

بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب و کشاورزی و انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی آن (مطالعه موردی: غرب شهرستان مریوان)

حسین صالحی^۱، حسین زینی‌وند^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

۲. استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰)

چکیده

تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی و انتخاب و دقت روش‌های مناسب پهنه‌بندی به شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات کافی بستگی دارد. از طرفی انتخاب روش صحیح میان‌یابی مکانی کیفیت آب زیرزمینی، گامی مهم در مدیریت منابع آب زیرزمینی هر منطقه به‌شمار می‌آید. هدف این تحقیق، بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی غرب شهرستان مریوان برای شرب و کشاورزی است. به‌همین منظور از داده‌های سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۱ و پارامترهای مقدار شوری، کلر، غلظت مواد محلول، سولفات، سختی آب، سدیم و نسبت سدیم قابل جذب استفاده شد. برای مقایسه تیمارها از تجزیه واریانس ANOVA و برای آزمون تفاوت بین ایستگاه‌های مختلف از آزمون LDS استفاده شد. همچنین برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی و پهنه‌بندی پارامترهای یادشده، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌کار گرفته شد. بدین منظور، از روش میان‌یابی زمین‌آمار کریجینگ ساده، و روش‌های معین مانند وزن‌دهی عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمین‌گر موضعی و تخمین‌گر عام به‌صورت سالانه و فصلی استفاده شد. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی منطقه از نظر کیفی برای شرب در محدوده مناسب و پذیرفتنی قرار دارد. همچنین برای آبیاری، بیشتر منطقه در محدوده پذیرفتنی قرار دارد. نتایج میان‌یابی مکانی براساس معیارهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و بیشترین مقدار ضریب تعیین (R^2) نشان داد که از بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش تخمین‌گر موضعی برای پارامترهای سولفات، غلظت مواد محلول و شوری؛ روش تابع شعاعی برای پارامترهای سدیم و نسبت جذب سدیم؛ روش تخمین‌گر عام برای پارامتر کلر؛ و روش کریجینگ ساده برای پارامتر سختی آب، مناسب‌ترین برآورد سالانه را دارند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، شرب و کشاورزی، شهرستان مریوان، کیفیت آب زیرزمینی، میان‌یابی.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی از منابع ارزشمند تهیه آب شرب، کشاورزی و صنعت در تمام مناطق به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی به‌شمار می‌روند. با توجه به تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی که ممکن است در اثر فعالیت‌های انسان و توسعه فعالیت‌های صنعتی صورت گیرد، بررسی این منابع به‌منظور حفظ و اصلاح کیفیت آنها ضروری است [۱۱]. آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است و در شرایط کنونی بخش زیادی از مصارف آب کشور، به‌خصوص در بخش شرب از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود [۱]. بخشی از کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به بارش است، ولی مهم‌ترین عامل، نوع تشکیلات زمین، طول مسیر طی شده و مدت زمان این جابه‌جایی است. کیفیت آب‌ها با توجه به طول مسیر طی شده و فراوانی مواد انحلالی در مسیر می‌تواند تفاوت زیادی در نقاط مختلف پیدا کند. این پدیده سبب می‌شود که در بسیاری از مناطق خشک و بیابانی، علاوه بر کم‌آبی، کیفیت نامناسب آب‌های موجود نیز مشکل‌ساز باشد [۲]. بنابراین، اندازه‌گیری و تعیین کیفیت آب، چه از لحاظ کشاورزی و چه از لحاظ آشامیدنی و صنعتی بسیار مهم است. برای بررسی کیفیت آب از لحاظ کشاورزی می‌توان از نمودار ویلکوکس استفاده کرد. مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی میزان شوری و مقدار سدیم موجود در آن است. روش طبقه‌بندی ویلکوکس و استفاده از نمودار آن، کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است. در حالی که برای بررسی کیفیت منابع آب شرب از نمودار شولر استفاده می‌شود. در این نمودار برای هر یک از مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها و نیز درجه سختی آب محور جداگانه‌ای در نظر گرفته می‌شود که با تعیین آنها در آزمایشگاه و اتصال نقاط متناظرشان روی این محورها، می‌توان به درجه تناسب آب شرب پی‌برد [۲]. پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی مناطقی را که برای مصارف مختلف مناسب‌اند، مشخص می‌کند. از آنجا که نمونه‌برداری از تمام نقاط محدوده مطالعاتی مقدور نیست، روش‌های درون‌یابی ابزاری قدرتمند در تخمین داده‌های مبتنی بر ساختار مکانی به‌شمار می‌روند. روش‌های گوناگون برای بررسی تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان روش کریجینگ، روش وزن دهی عکس فاصله، توابع پایه‌ای شعاعی و روش چندجمله‌ای

محلی را نام برد. سمین و همکاران [۱۲] از روش کریجینگ و کوکریجینگ معمولی برای تخمین نسبت جذب سدیم و کلر در آب‌های زیرزمینی ۹۰ حلقه چاه استان فارس استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تخمین‌های هر دو روش قابل قبول است، اما تخمین نسبت جذب سدیم و کلر با استفاده از روش کوکریجینگ دقیق‌تر از روش کریجینگ است. همچنین، نیم‌تغییرنمای مربوط به نسبت جذب سدیم و کلر از مدل‌های گوسی به‌ترتیب با اثر قطعه‌ای ۰/۲۴ و ۰/۳۷ و حد آستانه ۰/۹۸ و ۱/۸۹ و دامنه تأثیر ۴۷۶۰۰ و ۴۹۱۰۰ متر تبعیت کرد. لاله‌زاری و همکاران [۳] خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد را بررسی کردند. در این تحقیق، با استفاده از نمونه‌برداری از ۱۰ حلقه چاه، نقشه برخی شاخص‌های کیفی با استفاده از خطوط کنتری تهیه شد. نتایج نشان‌داد غلظت اکثر عناصر شیمیایی در جنوب دشت حداکثر بود که به فعالیت‌های کشاورزی و دفع فاضلاب نسبت داده شد. حسنی و همکاران [۴] شاخص کیفی آب زیرزمینی را با استفاده از منطق فازی در قنات‌های شهر یزد بر اساس ۲۴ پارامتر شیمیایی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که کیفیت آب نامطلوب است و استاندارد لازم را برای مصارف آشامیدن ندارد. تقی‌زاده - مهجردی و همکاران [۱۳] توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردکان یزد را با استفاده از روش‌های زمین‌آماری بررسی کردند. در این تحقیق، اطلاعات ۷۳ حلقه چاه در دشت اردکان جمع‌آوری شد و روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و معکوس فاصله برای درون‌یابی مکانی EC، TDS و SAR مقایسه شد. نتایج نشان داد روش کریجینگ و کوکریجینگ برای میان‌یابی به روش معکوس فاصله برتری دارد. نادری و همکاران [۵] برای میان‌یابی داده‌های بارندگی در منطقه چهارباغ گرگان، هشت روش کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ - رگرسیون، وزنی عکس فاصله، اسپلاین، گرادیان‌های سه‌بعدی خطی، هیبرید خطی و غیر خطی و کریجینگ با روند خارجی، را ارزیابی کردند. آنان برای ارزیابی از شاخص‌های آماری MAD (میانگین قدر مطلق انحراف‌ها) و RMSE استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش هیبرید خطی و غیر خطی در ۶۵ درصد موارد، بهترین روش برای میان‌یابی بارندگی ماهانه در منطقه مطالعاتی است. ذبیحی و همکاران [۶] توزیع مکانی بارندگی سالانه در استان قم را با استفاده از دو روش کریجینگ و

