Archive of SID

پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی) شماره ۱۰۸، پاییز ۱۳۹۴

توزیع مکانی برخی ویژگی‌های آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش‌های زمین آماری

• **نجمه یزدان‌پناه**
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان(نویسنده مسئول)
• **علیرضا دژهمت**
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان
تاریخ دریافت: آذرماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: دی‌ماه ۱۳۹۳
Email: najmeyazdanpanah@yahoo.com

چکیده

یکی از مسائل مهم در مدیریت آبخیز، تعیین وضعیت کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. هدف این پژوهش بررسی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری بود. در این تحقیق از داده‌های کیفیت آب زیرزمینی شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، بیکربنات، سولفات، سختی آب، اسیدیته، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و کل املاح محلول مربوط به بهار ۱۳۸۸ استفاده گردید. به منظور مدل‌سازی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی از میان‌یابی به روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و روش‌های وزنی معکوس فاصله (IDW) و نرمال فاصله (NDW) استفاده شد. مناسب‌ترین روش میان‌یابی از طریق مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و همچنین ضریب همبستگی پیرسون تعیین گردید. نتایج نشان داد که بهترین مدل برازش داده شده برای منیزیم و اسیدیته خطی آستانه بود در حالی که برای سایر متغیرها، مدل گوسی بهترین برازش را داشت. وابستگی مکانی برای بیکربنات و اسیدیته در حد متوسط و برای سایر ویژگی‌های مورد مطالعه قوی بود. روش کریجینگ با ضریب همبستگی پیرسون بین ۰/۶۹۵ تا ۰/۸۵۱، به‌عنوان بهترین روش تخمین زمین آماری برای پارامترهای کیفی آب زیرزمینی انتخاب شد. علاوه بر روش کریجینگ، برای همه پارامترهای مورد مطالعه به غیر از هدایت الکتریکی و کل املاح محلول، دو روش IDW و NDW تخمین قابل قبولی داشتند. برای تخمین هدایت الکتریکی و کل املاح محلول بعد از روش کریجینگ، روش کوکریجینگ نیز مناسب بود. نتایج حاصل از نقشه‌های تولید شده نیز نشان داد که مقدار بیکربنات از جنوب به شمال و اسیدیته از شمال به جنوب منطقه افزایش می‌یابد، ولی مقدار سایر خصوصیات در شرق کمترین میزان بود و به سمت غرب افزایش نشان داد.

کلمات کلیدی: املاح محلول، دشت کرمان، زمین آمار، کریجینگ، کیفیت آب زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 108 pp: 14-25

Spatial distribution of some groundwater properties of Kerman plain using geostatistical methods

By: N. Y*azdanpanah,* Islamic Azad University Kerman Branch (Corresponding Author).
A.R. Dezhhemat, Islamic Azad University Kerman Branch.

Determination of groundwater quality is an important issue in watershed management. The aim of this study was to investigate the spatial variability of some properties of Kerman groundwater using geostatistical methods. For this, groundwater quality data including soluble calcium, magnesium, sodium, bicarbonates, sulphates, pH, EC, SAR, TDS and TH for spring season of 2009 were collected. Interpolation analysis was done using Kriging, Co-Kriging, inverse distance weight (IDW) and normal distance weight (NDW) methods. The best interpolation method was chosen through root mean square error, mean absolute error and Pearson's coefficient parameters. Result showed that the best fitted model for magnesium and pH was linear to sill, whereas for the other groundwater properties the Gaussian's model was the best. Spatial dependency for bicarbonates and pH was moderate, while for the other ones, strong dependencies were observed. The result also indicated that for all the groundwater properties, Kriging with the Pearson's coefficient ranging from 0.695 to 0.851 was the best algorithm. In addition to Kriging, the NDW and IDW methods found to be appropriate for the estimation of all the parameters except for EC and TDS. For these two latter ones, additional to Krging, the Co-Kriging method led to suitable estimates. The prepared maps showed that the amounts of bicarbonates and pH were higher at the north and south sides of the study area, respectively. The amounts of the other properties were minimum at the east and north east, while increased toward the west and south west.

Keywords: Soluble salts, Kerman plain, Geostatistics, Kriging, Groundwater quality.

مقدمه

بخش وسیعی از کشور ایران به علت قرارگرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک از نظر منابع آب دارای وضعیت نامطلوبی نسبت به متوسط دنیا می‌باشد. آب‌های زیرزمینی، منبع مهمی برای تأمین آب مصرفی در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و شرب مردم این مناطق محسوب می‌شود. این در حالی است که وقوع خشکسالی‌های متناوب و طولانی‌مدت و نوسانات شدید آب و هوایی و همچنین برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، باعث کمبود شدید آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است (Yang et al., ۲۰۰۸). علاوه بر وقوع خشکسالی‌ها توأم با تشدید افت سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی (شمسی‌پور، ۱۳۸۳)، افزایش تصاعدی جمعیت و توسعه مصارف صنعتی و کشاورزی موجب شده که آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع ارزشمند مورد توجه ویژه قرار گیرد (داوودی‌راد و همکاران، ۱۳۸۴).

علاوه بر افت کمی آب، امروزه افت کیفیت آب‌های زیرزمینی و شورشدن آن خطری جدی در برابر توسعه کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Neshat et al, ۲۰۱۴). بنابراین تهیه نقشه های به روز تغییرات شوری و غلظت املاح می‌تواند گامی مهم در بهره برداری صحیح از منابع آب باشد. همچنین، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف در مناطق تحت کشاورزی و نیز مسکونی در راستای تصمیم گیری و مدیریت منابع آب زیرزمینی اهمیت زیادی دارد (Holtz, ۲۰۰۹; Tindall and Chen ۲۰۱۴). برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات کیفیت آب های زیرزمینی روش های مختلفی وجود دارد که هر یک بسته به شرایط منطقه و همچنین دسترسی به آمار و داده‌های کافی دارای دقت‌هایی متفاوتی می‌باشد. معمولی‌ترین و ساده‌ترین روش تخمین یک متغیر در یک مکان خاص، استفاده از ترکیب خطی همان متغیر با متغیرهای دیگر می‌باشد. نقطه عطف این روش‌های تخمین، توانایی در لحاظ نمودن تغییرات مکانی متغیرها در روند تخمین بوده است (امینی و همکاران، ۱۳۸۱). در این راستا، استفاده از روش‌های زمین آماری سبب شده که با کاهش تعداد نمونه‌های برداشت شده، هزینه‌ها نیز کاهش یابد (Yang et al., ۲۰۰۸) و از طرف دیگر، دقت تخمین‌ها را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است. از این رو، زمین‌آمار در علوم مختلف محیطی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Huang et al., ۲۰۰۶; Rossi et al., ۲۰۰۹; Wang et al., ۲۰۰۹).

