد سالانه بودند. نرم‌افزار AqQA باقابلیت 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 وغیره و هم‌چنین محاسبه تعادل کربنات، TDS، چگالی و قابلیت هدایت الکتریکی و دارا بودن دویست نوع آنالیز از پیش تعیین‌شده آلی، غیرآلی، بیولوژیکی، ایزوتوپ‌ها و رادیواکتیویته ابزار بسیار جدید و مناسبی برای تجزیه‌وتحلیل و بررسی کیفیت آب می‌باشد که در مطالعات جدید از آن استفاده‌شده 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 درنهایت توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مناسب‌ترین روش درون‌یابی پهنه‌بندی می‌شود.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

مواد و روش‌ها

شهرستان سقز در شمال استان کردستان واقع‌شده 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 واقع‌شده 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 موردمطالعه در استان کردستان و ایران.

پارامترهای شیمیایی کیفیت آب منطقه موردمطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان از ۱۳ ایستگاه که مربوط به سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۱ می‌باشد و درمجموع ۱۸۸ نمونه برای هرکدام از پارامترها که شامل میزان شوری (EC)، کلر (Cl)، غلظت مواد محلول (TDS)، سولفات (SO4)، سختی آب (TH)، سدیم (Na)، نسبت سدیم قابل‌جذب (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 تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. نمودار Gibbs برای تعیین منشاء تغییرات بر کیفیت آب منطقه موردمطالعه 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 به‌منظور بررسی قابلیت شرب آب رودخانه استفاده می‌شود (Schoeller, 1964). معیارهای کیفیت آب شرب طبق نظر Schoeller در جدول (۱) قابل‌مشاهده است. نمودار Wilcox نیز برای تعیین کیفیت آب کشاورزی استفاده شد (Wilcox, 1955). هم‌چنین یکی از شاخصه‌های کیفیت آب آشامیدنی، سختی آن است که برمبنای کربنات کلسیم موردسنجش 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 ازنظر کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن است زیرا این‌دو، نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه آب را ازنظر 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

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

(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 آلتون‌سفلی به‌عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شد و با تک‌تک ایستگاه‌ها ازنظر 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 اریب (MBE) اقدام به تعیین بهترین روش درون‌یابی جهت توزیع و پهنه‌بندی منطقه موردمطالعه پرداخته شد که در ادامه، این روش‌ها به‌تفصیل بیان‌شده‌اند.

در زمین‌آمار می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار آن کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم برآورد نمود، به‌شرط 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 زمین آماری است که دارای ویژگی‌هایی است که عبارت‌اند از:

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

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

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

۲- ناریب است، یعنی امید ریاضی آن برابر میانگین واقعی (wμ) نمونه‌ها است.

رابطه ۲: $$E(\mu_k - \mu_w) = 0$$

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

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

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. به‌طوری‌که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک تر وزن‌ها را به‌طور 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 (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

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

که در آن، Yi: وزن ایستگاه i ام ،Di: فاصله ایستگاه iام تا ایستگاه مجهول، a: توان وزن‌دهی می‌باشد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

درون‌یابی چندجمله‌ای برازش‌دهنده یک سطح هموار 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 (حسنی‌پاک، 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 رادارند 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. بااین‌حال تعداد نقاط همسایه که برای برآورد در یک نقطه معین بکار گرفته می‌شوند در کیفیت نتایج تأثیر بسزایی دارد. ازآنجاکه 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 به‌اندازه کافی کوچک باشد. از این گذشته اگر تغییرات مکانی خیلی زیاد باشد، مدل‌های زمین‌آماری نتایج بهتری دارند. برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی به‌منظور تهیه نقشه تغییرات منطقه موردمطالعه 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 (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷؛ Gibels and Fan, 1996). به‌منظور 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 استفاده‌شده است(Scott and Fred, 1992; Hyndman and Koehler, 2005; Stone, 1993).