مواد و روش‌ها

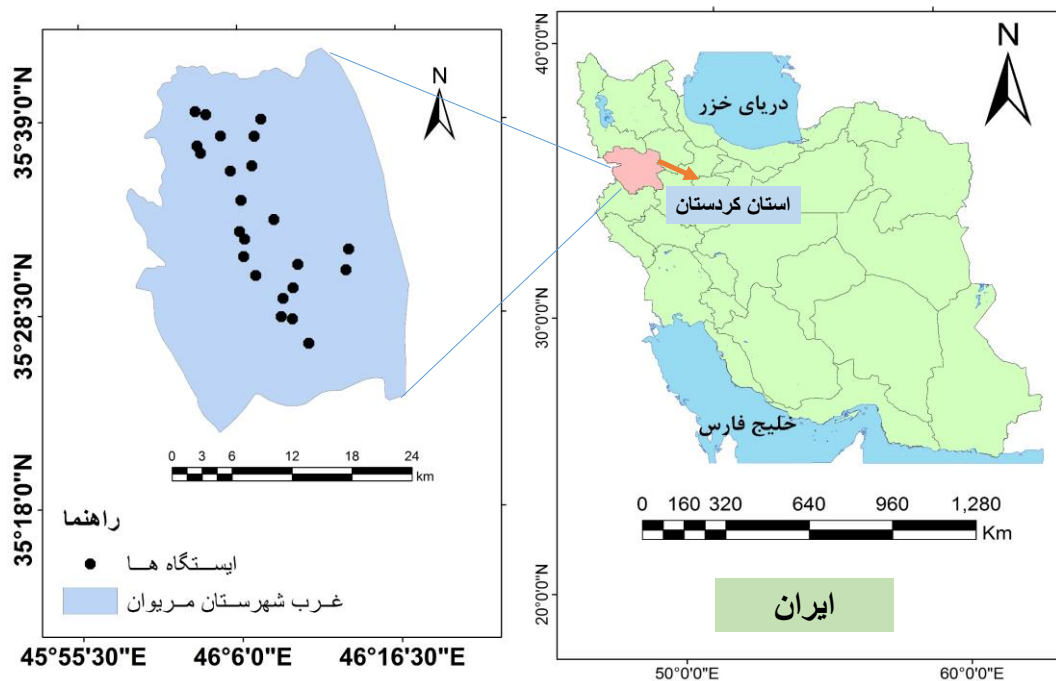
معرفی منطقه تحقیق

منطقه تحقیق در غرب شهرستان مریوان و در محدوده جغرافیایی ۵۸° ۴۵' تا ۴۵° ۴۵' طول شرقی و ۴۸° ۳۵' تا ۵۳° ۵۳' عرض شمالی واقع شده و از شمال به شهرستان سقز، از شرق به شهرستان سنندج و دیواندره و از جنوب شرقی به شهرستان سروآباد و از غرب و شمال غربی به خاک عراق محدود است. متوسط ریزش‌های جوی ۵۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر در سال است و منطقه در ارتفاع ۱۳۲۰ متری از سطح دریای آزاد قرار دارد (شکل ۱).

ناحیه مریوان جزو بخش شمالی زون ساختمانی سنندج - سیرجان محسوب می‌شود. قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه حاشیه دشت مریوان شامل سری دگرگون شده پالئوزوئیک یا احتمالاً قدیمی‌تر از آن است که منشأ آذرین دارد و در جنوب غربی آن، در مجاور رورانندی زاگرس قرار گرفته است. از نظر سنگ‌شناسی این مجموعه شامل انواع متنوعی مانند متاولکانیک، فیلیت، میکاشیست، گنیس و سرانجام مرمر لایه‌ای است که می‌توانند بر کیفیت آب زیر زمینی تأثیرگذار باشند (شکل ۲).

عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۳ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در محدوده تحقیق، روش کریجینگ، مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است. سلطانی و همکاران [۱۴] با استفاده از AqQA کیفیت آب رودخانه قره‌سو را در دو سال ترسالی و خشکسالی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که کیفیت آب این رودخانه در دوره خشکسالی نسبت به ترسالی افت کرده است.

نرم‌افزارهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل و بررسی کیفیت آب، توسعه یافته است. یکی از این نرم‌افزارها، AqQA است که توانایی اجرای شش آزمون یکنواختی داده‌ها براساس روش‌های استاندارد AWWA 1030-E و ترسیم ۱۱ نوع پلات، سری‌های زمانی، نمودارهای شولر، تعادل یونی، دورو، پاپیر، استیف و ... را دارد. این نرم‌افزار همچنین قادر است تعادل کربنات، TDS، چگالی و قابلیت هدایت الکتریکی را محاسبه کند. هدف پژوهش حاضر، بررسی کیفیت آب زیرزمینی غرب شهرستان مریوان توسط روش‌های گرافیکی موجود در نرم‌افزار AqQA و معرفی مناسب‌ترین روش میان‌یابی مکانی و پهنه‌بندی منطقه از نظر کیفیت آب شرب و کشاورزی است.



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق در استان کردستان و محل‌های نمونه‌برداری

سال‌های آماری با هم تفاوت معناداری داشتند آزمون LSD به کار گرفته شد. در آزمون LSD یکی از گروه‌ها را به‌عنوان شاهد در نظر می‌گیرند تا سایر گروه‌ها را براساس آن بسنجند. این گروه می‌تواند گروه اول یا آخر باشد. در این تحقیق، ایستگاه برده‌رشته به‌عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شد و با تک‌تک ایستگاه‌ها از نظر میزان پارامترهای مربوط مورد مقایسه آماری قرار گرفت.

ب) روش‌های میان‌یابی مکانی مورد استفاده

- روش کریجینگ

در زمین‌آمار می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار آن کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم برآورد کرد، به شرط آنکه مختصات مقدار نامعلوم در دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است قرار گیرد [۹، ۸]. برآورد مقادیر متغیر با توزیع و ساختار فضایی و ارزیابی خطای همراه با این برآورد کریجینگ نامیده می‌شود [۱۸]. کریجینگ نوعی تخمین‌گر زمین‌آمار است که ماترون به افتخار دی جی کریج (مبدع این روش) این نام را بر آن نهاد. این تخمین‌گر که BLUE نیز خوانده می‌شود، دارای ویژگی‌های زیر است:

۱. مقادیر برآوردی برای نقاط نامعلوم ترکیبی خطی از مقادیر نمونه‌های مجاور آنهاست، بنابراین:

$$\mu_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i \quad (1)$$

که در آن μ_k تخمین کریجینگ و λ_i بردار وزن‌های اختصاص داده شده به نمونه‌هاست. به عبارت دیگر یک مقدار کریج شده یا برآورد شده با نسبت دادن وزن‌های λ_i به مقادیر معلوم اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور (x_i) به دست می‌آید.

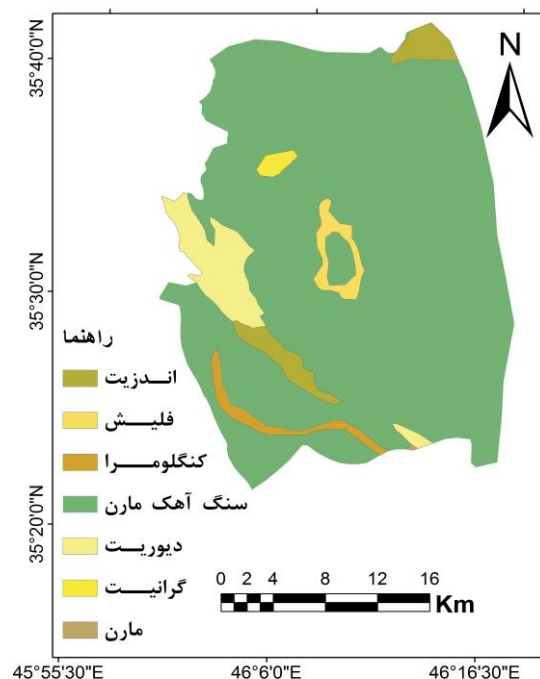
۲. ناراب است، یعنی امید ریاضی آن برابر میانگین واقعی (μ_w) نمونه‌هاست.

$$E(\mu_k - \mu_w) = 0 \quad (2)$$

۳. میانگین مربعات خطا دارای کمترین مقدار ممکن است، یعنی:

$$E[(\mu_k - \mu_w)^2] = a \min \quad (3)$$

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



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی غرب شهرستان مریوان [۷]