در سال‌های اخیر، پژوهشگران با استفاده از روش‌های زمین آماری مبادرت به تهیه نقشه‌های خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی نموده‌اند (Yang et al., ۲۰۰۸; Holtz, ۲۰۰۹; Yimit et al., ۲۰۱۱; Arslan, ۲۰۱۲). Guney (۲۰۰۶) و Gundogdo and با مطالعه سطح آب زیرزمینی در منطقه مصطفی کمال پاسا ترکیه عنوان کردند که مدل کریجینگ کمترین خطا را بر مبنای مقدار سطح آب مشاهده‌ای با مقدار پیش‌بینی‌شده واریوگرام نشان داد. Kumar and

Archive of SID

Remadevi (۲۰۰۶) طی ۶ سال با بررسی ۶۰ نقطه در راجستان هند بر روی سطح آب زیرزمینی از طریق زمین آمار به این نتیجه رسیدند که مدل‌های گوسی، نمایی و کروی برای تهیه واریوگرام قابل قبول هستند. مدل‌های منتخب برای سطوح آب زیرزمینی و واریانس تخمین در شبکه ۵×۵ کیلومتر مربع استفاده شدند و با استفاده از آنها و شبکه مورد نظر، نقشه‌های مربوطه ترسیم شد. در نهایت، روش زمین آماری کریجینگ بهترین روش برای تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی منطقه شناخته شد. همچنین طباطبایی و همکاران (۱۳۹۰) در دشت فارسان- جونقان هشت روش میان‌یابی را برای تخمین ارتفاع سطح ایستابی به‌کار بردند. آنها به این نتیجه رسیدند که بهترین روش‌های میان‌یابی، ابتدا روش عکس فاصله و بعد از آن کریجینگ می‌باشد. این در حالی بود که نتایج این محققان نشان داد که نمی‌توان یک روش را به‌عنوان بهترین روش برای کل دشت تعمیم داد. همچنین، زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۹۲) توزیع مکانی سطح ایستابی دشت همدان- بهار را با استفاده از روش‌های هوشمند عصبی در قالب شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، تابع پایه شعاعی، عصبی فازی و عصبی ژنتیک در محیط زمین آمار کریجینگ انجام دادند. آنها دریافتند که مقایسه تغییرات مکانی سطح ایستابی برآوردی از روش عصبی ژنتیک در محیط زمین آمار کریجینگ با مقادیر مشاهده‌ای بیانگر کاهش پراکنش نقاط و باریک‌تر بودن محدوده اطمینان ۹۰ درصد بود. Theodossiou and Latinopoulos (۲۰۰۷) ارزیابی و بهینه سازی سطح آب زیرزمینی را با استفاده از روش کریجینگ در شمال یونان انجام دادند.

علاوه بر تغییرات سطح آب ایستابی، تهیه نقشه‌های مربوط به تغییرات مکانی کیفیت آب نیزمورد توجه محققان بوده است (Yang et al., ۲۰۰۸; Holtz, ۲۰۰۹; Arslan, ۲۰۱۲; Tindall and Chen, ۲۰۱۴). Kresic (۱۹۹۷) روش کریجینگ را به‌عنوان بهترین و قوی‌ترین ابزار برای درون‌یابی داده‌ها به‌منظور تهیه نقشه‌های آب زیرزمینی معرفی کرد. Jager (۱۹۹۰) از ابزارهای مختلف زمین آمار برای شبیه سازی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد و دریافت که کریجینگ نسبت به سایر ابزارهای زمین آماری بهتر می‌باشد.در پژوهشی، Adhikary et al. (۲۰۰۸) با استفاده از روش کریجینگ معمولی، نقشه‌های تغییرات مکانی مربوط به آلاینده‌های مختلف را برای آب‌های زیرزمینی هند تهیه کردند. همچنین، Ahmed (۲۰۰۲) کاربرد روش کریجینگ را در تخمین تغیرات مکانی متغیرهای کیفیت آب نظیر کل املاح محلول موثر دانست. Kuisi et al. (۲۰۰۹) از روش کریجینگ برای ارزیابی تغییرات مکانی آلودگی نیترات و همچنین شوری آب زیرزمینی استفاده نمودند. همچنین Yimit et al. (۲۰۱۱) از روش کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه سطح و شوری آب زیرزمینی در شمال چین استفاده نمودند.

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی در زمینه تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی انجام شده است. Taghizadeh Mehrjerdi et al. (۲۰۰۸) در دشت یزد- اردکان به تحلیل مکانی برخی ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی نظیر کل املاح محلول، سختی آب، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، آنیون کلر و سولفات با استفاده از سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و عکس فاصله پرداختند. ارزیابی نتایج حاصل توسط این محققان بر اساس معیار RMSE نشان داد که کریجینگ نسبت به دو روش دیگری برتری داشته و در نهایت، به‌عنوان روش مناسب برای تهیه نقشه ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه معرفی شد. کیانی پویا و رسولی (۱۳۸۹) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده در آبیاری دشت‌های مرکزی استان فارس با استفاده از داده‌های مربوط به ۶۰ نمونه آب چاه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تیپ آب بر اساس اولویت غلظت آنیونی، کلروره و بر اساس غالبیت کاتیونی سدیمی می‌باشد. شیخ گودرزی و همکاران (۱۳۹۱) شبیه‌سازی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تهران-کرج برای مصارف آشامیدنی را به کمک روش‌های زمین آماری انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که روش کوکریجینگ دارای دقت برآورد بیشتری نسبت به سایر روش های زمین آماری مورد استفاده بود. در پژوهشی، قمشیون و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات پنج ویژگی آب زیرزمینی دشت سمنان شامل هدایت الکتریکی، کلر، غلظت املاح محلول، سدیم و سولفات را در طول یک دوره آماری ۱۱ ساله مورد بررسی قرار دادند. این محققان به منظور پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی دشت، از روش‌های عکس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کردند و دریافتند که روش کوکریجینگ در ۶۷ درصد موارد در مقایسه با سایر روش‌های میان‌یابی دارای دقت بالاتری بود. همچنین، زاهدی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا را شامل سختی کل آب، مقدار کل مواد جامد، هدایت الکتریکی، اسیدیته، غلظت کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و آنیون‌های محلول (سولفات، کلر و بیکربنات) در پاییز ۱۳۸۹ با استفاده از روش‌های زمین آماری انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که ساختار مکانی ویژگی‌های مورد مطالعه از مدل‌های کروی و نمایی با دامنه تاثیر ۶۷۰۰ تا ۱۴۰۶۰۰ متر و حدود آستانه ۰/۰۰۲ تا ۲/۳۳ تبعیت نمود و کلاس وابستگی مکانی، در محدوده متوسط تا قوی قرار گرفت. همچنین آنها روش کریجینگ معمولی نقطه‌ای را به عنوان روش تخمین‌گر مناسب انتخاب کردند.