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

رابطه ۶:
$$\mathrm{MAE} = \frac{\sum_{n=1}^{n}\left|\dot{Z}(xi) - Z(xi)\right|}{n}$$

رابطه ۷:
$$\mathrm{MBE} = \frac{\sum_{n=1}^{n}(\dot{Z}(xi) - Z(xi))}{n}$$

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

نتایج

پارامترهای شیمیایی نمونه آب‌ها با استفاده از داده‌های بدست آمده از آنالیز کیفی آب به‌صورت میانگین تعداد نمونه‌های برداشت‌شده در جدول ۱ ارائه‌شده و به‌صورت نمودارهای پایپر، Schoeller، Wilcox، Gibbs و Durov مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته 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 دیاگرام Schoeller تمام نمونه‌های مربوط به آب منطقه موردمطالعه در دسته مناسب قرارگرفته‌اند (شکل ۳). با توجه به تجمع نمونه‌ها در نمودار

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

Gibbs می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره آماری کیفیت شیمیایی آب منطقه موردمطالعه تحت تأثیر تشکیلات زمین‌شناسی قراردارد (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 موردمطالعه کمتر از ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هست و اسیدیته در حد قلیایی هست.

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

ایستگاه	So4	Cl	No3	TDS	Th	SAR	EC	Na	UTM x	UTM y	تعداد نمونه برداشت‌شده
آلتون سفلی	۰/۳۱	۰/۱۰	۰/۱	۳۲۲/۱	۲۷۰/۴	۰/۱۲	۵۰۱/۳۳	۰/۱۹	۶۱۳۱۸۳	۴۰۱۷۰۹۲	۱۴
آلتون علیا	۰/۶۷	۱/۰۸	۰/۳۵	۴۶۱/۶	۳۵۱	۰/۴۰	۷۱۴/۷۱	۰/۷۵	۶۱۱۸۸۱	۴۰۱۸۰۰۰	۱۳
ایرانخواه	۰/۹۸	۶/۶۲	۰/۵۶	۷۳۶/۶	۴۴۳/۶	۰/۸۴	۱۱۲۳/۱	۱/۸۰	۶۶۱۱۲۸	۴۰۰۰۲۷۸	۱۴
باشبلاغ	۰/۳۷	۰/۱۳	۰/۲۹	۲۳۴/۷	۱۸۱/۹	۰/۲۰	۳۶۶/۵۳	۰/۲۷	۶۵۸۱۲۲	۴۰۲۰۷۶۹	۱۵
بیگ اویسی	۱/۱۸	۰/۵۸	۰/۰۳	۵۰۲/۲	۳۸۹/۵	۰/۵۱	۷۷۲/۴۶	۱	۶۰۳۴۱۹	۴۰۳۴۹۹۰	۱۴
چاغر لو	۰/۳۹	۰/۱۴	۰/۲۱	۲۹۷/۹	۲۳۹/۶	۰/۲۱	۴۵۹/۶۷	۰/۳۲	۶۳۹۰۵۷	۴۰۱۶۳۶۸	۱۳
چوملو	۰/۴۳	۰/۲۲	۰/۵	۳۱۷/۱	۲۳۱/۲	۰/۴۸	۴۹۵/۳۳	۰/۷۳	۶۴۶۰۸۰	۴۰۲۱۳۹۷	۱۴
خور خوره	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۰۱	۲۲۶/۹	۱۸۶/۶	۰/۱۲	۳۵۴/۴۷	۰/۱۶	۶۳۳۷۷۶	۳۹۹۲۲۵۶	۱۶
خورده لوکی	۰/۴۳	۰/۱۲	۰/۰۵	۲۷۳/۴	۲۲۶/۸	۰/۱۲	۴۲۷/۲۱	۰/۱۷	۶۱۹۲۵۳	۴۰۰۲۱۴۲	۱۶
خوش قشلاق	۰/۵۶	۰/۲۱	۰/۳۷	۳۴۰/۸	۲۵۳/۳	۰/۴۳	۵۳۲/۶۲	۰/۶۸	۶۵۵۵۵۷	۴۰۲۸۳۰۴	۱۵
سرچاوه	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۲	۲۲۴/۵	۱۸۱/۹	۰/۱۱	۳۵۰/۶۹	۰/۱۵	۶۱۲۷۲۱	۴۰۲۴۰۱۷	۱۵
قشلاق پل	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۰۴	۲۸۷/۹	۲۳۳/۳	۰/۱۸	۴۵۰	۰/۲۷۶	۶۲۰۵۲۲	۳۹۹۴۶۶۶	۱۵
قهرآباد سفلی	۰/۷۲	۰/۳۶	۰/۳۴	۴۶۴/۳	۳۷۱/۸	۰/۳۷	۷۱۹/۲	۰/۷	۶۰۰۵۶۴	۴۰۳۳۸۹۹	۱۴