روش تحقیق

الف) بررسی کیفیت آب و تحلیل‌های آماری داده‌ها در ایستگاه‌ها

پارامترهای شیمیایی کیفیت آب منطقه تحقیق از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان دریافت شد. این داده‌ها که از ۲۰ ایستگاه و از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۱ نمونه‌برداری شده بود در مجموع شامل ۳۷۹ نمونه بود که توسط نرم‌افزار AqQA تجزیه و تحلیل شد. نمودارهای پاپیر، شولر، ویلکوکس، گیس و دورو برای آنالیز کیفی برای سال‌های آماری ترسیم و تجزیه و تحلیل شدند. نمودار گیس برای تعیین تأثیر تبخیر و تعرق بر کیفیت آب منطقه بررسی شد [۱۵]. به منظور بررسی قابلیت شرب آب رودخانه از نمودار نیمه‌لگاریتمی شولر استفاده شد [۱۶]. نمودار ویلکوکس به منظور تعیین کیفیت آب برای کشاورزی استفاده شد [۱۷]. یکی از شاخصه‌های کیفیت آب آشامیدنی، سختی آن است که بر مبنای کربنات کلسیم سنجیده می‌شود. استانداردهای ازبیش تعیین شده آب شرب در کشورهای مختلف، بسته به شرایط اقتصادی، اقلیمی، غذایی و جغرافیایی با هم متفاوت‌اند. برای مقایسه تیمارها از روش تجزیه و تحلیل واریانس ANOVA در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد و برای نشان دادن میانگین‌های پارامترهایی که در بین

محل از داده‌های همه نقاط برداشت شده برای برآورد مقدار نقطه مجهول استفاده نمی‌شود. در این روش ممکن است تعداد نقاط محدودی که تا نقطه مورد نظر کمترین فاصله را دارند در درون یابی به کار گرفته شوند یا از داده‌هایی استفاده شود که تا نقطه مورد نظر کمترین فاصله را دارند. به بیان 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 به کار گرفته می‌شوند در کیفیت نتایج تأثیر بسزایی دارد. از آنجا که اندازه‌گیری‌ها همواره با مقداری خطا همراهند و برآوردها نمی‌توانند دقیق‌تر از اندازه‌گیری‌ها باشند، 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 زمین‌آماري نتایج بهتری دارند. برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی به منظور تهیه نقشه تغییرات منطقه تحقیق از روش ارزیابی متقابل استفاده شد. در این روش یک نقطه به‌طور موقت حذف شده و با اعمال روش مورد نظر برای آن نقطه، مقداری برآورد می‌شود. سپس مقدار حذف‌شده به جای خود برگردانده می‌شود و برآورد برای بقیه نقاط به‌صورت مجزا صورت می‌گیرد. این عمل برای همه نقاط دارای داده اندازه‌گیری‌شده تکرار می‌شود؛ به‌طوری که در آخر به تعداد کل نقاط دارای داده، نقاط برآوردی وجود خواهد داشت. در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآوردشده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده‌شده را تعیین کرد [۱۰].

ارزیابی روش‌های میان‌یابی مورد استفاده

به‌منظور ارزیابی و تعیین دقت روش‌های مختلف میان‌یابی از معیارهای ارزیابی استفاده می‌شود. معیارهای مختلفی برای این کار وجود دارد که می‌توان به میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) بین داده‌های مشاهداتی و اندازه‌گیری‌شده، اشاره کرد. در نهایت روش مناسب میان‌یابی براساس کمترین مقدار MAE و RMSE براساس سالانه و فصلی و بیشترین میزان ضریب تعیین مشخص شده و مبادرت به تهیه نقشه پهنه‌بندی پارامتر مورد نظر در محیط نرم افزاری شده است. معادلات محاسبه به‌قرار زیر است:

موقعیت آنها و فاصله‌ای که با نقاط معلوم دارند برآورد می‌شود.

روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)

روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود؛ به‌طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر 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 فاصله یکسانی از نقطه برآورد دارند، دارای وزن یکسانی‌اند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Y_i = \frac{D_i - a}{\sum_{i=1}^n D_i - a} \quad (4)$$

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

روش توابع پایه‌ای شعاعی Radial Basis Function

شبکه‌های توابع پایه شعاعی دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل‌اند. این شبکه‌ها، از سه لایه شامل لایه‌های ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. توابع پایه شعاعی منظم به‌عنوان تابع تحریک نورون‌های لایه مخفی استفاده می‌شوند. شبکه‌ها به‌گونه‌ای سازمان یافته‌اند که تبدیلات در واحدهای مخفی در حکم مجموعه‌ای از توابع به‌منظور نگاشت الگوهای ورودی به الگوهای خروجی انجام می‌گیرد.

روش چندجمله‌ای جهانی (تخمین‌گر عام) Global

Polynomial Interpolation

درون‌یابی چندجمله‌ای برازش‌دهنده یک سطح هموار توسط توابع ریاضی بر روی نقاط ورودی است. تغییرات سطح در چندجمله‌ای جهانی تدریجی است و آثار تغییرات ناگهانی در داده‌ها کاهش می‌یابد. در درون‌یابی جهانی فقط یک چندجمله‌ای بر تمامی داده‌ها برازش می‌گیرد [۱۹].

روش چندجمله‌ای محلی (تخمین‌گر موضعی) Local

Polynomial Interpolation

در درون‌یابی همگانی برای برآورد نقاط مجهول از داده‌های همه نقاط اندازه‌گیری‌شده استفاده می‌شود، اما در مدل

یافته‌ها

پارامترهای شیمیایی نمونه آب‌ها با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از آنالیز کیفی آب در جدول ۱ ارائه شده و به‌صورت نمودارهای پایپر، شولر، ویلکوکس، گیبس و دورو تجزیه و تحلیل شده است. براساس نمودار ویلکوکس که برای استفاده برای کشاورزی است، تمام ایستگاه‌ها در کلاس آب‌های خوب (C2-S1) و متوسط (C3-S1) قرار دارند (شکل ۳). براساس نمودار شولر تمام نمونه‌های مربوط به آب منطقه تحقیق در دسته مناسب قرار گرفته‌اند (شکل ۴). با توجه به تجمع نمونه‌ها در نمودار گیبس می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره آماری کیفیت شیمیایی آب منطقه تحقیق تحت تأثیر هوازدگی تشکیلات زمین‌شناسی قرار دارد (شکل ۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z_{(\hat{x}L)} - Z_{(XL)}]^2}{n}} \quad (5)$$

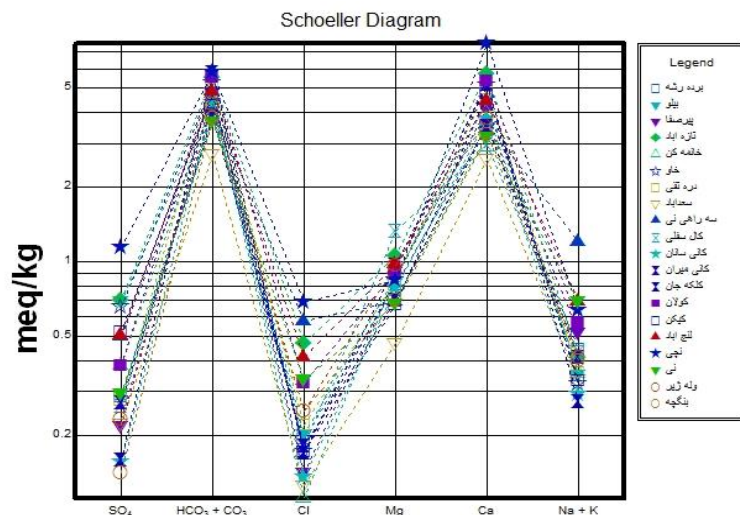
$$MAE = \frac{\sum_{n=1}^n |Z_{(\hat{x}L)} - Z_{(XL)}|}{n} \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{[\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})]}{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (7)$$

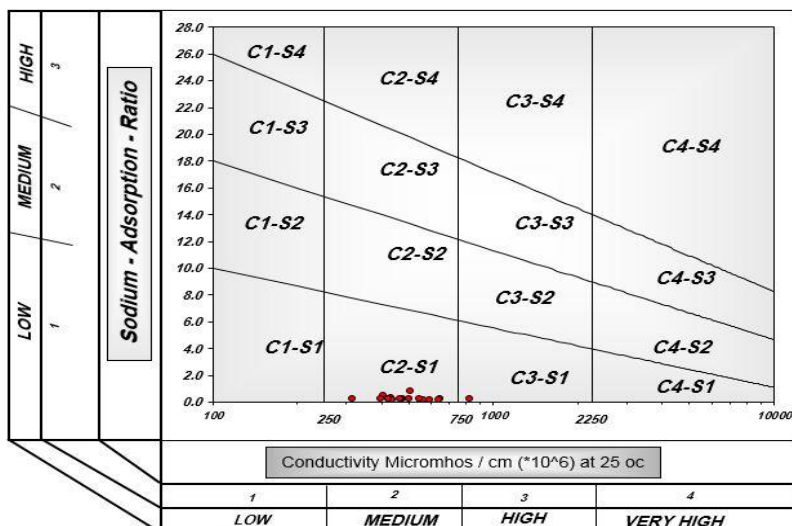
که در آنها n تعداد نمونه مشاهداتی؛ $Z_{(x_i)}$ مقدار برآوردی بر نقطه x_i ؛ $Z_{(x_i)}$ مقدار مشاهداتی بر نقطه x_i ؛ X : انحراف از میانگین x ؛ Y : انحراف از میانگین y است.