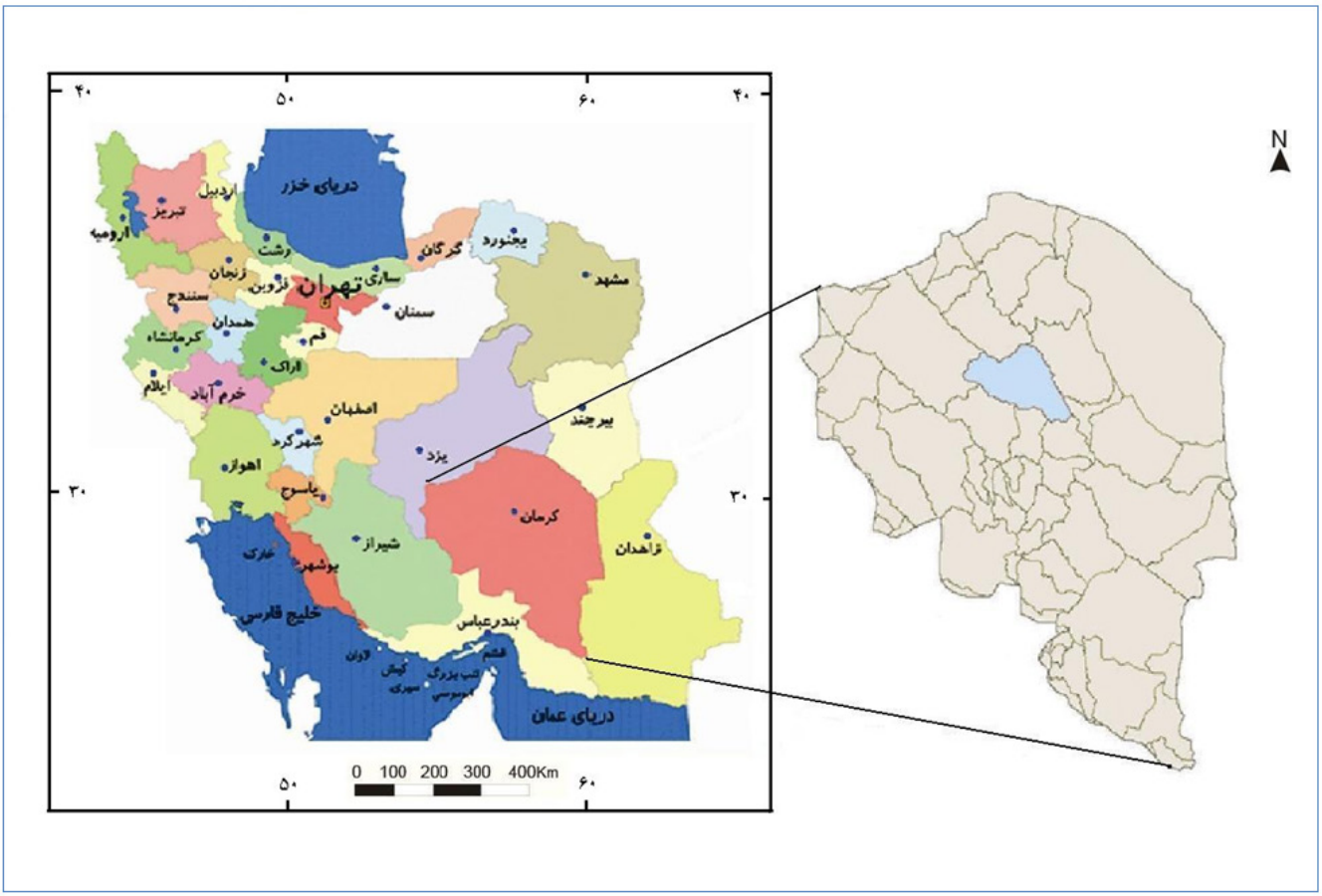
در سال‌های اخیر دشت کرمان از یک طرف با برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی برای کشت محصولاتی نظیر پسته (Yazdanpanah et al., ۲۰۱۳) مواجه بوده و از طرف دیگر تغییر در خصوصیات آب و افت کیفیت آن رخ داده است. این در حالی است که نتایج تحقیقات گذشته نشان از قابلیت و دقت نسبتاً بیشتر روش‌های زمین آماری نسبت به آمار کلاسیک در مدلسازی توزیع مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دارد، بطوری که از یک طرف باعث کاهش هزینه‌ها شده و از طرف دیگر افزایش قابل ملاحظه دقت تخمین‌ها را به دنبال داشته است. لذا، نظر به اهمیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و همچنین توجه بسیاری از محققان به زمین‌آمار در علوم مختلف محیطی، پژوهش حاضر به بررسی وضعیت تغییرات مکانی خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت کرمان و تعیین بهترین تخمین‌گر با استفاده از روش‌های زمین آماری پرداخته است.

Archive of SID

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، دشت کرمان با مساحت ۵۴۴۸ کیلومتر مربع است که در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی واقع شده است. از کل مساحت محدوده، ۱۹۲۷ کیلومتر مربع را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. بر اساس داده های سازمان هواشناسی کشور، متوسط سالانه بارش طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ برابر با ۱۰۵/۸ میلی‌متر و میزان تبخیر حدود ۲۵۸۰ میلی‌متر در سال است. بیشینه درجه حرارت سالانه ۳۸/۴ و کمینه آن ۵/۵- درجه سانتی‌گراد است. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را بر روی نقشه استان کرمان و ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه استان کرمان و ایران

وضعیت تغییرات حجم مخازن سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان حکایت از بیلان منفی در اکثر دشت‌های استان و نهایتا افت سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم مخزن این دشت‌ها دارد (شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان، ۱۳۸۲). در محدوده دشت کرمان، کشت محصولات کشاورزی نظیر پسته، مرکبات و خرما و همچنین وجود معادن آهن، زغال‌سنگ و مس موجب بهره‌برداری بیش از حد از سفره آب‌های زیرزمینی شده به طوری‌که آب‌های زیرزمینی در این مناطق با افت شدیدی مواجه شده است. شدت افت آب ایستابی به حدی است که در برخی از نواحی حتی تأمین آب شرب مورد نیاز نیز به دشواری صورت می‌گیرد (برشان، ۱۳۸۸).

سازندهای منطقه را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود؛ دسته اول سازندهای آهکی و دولومیتی است که در تغذیه سفره موثر می‌باشد. دسته دوم، سازندهای مارنی حاوی رسوبات تبخیری است که باعث افزایش نمک در آب‌های زیرزمینی منطقه می‌شود (مهندسین مشاور بررسی منابع آب، ۱۳۸۸). لازم به ذکر است که جهت عمومی شیب دشت از جنوب به سمت شمال غرب است (زینتی و اسماعیلی، ۱۳۸۹). همچنین، جهت کلی جریان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه، از جنوب شرقی و شرق منطقه به طرف مرکز دشت و در نهایت به سمت غرب و شمال محدوده می‌باشد (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰).

Archive of SID

۲- روش تحقیق

در ایـــن پژوهش از آمار کیفیت آب زیرزمینی ۸۵ چاه دشـــت کرمان مربوط به فصل بهار ۱۳۸۸ اســـتفاده گردید. بـــا توجه به تعداد قابل توجه چاه‌ها در منطقه، ســـعی شـــد نقاطی انتخاب شود که پراکنش یکنواختی از چاه‌ها در کل منطقه ایجاد نماید. لازم به ذکر اســـت در تحقیق حاضر، هدف بررســـی تغییرات مکانی (و نه زمانی) پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بود. لذا برای دســـتیابی به مقادیر مطمئن‌تری از پارامترهای کیفی آب، داده‌های مربوط به تنها یک فصل استفاده گردید. زاهدی‌فـــر و همکاران (۱۳۹۲) نیز به منظـــور پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا، پارامترهای کیفی تنها یک فصل را مورد اســـتفاده قرار دادنـــد. در پژوهش حاضر، داده‌های کیفی آب شامل غلظت کلســـیم، منیزیم، سدیم، بیکربنات، سولفات، اسیدیته، هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کل املاح محلول (TDS) و ســـختی آب (TH) بود. بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف انجام و متغیرهای غیرنرمال از طریق تبدیل لگاریتمی، نرمال شد.

۳- بررسی ساختار مکانی داده‌ها

روش‌هـــای مختلفی برای تخمین مکانی وجود دارد که در دو دســـته کلی کلاسیک و زمین آماری قرار می گیرند. بر خلاف آمار کلاسیک، در روش‌های زمین آماری، تخمین بر اســـاس ساختار فضایی موجود در محیـــط مورد نظر صورت می‌گیـــرد. در واقع، تخمین زمین آماری فرآیندی اســـت کـــه طی آن می‌توان مقدار یـــک کمیت در نقاطی با مختصات مجهول را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. اساس زمین آمار، بر تعریف واریوگرام اســـتوار است. واریوگرام برای تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر بکار می رود. شکل محاسباتی یک واریوگرام به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد.

(۱)

$$2\gamma^*(h)=\frac{1}{N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x+h)-Z(x)]^2$$

که در آن؛Z(x) متغیر مشـــاهده شده در مکان،Z(x+h) مقدار متغیر مشاهده شده در مکان x+h و N تعداد مشاهدات در محدوده مطالعه می باشد (Li and Heap ۲۰۰۸).

در مطالعـــه حاضر، تجزیه و تحلیل واریوگرام با اســـتفاده از نرم افزار GS+ بـــر روی داده‌ها انجام گرفت. بـــه منظور میان‌یابی از روش‌های زمین‌آمـــاری کریجینـــگ، کوکریجینگ و روش‌هـــای میانگین وزنی شامل، معکوس فاصله (IDW) و نرمال فاصله (NDW) استفاده شد.

