

مرتج و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۶

ص ۸۰۹-۸۲۰

بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی بر اساس تحلیل‌های زمین‌آماري

(مطالعه موردی: دشت هشتگرد استان البرز)

❖ آرش ملکیان*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران
❖ مهسا میردشتوان؛ کارشناس ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

چکیده

امروزه، با توجه به افزایش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی، لزوم توجه به استفاده بهینه از این منابع بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. از روش‌های زمین‌آمار می‌توان برای ارزیابی و پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی بهره برد. منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر آبخوان دشت هشتگرد است. در این تحقیق نخست، با استفاده از داده‌های کیفی برداشت شده از ۴۱ حلقه چاه پیرومتری منطقه، مقادیر پارامترهای کیفی گوناگون در هر چاه بررسی شد. سپس، به کمک روش‌های زمین‌آماري کریجینگ، کوکریجینگ و IDW بهترین مدل برای پهنه‌بندی کیفی آبخوان انتخاب شد. نتایج نشان داد برای بیشتر شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی بر اساس ارزیابی متقابل و RMSE، کوکریجینگ بهتر از سایر روش‌ها شاخص‌های کیفی را شبیه‌سازی می‌کند. سپس، از میان پارامترهای کیفی دو پارامتر SAR و EC برای تعیین کیفیت آب آبیاری به روش ویلکوکس انتخاب شد و نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس این دو پارامتر با استفاده از امکانات زمین‌آماري نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰ تهیه شد. نتایج تعیین کیفیت آب آبیاری در آبخوان نشان داد که ۹۹ درصد سطح آبخوان بر اساس روش طبقه‌بندی ویلکوکس برای تعیین کیفیت آب آبیاری در رده خوب (C2S1) و ۱ درصد از سطح آبخوان در رده متوسط (C3S1) قرار می‌گیرد. از نتایج پژوهش حاضر می‌توان در مدیریت آبخوان منطقه و همچنین مدیریت آبیاری در کشاورزی منطقه استفاده کرد.

واژگان کلیدی: دشت هشتگرد، زمین‌آمار، کیفیت آب زیرزمینی، ویلکوکس.

۱. مقدمه

از مجموع آب‌های آب‌کره فقط یک درصد آن قابل استفاده است و ۹۹ درصد از این مقدار را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهد [۱۲]. ذخایر آب‌های زیرزمینی با دارا بودن حجمی معادل ۳۷ میلیارد کیلومتر مکعب حدود ۹۷ درصد از آب شیرین مصرفی جهان را تأمین می‌کنند [۴]. این ذخایر نه تنها به لحاظ کمی حائز اهمیت‌اند، بلکه در مقایسه با منابع آب‌های سطحی دارای مزایایی هستند که دلیل اهمیت آن‌ها را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

کشور ایران از لحاظ اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است؛ به طوری که تقریباً ۷۰ درصد سطح آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. متوسط بارش سالانه در ایران در حدود ۲۴۶ میلی‌متر و حجم کل سالانه بارش ۴۱۳ میلیارد متر مکعب برآورد شده است؛ از این مقدار، ۴۹٫۳ میلیارد متر مکعب در سال حجم آب‌های زیرزمینی تجدیدشونده است [۸]. با توجه به ارقام مذکور و همچنین با توجه به نقش منابع و ذخایر آب زیرزمینی در تأمین نیازهای بشر، اقدام جدی برای مدیریت و بهره‌برداری صحیح از این منابع جهت جلوگیری از افول کمی و کیفی این منابع ضروری به نظر می‌رسد.

امروزه، ابزارهای مختلفی برای مطالعات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی ابداع شده است. روش‌های زمین‌آماری یکی از این ابزارهاست که به منظور بررسی و مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی از آن استفاده می‌شود. روش‌های زمین‌آماری مدلی مناسب برای توصیف متغیر ناحیه‌ای با در نظر گرفتن