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

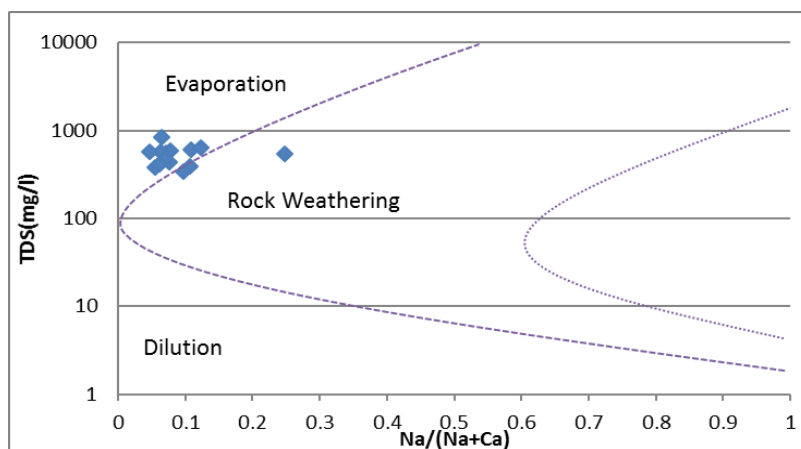
برده‌رشته	Ca	Mg	Na	K	Na%	EC	SAR	TH	TDS	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄
بیلو	۳/۵	۰/۸	۰/۴	۰	۹/۳	۴۳۲/۷	۰/۳	۲۱۵/۷	۲۷۷/۱	۸	۴/۱	۰/۲	۰/۳
پیرصفا	۴/۵	۰/۹	۰/۳	۰	۶	۵۰۰	۰/۲	۲۶۶	۳۲۰	۷/۷	۴/۷	۰/۲	۰/۷
تازه‌آباد	۴/۱	۰/۹	۰/۳	۷/۰	۶/۲	۴۷۸/۴	۰/۲	۲۴۸/۴	۳۰۶/۳	۹۷	۴/۹	۰/۱	۰/۲
خانمه‌کن	۵/۷	۱/۱	۰/۴	۰	۶/۳	۴۶۵/۱	۰/۲	۳۳۸	۴۱۴/۲	۷/۷	۵/۷	۰/۵	۰/۷
خاو	۴	۰/۹	۰/۳	۰	۶/۳	۴۷۰	۰/۲	۲۴۴	۳۰۱	۸	۴/۶	۰/۱	۰/۴
دره‌تقی	۵/۱	۰/۸	۰/۳	۰	۴/۸	۵۵۴	۰/۲	۲۹۷	۳۵۵	۷/۸	۵/۴	۰/۲	۰/۷
سعدآباد	۵	۰/۸	۰/۳	۰	۵/۶	۵۴۹/۶	۰/۲	۲۹۰/۳	۳۵۱/۷	۷/۸	۵/۵	۰/۲	۰/۳
سفراهی‌نی	۲/۶	۰/۵	۰/۳	۰	۹/۳	۳۱۳/۵	۰/۳	۱۵۲	۱۹۹	۸/۱	۲/۷	۰/۱	۰/۲
کال سفلی	۳/۶	۰/۷	۱/۲	۰	۲۲/۸	۵۰۴/۵	۰/۹	۲۱۴/۲	۳۲۲/۹	۷/۹	۴/۳	۰/۶	۰/۵
کانی‌سانان	۲/۹	۱/۳	۰/۴	۰	۸/۸	۴۲۳/۹	۰/۳	۲۱۳/۳	۲۷۱/۳	۸/۱	۴	۰/۲	۰/۳
کانی‌میران	۳/۷	۰/۸	۰/۳	۰	۵/۸	۴۳۶/۵	۰/۲	۲۲۵/۶	۲۷۹/۴	۷/۹	۴/۴	۰/۱	۰/۲
کلکه‌جان	۳/۵	۰/۷	۰/۴	۰	۸/۲	۴۲۲	۰/۳	۲۱۰	۲۷۰	۸	۳/۹	۰/۲	۰/۳
کولان	۵/۲	۱	۰/۳	۰	۴/۱	۵۶۲	۰/۱	۳۰۵/۹	۳۷۴	۷/۷	۶	۰/۲	۰/۲
کیکن	۵/۳	۰/۹	۰/۴	۰/۲	۵/۲	۵۹۶/۳	۰/۲	۳۱۳/۳	۳۸۱/۷	۷/۷	۵/۷	۰/۳	۰/۴
لنج‌آباد	۴/۸	۰/۷	۰/۳	۰	۵/۲	۶۴۰	۰/۲	۲۷۱	۴۱۰	۷/۶	۴/۹	۰/۲	۰/۵
نچی	۴/۵	۱	۰/۵	۰/۲	۷/۴	۵۴۹	۰/۳	۲۷۲/۳	۳۵۹/۹	۸	۴/۹	۰/۴	۰/۵
نی	۷/۶	۰/۸	۰/۵	۰/۲	۵/۲	۸۲۲	۰/۲	۴۲۲	۵۳۴	۷/۳	۶/۴	۰/۷	۱/۱
وله‌زیر	۳/۲	۰/۷	۰/۶	۰/۱	۱۷/۴	۴۰۷/۱	۰/۵	۱۹۳/۲	۲۸۲/۹	۸	۳/۷	۰/۳	۰/۳
بنگچه	۳/۸	۱	۰/۴	۰	۷/۸	۴۶۶/۲	۰/۳	۲۳۶/۶	۲۹۸/۳	۷/۸	۴/۴	۰/۳	۰/۲
برده‌رشته	۳/۳	۰/۷	۰/۴	۰	۸/۶	۳۹۵/۷	۰/۳	۱۹۷/۸	۲۵۳/۲	۸	۳/۸	۰/۲	۰/۱



شکل ۳. نمودار شولر برای ایستگاه‌های منطقه تحقیق



شکل ۴. نمودار ویلکوکس برای ایستگاه‌های منطقه تحقیق



شکل ۵. نمودار گیبس برای ایستگاه‌های منطقه تحقیق

LSD با سطح اعتماد ۵ درصد استفاده شده است. نتایج آزمون LSD نشان می‌دهد که پارامترهای TDS و TH بیشترین اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد را دارند (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس‌ها نشان می‌دهد که در تمامی پارامترها اختلاف معنی‌داری در حد ۵ درصد وجود دارد (جدول ۲). برای مقایسه پارامترهای کیفی ایستگاه‌های مختلف با ایستگاه مبنای برده‌رشته از روش مقایسه میانگین

جدول ۲. آزمون تجزیه واریانس پارامترهای کیفی آب برای ایستگاه‌های مختلف

F	Sig.	یون
۳/۶	.	SO4
۴/۶۶	.	Cl
۱۳/۶۳	.	HCO3
۴/۷۳	.	pH
۷/۵۷	.	TDS
۱۲/۸۸	.	TH
۲۶/۳	.	SAR
۸/۱	.	EC
۱/۹	۰/۰۰۹	K
۲۶/۳	.	Na
۷/۹	.	Mg
۱۴/۱۷	.	Ca

