نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۲، ص. ۸۲۲-۸۱۲

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.4, Sept.-Oct. 2013, p. 812-822

پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا با استفاده از روش‌های زمین آماری

مریم زاهدی فر[1*]- سید علی اکبر موسوی[2]- مریم رجبی[3]

تاریخ دریافت :۱۳۹۱/۱۲/ ۲۳
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۶/۳

چکیده

مدیریت کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک از اهمیت زیادی برخوردار است. دشت فسا در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران واقع شده است و عمده ساکنان آن در فعالیت‌های کشاورزی از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌کنند. استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و خشکسالی‌های اخیر سبب افت سطح ایستابی، شور شدن و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه شده است. لذا تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی ۸۰ حلقه چاه دشت فسا در استان فارس شامل سختی کل آب، مقدار کل مواد جامد حل شده، قابلیت هدایت الکتریکی، پهاش، غلظت کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌های محلول (سولفات، کلر و بی‌کربنات) در پاییز (آبان) ۱۳۸۹ بررسی و تخمین ویژگی‌ها با به کارگیری روش‌های زمین‌آماری انجام شد. روش مناسب تخمین شناسایی و پهنه‌بندی منطقه مورد نظر به لحاظ هر ویژگی کیفی با استفاده از نتایج روش انتخابی انجام شد. 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. روش کریجینگ معمولی نقطه‌ای روش تخمین مناسب شناخته و نقشه‌های پهنه‌بندی نیز با استفاده از آن تهیه شد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد آب‌های زیرزمینی نیمه‌جنوبی منطقه نسبت به نیمه شمالی از کیفیت نامطلوب‌تری برخوردار بوده و لازم است مدیریت بهره‌برداری از منابع آب و استفاده از الگوهای کشاورزی با حساسیت بیشتری انجام شود تا از بدتر شدن کیفیت آب و وخیم‌تر شدن وضعیت سفره‌های آب‌زیرزمینی که مستقیماً با معیشت ساکنان منطقه مرتبط است، جلوگیری به عمل آید.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، کریجینگ معمولی، وزن دهی عکس فاصله، همبستگی مکانی

مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها سبب وارد آمدن خسارات جبران-ناپذیری به منابع طبیعی کشور از جمله منابع آب زیرزمینی شده است. در مناطق کم‌باران که آب سطحی وجود ندارد یا مقدار آن کم است، استفاده از آب زیرزمینی به عنوان جایگزینی مطمئن مورد توجه قرار گرفته، به‌طوری که در برخی مناطق آب زیرزمینی تنها منبع تامین آب محسوب می‌شود (۷). در مطالعات آب‌های زیرزمینی، بررسی کیفیت آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و افزایش بیش از حد مجاز غلظت یون‌ها، کشاورزی و سایر استفاده‌ها از آب را با محدودیت جدی روبرو می‌سازد (۵). تغییر کیفیت آب زیرزمینی و شورشدن منابع آب هم‌اکنون خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور به‌ویژه در اراضی خشک می‌باشد. تغییرات کیفیت آب‌زیرزمینی در مقایسه با آب-های سطحی بسیار کندتر است (۵ و ۱۵). تهیه نقشه‌های به‌هنگام تغییرات شوری و املاح می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. علاوه بر آن، بررسی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب زیرزمینی نقش به‌سزایی در مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند.

مطالعاتی در ارتباط با کاربرد روش‌های میان‌یابی در بررسی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی انجام شده است. نظری زاده و همکاران (۱۱) از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی برای بررسی تغییرات‌مکانی کیفیت آب‌زیرزمینی دشت بالارود واقع در استان خوزستان استفاده کردند و گزارش نمودند که نیم‌تغییرنمای قابلیت

۱ و ۳- به‌ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه فسا
(*- نویسنده مسئول: Email: maryamzahedifar2000@yahoo.com)
۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