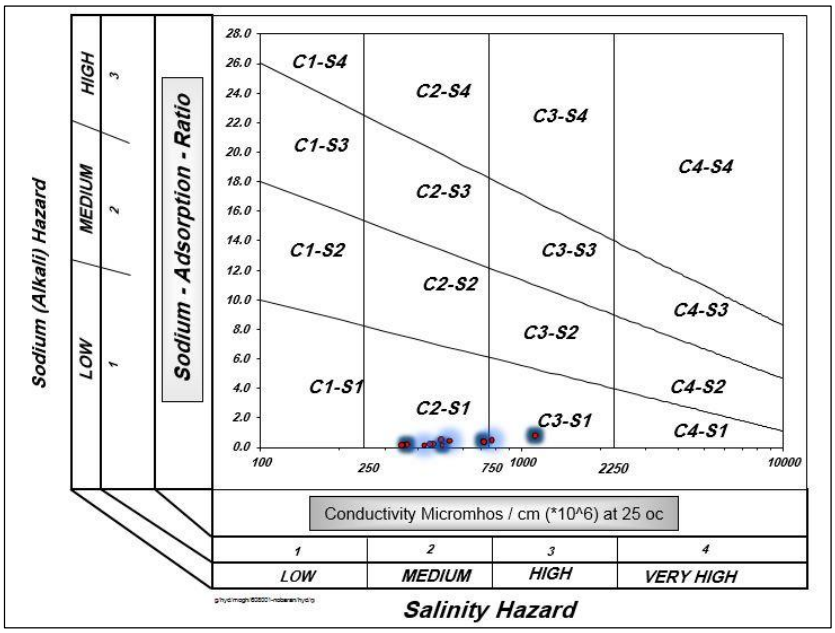
شرط نرمال بودن داده‌ها فقط جز شروط روش کریجینگ می‌باشد درحالی‌که دیگر روش‌ها چنین محدودیتی ندارند (شعبانی، ۱۳۸۷)، زمانی که میزان چولگی و کشیدگی بین -۲ تا ۲ باشد داده‌ها نرمال هستند (جدول ۲).

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

پارامتر	حداکثر	حداقل	میانگین	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	میانه
Cl	۶/۶۲	۰/۱۰	۱/۰۰	۱/۵۳	۱/۹۵	۱/۹۲	۰/۲۰
NO3	۰/۵۶	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۱۶	-۱/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۵
TDS	۷۳۶/۶	۲۲۴/۵	۳۵۸/۳	۱/۷	۱/۱	۱۴۰/۴	۳۱۹/۶
TH	۴۴۳/۶	۱۸۱/۹	۲۸۲/۶	۰/۶	-۱/۲	۸۹/۱	۲۴۶/۵
SAR	۰/۸۴	۰/۱۱	۰/۳۲	۱/۱۲	۱/۴۴	۰/۲۱	۰/۲۹
EC	۱۱۲۳/۱	۳۵۰/۷	۵۶۵/۵	۱/۵	۱/۴	۲۱۳/۲	۴۹۸/۳
Na	۱/۸۰	۰/۱۵	۰/۵۸	۱/۴۲	۱/۵۱	۰/۴۶	۰/۵۰
Ca	۷/۱۶	۲/۳۰	۴/۰۳	۰/۹۰	-۰/۰۳	۱/۴۴	۳/۷۵

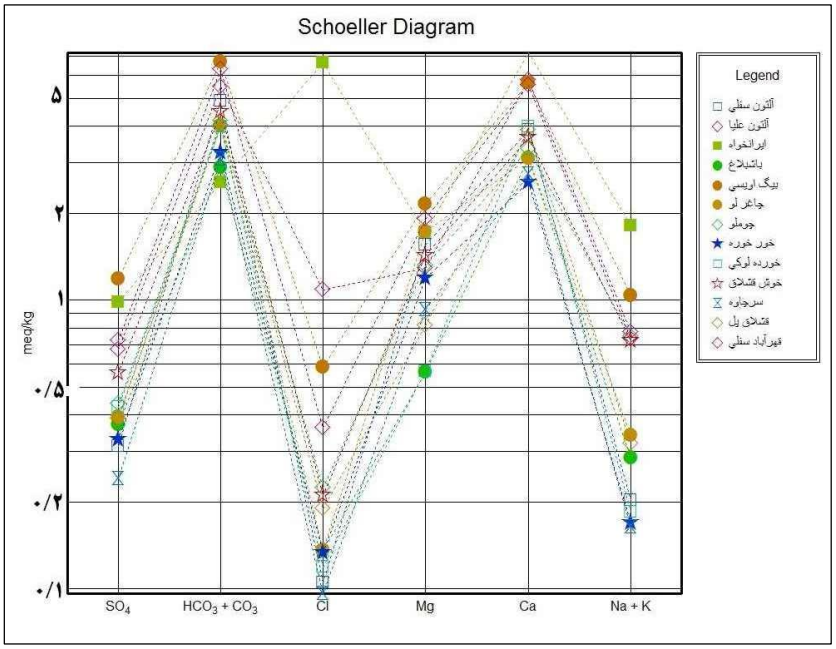
[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