الف) روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین اســـت که بر منطق «میانگین متحرک وزن‌دار» اســـتوار می‌باشـــد و در مورد آن می‌تـــوان گفت که بهترین تخمینگر خطی ناریب اســـت. از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن اســـت که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده، می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاســـبه کرد. در حالی که در روش¬های کلاســـیک معمولاً چنین نخواهد بود.

$$Z(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \qquad (۲)$$

که در آن، Z(x) مقدار متغیر مکانی برآورد شده، Z(xi) مقدار متغیر مکانی مشـــاهده شـــده در نقطه xi و λi وزنی اســـت که به نمونه xi نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در تخمین است.

ب) روش کوکریجینگ

در زمین آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ براســـاس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین زد. این خصوصیت می‌تواند باعث دقت بیش‌تر تخمین‌ها و صرفه‌جویی در هزینه‌هـــا (با نمونه‌برداری کمتر) شود. محل‌هایی که در آن کمبود نمونه وجود دارد به کمک متغیرهای ثانویه و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانویه، تخمین زده می‌شوند که معادله محاسبه این معیار به‌صورت زیر است:

$$Z(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_{i1}Z_1(x_i)+\sum_{j=1}^{m}\lambda_{i2}Z_j(x_j) \qquad (۳)$$

کـــه در آن، Z(x) تخمین متغیـــر در نقطهx و λi۱ و λj۲ وزن‌های آماری مربوط به متغیرهای اولیه و ثانویه می‌باشد.

ج) روش وزنی

این روش خود شامل روش‌های وزنی معکوس فاصله (IDW) و وزنی نرمال فاصله (NDW) اســـت. در هر یک از ایـــن روش¬ها، طریقه خاصی برای درون‌یابی مکانی استفاده می‌شود. این دو روش در مورد رابطه‌ای خاص، فرضی ندارند به‌جز فرضیات پایه که هر نقطه نزدیک، باید بیشـــترین رابطه بسته را نســـبت به فاصله سایر نقاطی که مقدار آنها میانیابی مکانی شده است، داشته باشد. روش IDW رابطه وزنی قوی‌تری با نقاط نزدیک خود نسبت به روش NDW برقرار می‌نماید (کایدانی و موســـوی، ۱۳۹۰). رابطه مورد اســـتفاده در روش IDW به‌صورت زیر است:

$$Z(p)=p\frac{\sum_{i=1}^{n}(\frac{Z_I}{(d_i)^p})}{\sum_{i=1}^{n}(\frac{1}{(d_i)^p})} \qquad (۴)$$

که در آن Zp مقدار بـــرآوردی برای نقطه مورد نظر، Zi اندازه نمونه در نقطـــه i، di فاصلـــه بیـــن نقطه مورد نظر و نقطـــه i و p وزن هر نقطه می‌باشد. رابطه ۴ در روش NDW نیز مانند روش IDW مورد استفاده قرار می‌گیرد، با این تفاوت جزئی که در مخرج فاکتور نرمی، منفی می‌باشد.

۴- تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی

بعد از میان‌یابی، مقایســـه روش‌های مختلف زمین آماری و همچنین

Archive of SID

روش‌های معین انجام گردید. معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی روش‌هـــای درون یابی وجود دارد که در این پژوهش، از معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که در زیر ارائه شده، استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (۵)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Z^*(x_i) - Z(x_i)\right|}{n} \quad (۶)$$

کـــه در آنهـــا، Z*(xi) مقدار بـــرآوردی در نقطـــه xi، Z(xi) مقدار مشاهده‌ای در نقطه xi و n تعداد نقاط است. کمترین مقدار RMSE و MAE بیشترین صحت پیشگویی را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج خلاصه آماری متغیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد که بر اســـاس آمار ۸۵ چاه مورد مطالعه بدســـت آمده است. در بین خصوصیات مورد مطالعه، اسیدیته با ۴/۸ درصد کمترین و سولفات و ســـدیم به‌ترتیب با ۶۸/۸ و ۶۵/۲ درصد بیشترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص دادند. همچنین نتایج نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اســـمیرنوف نشان داد که همه متغیرها غیر از منیزیم، هدایت الکتریکی و نســـبت جذب ســـدیم نرمال بودند. موارد یادشده از طریق تبدیل لگاریتمی نرمال شدند.

جدول۱- خلاصه نتایج آماری خصوصیات کیفی آب چاه‌های مورد مطالعه

آماره	کلسیم Meq/lit	منیزیم Meq/lit	سدیم Meq/lit	بیکربنات Meq/lit	سولفات Meq/lit	اسیدیته Meq/lit	هدایت الکتریکی Mmos/cm	نسبت جذب سدیم	کل املاح محلول Mg/lit	سختی Mg/lit
میانگین	۳/۸۶	۵/۸۶	۱۰/۶۸	۳/۷۳	۶/۷۳	۷/۵۸	۱۶۷۸/۳	۳/۹۶	۱۰۹۶/۶	۵۳۲/۴
میانه	۳/۴۲	۴/۹	۸/۲	۳/۶۲	۵/۱۲	۷/۶۵	۱۳۱۲	۳/۱۲	۸۳۶	۴۱۲
انحراف معیار	۱/۸۵	۳/۰۲	۶/۹۶	۱/۳۵۶	۴/۶۳	۰/۳۶۴	۹۸۶/۴	۲/۳۵	۶۳۲/۸	۲۶۵/۵
کمترین	۰/۹۶	۰/۸۹	۱/۷۸	۰/۸۳	۰/۶۸	۶/۷۲	۲۱۵	۰/۶۳	۱۴۶	۱۱۲
بیشترین	۹/۱	۱۳/۸	۳۳/۱۲	۶/۷۲	۱۹/۸	۸/۴۲	۴۹۸۲	۱۲/۶۳	۳۲۳۶	۱۱۳۶
ضریب تغییرات(٪)	۴۷/۹	۵۱/۵	۶۵/۲	۳۶/۳	۶۸/۸	۴/۸	۵۸/۸	۵۹/۳	۵۷/۷	۴۹/۹
چولگی	۰/۵۳۶	۰/۶۹۸	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۸۹۵	-۰/۱۱۵	۰/۴۸۲	۰/۵۶۳	۰/۶۳۵	۰/۷۶
کشیدگی	۰/۷۴	-۰/۳۰۲	-۰/۱۸۷	-۰/۴۳	۰/۳۱۰	-۰/۴۶۳	-۰/۳۱۲	-۰/۳۲۶	-۰/۱۲۷	-۰/۲۳

