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

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۶

ص۸۰۹-۸۲۰

بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی بر اساس تحلیل‌های زمین‌آماری

(مطالعهٔ موردی: دشت هشتگرد استان البرز)

❖ **آرش ملکیان***؛ دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران
❖ **مهسا میردشتوان؛** کارشناس‌ارشد آبخیزداری دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

Archive of SID

چکیده

امروزه، با توجه به افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، لزوم توجه به استفادهٔ 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. منطقهٔ مورد مطالعه در تحقیق حاضر آبخوان دشت هشتگرد است. در این تحقیق نخست، با استفاده از داده‌های کیفی برداشت‌شده از ٤١ حلقه چاه پیزومتری منطقه، مقادیر پارامترهای کیفی گوناگون در هر چاه بررسی شد. سپس، به کمک روش‌های زمین‌آماری 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 زمین‌آماری نرم‌افزار ArcGIS نسخهٔ 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 ردهٔ خوب (C2S1) و ۱ درصد از سطح آبخوان در ردهٔ 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.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۹۸۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴+ نمابر: ۹۸۲۶۳۲۲۲۷۷۶۵+ Email: malekian@ut.ac.ir

www.SID.ir

۱. مقدمه

از مجموع آب‌های آب‌کره فقط یک درصدِ آن قابل استفاده است و ۹۹ درصد از این مقدار را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهد [۱۲]. ذخایر آب‌های زیرزمینی با دارابودن حجمی معادل ۳۷ میلیارد کیلومتر مکعب حدود ۹۷ درصد از آب شیرین مصرفی جهان را تأمین می‌کنند [۴]. این ذخایر نه‌تنها به لحاظ کمّی 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 منطقهٔ 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 سالانهٔ 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 جدّی برای مدیریت و بهره‌برداری صحیح از این منابع جهت جلوگیری از افول کمّی و کیفی این منابع ضروری به نظر می‌رسد.

امروزه، ابزارهای مختلفی برای مطالعات کمّی و کیفی منابع آب زیرزمینی ابداع شده است. روش‌های زمین‌آماری یکی از این ابزارهاست که به منظور بررسی و مطالعهٔ 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 دربارهٔ 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 دربارهٔ 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 تهیهٔ نقشهٔ تغییرات pH و TDS آبخوان دشت مذکور پرداخت. نتایج نشان داد در بین روش‌های معیّن روش RBF برای تهیهٔ نقشهٔ تغییرات pH و TDS در منطقه مناسب‌ترین است. افزون بر این، نتایج نشان داد روش SK و روش OK در بین روش‌های کریجینگ به‌ترتیب برای تهیهٔ نقشهٔ تغییرات pH و TDS برتری دارند. در نهایت، از مقایسهٔ روش‌های گوناگون میان‌یابی نتیجه گرفته شد که روش زمین‌آمار کریجینگ ساده و معمولی، نسبت به روش‌های معیّن، برتری دارند و به‌ترتیب به عنوان روش‌های مناسب برای تهیهٔ نقشهٔ نهایی تغییرات pH و TDS در آبخوان دشت ارسنجان انتخاب شدند [۹].

Archive of SID

www.SID.ir

در تحقیق دیگری، بـه منظـور بررسـی تغییـرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قـزوین بـه وسـیلهٔ تحلیل‌های زمین‌آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نتایج نشان داد که روش BFR، نسبت بـه روش‌هـای درون‌یابی دیگر، نتایج بهتری دارد. به علاوه، مشخص شد که به طور متوسـط در هـر مـاه ۲۰٫۴۱ درصـد از مسـاحت دشـت در وضـعیت کیفـی خـوب، ۴۵٫۵۹ درصـد در وضـعیت کیفـی متوسـط و ۳۴٫۰۱ درصـد دارای وضعیت کیفی بد یا ضـعیف اسـت [۲]. نتـایج حاصل از پهنه‌بندی کیفی آب‌هـای زیرزمینـی دشـت نیشابور با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نشان داد که روش کوکریجینگ خطای کمتر و همبستگی بیشـتری نسبت به روش‌های کریجینگ و IDW دارد. همچنین نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیرپـذیری شـوری از یـون کلـر و بالابودن همبستگی بین این دو پارامتر اسـت و میـزان دقت کلر به عنوان عنصر کمکـی در تخمـین پـارامتر شوری در روش کوکریجینگ بسیار زیاد اسـت [۱۱]. در برآورد مکانی مؤلفه‌های کیفی آب‌هـای زیرزمینـی دشت گلپایگان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نتایجِ حاصـل از محاسـبهٔ RMSE نشـان داد کـه روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ برتری نـدارد، اما، با توجه به RMSE کمتر روش کوکریجینـگ، کـه نشان‌دهندهٔ دقت زیاد و خطای کمتر است، نقشه‌هـای پهنه‌بندی مؤلفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینـی بـا ایـن روش تهیه شد [۶]. محققان به ارزیـابی زمـین‌آمـاری کیفیـت آب زیرزمینـی دشـت داراب اسـتان فـارس پرداختند و نتیجه گرفتند که برای همهٔ شـاخص‌هـای کیفی آب زیرزمینی روش کوکریجینگ بهتـر از سـایر روش‌ها شاخص‌های کیفی را شبیه‌سازی می‌کند [۵].