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



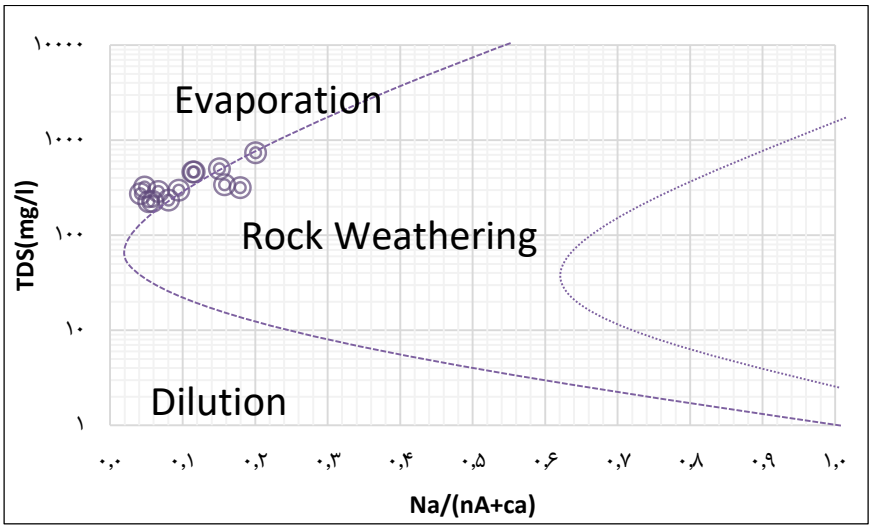
شکل ۲: نمودار Wilcox برای ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه.

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 قابل‌قبول بودن آب زیرزمینی جهت استفاده در آبیاری می‌باشد.



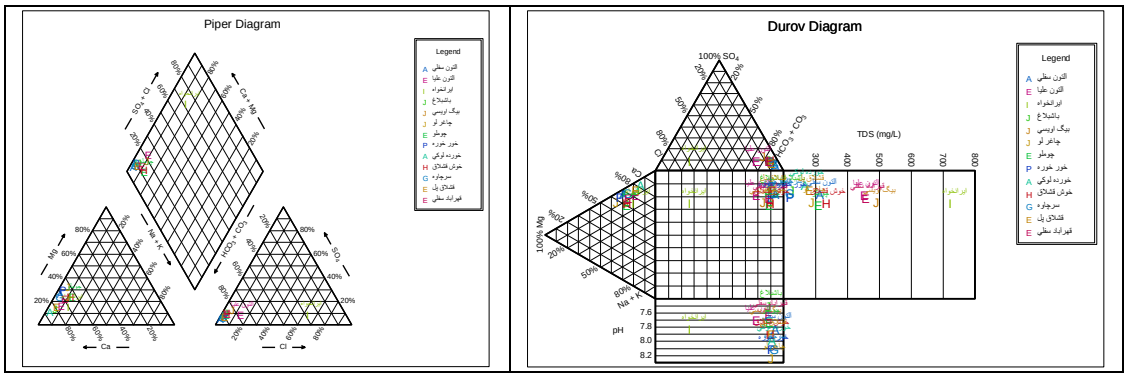
شکل ۳: نمودار Schoeller برای ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



شکل ٤: نمودار Gibbs برای ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه.

همان‌طور که در نمودار Gibbs قابل‌مشاهده است آب منطقه موردمطالعه 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 ٥: نمودار پایپر (سمت چپ) و نمودار Durov (سمت راست) برای ایستگاه موردمطالعه.