واریوگرام‌های خصوصیات کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه شامل کلســـیم، منیزیم، سدیم، ســـولفات، هدایت الکتریکی، نسبت جذب ســـدیم، کل املاح محلول و سختی آب در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام‌های خصوصیات آب چاه‌های مورد مطالعه و بهترین مدل برازش داده شـــده در جدول ۲ ارائه شده اســـت. بهترین مدل قابل برازش بر روی نیم تغییرنما بر مبنـــای مقدار کم RSS (مجموع باقیمانـــده مربعات) و مقدار کمتر از ۰/۵ بـــرای C+C0/C0 انتخـــاب گردید (تقـــی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج برازش مدل نیم‌تغییرنما نشان داد که بهترین مدل برازش داده شـــده برای منیزیم و اسیدیته خطی آستانه بود در حالی که برای ســـایر متغیرها، مدل گوســـی بهترین برازش را نشان داد (جدول ۲). نســـبت واریانس قطعه‌ای به آســـتانه یا واریانس کل (C+C0/C0) شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها می‌باشد. اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی اســـت و اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد، بیانگر وابستگی مکانی متوسط و چنانچه بزرگتر از ۰/۷۵ باشد، نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیـــف خواهد بود (Huang et al., ۲۰۰۶; Rossi et al., ۲۰۰۹; Wang et al., ۲۰۰۹; Arslan, ۲۰۱۲). بر این اســـاس، با توجه به مقادیر C+C0/C0، غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، هدایت الکتریکی، نســـبت جذب ســـدیم، کل املاح محلول و سختی آب همبســـتگی مکانی قوی داشتند. در مقابل، وابستگی مکانی برای بیکربنات و اســـیدیته متوسط بود. مقادیر کم ضریب تبیین مربوط به دو پارامتر یادشده این نتیجه را تأئید می‌کند. علاوه بر این، دامنه تأثیر ویژگی‌های مورد مطالعه بین ۱۳۷۰۰۰ تا ۳۱۶۰۰۰ متر متغیر بود. پس از واســـنجی پارامترهای تخمیـــن و ارزیابی آن‌ها و انتخاب مدل واریوگـــرام مناســـب، تخمین‌های زمیـــن آماری شـــامل کریجینگ، کوکریجینـــگ، IDW و NDW انجام پذیرفت. بـــه منظور ارزیابی داده‌های تخمین زده شـــده با مقادیر واقعی، عـــلاوه بر حداقل مقدار مجـــذور میانگین مربعات خطـــا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) طبـــق روابط ۵ و ۶، مقدار حداکثر ضریب پیرســـون که در ســـطح یک درصد معنی‌دار شـــود، نیز مد نظر قـــرار گرفت. در واقع، مقـــدار کمتر مجذور میانگین مربعات خطـــا و میانگین خطای مطلق بیانگر صحت مدل بوده در حالی که مقدار بیشتر ضریب پیرسون دقت تخمین را نشان می‌دهد.

Archive of SID

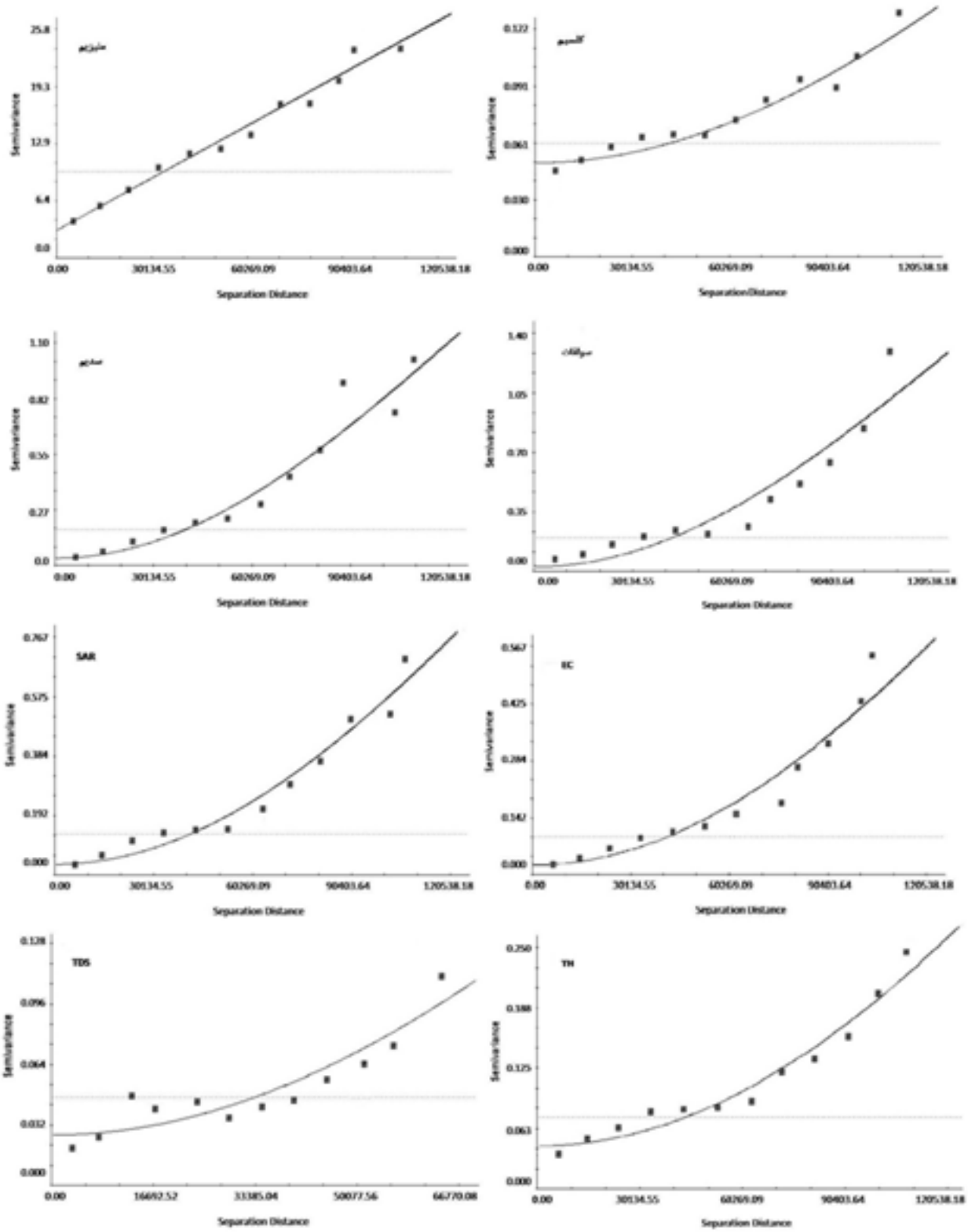
جدول۱- خلاصه نتایج آماری خصوصیات کیفی آب چاه‌های مورد مطالعه

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	دامنه تأثیر (متر)	حد آستانه	ضریب تبیین (R2)	C+C0/C0	RSS
کلسیم	گوسی	۰/۰۴۹	۲۴۴۶۰۰	۰/۴۲۲	۰/۹۳۶	۰/۱۱۶	۰/۰۰۰۵۶
منیزیم	خطی آستانه	۳/۲۰	۱۶۶۷۰۰	۳۵/۲۳	۰/۹۵۶	۰/۰۹۱	۰/۰۱۶
سدیم	گوسی	۰/۰۱۸	۱۴۷۹۰۰	۲/۱۳۲	۰/۹۷۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴۶
بیکربنات	گوسی	۱/۳۶۲	۳۱۶۰۰۰	۲/۸۶۳	۰/۳۲۶	۰/۴۷۶	۰/۰۰۵۳
سولفات	گوسی	۰/۰۲۶	۱۳۷۱۰۰	۲/۰۱۲	۰/۹۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲۴
اسیدیته	خطی آستانه	۰/۰۵۹	۲۴۰۳۰۰	۰/۱۳۶	۰/۲۶۳	۰/۴۳۴	۰/۰۰۸۳
هدایت الکتریکی	گوسی	۰/۰۲۱	۲۱۶۳۰۰	۲/۰۱۱	۰/۹۷۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۶۳
نسبت جذب سدیم	گوسی	۰/۰۳۵	۱۸۹۵۰۰	۲/۱۷۹	۰/۹۵۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۵۶
کل املاح محلول	گوسی	۰/۰۲۷	۱۸۲۹۰۰	۰/۶۲۴	۰/۷۵۶	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰۳۶
سختی آب	گوسی	۰/۰۴۶	۳۰۸۱۰۰	۱/۵۴۳	۰/۹۵۱	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰۳۶