مؤلفه‌های تغییرپذیری ساختاری و تصادفی است [۱۵]. در سال‌های اخیر، بسیاری از پژوهشگران، ضمن استفاده از روش‌های گوناگون زمین‌آماری، به منظور بررسی پارامترهای کیفی آب، سعی کرده‌اند، علاوه بر بررسی وضعیت کیفی آبخوان دشت مورد نظر، به ارزیابی دقت روش‌های مورد استفاده برای تخمین و درون‌یابی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی نیز بپردازند. طی بررسی‌هایی درباره متغیرهای کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری، ناگر بدین نتیجه رسید که روش کریجینگ از سایر ابزارها برای شبیه‌سازی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی مناسب‌تر است [۹]. محققان طی بررسی‌هایی درباره کاربرد روش زمین‌آماری کریجینگ بدین نتیجه رسیدند که روش مذکور قابلیت فراوانی در تخمین وابستگی مکانی پارامترهای کیفیت آب از قبیل TDS دارد [۱]. ناگر به بررسی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان واقع در شمال شرقی استان فارس به منظور تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS آبخوان دشت مذکور پرداخت. نتایج نشان داد در بین روش‌های معین روش RBF برای تهیه نقشه تغییرات pH و TDS در منطقه مناسب‌ترین است. افزون بر این، نتایج نشان داد روش SK و روش OK در بین روش‌های کریجینگ به ترتیب برای تهیه نقشه تغییرات pH و TDS برتری دارند. در نهایت، از مقایسه روش‌های گوناگون میان‌یابی نتیجه گرفته شد که روش زمین‌آمار کریجینگ ساده و معمولی، نسبت به روش‌های معین، برتری دارند و به ترتیب به عنوان روش‌های مناسب برای تهیه نقشه نهایی تغییرات pH و TDS در آبخوان دشت ارسنجان انتخاب شدند [۹].

کیفی آب‌های زیرزمینی با توجه به مصارف مختلف از جمله کشاورزی صورت گرفته است. در تحقیقی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان در شمال شرق استان فارس با هدف مطالعه تغییرات کیفی و مکانی خصوصیات آب‌های زیرزمینی از نظر پارامترهای EC، PH، TDS، و NO_3^{++} و پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی منطقه برای مصارف کشاورزی بررسی شد. نتایج نشان داد که آب‌های منطقه از نظر کیفیت برای استفاده در کشاورزی در چهار کلاس خوب (۱۴/۵ درصد)، قابل قبول (۶۶/۱۴ درصد)، مشکوک (۱۵/۷۱ درصد) و بد (۳/۶۵ درصد) قرار می‌گیرد [۱۴]. مطالعه‌ای با هدف ارزیابی کیفیت آب مخازن چاه نیمه سه گودال در جنوب دشت سیستان، واقع در حوالی مصب هیرمند، انجام شد. بررسی‌ها حاکی از آن است که کیفیت آب مخازن به لحاظ کشاورزی، با توجه به نمودار ویلکوکس، در طبقه C3S1، که معرف کیفیت متوسط است، قرار می‌گیرد [۷]. ززم و رهنما به بررسی تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی، کلسیم، کلرور، منیزیم، سدیم، TDS و SAR موجود در آب زیرزمینی دشت رفسنجان پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه با بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت شیمیایی ۶۵ پیژومتر از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۵، با نمودار ویلکوکس، نشان‌دهنده کیفیت بد آب برای مصارف کشاورزی است [۱۶]. محققان به بررسی وضعیت مطلوبیت آب زیرزمینی شهرستان اسلامشهر برای استفاده در کشاورزی در یک دوره شش‌ساله پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که منطقه در چهار کلاس کیفیت ویلکوکس شامل C4S1، C4S2، C3S1 و C2S1 جای می‌گیرد؛ از این میان، کلاس

در تحقیق دیگری، به منظور بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین به وسیله تحلیل‌های زمین‌آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نتایج نشان داد که روش BFR، نسبت به روش‌های درون‌یابی دیگر، نتایج بهتری دارد. به علاوه، مشخص شد که به طور متوسط در هر ماه ۲۰/۴۱ درصد از مساحت دشت در وضعیت کیفی خوب، ۴۵/۵۹ درصد در وضعیت کیفی متوسط و ۳۴/۰۱ درصد دارای وضعیت کیفی بد یا ضعیف است [۲]. نتایج حاصل از پهنه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نشان داد که روش کوکریجینگ خطای کمتر و همبستگی بیشتری نسبت به روش‌های کریجینگ و IDW دارد. همچنین نتایج نشان‌دهنده تأثیرپذیری شوری از یون کلر و بالابودن همبستگی بین این دو پارامتر است و میزان دقت کلر به عنوان عنصر کمکی در تخمین پارامتر شوری در روش کوکریجینگ بسیار زیاد است [۱۱]. در برآورد مکانی مؤلفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت گلپایگان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نتایج حاصل از محاسبه RMSE نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ برتری ندارد، اما، با توجه به RMSE کمتر روش کوکریجینگ، که نشان‌دهنده دقت زیاد و خطای کمتر است، نقشه‌های پهنه‌بندی مؤلفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با این روش تهیه شد [۶]. محققان به ارزیابی زمین‌آماری کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس پرداختند و نتیجه گرفتند که برای همه شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی روش کوکریجینگ بهتر از سایر روش‌ها شاخص‌های کیفی را شبیه‌سازی می‌کند [۵]. همچنین، مطالعات متعددی در زمینه طبقه‌بندی