هدایت‌الکتریکی، کلر و سولفات از مدل‌های کروی به‌ترتیب با دامنه تاثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰ و ۱۰۲۱۰۰ متر و حدود آستانه ۰/۵۳، ۱/۵۳ و ۲/۰۵ تبعیت می‌نمایند. محمدی و همکاران (۹) نیم‌تغییرنمای کروی با مقادیر اثر قطعه‌ای ۴۱ و ۹۳ و شعاع تاثیر ۱۰۰ و ۹۶ کیلومتر به‌ترتیب برای روش‌های کریجینگ‌معمولی و کوکریجینگ معمولی نقطه‌ای را در پهنه‌بندی کل املاح محلول آب ۵۰ حلقه چاه دشت قزوین مناسب‌تر از سایر روش‌ها معرفی نمودند. سمین و همکاران (۲۴) نیز از روش کریجینگ و کوکریجینگ معمولی برای تخمین نسبت جذب سدیم و کلر در آب‌های زیرزمینی ۹۰ حلقه چاه استان فارس استفاده کردند و بیان نمودند هر دو روش تخمین‌های قابل قبولی ارائه نمودند اما تخمین نسبت جذب سدیم و کلر با استفاده از روش کوکریجینگ و شوری آب دقیق‌تر از روش کریجینگ بود. آنان بیان کردند نیم‌تغییرنمای مربوط به نسبت جذب سدیم و کلر از مدل‌های گوسی به‌ترتیب با اثر قطعه‌ای ۰/۲۴ و ۰/۳۷، حد آستانه ۰/۹۸ و ۱/۹۸ و دامنه تاثیر ۴۷۶۰۰ و ۴۹۱۰۰ متر تبعیت نمود. ناس (۲۳) نیز با بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی ۱۵۶ چاه موجود در شهر کونیا واقع در آنتالیای ترکیه (نمونه برداری شده در سال ۲۰۰۳) گزارش کردند که نیم‌تغییرنمای پهاش، قابلیت هدایت‌الکتریکی، کلر، سولفات و سختی آب به‌ترتیب از مدل‌های حلقوی، درجه دوم، درجه دوم، کروی و پایدار تبعیت نمودند. ایشان بیان کردند در بین متغیرهای مورد بررسی روند مکانی کلی وجود نداشته و تنها پهاش از توزیع نرمال تبعیت نمود و سایر ویژگی‌ها با اعمال تبدیل به توزیع نرمال تبدیل شدند. جیمز (۱۸) تغییرات مکانی غلظت سولفات و نیترات آب زیرزمینی را یک منطقه ۳/۲۷ هکتاری در اوهایو بررسی کردند و گزارش نمودند که غلظت نیترات و سولفات در آب زیرزمینی در فواصل کوتاه ۵۰ متری بسیار متغیر است. آنان گزارش کردند تخمین قابل‌قبول این یون‌ها با بررسی آنها در ۱۰ چاه با تراکم ۳/۱ چاه در هکتار امکان‌پذیر خواهد بود. در پژوهشی به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر نیترات در آب های زیرزمینی دشت مادنا در ایتالیا نیز از روش‌های زمین‌آماری و شبیه‌سازی استفاده و گزارش شد نیم‌تغییرنمای غلظت نیترات از مدل نمائی با دامنه تأثیر حدود ۱۶۰۰۰ متر تبعیت می‌نماید و روش کریجینگ گسسته برای مطالعه تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی و تخمین غلظت نیترات مناسب است (۱۴). دش و همکاران (۱۶) تغییرات مکانی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب زیرزمینی (شامل میزان کلر، قابلیت هدایت‌الکتریکی، فلور، منیزیم و نیترات) را در دهلی هند بررسی و بیان کردند که نیم‌تغییرنمای این ویژگی‌ها از مدل کروی تبعیت نمود. آنان برای تخمین و تحلیل تغییرات مکانی از روش کریجینگ‌معمولی و برای پهنه‌بندی و تهیه نقشه ویژگی‌های مورد مطالعه از روش کریجینگ‌شاخص استفاده نمودند. تقی‌زاده‌مهرجردی و همکاران (۳) نیز گزارش نمودند که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی کل املاح محلول، سدیم، شوری، نسبت جذب سدیم و یون‌های کلر و سولفات آب ۶۵ چاه دشت رفسنجان بر روش وزن‌دهی عکس فاصله برتری دارند.