مطابق جدول ۳ روش کریجینگ نقطه‌ای بهترین تخمین زمین آماری را برای همه خصوصیات کیفی آب زیرزمینی چاه‌های مورد مطالعه نشان داد. علاوه بر روش کریجینگ نقطه‌ای، برای همه پارامترهای مورد مطالعه به غیر از هدایت الکتریکی و کل املاح محلول، دو روش IDW و NDW تخمین مناسبی داشتند. این در حالی بود که برای تخمین هدایت الکتریکی و کل املاح محلول علاوه بر روش کریجینگ نقطه‌ای، روش کوکریجینگ نیز قابل قبول بود. به‌طور مشابهی، زاهدی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) نیز در پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا، روش کریجینگ نقطه‌ای را به عنوان بهترین روش انتخاب کردند. در بررسی‌های انجام شده توسط سکوتی اسکویی و همکاران (۱۳۸۶) و همچنین Amin et al. (۲۰۱۰) روش کریجینگ به‌عنوان بهترین روش تخمین هدایت الکتریکی معرفی شد که به مقدار کمتر انحراف معیار حاصل از این روش نسبت به روش‌های دیگر مرتبط دانسته شد. ملکی (۱۳۸۵) و همچنین Yidana (۲۰۰۹) با مطالعه تغییرات مکانی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی، روش کریجینگ را مطلوب دانستند. شعبانی (۱۳۸۷) با استفاده از الگوهای زمین آماری، پارامتر کل املاح محلول را بررسی و عنوان داشت که بهترین روش کریجینگ است. Ahmed (۲۰۰۲) نیز به این نتیجه رسید که کریجینگ مناسب‌ترین روش تخمین تغییرات مکانی متغیرهای کیفیت آب نظیر کل املاح محلول است. زهتابیان و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی روش‌های مختلف تخمین زمین آماری دریافتند که بهترین الگو برای آنیون‌ها و سولفات مدل کوکریجینگ و برای کربنات مدل کریجینگ می‌باشد. این در حالی است که معروفی و همکاران (۱۳۸۸) برای اسیدیته و همچنین Taghizadeh Mehrjerdi et al. (۲۰۰۸) برای سولفات، هدایت الکتریکی، کل املاح محلول، سختی آب و نسبت جذب سدیم، IDW را بهترین روش معرفی کردند.

نقشه‌های تغییرات مکانی متغیرهای مورد مطالعه بر اساس بهترین روش میان‌یابی تهیه شد. شکل‌های ۳ و ۴ برای نمونه تغییرات مکانی دو متغیر هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم را برای محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار هدایت الکتریکی از سمت شرق به غرب دشت کرمان افزایش یافته و بیش‌ترین مقدار آن در قسمت غرب منطقه مشاهده می‌شود. همچنین کمترین میزان نسبت جذب سدیم مربوط به شمال شرق بوده که به سمت جنوب غرب بر مقدار آن افزوده می‌شود. در مجموع، برای اغلب خصوصیات مورد مطالعه روند مشابهی مشاهده شد هر چند میزان بیکربنات از جنوب به شمال و اسیدیته از شمال به جنوب منطقه افزایش داشت. به‌نظر می‌رسد که برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در غرب دشت کرمان و همچنین کاهش بارش و وجود خشکسالی‌های اخیر از سوی دیگر سبب کاهش کیفیت آب با گذشت زمان شده است. علاوه بر این، یکی از دلایل قابل تأمل، احتمال ورود فاضلاب شهر کرمان به منابع آب‌های زیرزمینی است که قسمت‌های غرب دشت را تحت تأثیر قرار داده است. همچنین، از دیگر دلایل پایین‌بودن کیفیت آب به‌ویژه در قسمت‌های غربی دشت می توان به شرایط زمین‌شناسی منطقه یعنی وجود رسوبات شیلی و مارنی حاوی مواد تبخیری نظیر گچ و نمک (مهندسین مشاور بررسی منابع آب، ۱۳۸۸) اشاره کرد. از طرفی، جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه که از جنوب شرقی و شرق منطقه به طرف مرکز دشت و غرب و شمال محدوده می‌باشد، نیز در این موضوع موثر است (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). در مجموع، پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از کاهش کیفیت آب و احتمالاً آلودگی ناشی از فاضلاب، که تهدیدی برای ساکنین منطقه محسوب می‌شود، پژوهش‌های بیشتری با محوریت تأثیر آلودگی ناشی از فاضلاب بر کیفیت آبخوان کرمان انجام شود.

Archive of SID



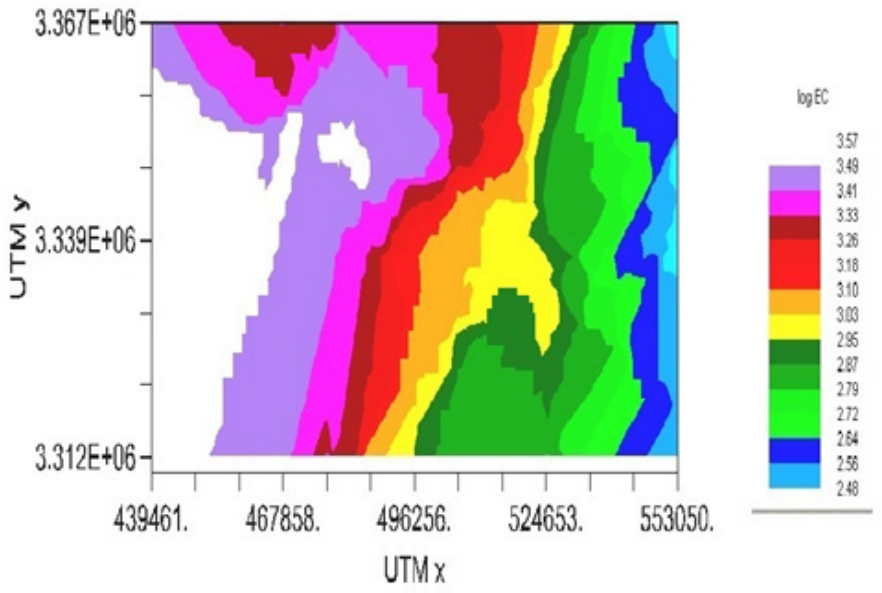
شکل ۲- واریوگرام‌های خصوصیات کیفیت آب زیرزمینی دشت کرمان شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، کل املاح محلول، سختی آب

Archive of SID

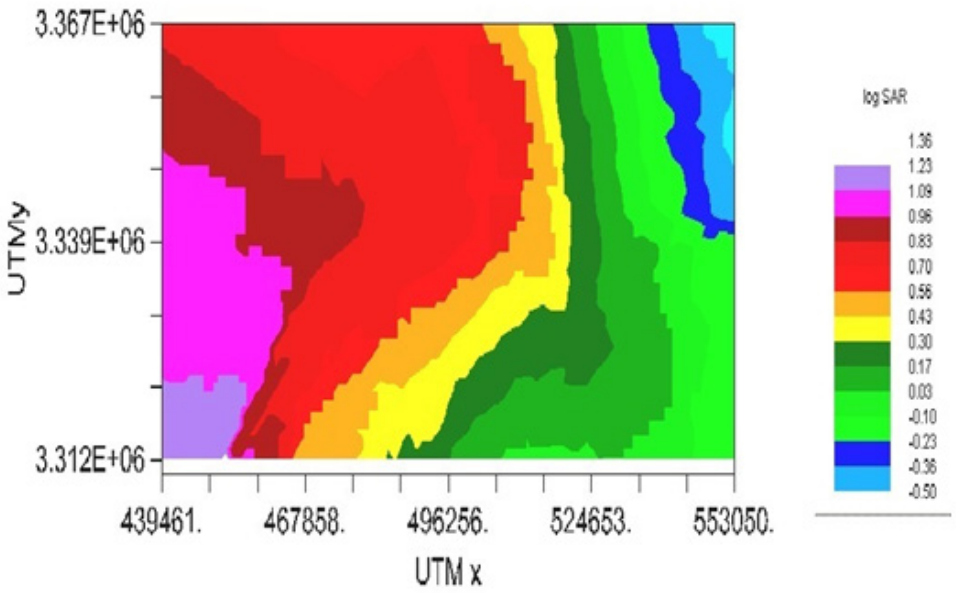
جدول ۱- خلاصه نتایج آماری خصوصیات کیفی آب چاه‌های مورد مطالعه