واقع شده است. وسعت کل حوزه آبخیز ۱۱۷۰/۵ کیلومتر مربع است که ۵۴۳/۹۴ کیلومتر مربع آن دشت و بقیه ارتفاعات است. ارتفاع منطقه از سطح دریا در پای ارتفاعات شمال دشت ۱۴۰۰ متر، در قسمت غربی ۱۱۶۵ متر و متوسط ارتفاع دشت ۱۲۰۰ متر است. از لحاظ وضعیت زمین‌شناسی، آبخوان دشت هشتگرد متشکل از رسوبات آبرفتی عهد حاضر متعلق به سری‌های Q_3 و Q_4 است [۱۰]. بر اساس مطالعات و بررسی‌های صورت‌گرفته، اقلیم دشت هشتگرد بر مبنای طبقه‌بندی اقلیم دومارتن جزو اقلیم «نیمه‌خشک» است. میزان متوسط بارندگی دشت ۲۵۴ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه دشت ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان متوسط تبخیر و تعرق سالانه آن ۲۳۹۵ میلی‌متر است [۴]. منبع اصلی تغذیه سفره آب زیرزمینی این دشت رودخانه کردان است که از ناحیه شمال شرقی در مجاور ده صومعه و کردان وارد دشت می‌شود و مخروط‌افکنه وسیعی را تشکیل می‌دهد [۱۳]. با توجه به نتایج حاصل از حفاری‌های انجام‌شده و نتایج ژئوفیزیک، در کل می‌توان دشت هشتگرد را در محور قائم همسان و ایزوتروپ در نظر گرفت و آبخوان آن را از نوع آزاد متصور شد. ضریب ذخیره آبخوان حداقل ۲ درصد و میانگین آن ۴ درصد اندازه‌گیری شد. همچنین، ضریب قابلیت انتقال حداقل ۱۱۵ و حداکثر ۱۱۰۰ متر مربع در روز است [۱۰].

مراحل اجرای پژوهش

در این مطالعه، با توجه به اهداف پژوهش، از نتایج تجزیه شیمیایی ۴۱ حلقه چاه پیزومتری و داده‌های کیفی آن‌ها شامل SAR, TH, Ca, Mg, Na, K,

C3S1 (آب شور، با اعمال تمهیدات خاص برای کشاورزی مناسب) بیشترین سطح را به خود اختصاص داد. بنابراین، اگر، بدون توجه به وضعیت آب، کشاورزی صورت گیرد، بازدهی رو به افول می‌نهد و خاک منطقه قابلیت و حاصل‌خیزی خود را بیش از پیش از دست می‌دهد [۳]. با توجه به مطالب مذکور، اهمیت مطالعه آب‌های زیرزمینی برای بررسی کیفیت آن‌ها از مهم‌ترین ضروریات به منظور مدیریت صحیح این منابع مهم آبی به شمار می‌آید. از آنجا که بخش بزرگی از منابع آب زیرزمینی دشت هشتگرد به مصارف کشاورزی اختصاص می‌یابد [۱۰] و همچنین با توجه به افزایش روزافزون جمعیت منطقه و نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی، در تحقیق حاضر به بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت هشتگرد برای مصارف کشاورزی پرداخته شد. هدف از این تحقیق بررسی صحت روش‌های درون‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ و عکس فاصله وزن‌دار برای پیش‌بینی برخی پارامترهای کیفی مهم منابع آب زیرزمینی دشت هشتگرد و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی منطقه با استفاده از پارامترهای نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی به منظور تعیین کیفیت آب آبیاری جهت مصارف کشاورزی بر اساس روش ویلکوکس است.

۲. روش‌شناسی

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در استان البرز واقع شده و به «دشت هشتگرد» معروف است. این ناحیه در مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 47'$ تا $36^{\circ} 7'$ عرض شمالی و $50^{\circ} 22' 45''$ تا $51^{\circ} 5' 35''$ طول شرقی

کیفیت آب برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی استفاده می‌شود و با استفاده از دیاگرام مذکور آب‌ها از نظر کیفیت به چهار کلاس (خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب) طبقه‌بندی می‌شوند.