همانند برخی دیگر از محققان، کرسیک (۲۰) نشان داد روش کریجینگ معمولی در بین سایر روش‌های زمین‌آماری قادر به شبیه‌سازی مناسبی از ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی می‌باشد. یاماموتو (۲۷) نیز گزارش کردند که روش کریجینگ معمولی در میان سایر انواع کریجینگ (کریجینگ ساده، کریجینگ عام، کریجینگ گسسته، کریجینگ بلوکی و کوکریجینگ) برای تخمین روش قابل اعتمادتر و مناسبتری در مقایسه با سایر انواع کریجینگ می‌باشند. در حالی که استواری و همکاران (۱) پس از بررسی تغییرات مکانی-زمانی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی ۳۲ حلقه چاه موجود در دشت لردگان شهرکرد گزارش کردند که نیم تغییرنمای غلظت نیترات از مدل کروی تبعیت نموده و روش وزن دهی معکوس فاصله نسبت به روش کریجینگ معمولی روش مناسبتری برای تخمین غلظت نیترات می‌باشد. در پژوهش دیگری ویدوری و همکاران (۲۶) نیز تغییرات زمانی نیترات در آب‌های زیرزمینی در ۲۷ چاه واقع در منطقه هتوا چین در دامنه سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ را بررسی کردند و روش وزن‌دهی معکوس‌فاصله را روش مناسب برای تخمین غلظت نیترات پیشنهاد کردند. شعبانی (۷) نیز روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معمولی و ساده را به‌ترتیب روش مناسب برای پهنه‌بندی و تهیه نقشه تغییرات پهاش و غلظت نمک‌های محلول در آب زیرزمینی ۸۳ حلقه چاه دشت ارسنجان گزارش کرده است. موقیر و همکاران (۲۲) از تئوری آنتروپی برای بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی (غلظت کلر) در چاه‌های نوار غزه استفاده نمودند و بیان کردند که تغییرات مکانی غلظت کلر با تغییر فاصله از مدل نمایی تلاشی تبعیت می‌نماید. در مطالعه دیگری، نتایج پهنه‌بندی غلظت نیترات در آبخوان شهرکرد با برداشت ۹۶ نمونه از چاه‌های موجود در سال ۱۳۸۶ با رسم خطوط هم تراز و بدون استفاده از روش‌های زمین‌آماری نشان داد که عوامل خارجی مانند عملیات کشاورزی، نشت پساب‌های صنعتی، شهری، کشاورزی و دامداری بر غلظت نیترات موثر است به‌طوری‌که غلظت نیترات در برخی نقاط آبخوان بیشتر از سایر نقاط است (۱۰).

بررسی منابع و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد محققان روش‌های گوناگونی را برای بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی در شرایط و مناطق مختلف به عنوان روش مناسب پیشنهاد نموده‌اند. با توجه به اینکه دشت فسا یکی از دشت‌های مهم کشاورزی استان فارس است و عمدتاً از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی استفاده می‌شود و تاکنون تحقیقی در ارتباط با بررسی کیفیت و پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی این منطقه انجام نشده است. از طرفی با توجه به لزوم و اهمیت پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی و با توجه به اینکه

روش‌های متفاوتی به عنوان روش مناسب جهت بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب در مناطق مختلف معرفی شده‌اند لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های مهم کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت فسا در استان فارس با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و نهایتاً پهنه‌بندی آن‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دشت فسا با مساحت ۴۲۰۵ کیلومترمربع و در ۱۴۵ کیلومتری جنوب شیراز با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. میانگین ارتفاع دشت از سطح دریا ۱۳۷۰ متر، میانگین دمای سالیانه ۲۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۲۹۵ میلی‌متر می باشد.