جدول ۳. نتیجه آزمون LSD با انتخاب ایستگاه برده‌رشته به‌عنوان شاهد

SO4	CL	HCO3	pH	TDS	TH	SAR	EC	K	Na	Mg	Ca	پارامتر
برده‌رشته												
۰/۱۷	۰/۹۷	۰/۳۸	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۸۶	۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۲۲	بیلو
۰/۵۴	۰/۴۷	*	۰/۰۶	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۴	*۰/۰۴	پیرصفا
*	*	*	*	*	*	۰/۱۳	*	۰/۷	۰/۵۶	*	*	تازه‌آباد
۰/۷۴	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۹۹	۰/۶۹	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۶۸	۰/۷۸	۰/۴۸	۰/۶۵	۰/۵۲	خانمه‌کن
۰/۳۱	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۹۶	۰/۳۶	۰/۸۳	*۰/۰۴	خاو
۰/۹۱	۰/۶	*	*	*	*	*۰/۰۱	*	۰/۸۵	۰/۰۵	۰/۵۱	*	دره تقی
۰/۸۲	۰/۷۲	*۰/۰۳	۰/۷۷	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۱۹	۰/۹۵	۰/۴	*۰/۰۳	۰/۲۲	سعدآباد
۰/۰۶	*	۰/۶۴	۰/۲	۰/۰۵	۰/۹۳	*	*۰/۰۴	۰/۹۵	*	۰/۰۶	۰/۷۷	سه‌راهی‌نی
۰/۸۷	۰/۹	۰/۶۸	۰/۲۴	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۸۵	*	۰/۱۶	کال سفلی
۰/۲۲	۰/۴	۰/۲	۰/۱۵	۰/۹۲	۰/۵۴	*۰/۰۱	۰/۹۱	۰/۷۴	*	۰/۶۲	۰/۴۲	کانی‌سانان
۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۷	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹	۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۵۱	۰/۹۹	کانی‌میران
۰/۲۶	۰/۷۴	*	*	*	*	*	*	۰/۸۸	*	*۰/۰۱	*	کلکه‌جان
۰/۳۷	۰/۰۶	*	*	*	*	*۰/۰۲	*	۰/۹۷	۰/۱۴	۰/۰۶	*	کولان
۰/۴۲	۰/۹۱	۰/۲۳	۰/۰۲	*۰/۰۳	۰/۲	۰/۳	*۰/۰۲	۰/۷۸	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۱۱	کیکن
۰/۰۵	۰/۱۳	*	۰/۴۴	*	*	۰/۶۳	*	۰/۰۷	۰/۲۳	*۰/۰۱	*	لنج‌آباد
*	*۰/۰۱	*	*	*	*	۰/۵۴	*	*	۰/۷۵	۰/۹۳	*	نچی
۰/۹۳	۰/۰۵	۰/۱	۰/۶۲	۰/۸	۰/۱۶	*	۰/۴۵	*	*	*۰/۰۳	*۰/۲۶	نی
۰/۶۱	۰/۴۱	۰/۲۳	*۰/۰۱	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۸۶	۰/۵۵	*۰/۰۱	۰/۳۶	وله‌زیر
۰/۱۹	۰/۷۷	۰/۲۱	۰/۶۴	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۵۱	۰/۲۸	۰/۹	۰/۳۸	۰/۰۷	۰/۳۹	بنگچه

*: اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد

جدول ۴ آماره پارامترهای مورد نظر را نشان می‌دهد. جدول ۵ مقادیر RMSE و MAE مربوط به پارامترهای مورد مطالعه برای روش‌های معین و کریجینگ و جدول ۶ براساس میزان ضریب تعیین (R^2) مناسب‌ترین روش را

براساس داده‌های سالانه مشخص می‌کند؛ همچنین شکل‌های ۵ تا ۸ نقشه‌های پهنه‌بندی هر کدام از پارامترها را با مناسب‌ترین روش‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر برخی از آماره‌های مربوط به پارامترهای کیفی (یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر، TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر و EC برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر)

پارامتر	تعداد	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
SO4	۲۰	۰/۴	۰/۱	۱/۱	۱/۴	۲/۷
Cl	۲۰	۰/۳	۰/۱	۰/۷	۱/۴	۱/۶
TDS	۲۰	۳۲۷/۸	۱۹۹	۵۳۴	۱	۲/۲
TH	۲۰	۲۶۵/۳	۱۵۲	۴۲۲	۰/۸	۱/۶
SAR	۲۰	۰/۳	۰/۱	۰/۹	۳	۱/۳
EC	۲۰	۵۰۸/۴	۳۱۳/۵	۸۲۲	۰/۹	۲
Na	۲۰	۰/۴	۰/۳	۱/۲	۳/۳	۱۲/۶

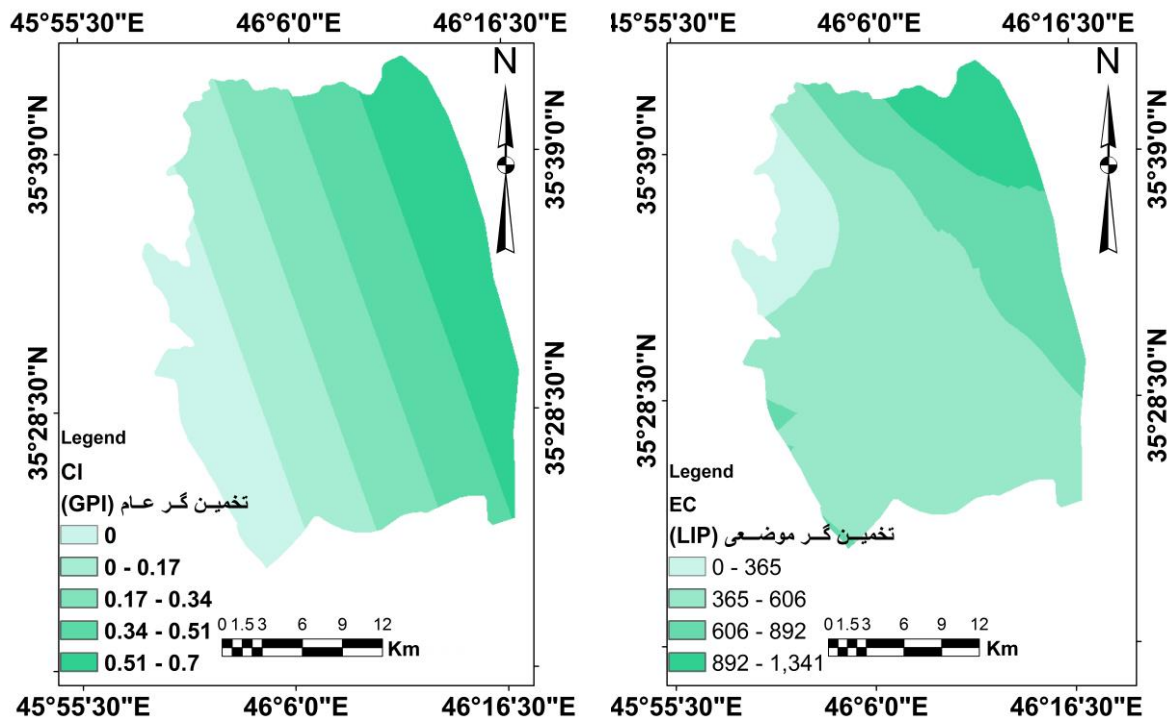
جدول ۵. بررسی مناسب‌ترین روش بر اساس ریشه دوم مربعات خطا و میانگین خطای مطلق (سالانه)

عامل	کریجینگ ساده		عکس فاصله		تابع شعاعی		تخمین‌گر عام		تخمین‌گر موضعی	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
	(KS)		(IDW)		(RBF)		(GPI)		(LPI)	
SO4	۱۸۹	۰/۱۴	۰/۱۷۹	۰/۱۳۱	۰/۱۲۲	۰/۱۵۶	۰/۱۲۳	۰/۱۶۳	۰/۱۱۱	۰/۱۳۶
Cl	۰/۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۵۱	۰/۱۰۹	۰/۱۱۲	۰/۱۵۸	۰/۰۹۴	۰/۱۳۶	۰/۰۹۶	۰/۱۴۴
TDS	۲۲/۷۴	۷۵/۲۵	۷۵/۱۹	۶۷/۰۷	۷۴/۸۷	۵۹/۵	۷۵	۵۸/۷	۵۷/۲۴	۷۱/۳
Na	۰/۱۸۲	۰/۰۹۹	۰/۱۷۳	۰/۰۹۵	۰/۱۷۱	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۱۰۱	۰/۱۸۲
TH	۵۶/۰۹۷	۴۴/۳۶	۵۸/۶۸	۴۶/۶۹	۵۷/۹	۴۶/۴۲	۶۳/۴	۵۲/۰۵	۴۷/۲۳	۵۶/۱۶
SAR	۰/۱۴۴	۰/۰۷۷	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶	۰/۱۰۴	۰/۰۶۱	۰/۱۵۳	۰/۰۹۵	۰/۰۸۱	۰/۱۳۵
EC	۱۱۲/۵۶	۸۹/۰۸	۱۱۵	۹۲/۵۲	۱۱۵/۲۷	۹۲/۳۳	۱۱۴/۷۲	۹۲/۲۳۹	۸۹/۰۵	۱۰۸/۷۲