۳. نتایج

جدول ۱ خلاصه آنالیز آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت هشتگرد را نشان می‌دهد. توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در سطح ۵ درصد بررسی شد و از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، واریوگرام تجربی محاسبه شد. بهترین مدل برای متناسب بودن واریوگرام تجربی بر مبنای حداقل مقدار RMSE انتخاب شد (جدول ۲). بر این اساس، برای پارامترهای Na، Mg، Ca، K، SO₄، Cl، EC و TDS مدل Spherical و فقط برای پارامتر TH مدل Exponential و برای SAR مدل Gaussian انتخاب شد. جدول ۳ نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام را نشان می‌دهد.

نسبت قطعه به سقف، که به صورت درصد بیان می‌شود، می‌تواند معیاری برای طبقه‌بندی وابستگی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در نظر گرفته شود. اگر این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، بدین معناست که متغیر وابستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی متوسط و اگر بیشتر از ۷۵ درصد باشد، متغیر وابستگی بسیار ضعیف است. از میان متغیرهای مورد بررسی، پارامترهای TH، Ca و K وابستگی مکانی متوسط و سایر پارامترها وابستگی مکانی ضعیفی را نشان می‌دهند.

SO₄، Cl، EC و TDS، که از شرکت مدیریت جامع منابع آب ایران برای دوره آماری ۱۳۸۰ - ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ - ۱۳۸۸ اخذ شده بود استفاده شد. همه داده‌های مربوط به هر پارامتر از نظر نرمال بودن بررسی شد. پس از آنالیز داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، با استفاده از لگاریتم‌گیری و آزمون نمودن آن‌ها و با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار آماری SPSS V.21، به برآزش واریوگرام مناسب به ساختار مکانی داده‌ها و پارامترهای مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار GS+ اقدام شد. برای پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت مورد نظر، از تخمین‌گرهای زمین‌آماری کریجینگ^۱، کوکریجینگ^۲ و عکس فاصله وزن‌دار^۳ استفاده شد. در پایان، برای ارزیابی و دقت مدل تخمین‌گرهای زمین‌آماری و بررسی خطای میان‌یابی و تعیین شاخص‌های مورد نظر از تکنیک اعتبارسنجی متقابل^۴ استفاده شد. مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده مقایسه شد و خطای برآورد با استفاده از مدل آماری مجذور میانگین مربعات خطای (RMSE) استاندارد شده محاسبه شد؛ این مقدار هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بسیار زیاد مدل است. در نهایت، نقشه پارامترهای کیفی SAR و EC در محیط ArcGIS 10 بر اساس روش درون‌یابی مناسب پهنه‌بندی شد و کیفیت آب آبیاری آبخوان به روش ویلکوکس (تعیین کیفیت آب برای آبیاری) تعیین شد. ویلکوکس با استفاده از مقادیر SAR و EC دیاگرامی تهیه کرده است که از آن در مطالعات

1. Kriging
2. Co-Kriging
3. IDW (Inverse Distance Weighted)
4. Cross-validate

جدول ۱. نتایج آنالیز آماری پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی

Groundwater quality factor	Min	Max	Mean	Stdev	Kurtosis	Skewness
TH(mg/l)	۷۱٫۵	۵۸۹	۲۲۲٫۱۳	۱۰۱٫۹۸	۴٫۵۲	۱٫۸۵
SAR	۰٫۳۴	۳٫۹۶	۱٫۱۷	۰٫۸۷	۱٫۹	۱٫۵۲
K(mg/l)	۰٫۰۱	۰٫۰۸	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۱۰٫۶۷	۳
Na(mg/l)	۰٫۴۳	۷٫۳	۱٫۷۱	۱٫۳۸	۵٫۸۱	۲٫۰۸
Mg(mg/l)	۰٫۸۳	۹٫۷	۲٫۶۸	۱٫۵۴	۹٫۷۴	۲٫۴۳
Ca(mg/l)	۰٫۶	۶٫۷۵	۱٫۷۶	۱٫۰۱	۱۵٫۱۲	۳٫۴۱
EC(μ s/cm)	۲۹۵	۱۷۷۲	۶۰۱٫۵۳	۳۰۲٫۰۳	۴٫۸۸	۲٫۰۱
SO ₄ (meq/l)	۰٫۶۶	۴٫۵۶	۱٫۶۸	۰٫۹۳	۱٫۴۵	۱٫۳۴
Cl(mg/l)	۰٫۲۱	۶٫۶	۰٫۹۸	۱٫۰۹	۱۷٫۹۸	۳٫۸
TDS(mg/l)	۱۷۷	۱۰۸۰	۳۴۳٫۳۳	۱۸۱٫۲۹	۶٫۳۴	۲٫۲۹