دشت فسا ناودیسی است که ارتفاعات اطراف آن به وسیله طاقدیس‌ها به وجود آمده است. به طور کلی، نزدیک به ۴۰ درصد از وسعت شهرستان دشت و بقیه کوهستانی است. در این تحقیق، از اطلاعات مربوط به آب ۸۰ حلقه چاه دشت فسا که به‌وسیله سازمان آب منطقه‌ای فارس در پاییز (آبان) ۱۳۸۹ تهیه شده بود، استفاده شد. این ویژگی ها شامل سختی کل آب (اندازه گیری شده با روش حجم سنجی و تیتراسیون با ای دی تی‌ا)، مقدار کل مواد جامد حل شده (که با تبخیر ۱۰۰ میلی لیتر آب و توزین باقیمانده تعیین شد) ، قابلیت هدایت الکتریکی و پهاش (که به‌ترتیب به وسیله دستگاه های هدایت سنج الکتریکی و پهاش‌متر اندازه گیری شد)، غلظت کاتیون‌های محلول شامل کلسیم و منیزیم (اندازه گیری شده با روش تیتراسیون با ای‌دی‌تی‌ا)، سدیم و پتاسیم (اندازه‌گیری شده با روش شعله‌سنجی)، و غلظت آنیون‌های محلول شامل سولفات (اندازه‌گیری شده با روش تیتراسیون با ای‌دی‌تی‌ا)، کلر(اندازه گیری شده با روش تیتراسیون با نیترات نقره)، و بی‌کربنات (اندازه‌گیری شده با روش تیتراسیون با اسید سولفوریک) می‌باشد. ویژگی‌های معمول آماری داده‌ها (حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و افراشتگی) و نرمال بودن توزیع داده‌ها نیز با استفاده از نرم-افزار SPSS بررسی شد و در مواردی که انحراف از توزیع نرمال وجود داشت با استفاده از تبدیل‌های لگاریتمی و یا ریشه دوم، توزیع داده‌ها تا حد امکان به توزیع نرمال نزدیک شد.

به منظور بررسی وابستگی مکانی داده‌ها، ابتدا مقدار نیم‌تغییرنمای تجربی داده‌ها محاسبه شد (۲۵) و بررسی همسانگردی/ ناهمسانگردی نیز با محاسبه و رسم نیم تغییرنمای مسطحاتی انجام شد. سپس مدل‌های مختلف نظری (کروی، نمایی، گوسی و...) به نیم‌تغییرنماهای محاسبه شده برازش داده (۲۰) و مدل مناسب انتخاب و پارامترهای آن شامل اثر قطعه‌ای (C_0)، سقف (C) و دامنه‌تاثیر(R) تعیین شد. اثر قطعه‌ای نشان دهنده مولفه تصادفی و بدون ساختار فضایی تغییرات یک متغیر می باشد در حالی که سقف کل تغییرات (تصادفی و غیر تصادفی) یک متغیر را نشان می دهد. دامنه تاثیر نیز نشان دهنده فاصله‌ای است که مقادیر متغیر مورد مطالعه در آن فاصله همبستگی فضایی دارند.

به منظور تخمین ویژگی‌های کیفی آب ابتدا وضعیت وجود یا عدم وجود روند مکانی در داده ها بررسی شد و پس از اطمینان (در سطح ۹۵ درصد) از عدم وجود روند مشخص در داده های مورد مطالعه، از روش کریجینگ‌نقطه‌ای‌معمولی (معادلات ۱ و ۲) و روش وزن‌دهی-عکس‌فاصله (معادلات ۳ و ۴) استفاده شد.

$$Z^*_{x_0} = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i . Z_{x_i} \qquad (۱)$$

$$\sum_{i=1}^{N} \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_0) \qquad j = 1,..., n \qquad (۲)$$

که در آنها: λ_i وزن اختصاص یافته به متغیر i ام، $\gamma(x_i, x_j)$ و $\gamma(x_i, x_0)$ مقدار نیم‌تغییرنما به ازای برداری با نقطه شروع x_i و به ترتیب با نقاط پایان x_0 و x_j می باشد. $Z^*_{x_0}$ مقدار برآورد متغیر در موقعیت x_0 ، Z_{x_i} مقدار متغیر اندازه گیری شده در موقعیت x_i ، و N تعداد اندازه‌گیری‌ها می باشد. برای دستیابی به تخمین ناریب و با حداقل واریانس، مجموع وزن‌ها در روش کریجینگ برابر یک می-باشد.

در روش وزن‌دهی‌عکس‌فاصله، براساس فاصله تا نقطه مجهول، با توان‌های مختلف به هر یک از نقاط وزنی اختصاص داده شده (معادله۴) و مقدار کمیت مورد نظر به روش میانگین‌گیری وزنی (معادله ۳) محاسبه می‌شود.

$$Z^*_{x_0} = \sum_{i=1}^{N} w_i . Z_{x_i} \qquad (۳)$$

$$w_i = \frac{h_i^P}{\sum_{j=1}^{n} h_j^P} \qquad (۴)$$

که در آن $Z^*_{x_0}$ برآورد متغیر در موقعیت x_0 ، w_i وزن اختصاص یافته به متغیرi ام ، Z_{x_i} مقدار اندازه گیری شده در موقعیت x_i ، h_i فاصله نقطه i ام تا نقطه مجهول، و P توان وزن‌دهی می‌باشد.