همچنین، مطالعات متعددی در زمینهٔ طبقـه‌بنـدی کیفی آب‌های زیرزمینی با توجه به مصـارف مختلـف از جمله کشاورزی صورت گرفته اسـت. در تحقیقـی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشـت ارسـنجان در شمال شرق استان فارس بـا هـدف مطالعـهٔ تغییـرات کیفی و مکانی خصوصیات آب‌های زیرزمینی از نظـر پارامترهـای TDS، PH، EC و NO_3^{++} و پهنـه‌بنـدی آب‌های زیرزمینی منطقـه بـرای مصـارف کشـاورزی بررسی شد. نتایج نشان داد که آب‌های منطقه از نظـر کیفیت برای استفاده در کشـاورزی در چهـار کـلاس خوب (۱۴٫۵ درصـد)، قابـل قبـول (۶۶٫۱۴ درصـد)، مشکوک (۱۵٫۷۱ درصـد) و بـد (۳٫۶۵ درصـد) قـرار می‌گیرد [۱۴]. مطالعه‌ای با هدف ارزیابی کیفیـت آب مخازن چاه نیمهٔ سه گودال در جنوب دشت سیستان، واقع در حوالی مصب هیرمند، انجام شـد. بررسـی‌هـا حاکی از آن است که کیفیـت آب مخـازن بـه لحـاظ کشاورزی، با توجه بـه نمـودار ویلکـوکس، در طبقـهٔ C3S1، که معرف کیفیت متوسط است، قرار می‌گیـرد [۷]. زمزم و رهنما بـه بررسـی تغییـرات پارامترهـای هدایت الکتریکـی، کلسـیم، کلـرور، منیـزیم، سـدیم، TDS و SAR موجـود در آب زیرزمینـی دشـت رفسنجان پرداختند. نتایج حاصـل از ایـن مطالعـه بـا بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌هـای کیفیـت شـیمیایی ۶۵ پیزومتـر از سـال ۱۳۷۸ تـا ۱۳۸۵، بـا نمـودار ویلکوکس، نشان‌دهندهٔ کیفیت بد آب بـرای مصـارف کشاورزی است [۱۶]. محققان بـه بررسـی وضـعیت مطلوبیت آب زیرزمینـی شهرسـتان اسلامشـهر بـرای اسـتفاده در کشـاورزی در یـک دورهٔ شـش‌سـاله پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که منطقه در چهار کلاس کیفیت ویلکوکس شـامل C4S2، C4S1، C3S1 و C2S1 جای می‌گیرد؛ از ایـن میـان، کـلاس

Archive of SID

www.SID.ir

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 مطالعهٔ 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 فاصلهٔ 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

محدودهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مطالعاتی در استان البرز واقع شده و به «دشت هشتگرد» معروف است. این ناحیه در مختصات جغرافیایی ″۴۵ ′۲۲ °۵۰ تا ″۳۵ ′۵ °۵۱ طول شرقی و ″۴۵ ′۴۷ °۳۵ تا ″۳۵ ′۷ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. وسعت کل حوزهٔ 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 اقالیم «نیمه‌خشک» است. میزان متوسط بارندگی دشت ۲۵۴ میلی‌متر، میانگین دمای سالانهٔ دشت ۱۳٫۵ درجهٔ سانتی‌گراد و میزان متوسط تبخیر و تعرق سالانهٔ آن ۲۳۹۵ میلی‌متر است [۴]. منبع اصلی تغذیهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی این دشت رودخانهٔ کردان است که از ناحیهٔ شمال شرقی در مجاور ده صومعه و کردان وارد دشت می‌شود و مخروط‌افکنهٔ 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 ذخیرهٔ 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 تجزیهٔ شیمیایی ۴۱ حلقه چاه پیزومتری و داده‌های کیفی آن‌ها شامل TH، SAR، Ca، Mg، Na، K،