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	دامنه تأثیر	حد آستانه
کلسیم	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۲۳	۰/۱۱۶	۰/۷۶۱
	کوکریجینگ	۱/۶۳۷	۰/۸۲۴	۰/۶۱۱
	IDW	۰/۰۳۶	۰/۱۲۳	۰/۷۵۱
	NDW	۰/۰۲۴	۰/۱۲۲	۰/۷۵۹
منیزیم	کریجینگ نقطه‌ای	۱/۹۸۱	۱/۳۶	۰/۷۳۷
	کوکریجینگ	۲/۶۳۲	۱/۸۹	۰/۶۱۱
	IDW	۲/۰۱۳	۱/۵۶	۰/۷۲۶
	NDW	۲/۰۰۳	۱/۵۲	۰/۷۳۶
سدیم	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۴۶	۰/۱۵۲	۰/۸۵۱
	کوکریجینگ	۰/۰۶۹	۰/۱۸۶	۰/۷۹۶
	IDW	۰/۰۵۵	۰/۱۵۶	۰/۸۲۵
	NDW	۰/۰۵۷	۰/۱۶۱	۰/۸۲۱
بیکربنات	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۸۶۹	۰/۷۳۶	۰/۶۹۵
	کوکریجینگ	۱/۵۶۸	۰/۹۸۹	۰/۵۸۴
	IDW	۰/۸۶۹	۰/۷۴۲	۰/۶۶۳
	NDW	۰/۹۰۱	۰/۷۴۶	۰/۶۵۲
سولفات	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۶۹	۰/۱۸۹	۰/۷۹۶
	کوکریجینگ	۰/۰۹۶	۰/۲۱۲	۰/۷۱۱
	IDW	۰/۰۸۶	۰/۲۰۶	۰/۷۶۳
	NDW	۰/۰۹۷	۰/۲۱۹	۰/۷۲۶
اسیدیته	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۳۱	۰/۱۳۲	۰/۸۱۱
	کوکریجینگ	۰/۱۶۲	۰/۳۱۲	۰/۶۲۴
	IDW	۰/۰۳۱	۰/۱۳۶	۰/۸۱۰
	NDW	۰/۰۳۱	۰/۱۳۵	۰/۸۰۷
هدایت الکتریکی	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۳۲	۰/۱۳۶	۰/۸۲۱
	کوکریجینگ	۰/۰۳۴	۰/۱۴۵	۰/۸۰۶
	IDW	۰/۰۳۶	۰/۱۴۸	۰/۷۹۷
	NDW	۰/۰۳۴	۰/۱۴۱	۰/۸۰۹
نسبت جذب سدیم	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۵۲	۰/۱۶۸	۰/۷۸۹
	کوکریجینگ	۰/۰۷۹	۰/۲۰۰	۰/۷۱۱
	IDW	۰/۰۵۸	۰/۱۶۸	۰/۷۶۵
	NDW	۰/۰۶۱	۰/۱۷۳	۰/۷۵۱
کل املاح محلول	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۲۶	۰/۱۲۱	۰/۷۱۰
	کوکریجینگ	۰/۰۲۹	۰/۱۲۵	۰/۶۴۳
	IDW	۰/۰۲۷	۰/۱۲۴	۰/۷۰۶
	NDW	۰/۰۳۲	۰/۱۴۱	۰/۶۳۹
سختی آب	کریجینگ نقطه‌ای	۰/۰۲۴	۰/۱۲۴	۰/۷۹۶
	کوکریجینگ	۰/۰۳۱	۰/۱۳۸	۰/۷۳۶
	IDW	۰/۰۲۷	۰/۱۲۸	۰/۷۵۳
		۰/۰۲۶	۰/۱۲۷	۰/۷۵۲

Archive of SID



شکل ۳- نقشه تغییرات مکانی میزان هدایت الکتریکی بر اساس روش کریجینگ



شکل ۴- نقشه تغییرات مکانی میزان نسبت جذب سدیم بر اساس روش کریجینگ

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، استحکام ساختار فضایی در مورد بیشتر خصوصیات کیفی آب زیرزمینی دشت کرمان از همبستگی مکانی قوی بین داده‌ها برخوردار بود که نشان از دقت بالا و پیوستگی مکانی مدل¬های برازش داده می‌باشد. واریوگرام‌های محاسبه شده برای تمام پارامترها نشان‌دهنده پیروی تمام پارامترها از ساختار فضایی بود. نتایج برازش مدل نیم‌تغییرنما نشان داد که بهترین مدل برازش داده شده برای منیزیم و اسیدیته خطی آستانه بود در حالی که برای سایر متغیرها، مدل گوسی بهترین برازش را نشان داد. بهترین روش تخمین برای همه خصوصیات مورد مطالعه، روش کریجینگ بود. نقشه‌های حاصل از میان‌یابی متغیرها نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم به‌عنوان مهم‌ترین خصوصیات کیفی آب از سمت شرق و شمال شرق به سمت غرب و جنوب غرب دشت کرمان افزایش می‌یابد. در مجموع، برای اغلب خصوصیات مورد مطالعه روند مشابهی مشاهده شد هر چند میزان بیکربنات از جنوب به شمال و اسیدیته از شمال به جنوب منطقه افزایش داشت. از دلایل بیشتر بودن غلظت املاح در سمت غرب منطقه مورد مطالعه،

Archive of SID

می‌توان به ورود فاضلاب شـــهر کرمان به منابـــع آب‌های زیرزمینی، جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه (از جنوب شرقی و شرق منطقه به طرف مرکز دشت و غرب و شمال محدوده) و شرایط زمین‌شناســـی منطقه (وجود رســـوبات تبخیری محتوی گچ و نمک) اشاره کرد که قســـمت‌های غرب دشت را بیشتر تحت تأثیر قرار داده است. در نهایت، پیشنهاد می‌شـــود پژوهش‌های بیشتری با محوریت تأثیر آلودگی ناشی از فاضلاب بر کیفیت آبخوان کرمان انجام شود.

منابع مورد استفاده

۱. امینـــی، م.، خادمی ح. و فتحیان پور، ن. (۱۳۸۱). مقایســـه کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد غلظت کلر محلول در خاک. مجله علوم کشـــاورزی ایران، ۳۳ (۴): ۷۴۱- ۷۴۷.

۲. برشان، م. (۱۳۸۸). تاریخ آب و آبیاری استان کرمان (آب نامه). انتشارات مرکز کرمان‌شناسی. ۳۱۲ صفحه.

۳. تقـــی زاده مهرجردی، ر.، زارعیان جهرمی، م.، محمودی، ش.، حیدری، ا. وسرمدیان، ف. (۱۳۸۷). بررســـی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشـــت رفسنجان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲ (۵): ۶۳- ۷۰.

۴. حســـن‌پور، ن. عباس‌نژاد، ا. دادالهی، ح. قاســـمی‌پور افشار، ی. (۱۳۹۰). بررسی اثر بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شهر کرمان بر کیفیت آبخوان شهر. پنجمین همایش ملی مهندسی محیط زیست. تهران.

۵. حســـنی پاک، ع.ا. (۱۳۷۷). زمین آمار (ژئواستاتیســـتیک). انتشـــارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

۶. داوودی راد، م.ر، بهرنگی، ع. و یعقوبی، ی. (۱۳۸۴). ســـدهای زیرزمینی ابزاری مفید در مدیریت منابع آب زیرزمینی. اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران. ۱-۱۲.

۷. زارع ابیانه، ح. و بیات ورکشـــی، م. (۱۳۹۲). توسعه و کاربرد مدل‌های عصبـــی، فازی، الگوریتم ژنتیک و زمین آمار در برآورد توزیع مکانی ســـطح ایســـتابی. پژوهش‌هـــای حفاظـــت آب و خاک (علوم کشـــاورزی و منابع طبیعی). ۲۰ (۴): ۱-۲۵.