طبق نمودار Durov میزان مجموع املاح محلول در منطقه موردمطالعه کمتر از ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان PH نیز در حد قلیایی و محل تجمع پارامترها، غلظت بالای HCO3+CO3 را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار پایپر که نتایج نمودار پایپر را تایید می‌کند و نوع تیپ آب را HCO3+CO3 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 آلتون‌سفلی از روش مقایسه میانگین LSD با سطح اعتماد یک درصد و ۵ درصد استفاده‌شده است. نتایج آزمون LSD نشان می‌دهد پارامترهای TDS و TH دارای بیشترین تعداد اختلاف معناداری در سطح یک درصد را دارا می‌باشند (جدول ۴).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

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

یون	F	Sig.
SO4	۹۵۰/۷۳۹	۰
TDS	۶۷/۰۵	۰
TH	۵۴/۷۲۶	۰
SAR	۲۸۷/۶۸۲	۰
EC	۶۷/۹۶۵	۰
Na	۶۲/۶۰۴	۰
Ca	۹۱/۷۸۵	۰
SO4	۵۳/۰۹۱	۰

مطابق جدول ۳ مابین تمامی پارامترها اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول ٤: نتیجه آزمون LSD با انتخاب ایستگاه آلتون سفلی به‌عنوان شاهد.

پارامتر	SO4	Cl	TDS	TH	SAR	EC	Na	Ca
				آلتون سفلی				
ایرانخواه	۰**	۰**	۰**	۰**	۰**	۰**	۰**	۰**
آلتون علیا	۰**	۰/۰۱**	۰**	۰**	۰**	۰**	۰**	۰**
باشبلاغ	۰/۳۷	۰/۹۴	۰/۰۰**	۰**	۰/۰۱**	۰/۰۰**	۰/۳۴	۰/۰۱**
بیگ اویسی	۰/۰۰**	۰/۲۲	۰/۰۰**	۰**	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
سرچاوه	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	**۰	۰/۰۰**	**۰	**۰

*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 به‌عنوان‌مثال مابین مقادیر EC ایستگاه‌ها و ایستگاه آلتون‌سفلی 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 هرکدام 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

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

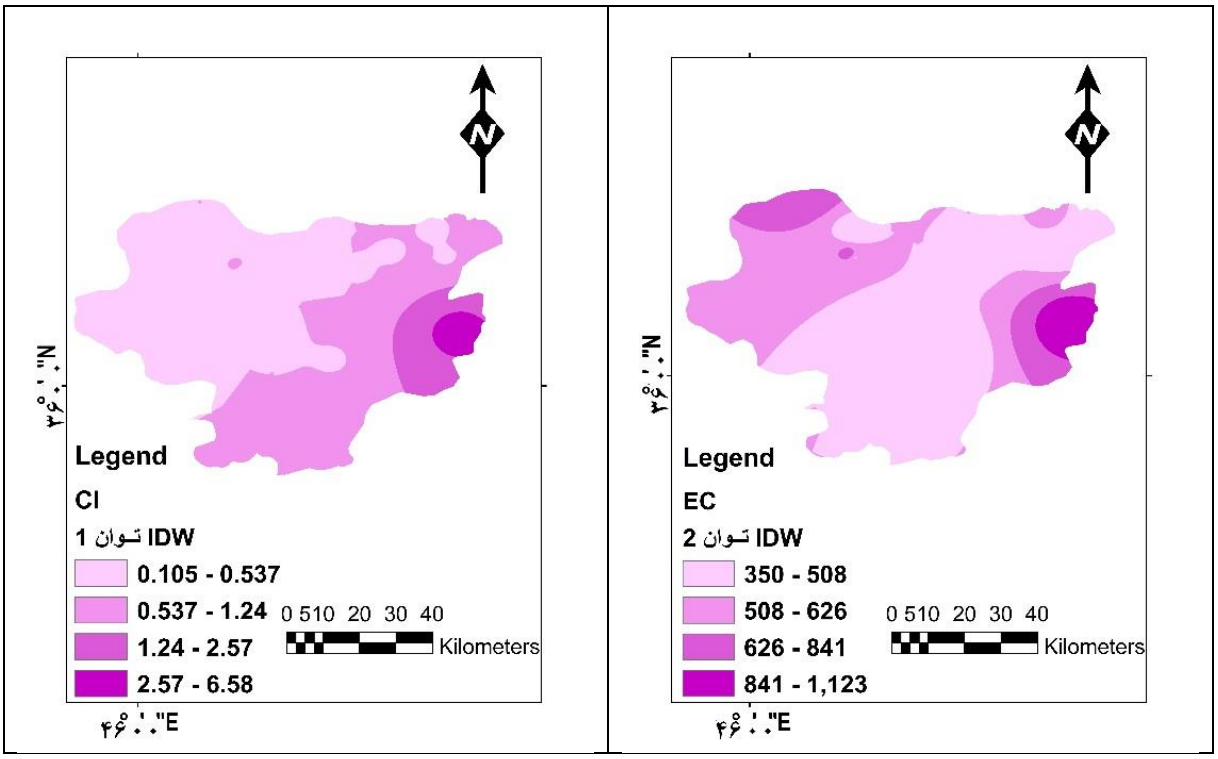
بایس میانگین (MBE) مناسب‌ترین روش جهت پهنه‌بندی مشخص گردید (جدول ۴). بر اساس مناسب‌ترین روش حاصل از جدول ۴ در شکل‌های ۶ الی ۹ مورد پهنه‌بندی قرار گرفت.