Archive of SID

www.SID.ir

SO_4، Cl، EC و TDS، که از شرکت مدیریت جامع منابع آب ایران برای دورهٔ آماری ۱۳۸۰ ـ ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ ـ ۱۳۸۸ اخذ شده بود استفاده شد. همهٔ داده‌های مربوط به هر پارامتر از نظر نرمال‌بودن بررسی شد. پس از آنالیز داده‌ها و اطمینان از نرمال‌بودن آن‌ها، با استفاده از لگاریتم‌گیری و آزمون‌نمودن آن‌ها و با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار آماری SPSS V.21، به برازش 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[1]، کوکریجینگ[2] و عکس فاصلهٔ وزن‌دار[3] استفاده شد. در پایان، برای ارزیابی و دقت مدل تخمینگرهای زمین‌آماری و بررسی خطای میان‌یابی و تعیین شاخص‌های مورد نظر از تکنیک اعتبارسنجی متقابل[4] استفاده شد. مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده مقایسه شد و خطای برآورد با استفاده از مدل آماری مجذور میانگین مربعات خطای (RMSE) استانداردشده محاسبه شد؛ این مقدار هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهندهٔ دقت بسیار زیاد مدل است. در نهایت، نقشهٔ 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. ویل کوکس با استفاده از مقادیر SAR و EC دیاگرامی تهیه کرده است که از آن در مطالعات 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 خلاصهٔ 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 نرمال‌بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد. پس از اطمینان از نرمال‌بودن داده‌ها، واریوگرام تجربی محاسبه شد. بهترین مدل برای متناسب‌بودن واریوگرام تجربی بر مبنای حداقل مقدار RMSE انتخاب شد (جدول ۲). بر این اساس، برای پارامترهای Na، Mg، K، Ca، SO_4، 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 متغیرِ وابستگیِ 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.

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

Archive of SID
www.SID.ir

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(µs/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(µs/cm)	۳٫۲۰۴	۳٫۷۹۹	۳٫۳۵۱
TDS(mg/l)	۴٫۵۸۹	۵٫۳۳۱	۴٫۷۷۳

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. مشخصات واریوگرام تجربی مناسب برازش‌داده‌شده 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	۰٫۰۰۰۲	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

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 به‌ترتیب به عنوان متغیر کمکی برای پیش‌بینی TH، SAR، K، Na، Mg، Ca، Cl، SO_4، TDS و EC 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 کریجینگ، کوکریجینگ و عکس فاصلهٔ وزن‌دار از مقدار RMSE استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش عکس فاصلهٔ وزن‌دار برای همهٔ پارامترها از دقت بیشتری برخوردار است. علاوه بر این، روش کوکریجینگ سطوح تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را با دقت بیشتری نسبت به روش کریجینگ در بیشتر پارامترها ایجاد می‌کند. همان طور 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 برازش‌یافته بر متغیر کیفیت آب زیرزمینی و پارامترهای آن

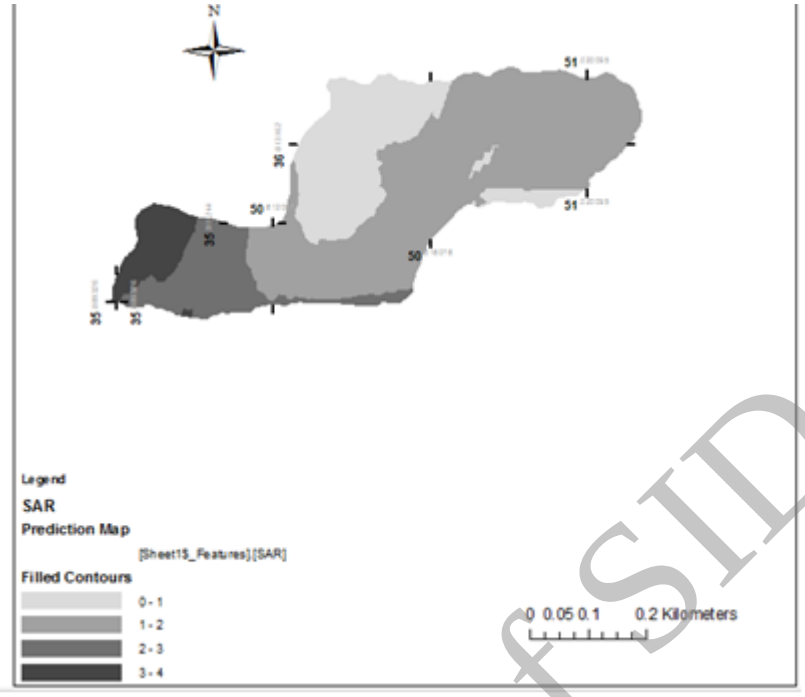
GWQI	Model	Nugget	Sill	Range(km)	(CO/CO+C)%
TH-EC	Spherical	۹۶۵۰	۳۰۷۹۰	۱۱۹۹۰	۰٫۶۸۷
SAR-Na	Exponential	۰٫۰۳۹	۱٫۵۱۴	۹۰۰۰	۰٫۹۷۴
K-Ca	Spherical	۰٫۰۰۳۲۴	۰٫۰۰۸۷۸	۱۵۳۰	۰٫۶۳۱
Na-SAR	Gaussian	۰٫۰۳۹	۱٫۵۱۴	۹۰۰۰	۰٫۹۷۴
Mg-EC	Spherical	۱	۵۱۳٫۹	۱۱۹۰۰	۰٫۹۹۸
Ca-TH	Exponential	۲۲٫۵	۶۵	۱۵۳۰	۰٫۶۵۴
Cl-TDS	Spherical	۰٫۱	۲۲۱٫۱	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