جدول ۲. انتخاب مناسب‌ترین مدل برای تجزیه و تحلیل واریوگرام تجربی بر مبنای RMSE

GWQI	Spherical	Exponential	Gaussian
TH(mg/l)	۲٫۳۲۵	۱٫۷۹۶	۲٫۷۴۸
SAR	۰٫۲۵۵	۰٫۲۶۸	۰٫۲۴۴
Na(mg/l)	۱٫۷۳	۲٫۰۲	۱٫۸۱
Ca(mg/l)	۰٫۴۷۰	۰٫۷۵۴	۰٫۶۰۳
Mg(mg/l)	۱٫۸۹	۲٫۴۳	۱٫۹۳
SO ₄ (meq/l)	۰٫۰۷۷۱	۰٫۰۸۵۵	۰٫۰۹۲۵
Cl(mg/l)	۱٫۳۸	۱٫۶۱	۱٫۳۲
K(mg/l)	۳٫۴۷۰	۵٫۰۹۳	۴٫۲۷۴
EC(μ s/cm)	۳٫۲۰۴	۳٫۷۹۹	۳٫۳۵۱
TDS(mg/l)	۴٫۵۸۹	۵٫۳۳۱	۴٫۷۷۳

جدول ۳. مشخصات واریوگرام تجربی مناسب برازش داده‌شده به ساختار مکانی پارامترهای مورد بررسی

GWQI	Model	Nugget	Sill	Range(km)	(CO/CO+CO)	R2
TH(mg/l)	Exponential	۵۲۰۰	۱۴۸۱۰	۵۱۱۰۰	۰٫۵	۰٫۳۵۰
SAR	Gaussian	۰٫۳۱	۲٫۶۳	۳۰۲۱۰	۰٫۸۸۲	۰٫۷۵۷
Na(mg/l)	Spherical	۰٫۰۰۱	۲٫۲۸۸	۱۲۱۹۰	۱	۰٫۶۹۷
Ca(mg/l)	Spherical	۰٫۳۳۶	۱٫۰۱۳	۱۵۳۰	۰٫۶۶۸	۰
Mg(mg/l)	Spherical	۰٫۰۰۱	۲٫۹۵۸	۱۳۰۴۰	۱	۰٫۷۹۵
SO ₄ (meq/l)	Spherical	۰٫۱۰۱	۱٫۰۰۳	۱۴۰۰۰	۰٫۸۹۹	۰٫۸۹۱
Cl(mg/l)	Gaussian	۰٫۰۰۱	۱٫۵۵۸	۵۶۵۰	۰٫۹۹۹	۰٫۶۴۳
K(mg/l)	Spherical	۰٫۰۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۰۲	۱۵۳۰	۰٫۶۳۸	۰
EC(μs/cm)	Spherical	۱۴۶۰۰	۱۰۶۴۰۰	۱۱۶۲۰	۰٫۸۶۳	۰٫۶۵۰
TDS(mg/l)	Spherical	۵۷۰۰	۳۸۳۷۰	۱۱۴۹۰	۰٫۸۵۱	۰٫۶۲۰

و عکس فاصله وزن‌دار از مقدار RMSE استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش عکس فاصله وزن‌دار برای همه پارامترها از دقت بیشتری برخوردار است. علاوه بر این، روش کوکریجینگ سطوح تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را با دقت بیشتری نسبت به روش کوکریجینگ در بیشتر پارامترها ایجاد می‌کند. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، در نهایت، نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت هشتگرد بر اساس پارامترهای کیفی SAR و EC و با استفاده از روش میان‌یابی کوکریجینگ ترسیم شد.

در روش کوکریجینگ، پس از بررسی ماتریس همبستگی، پارامتری که بیشترین ضریب را دارد متغیر کمکی انتخاب می‌شود. متغیرهای EC، Na، Ca، SAR، EC، TH، TDS، EC و TDS به ترتیب به عنوان متغیر کمکی برای پیش‌بینی TH، SAR، K، Na، Mg، Ca، Cl، SO₄ و TDS انتخاب شدند. بهترین مدل برازش‌یافته بر واریوگرام متقابل بر اساس کمترین مقدار RMSE انتخاب شد (جدول ۴). جدول ۵ همچنین پارامترهای مدل واریوگرام‌های متقابل را نشان می‌دهد. برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی از میان روش‌های کوکریجینگ، کوکریجینگ