جدول ۵: مقادیر RMSE،MAE و MBE برای شاخص‌های موردمطالعه.

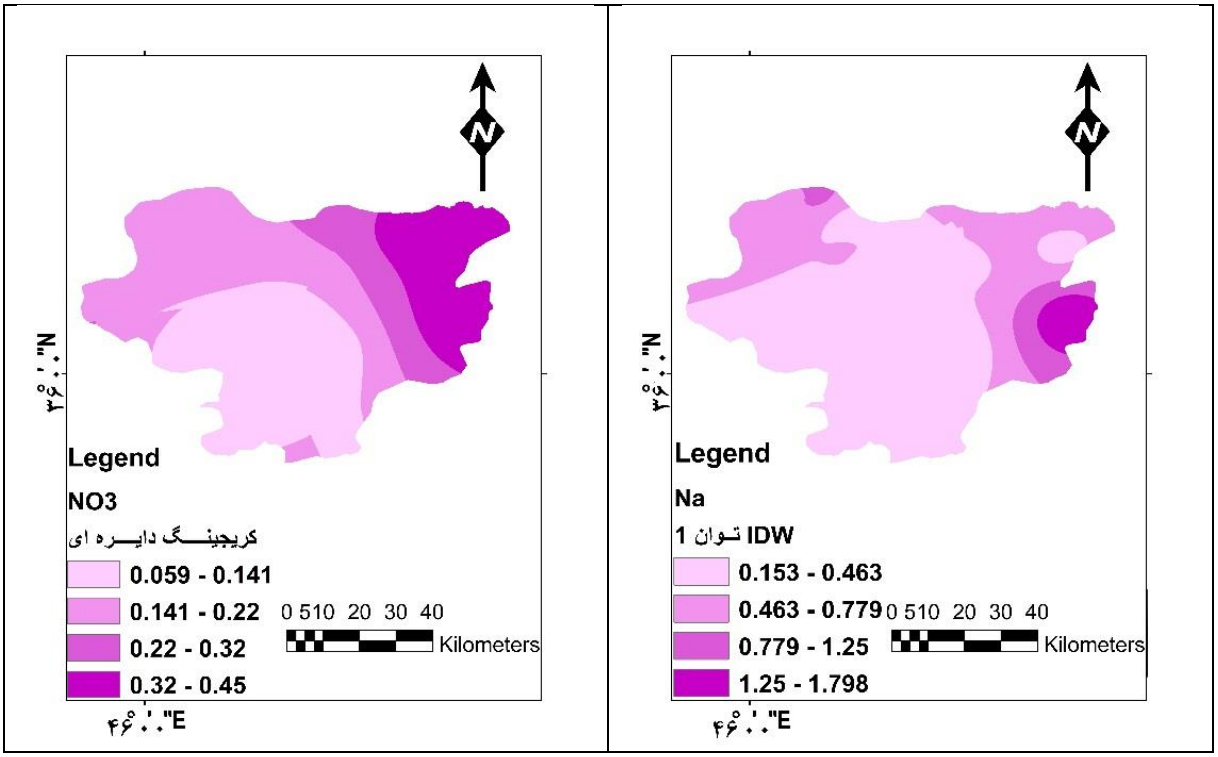
روش	معیارهای ارزیابی	SO4	Cl	NO3	TDS	Th	SAR	Na	EC
IDW	RMSe	۰/۲۸*	۱/۸۳۶*	۰/۱۸۶	۱۵۲/۷	۸۵/۰۱	۰/۲۲۷*	۰/۵*	۲۳۰/۹
توان ۱	MAE	۰/۲۱*	۰/۹۶*	۰/۱۶	۱۰۸/۹	۶۵/۷۸	۰/۱۸*	۰/۳۸*	۱۹۶
	MBE	۰/۰۰۲۶*	۰/۱۹*	۰/۰۰۷۴	۱۰/۷	۳/۵۰	۰/۰۰۸۲*	۰/۰۱۵*	۱۵/۹
IDW	RMSe	۰/۲۹۴	۱/۸۴	۰/۱۹۷	۱۵۰/۴*	۸۴/۶۱*	۰/۲۳۴	۰/۵۰۹	۲۳۰/۲*
توان ۲	MAE	۰/۲۳۲	۰/۸۸	۰/۱۶۹	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	۰/۲۷۵	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	۰/۲۳۷	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.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