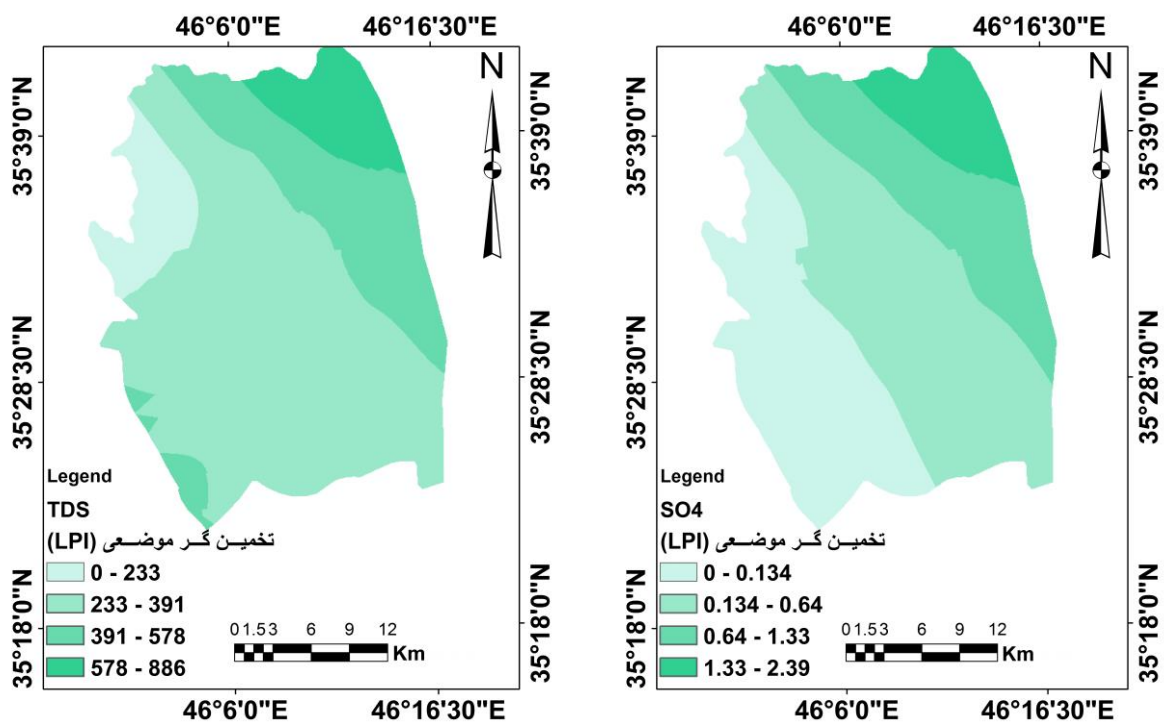
*: مناسب‌ترین روش براساس ریشه دوم مربعات خطا و میانگین خطای مطلق

جدول ۶. بررسی مناسب‌ترین روش براساس ضریب تعیین (R^2) (سالانه)

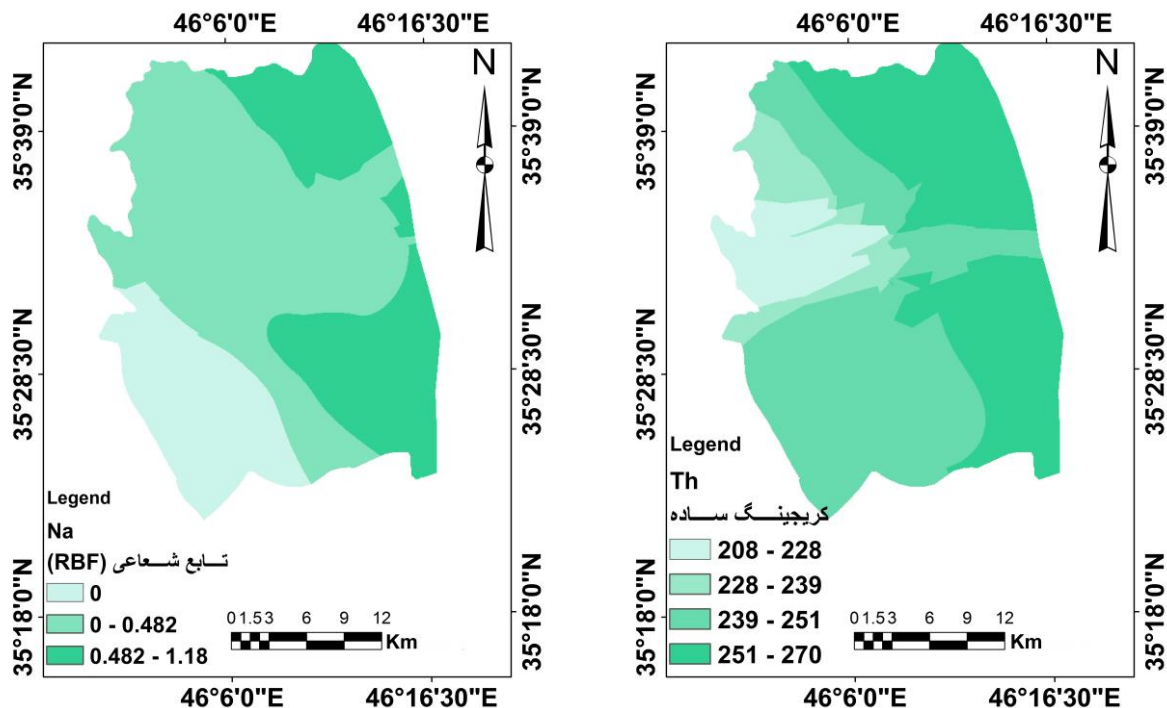
عامل	کریجینگ ساده	عکس فاصله	تابع شعاعی	تخمین‌گر عام	تخمین‌گر موضعی
	(KS)	(IDW)	(RBF)	(GPI)	(LPI)
SO4	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۸۵
Cl	۰/۴۲	۰/۶۶	۰/۳۸	۰/۸۸	۰/۶۲
TDS	۰/۶۳	۰/۸۶	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۹
Na	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۸۹	۰/۳۴	۰/۶۱
TH	۰/۹۳	۰/۷	۰/۴	۰/۲۴	۰/۵۸
SAR	۰/۳۸	۰/۶۳	۰/۸۴	۰/۴	۰/۶۲
EC	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۷	۰/۹۲



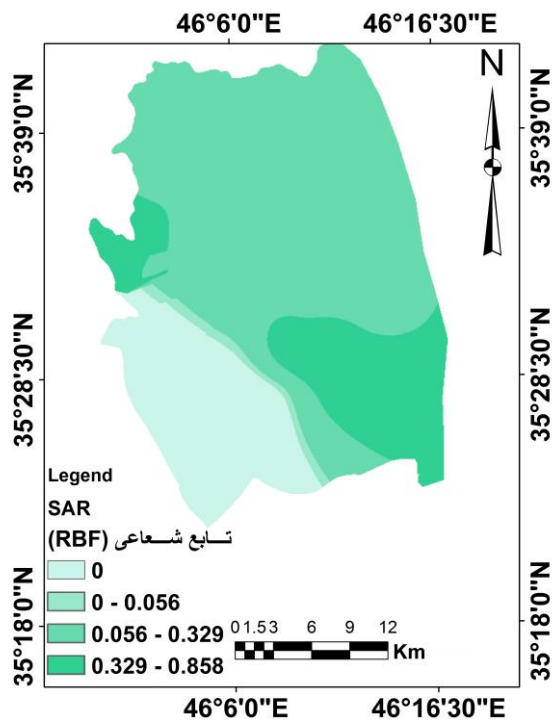
شکل ۶. نقشه‌های هم‌پارامتر (سالانه) آب‌های زیرزمینی CI بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (سمت راست) و EC بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر (سمت چپ) غرب شهرستان مریوان



شکل ۷. نقشه‌های هم‌پارامتر (سالانه) آب‌های زیرزمینی SO4 بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (سمت راست) و TDS بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (سمت چپ) غرب شهرستان مریوان



شکل ۸. نقشه‌های هم‌پارامتر (سالانه) آب‌های زیرزمینی TH بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (سمت راست) و Na بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (سمت چپ) غرب شهرستان مریوان



شکل ۹. نقشه‌های هم‌پارامتر (سالانه) آب‌های زیرزمینی SAR غرب شهرستان مریوان

علاوه بر ارزیابی سالانه، تغییرات هرکدام از پارامترها به صورت فصلی نیز ارزیابی شد و برای هر فصل مناسبترین روش با توجه به کمترین مقدار ریشه دوم مربعات، میانگین خطای مطلق و ضریب تعیین (R^2) مشخص شد (جدولهای ۷ تا ۱۰).