جدول ۴. انتخاب بهترین مدل واریوگرام متقابل تجربی بر اساس RMSE

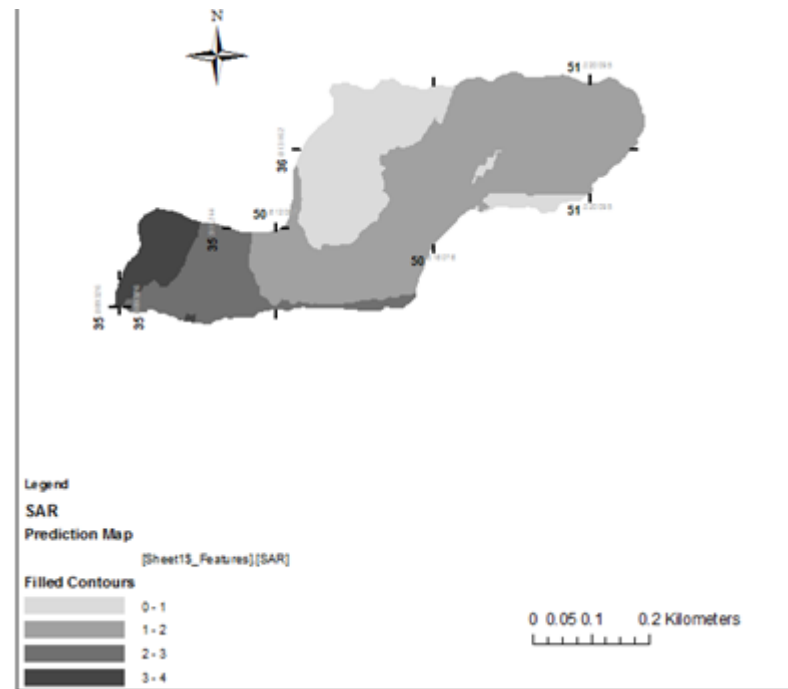
GWQI	Spherical	Exponential	Gaussian
TH-EC	۲,۴۱۳	۲,۷۵۴	۴,۹۶۶
SAR-Na	۰,۵۵۲	۰,۴۸۷	۰,۵۰۸
K-Ca	۱,۲۵۶	۱,۷۱۴	۱,۵۰۵
Na-SAR	۰,۵۵۲	۰,۴۸۷	۰,۵۰۸
Mg-EC	۷۳۲۱۱	۹۴۴۸۲	۷۶۶۴۵
Ca-TH	۳۰۹۰	۴۴۱۴	۳۷۳۳
Cl-TDS	۲۳۰۷۳	۲۸۱۰۳	۲۳۲۹۷
SO ₄ -EC	۱۵۸۳۶	۱۹۲۱۲	۱۷۲۳۳
TDS-EC	۱,۲۰۸	۱,۴۱۸	۱,۲۶
EC-TDS	۱,۲۰۸	۱,۴۰۸	۱,۲۶

جدول ۵. بهترین مدل‌های برازش یافته بر متغیر کیفیت آب زیرزمینی و پارامترهای آن

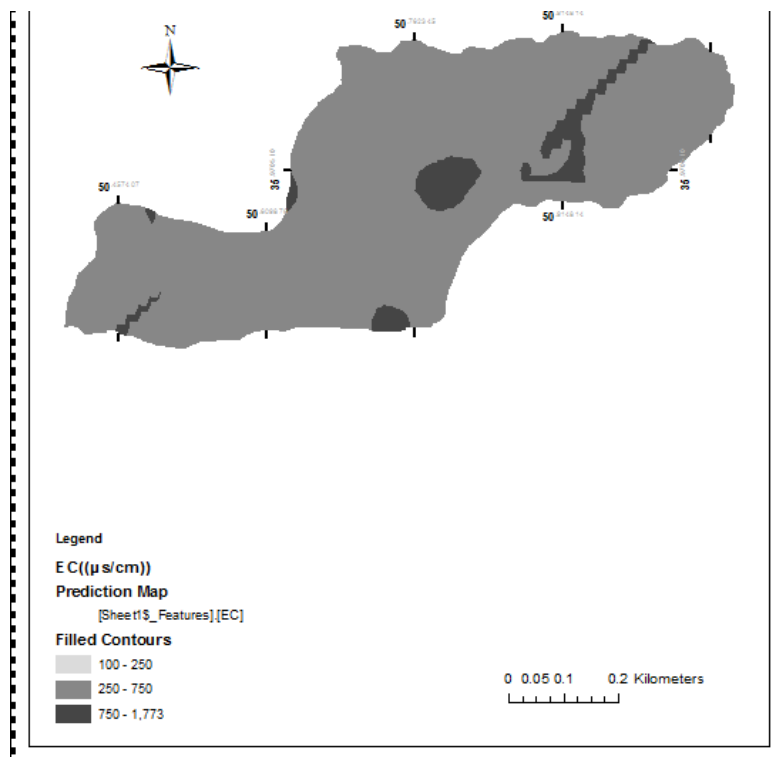
GWQI	Model	Nugget	Sill	Range(km)	(CO/CO+C)%
TH-EC	Spherical	۹۶۵۰	۳۰۷۹۰	۱۱۹۹۰	۰,۶۸۷
SAR-Na	Exponential	۰,۰۳۹	۱,۵۱۴	۹۰۰۰	۰,۹۷۴
K-Ca	Spherical	۰,۰۰۳۲۴	۰,۰۰۸۷۸	۱۵۳۰	۰,۶۳۱
Na-SAR	Gaussian	۰,۰۳۹	۱,۵۱۴	۹۰۰۰	۰,۹۷۴
Mg-EC	Spherical	۱	۵۱۳,۹	۱۱۹۰۰	۰,۹۹۸
Ca-TH	Exponential	۲۲,۵	۶۵	۱۵۳۰	۰,۶۵۴
Cl-TDS	Spherical	۰,۱	۲۲۱,۱	۱۱۶۲۰	۱
SO ₄ -EC	Spherical	۳۰,۱	۲۸۳,۸	۱۲۱۵۰	۰,۸۹۴
TDS-EC	Spherical	۸۹۰۰	۶۳۶۳۰	۱۱۵۳۰	۰,۸۶
EC-TDS	Spherical	۸۹۰۰	۶۳۶۳۰	۱۱۵۳۰	۰,۸۶