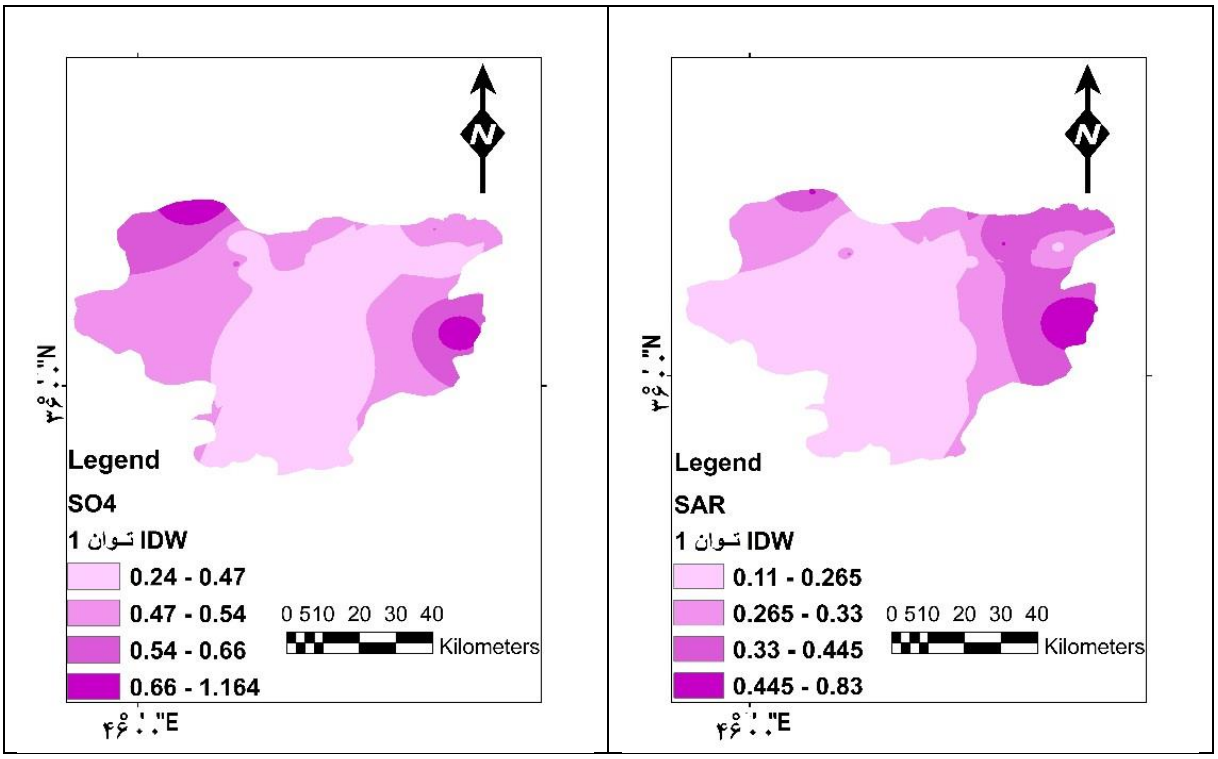


شکل ٦: نقشه هم پارامتر مناسب‌ترین روش برای EC سمت راست و Cl سمت چپ.