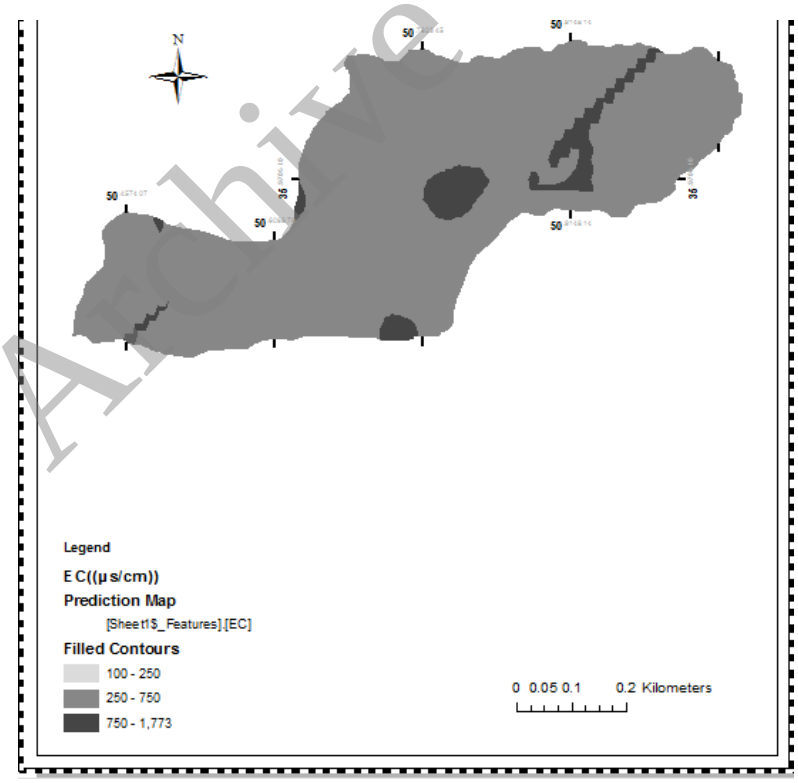
GWQI	Kriging	Co krigin	IDW
TH(mg/l)	۰٫۳۱۷	۰٫۱۹۷	۰٫۳۴۹
SAR	۰٫۲۷۳	۰٫۱۹۴	۰٫۴۰۲
Na(mg/l)	۰٫۶۴۳	۰٫۲۳۲	۰٫۶۱۱
Ca(mg/l)	۰٫۲۲۳	۰٫۱۹۱	۰٫۴۴۸
Mg(mg/l)	۰٫۲۱۵	۰٫۲۲۵	۰٫۴۲۲
SO_4(meq/l)	۰٫۴۷۰	۰٫۲۲۰	۰٫۴۰۳
Cl(mg/l)	۰٫۱۳	۰٫۲۵۴	۰٫۸۹۳
K(mg/l)	۰٫۲۲۸	۰٫۲۱۶	۰٫۳۰۹
EC(µs/cm)	۰٫۲۵۷	۰٫۲۲۳	۰٫۴۴۱
TDS(mg/l)	۰٫۲۴۳	۰٫۲۳۰	۰٫۳۹۶

Archive of SID

www.SID.ir



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



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

Archive of SID
www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

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 فاصلهٔ وزن‌دار استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آماری نسبت به روش IDW به دلیل زیادبودن مقدار R2 و کمتربودن مقدار RMSE مناسب‌تر است (جدول‌های ۵ و ۶). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش‌های زمین‌آماری 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 زمینهٔ 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 مطالعهٔ کیفیت آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها در مناطق گوناگون جهان پیشنهاد کرده بودند؛ نتایجِ پژوهش حاضر و مقایسهٔ این نتایج با نتایج مطالعات مذکور، صحت روش انتخاب‌شده در پژوهش حاضر برای بررسی خصوصیات آب‌های زیرزمینی منطقهٔ 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 ـ ۴)، ۹۹ درصد آبخوان دارای هدایت الکتریکی متوسط (در محدودهٔ ۲۵۰ ـ 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 ردهٔ خوب (C2S1) و ۱ درصد از سطح آبخوان در ردهٔ متوسط (C3S1) قرار می‌گیرد؛ از دستهٔ 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

[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.

Archive of SID

www.SID.ir