جدول ۷. بررسی مناسبترین روش براساس ریشه دوم مربعات خطا و میانگین خطای مطلق (فصلی) بهار

عامل	کریجینگ ساده (KS)		عکس فاصله (IDW)		تابع شعاعی (RBF)		تخمین گر عام (GPI)		تخمین گر موضعی (LPI)	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
SO4	۰/۱۳۸	۰/۱۱۷	۰/۱۶	۰/۱۲۸	۰/۰۹۷	۰/۰۷۶	۰/۱۰۹	۰/۱۱۳	۰/۰۸۹*	۰/۰۷۵*
Cl	۰/۱۶۱	۰/۱۳۶	۰/۱۴۹*	۰/۱۲۲*	۰/۱۵۹	۰/۱۲۸	۰/۱۳۹	۰/۱۶۸	۰/۱۷۲	۰/۱۴
TDS	۴۱/۴۱	۳۴/۸۴	۴۶/۵	۴۶/۱۹۲	۳۵/۹۶*	۲۹/۷۳*	۴۹/۳۸	۴۹/۳۸	۳۶/۱۴	۳۰/۳۴
Na	۰/۲۲۸	۰/۱۷۹	۰/۲۰۵	۰/۱۴۸	۰/۱۱۵*	۰/۰۸۸*	۰/۲۵۱	۰/۲۵۱	۰/۳۰۱	۰/۱۸۲
TH	۴۰/۹	۳۴/۹۹	۴۳/۸	۳۷/۹۷	۳۹/۲۹	۳۴/۲۵	۴۶/۴۳	۴۶/۴۳	۳۸/۸۸*	۲۹/۹۸*
SAR	۰/۱۷۳	۰/۱۳۲	۰/۱۳۳	۰/۰۹۸	۰/۰۸۶*	۰/۰۷۶*	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۰۷	۰/۰۸۶
EC	۶۴/۲۸	۵۴/۷۶	۷۳/۲۵	۶۸/۸۲	۵۹/۵۲	۴۸/۰۲	۷۶/۱۶	۷۶/۱۶	۵۶/۳۶*	۴۳/۷۶*

*: مناسبترین روش برای پهنه‌بندی براساس کمترین میانگین خطای مطلق و ریشه دوم مربعات خطا

جدول ۸. بررسی مناسبترین روش براساس ریشه دوم مربعات خطا و میانگین خطای مطلق (فصلی) پاییز

عامل	کریجینگ ساده (KS)		عکس فاصله (IDW)		تابع شعاعی (RBF)		تخمین گر عام (GPI)		تخمین گر موضعی (LPI)	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
SO4	۰/۱۱۸	۰/۰۹۹	۰/۱۱۷	۰/۰۹۹	۰/۱۱۷	۰/۰۹۶	۰/۱۱	۰/۱۲۶	۰/۱۱۵*	۰/۰۸۵*
Cl	۰/۱۵۲	۰/۱۰۳	۰/۱۵۷	۰/۱۲۲	۰/۱۵۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۶	۰/۱۴۷*	۰/۰۹۶*
TDS	۵۵/۷۷	۴۸/۶۷	۵۷/۷۹	۵۳/۴۷	۵۶/۴۵	۴۹/۷۴	۶۱/۹	۶۱/۹	۵۴/۷۲	۵۰/۷۱
Na	۰/۲۹۱	۰/۱۸۸	۰/۲۶۵	۰/۱۵۱	۰/۲۲۹*	۰/۱۵*	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۵۸	۰/۱۶۵
TH	۵۴/۰۹	۴۸/۴۲	۵۵/۴۱	۵۱/۶۵	۵۲/۸	۴۸/۳۸	۶۳/۰۴	۶۳/۰۴	۵۴/۹۹	۴۸/۴۶
SAR	۰/۲۳۹	۰/۱۶۵	۰/۲۰۱	۰/۱۱۵	۰/۱۴۹*	۰/۱۰۵*	۰/۲۴۲	۰/۲۴۲	۰/۱۹۵	۰/۱۲۶
EC	۸۶/۰۱	۷۳/۳۳	۹۷/۵۶	۹۰/۸	۹۳/۰۸	۸۴/۳۲	۱۰۲/۹۱	۱۰۲/۹۱	۹۹/۸۳	۸۳/۹۲

*: مناسبترین روش برای پهنه‌بندی براساس کمترین میانگین خطای مطلق و ریشه دوم مربعات خطا

جدول ۹. بررسی مناسبترین روش براساس ریشه دوم مربعات خطا و میانگین خطای مطلق (فصلی) تابستان

عامل	کریجینگ ساده (KS)		عکس فاصله (IDW)		تابع شعاعی (RBF)		تخمین گر عام (GPI)		تخمین گر موضعی (LPI)	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
SO4	۰/۲۰۴	۰/۱۵۷	۰/۲۳۵	۰/۱۷۴	۰/۲۲۳	۰/۱۶۴	۰/۲۱۵	۰/۲۱۵	۰/۲۲۶	۰/۱۶۹
Cl	۰/۱۵۸	۰/۱۱	۰/۱۷۱	۰/۱۲۹	۰/۱۶۳	۰/۱۱۶	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۹	۰/۱۱۷
TDS	۶۱/۰۳۵	۵۱/۴۱	۷۶/۲۵۹	۶۷/۱۵۷	۷۲/۲۲	۶۲/۵۷	۷۰/۶۳	۷۰/۶۳	۷۲/۹۵	۶۱/۶۶
Na	۰/۲۳۴	۰/۱۵۱	۰/۲۱۶	۰/۱۳۳	۰/۱۳۶*	۰/۱۱۳*	۰/۲۴۱	۰/۲۴۱	۰/۲۰۱	۰/۱۲۶
TH	۴۵/۷۷	۳۸/۴۷	۴۴/۱۲۷	۴۰/۹۴	۴۳/۵۳	۳۸/۳۸	۴۸/۵۳	۴۸/۵۳	۴۳/۴۶*	۳۵/۴۸*
SAR	۰/۱۸۷	۰/۱۴۴	۰/۱۴	۰/۰۹۱	۰/۰۹	۰/۰۷۱*	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۳۱	۰/۰۹۱
EC	۶۹/۲۴۶	۶۲/۰۶	۸۱/۱۲۲	۷۴/۹۷	۷۶/۷۱	۷۰/۳۹	۷۹/۰۴	۷۹/۰۴	۷۴/۶۹	۶۴/۰۳