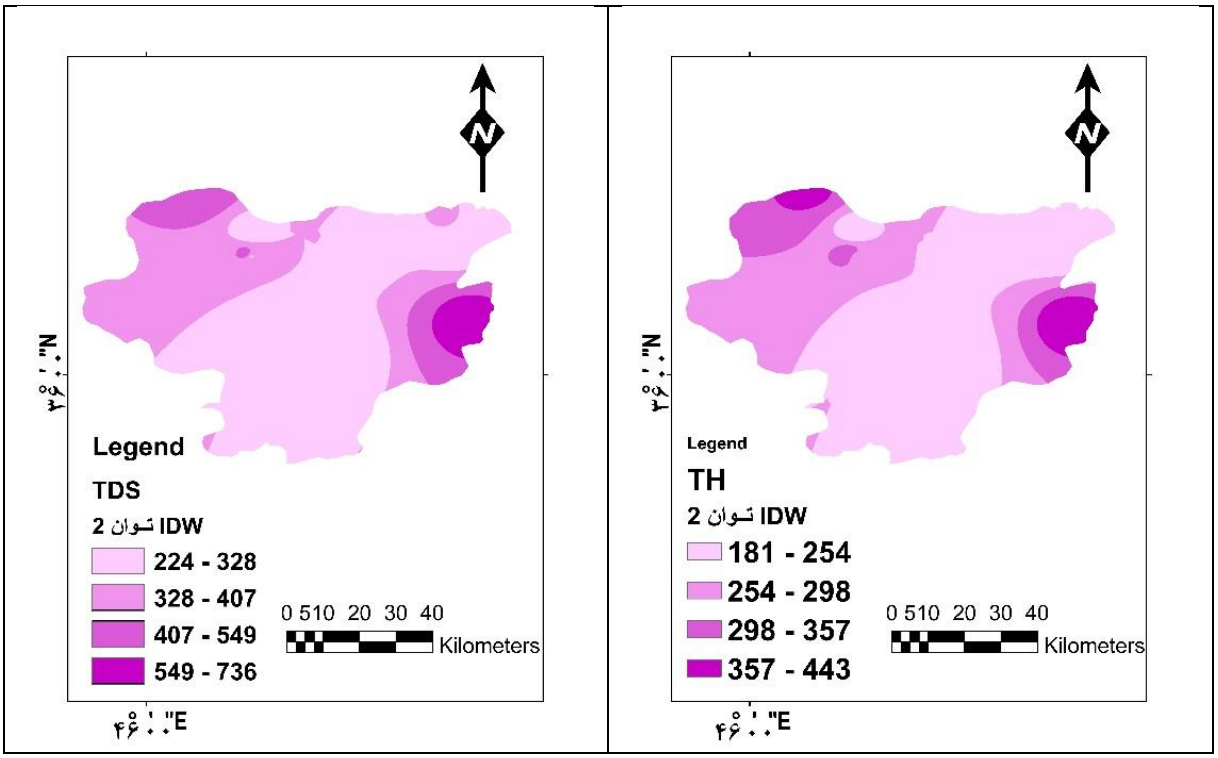


شکل ۷: نقشه هم پارامتر مناسب ترین روش برای Na سمت راست و NO3 سمت چپ.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]



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



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

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

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 قابل‌جذب 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. 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 انتشاریافته درسطح آب‌های زیرزمینی دارای مضرات زیست‌محیطی فراوانی بوده که مستقیما زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ازجمله 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 مورداستفاده 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 موردمطالعه تحت تأثیر عوامل زمین‌شناسی و فرسایش سنگ‌بستر قرار دارد و تیپ آب با توجه به نمودار پایپر Ca-HCO3 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 وزن دهی عکس فاصله با توان ۱ و ۲ روش‌های مناسبی جهت پهنه‌بندی پارامترهای مورداستفاده می‌باشد که با نتایج ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰)، Balandeh و Ahmadi (۲۰۱۳) و Sarukkalige (۲۰۱۲) مطابقت ندارد و آن‌ها روش کریجینگ را به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی کردند.

منابع

حسنی پاک ، ع.، ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران.

ذبیحی، ع.، سلیمانی، ک.، شعبانی، م. و آبروش، ص.، ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری (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(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، دوره۱، ۳: صفحات ۱۶۶-۱۵۳.

عساکره، ح.، ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. جغرافیا و توسعه، ۱۲: صفحات ۴۲-۲۵.

علیزاده، ا.، ۱۳۸٦. هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]

فریادی، س.، شاهدی ک. و نباتپور، م.، ۱۳۹۱. مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیک های آماری چند متغیره. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال سوم، شماره ۶.

فرید گیگلو، ب.، نجفی نژاد، ع.، مغانی بیله سوار، و. و غیاثی، ا.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان. مجله پژوهش های حفاظت آب‌وخاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد بیستم، شماره اول.

مهدوی، م.، ۱۳۸٤. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

نادی، م.، خلیلی، ع.، پورطهماسی، ک. و بذرافشان، ج.، ۱۳۸۹. ارزیابی برخی از روش‌های زمین‌آمار برای میان یابی 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, Londan.

Gibbs, R. J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry, Sciencc, 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 geochimique 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.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-25]