۸. زاهدی فر، م.، موســـوی، س.ع.ا. و رجبی، م. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی ویژگی های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا با استفاده از روش های زمین آماری. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷ (۴): ۸۱۲-۸۲۲.

۹. زهتابیان، غ، جان فزا، ع. و عسگری، ح. (۱۳۸۹). مدلسازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات شـــیمیایی آبهای زیرزمینی گرمســـار. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷ (۱): ۶۱-۷۳.

۱۰. زینتی، ن. و اســـماعیلی، ع. (۱۳۸۹). محاســـبه حجـــم آبخوان آبرفتی (ســـفره آب زیرزمینی) دشـــت کرمان با اســـتفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS). اولین کنفرانس بین المللی مدلســـازی گیاه آب و خاک و هوا. کرمان.

۱۱. سکوتی اسکویی، ر.، مهدیان، م.ح.، محمودی، ش. و قهرمانی، ا. (۱۳۸۶). مقایسه کارآیی برخی روشهای زمین آماری برای پیش بینی پراکنش مکانی شوری خاک. پژوهش و سازندگی، ۷۴: ۷۹۰ -۷۹۸.

۱۲. شـــرکت ســـهامی آب منطقه ای کرمان. (۱۳۸۲). گزارش هیدروگراف واحد دشت‌های کرمان.

۱۳. شعبانی، م. (۱۳۸۷). تعیین مناسب‌ترین روش زمین آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS آب‌های زیرزمینی. مجله مهندسی آب، ۱: ۴۷-۵۷.

۱۴. شیخ گودرزی، م.، موسوی، س.ح. و خراسانی، ن.ا. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی های کیفی آب های زیرزمینی با روش‌های زمین آمـــار (مطالعه موردی: دشـــت تهران-کرج). محیط زیســـت طبیعی (منابع طبیعی ایران). ۶۵ (۱): ۸۳-۹۳.

۱۵. طباطبایـــی، ح. و غزالـــی، م. (۱۳۹۰). ارزیابی روش‌هـــای میانیابی در تخمین ســـطح ایستابی آب زیرزمینی، مطالعه موردی: آبخوان‌های فارسان-جونقان و ســـفید دشت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۷۵: ۱۱-۲۲.

۱۶. قمشـــیون، م.، ملکیان، آ.، حســـینی، خ.، قره‌چلو، س. و خاموشی، م.ر. (۱۳۹۱). بررســـی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشـــت سمنان - ســـرخه با اســـتفاده از روش های زمین آمار. تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۹ (۳): ۵۳۵-۵۴۵.

۱۷. کایدانی، م. و موســـوی، م.س. (۱۳۹۰). مقایســـه روش های زمین آمار و آماری در برآورد مکانی خصوصیات کیفی آب (مطالعه موردی: مرودشـــت استان فارس). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

۱۸. کیانی پویا، ع. و رسولی، ف. (۱۳۸۹). ارزیابی کیفیت آب های زیرزمینی مورد اســـتفاده در آبیاری در دشـــت‌های مرکزی استان فارس. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۴ (۳): ۲۷۳-۲۸۲.

۱۹. ملکی، ف. (۱۳۸۵). بررسی کیفی آب زیرزمینی از نظر شرب با استفاده از زمین آمار. دومین همایش ملی آب و فاضلاب. ۱-۶.

۲۰. مهندســـین مشاور بررسی منابع آب. (۱۳۸۸). گزارش مرحله اول طرح تغذیه مصنوعی دشت کرمان. سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان.

21. Adhikary, P.P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D. and Kamble, K. (2008). Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India. Environ. Monit. Assess., 615-599 :167.

22. Ahmed, S. (2002). Groundwater monitoring network design: Application of geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region. In: Groundwater Hydrology, Sherif, M.M, V.P. Singh and M. Al-Rashed (Eds.), Balkema, Tokyo, Japan. 57-37 :2.

23. Amin, M.M., Ebrahimi, A., Hajian, M., Iranpanah, N. and Bina, B. (2010). Spatial analysis of three agrichemicals in groundwater of Isfahan using GS+. Iranian J. Environ. Health, Sci. Eng., 80-71 :(1)7.

24. Arslan, H. (2012). Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary Kriging and indicator Kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. Agri. Water Manage., 63-57 :113.

25. Gundogdu, K.S. and Guney, I. (2006). Spatial analyses of groundwater levels using universal Kriging.

Archive of SID

distribution of groundwater quality with geostatistics, case study: Yazd-Ardakan plain. World Applied Sci. J., 17-9 :(1)4.

36. Theodossiou, N. and Latinopoulos, P. (2007). Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the Kriging methodology. Environ. Model. Soft., 1000-991 :(7) 21.

37. Tindall, J.A. and Chen, A. (2014). Variables that affect agricultural chemicals in groundwater in Nebraska. Water, Air, Soil Pollu., 1862 :225. DOI: 10.1007/s0-1862-013-11270.

38. Wang, Y., Zhang, X. and Huang, C. (2009). Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. Geoderma, 149-141 :150.

39. Yang, F.G., Cao, S.Y., Liu, X.N. and Yang, K.J. (2008). Design of groundwater level monitoring network with ordinary Kriging. J. Hydrodyn., :(3)20 346-339.

40. Yazdanpanah, N., Pazira, E., Neshat, A., Mahmoodabadi, M. and Rodríguez Sinobas, L. (2013). Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (II): Impact on nitrogen, phosphorous and potassium redistribution and on microbial respiration. Agri. Water Manage., 45-39 :120. DOI: 10.1016/j. agwat.2012.08.017.

41. Yidana, S., Yakubo, B. and Akabzaa, M. (2009). Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analysis in the Keta basin, Ghana. J. African East Sci., 234-220 :58.

42. Yimit, H., Eziz, M., Mamat, M. and Tohti, G. (2011). Variations in groundwater levels and salinity in the Ili River Irrigation Area, Xinjiang, Northwest China: a geostatistical approach. Inter. J. Sustain. Develop. World Ecol., 64-55 :(1)18.

J. Earth Syst. Sci., 55-49 :(1)116.

26. Holtz, G.K. (2009). Seasonal variation in groundwater levels and quality under intensively drained and grazed pastures in the Montagu catchment, NW Tasmania. Agri. Water Manage., 266-255 :96.

27. Huang, S.W., Jin, J.Y., Yang, L.P. and Bai, Y.L. (2006). Spatial variability of soil nutrients and influencing factors in a vegetable production area of Hebei Province in China. Nutr. Cycl Agroecos., :75 212-201.

28. Jager, N. (1990). Hydrogeology and Groundwater Simulation.

29. Kresic, N. (1997). Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers.

30. Kuisi, M.A., Al-Qinna, M., Margani, A. and Aljazzar, T. (2009). Spatial assessment of salinity and nitrate pollution in Amman-Zarqa Basin: a case study. J. Environ. Earth Sci., 129-117 :59.

31. Kumar, V. and Remadevi. (2006). Kriging of groundwater levels – A case study. J. Spat. Hydr., :(1)6 94-81.

32. Li, J. and Heap, A.D. (2008). A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. Geoscience publication, Australia.

33. Neshat, A., Pradhan, B. and Dadras, M. (2014). Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. Reso. Conserv. Recycl., 86-74 :86.

34. Rossi, J., Govaerts, A., Vos, B.D., Verbist, B., Vervoort, A., Poesen, J., Muys, B. and Deckers, J. (2009). Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests, a case study of Southeastern Tanzania. Catena, 27-19 :77.

35. Taghizadeh Mehrjardi, R., Zareian Jahromi, M., Mahmodi, Sh. and Heidari, A. (2008). Spatial