*: مناسبترین روش پهنه‌بندی براساس کمترین میانگین خطای مطلق و ریشه دوم مربعات خطا

جدول ۱۰. بررسی مناسب‌ترین روش براساس ضریب تعیین (R^2) (فصلی)**

عامل	کریجینگ ساده (KS)			عکس فاصله (IDW)			تابع شعاعی (RBF)			تخمین‌گر عام (GPI)			تخمین‌گر موضعی (LPI)		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
SO4	۰/۴۷	۰/۶۱	*۰/۹	۰/۳	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۲۴	*۰/۸	*۰/۸۳	۰/۲۲
Cl	۰/۶۳	۰/۳۶	*۰/۹	*۰/۹	۰/۲۹	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۵۲	۰/۶۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۷	۰/۳۶	*۰/۸۶	۰/۲۶
TDS	۰/۴۴	*۰/۸	*۰/۸	*۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۵۷	*۰/۹	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۲	۰/۴۱
Na	۰/۲۲	۰/۶۳	۰/۴	۰/۲۵	۰/۷۷	۰/۲۸	*۰/۹۳	*۰/۸۷	*۰/۸۶	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۶	۰/۲۳
TH	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۵	۰/۳۶	۰/۷۴	۰/۶۵	۰/۲۹	*۰/۹۲	۰/۴۱	۰/۳	۰/۶۸	۰/۱۱	*۰/۸۶	۰/۳۳	*۰/۸
SAR	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۴	۰/۶۳	۰/۴۲	۰/۴۲	*۰/۸۶	*۰/۸۷	*۰/۹	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۳	۰/۴۱	۰/۳۵
EC	۰/۲۵	*۰/۹۲	*۰/۸	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۵۶	۰/۳	۰/۲	۰/۶	۰/۵۲	۰/۴۱	*۰/۸۸	۰/۳۲	۰/۲۱

* : مناسب‌ترین روش براساس ضریب تعیین ^{**} : ۱، ۲ و ۳ به ترتیب بهار، تابستان و پاییز

کمتر در واحد زمان‌اند، زیرا تبخیر و تعرق کمتری نسبت به آب‌های سطحی دارند. نتایج بررسی فصلی داده‌ها در منطقه تحقیق نشان داد که روش‌های مناسب میان‌یابی در فصل‌های مختلف متفاوت است. در فصل‌های بهار و پاییز روش تابع شعاعی و در فصل تابستان روش کریجینگ ساده مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی پارامترهاست. ارزیابی کیفیت نقطه‌ای که براساس نمودارهای ویلکوکس و شولر انجام پذیرفت نشان داد که آب بیشتر چاه‌ها و چشمه‌های مورد مطالعه کیفیتی مناسب برای شرب و آبیاری دارند و می‌توان براساس نتایج دریافتی از این نمودارها بدون دغدغه از آب موجود استفاده کرد. براساس نقشه‌های به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی به‌وسیله مناسب‌ترین روش میان‌یابی می‌توان دریافت که با حرکت از شرق به غرب، از غلظت عناصر کاسته می‌شود. با توجه به نمودار گیبس، کیفیت آب منطقه تحقیق تحت تأثیر سنگ بستر و فرسایش زمین‌شناسی منطقه است و می‌توان نشان داد که هرچه به سمت شرق منطقه تحقیق می‌رویم، بر مقدار سنگ آهک افزوده می‌شود. از طرفی، هرچه به سمت غرب منطقه تحقیق حرکت کنیم، بر مقدار مخلوط دیوریت و فلیش افزوده می‌شود. نتایج این تحقیق با نتایج برخی تحقیقات ذکر شده در بخش مقدمه همخوانی دارد و با برخی نیز مغایر است که بیانگر متفاوت بودن عوامل تأثیرگذار منطقه‌ای بر کیفیت آب زیرزمینی و نیز تفاوت در تعداد و تراکم نمونه‌هاست. با توجه به نتایج این تحقیق، نقشه‌های تهیه شده می‌توانند در مدیریت و بهره‌وری از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و غیرشرب،

در بررسی انتخاب مناسب‌ترین روش‌ها برای پهنه‌بندی در فصول مختلف نتایج مختلفی به‌دست آمده است که نشان می‌دهد در فصل بهار، برای میان‌یابی، برای پارامترهای سولفات، سختی و شوری، روش تخمین‌گر موضعی؛ برای پارامترهای نسبت سدیم قابل جذب، غلظت مواد محلول و سدیم، روش تابع شعاعی؛ و برای کلر روش عکس فاصله است. همچنین در فصل پاییز برای پارامترهای سولفات و کلر، روش تخمین‌گر موضعی؛ و برای شوری و غلظت مواد محلول، روش کریجینگ؛ و برای سدیم، سختی و نسبت سدیم قابل جذب، روش تابع شعاعی مناسب‌ترین روش‌ها به‌شمار می‌روند. در فصل تابستان نیز برای چهار پارامتر سولفات، کلر، شوری و غلظت مواد محلول، روش کریجینگ؛ و برای پارامترهای سدیم و نسبت سدیم قابل جذب روش تابع شعاعی؛ و برای ارزیابی سختی آب روش تخمین‌گر موضعی مناسب‌ترین روش انتخاب شد. بنابراین پهنه‌بندی مکانی این پارامترها براساس روش‌های منتخب انجام گرفت.

نتیجه‌گیری

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای شرب، آبیاری و مصارف دیگر و همچنین تعیین ظرفیت آب‌های زیرزمینی، همواره از اصلی‌ترین اهداف مدیران بوده است. علاوه بر این، استفاده از مناسب‌ترین روش‌های میان‌یابی براساس کمترین خطای ممکن، ابزاری مناسب برای تعیین تغییرات مکانی کیفیت آب است. آب‌های زیرزمینی در مقایسه با آب‌های سطحی از لحاظ پایداری یون‌ها، دارای تغییرات

[۸]. حسنی پاک، علی اصغر، زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷، ص ۳۱۴.

[۹]. عساکره، حسین، ۱۳۸۷، کاربرد روش کریجینگ در میان یابی بارش، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲: ۴۲-۲۵.

[۱۰]. قهرودی تالی، منیژه؛ بابایی فینی، ام السلمه، ۱۳۹۱، درآمدی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۲۳۲.

[11]. Pourmoghadas, H. 2002, Investigation of groundwater quality in Lenjan city. Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research Quarterly, 4:31-40.

[12]. Samin, M. Soltani J., Zeraatcar Z., Moasheri S.A., and Sarani N, 2012, Spatial estimation of groundwater quality parameters based on water salinity data using kriging and cokriging methods. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering. 25-26 August, Kuala Lumpur, Malaysia.

[13]. Taghizade-Mehrjardi, R., M., Zareian Mahmodi S.h., and Heidari A. 2008, Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal, 4(1): 9-17.

[14]. 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. V. 2, Issue 3.

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

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

[17]. Wilcox LV, 1955. Classification and use of irrigation waters. USDA Circ. 969, Washington, DC.

[18]. Davis, J.C. 1973. Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, New York. 550pp.

[19]. Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K. and Lucas, N. 2001, Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, Redlands, CA.

به‌کارگیری روش‌های نوین کشاورزی و آبیاری، تعیین الگوی کشت در منطقه، مدیریت آبخیزها و مرتعداری، در منطقه تحقیق به‌کار گرفته شوند.

منابع

[۱]. خدائی، کمال؛ شهسواری، علی‌اکبر؛ اعتباری، بهروز؛ هاتفی، راحله، ۱۳۸۴، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت جوین در مقابل آلودگی با استفاده از روش‌های GODS و DRASTIC، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان.

[۲]. مهدوی، محمد، هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۸، ص ۳۰۱.

[۳]. لاله‌زاری، رضا؛ طباطبائی، سیدحسن، ۱۳۸۹، خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد، محیط‌شناسی، سال سی و ششم، شماره ۵، ص ۷.

[۴]. حسنی، قاسم؛ محوی، امیرحسین؛ ناصری، سیمین؛ عرب‌علی‌بیگ، حسین؛ یونسین، مسعود؛ قریبی، حامد، ۱۳۹۱، طراحی شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی، مجله سلامت و بهداشت اردبیل، دوره سوم، شماره ۱، بهار: ۳۱-۱۸.

[۵]. نادى، مهدى؛ خلیلی، علی؛ پورطهماسی، کامییز؛ بذرافشان، جواد، ۱۳۸۹، ارزیابی برخی از روش‌های زمین‌آمار برای میان‌یابی داده‌های بارندگی در منطقه چهارباغ، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.

[۶]. ذبیحی، علیرضا، سلیمانی، کریم، شعبانی، مرتضی، و آبروش، صادق، ۱۳۹۰، بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان قم) پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، زمستان: ۱۱۲-۱۰۱.

[۷]. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدن کشور، ۱۳۷۰، نقشه زمین‌شناسی مریوان-بانه. ۱:۲۵۰۰۰۰۰.