جدول ۶. انتخاب روش مناسب میان‌یابی بر مبنای RMSE

GWQI	Kriging	Co krigin	IDW
TH(mg/l)	۰,۳۱۷	۰,۱۹۷	۰,۳۴۹
SAR	۰,۲۷۳	۰,۱۹۴	۰,۴۰۲
Na(mg/l)	۰,۶۴۳	۰,۲۳۲	۰,۶۱۱
Ca(mg/l)	۰,۲۲۳	۰,۱۹۱	۰,۴۴۸
Mg(mg/l)	۰,۲۱۵	۰,۲۲۵	۰,۴۲۲
SO ₄ (meq/l)	۰,۴۷۰	۰,۲۲۰	۰,۴۰۳
Cl(mg/l)	۰,۱۳	۰,۲۵۴	۰,۸۹۳
K(mg/l)	۰,۲۲۸	۰,۲۱۶	۰,۳۰۹
EC(μs/cm)	۰,۲۵۷	۰,۲۲۳	۰,۴۴۱
TDS(mg/l)	۰,۲۴۳	۰,۲۳۰	۰,۳۹۶



شکل ۱. نقشه تغییرات SAR آب‌های زیرزمینی دشت هشتگرد بر اساس روش کوکریجینگ



شکل ۲. نقشه تغییرات EC آب‌های زیرزمینی دشت هشتگرد بر اساس روش کوکریجینگ

بحث و نتیجه گیری

هدف از این پژوهش پهنه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت هشتگرد با استفاده از روش‌های زمین‌آمار برای تعیین کیفیت آب آبیاری بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس بود. بدین منظور، از روش‌های زمین‌آمار مانند روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و روش‌های معین مانند عکس فاصله و وزن‌دار استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش IDW به دلیل زیادبودن مقدار R^2 و کمتربودن مقدار RMSE مناسب‌تر است (جدول‌های ۵ و ۶). بر اساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش‌های زمین‌آمار برتری‌های بسیاری نسبت به روش‌های معین در تحلیل مکانی خصوصیات آب‌های زیرزمینی دارند. همچنین، در این پژوهش، روش کوکریجینگ سطوح تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را با دقت بسیار زیادی نسبت به روش کریجینگ در بیشتر پارامترها ایجاد می‌کند.

نتایج پژوهش حاضر در زمینه تحلیل مکانی خصوصیات آب‌های زیرزمینی با نتایج برخی پژوهشگران همخوانی دارد [۲، ۶، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۵]. پژوهشگران مذکور روش‌های زمین‌آمار، مانند کریجینگ و کوکریجینگ، را ابزار مناسبی برای مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها در مناطق گوناگون جهان پیشنهاد کرده بودند؛ نتایج پژوهش

حاضر و مقایسه این نتایج با نتایج مطالعات مذکور، صحت روش انتخاب‌شده در پژوهش حاضر برای بررسی خصوصیات آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را تأیید می‌کند.

در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی SAR و EC آبخوان دشت هشتگرد با روش درونیابی کوکریجینگ تهیه شد و بر اساس روش ویلکوکس برای تعیین کیفیت آب آبیاری کیفیت آب آبیاری در آبخوان دشت هشتگرد مشخص شد. نتایج نشان داد که ۱۰۰ درصد سطح آبخوان دارای نسبت جذب سدیم پایین (۰ - ۴)، ۹۹ درصد آبخوان دارای هدایت الکتریکی متوسط (در محدوده ۲۵۰ - ۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر) و ۱ درصد از سطح آبخوان نیز دارای هدایت الکتریکی بالا (بین ۷۵۰ تا ۱۷۷۳ میکروموس بر سانتی‌متر) است؛ بر این اساس، ۹۹ درصد از سطح آبخوان بر اساس روش طبقه‌بندی ویلکوکس برای تعیین کیفیت آب آبیاری در رده خوب (C2S1) و ۱ درصد از سطح آبخوان در رده متوسط (C3S1) قرار می‌گیرد؛ از دسته دوم فقط می‌توان برای آبیاری زمین‌های درشت‌بافت و با زهکشی خوب بهره برد. از نتایج پژوهش حاضر می‌توان در مدیریت آبخوان منطقه و همچنین مدیریت آبیاری در کشاورزی منطقه استفاده کرد.

References

- [1] Ahmed, S., Sherif, M.M., Singh, V.P. and Al-Rashed, M. (2002). Groundwater network design: Application of geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region: Groundwater hydrology, *Journal of Balkema*, 2(1), 37-57.
- [2] Askari, M., Mosaedi, A., Dehghani, A.A. and Meftah Holghi, M. (2009). Application of geostatistics and GIS analysis in study of groundwater quality spatial variability (Case study: Qazvin aquifer, Iran), *International Conference on Water Resources: Emphasis on regional development*, August, Shahrood, Iran.
- [3] Dehghani, V. and Zar' Kar, A. (2010). Eslamshahr city zoning utility groundwater use in agriculture, *Iranian Water Conference, Clean Water*, March, University of power and water technology, Tehran, Iran.
- [4] Ehteshami, M., Aghasi, A. and Reza'ee Roya, A. (2002). Hashtgerd plain evolution of groundwater potential in the last ten years and its causes, *Journal of Environmental Technology*, 13(1), 61- 74.
- [5] Ghafoori, V., Malekpour, N. and Mardani, A. (2011). Evaluation of geostatistical methods for mapping groundwater quality in Fars Province, *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 1(2), 83-96.
- [6] Hajihashemijazi, M.R., Atashgah, M. and Hamidian, Aa.H. (2011). Spatial estimation of groundwater quality factors using geostatistical methods (Case study: Golpaygan plain), *Journal of Natural Environmental, Iranian Journal of Natural Resources*, 63(4), 347- 357.
- [7] Homayounnezhad, A., Amirian, P. and Piri, A. (2009). Evaluation of agricultural and drinking water reservoirs of Nimeh-chah of Zabol (relying on Schuler and Wilcox diagrams), *3rd Conference on Environmental Engineering*, October, University of Tehran, Tehran. Iran.
- [8] United Nations Development Program (UNDP) (2010). Iran Second National Communication to UNFCCC, 212pp.
- [9] Jager, N. (1990). *Hydrogeology and groundwater simulation*, Lewis Publication.
- [10] Jamab Consulting Engineering (Ministry of Energy, Water Resources Management Organization, Office of Basic Studies of Water Resources) (2006). Reported in Salt Lake Basin.
- [11] Khasheisivaki, A., Hoseinnia, A. and Sarbazi, M. (2011). Neyshabur plain groundwater quality zoning, using geostatistics methods and identification of unusual waters, *11th National Conference on Irrigation and Reduce Evaporation*, February, Bahonar University, Kerman, Iran.
- [12] Mahdavi, M. (2009). *Applied hydrology*, Vol. 2, 2nd Ed, University of Tehran Press.
- [13] Mohammad Reza Pourtabari, M., Morsali, M. and Nouri, H. (2008). Locate potential areas for groundwater artificial recharge projects using GIS: A case study of Hashtgerd plain, *4th National Congress on Civil Engineering*, May, University of Tehran, Tehran. Iran.
- [14] Shabani, M. (2009). Determine the most appropriate method for the preparation of statistics on changes in pH and TDS groundwater maps (Case study: Arsanjan plain), *Journal of Water Engineering*, 2(3), 47-58.
- [15] Yari, R. and Kouchakzadeh, M. (2008). Comparison of geostatistical methods for predicting the distribution of groundwater salinity, *3th Conference on Water Resources Management*, October, University of Tabriz, Tabriz. Iran.

- [16] Zamzam, A. and Rahnama, M. (2009). Evaluate the chemical quality of groundwater of Rafsanjan Plain, using Wilcox and Schuler diagrams, *International Conference on Water resources: Emphasis on Regional Development*, August, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.