دقت تخمین‌های حاصل از روش‌های به کاربرده شده (کریجینگ‌نقطه‌ای‌معمولی و روش وزن‌دهی‌عکس‌فاصله با توان‌های مختلف) با استفاده از روش ارزیابی متقابل تعیین شد (در هر مرحله یکی از اندازه‌گیری‌ها حذف و با استفاده از سایر نقاط، تخمین زده شد و سپس مقدار اندازه‌گیری شده به مجموعه داده‌ها بازگردانده و برای تمامی نقاط این فرایند تکرار و دو دسته داده شامل داده های تخمین و اندازه‌گیری حاصل شد). مقادیر تخمین و اندازه‌گیری در یک دستگاه مختصات در مقابل یکدیگر ترسیم شد و دقت تخمین با محاسبه

برخی شاخص‌های آماری (ضریب تبیین، میانگین‌خطای‌باقیمانده، ریشه‌میانگین‌مربعات‌خطا، ریشه‌میانگین مربعات‌خطای‌نرمال‌شده، میانگین‌هندسی‌نسبت‌خطا و انحراف‌معیار هندسی‌نسبت‌خطا) تعیین و بهترین روش تخمین شناسایی شد و با استفاده از تخمین‌های حاصل از آن پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌ها برای هر یک از ویژگی‌های مورد مطالعه انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ مشخصات آماری ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین و کمترین مقدار انحراف معیار مربوط به قابلیت‌هدایت‌الکتریکی و غلظت پتاسیم می‌باشد (جدول ۱) درحالی که ضریب‌تغییرات آنیون‌های سولفات و کلر (به ترتیب ۱/۴۲ و ۰/۹۱) بیشترین و برای پهاش و بی‌کربنات (به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۲۹) کمترین مقدار است. میزان تغییرات و پراکندگی سولفات و کلر در آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بیشترین و میزان تغییرات و پراکندگی پهاش و بی‌کربنات کمترین مقدار است (جدول ۱). پراکندگی بیشتر تغییرات آنیون‌های سولفات و کلر احتمالاً به دلیل وجود سازندهای گوگردی و گچی و آب‌های شور در برخی مناطق و عدم وجود آن در سایر نقاط می‌باشد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت پیوستگی تغییرات پهاش و آنیون بی‌کربنات آب با توجه به واکنش قلیایی اغلب خاک‌ها و آب‌های سطحی و زیرزمینی و طبیعت آهکی خاک‌های منطقه مورد مطالعه، بیش از سایر ویژگی است.

حداکثر چولگی (انحراف از توزیع طبیعی) و افراشتگی مربوط به غلظت کلسیم و کمترین آن مربوط به پهاش آب است که نشان می‌دهد غلظت کلسیم و مقدار پهاش به‌ترتیب بیشترین و کمترین انحراف از توزیع نرمال و درنتیجه بیشترین و کمترین نیاز برای تبدیل به توزیع نرمال را دارا می‌باشند. به جز پهاش و غلظت سدیم، سایر ویژگی‌ها انحراف قابل ملاحظه‌ای از توزیع نرمال داشتند. لذا برای تخمین با استفاده از روش‌های معمول زمین‌آماری بایستی توزیع آنها به توزیع نرمال تبدیل و یا نزدیک می‌شد (جدول ۱). برای تبدیل و یا تقریب توزیع داده ها به توزیع نرمال از تبدیل ریشه‌دوم (برای سدیم و بی‌کربنات) و یا تبدیل لگاریتمی (برای سایر ویژگی‌ها) استفاده شد. نتایج خلاصه آماری داده‌های تبدیل یافته نشان داد با اعمال تبدیل، چولگی و افراشتگی داده‌ها که زیاد بودن آنها نشان دهنده انحراف از توزیع نرمال می‌باشد به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و توزیع داده ها تا حد امکان به توزیع نرمال تبدیل شده است (داده‌ها نشان داده نشده است). شعبانی (۷) نیز گزارش نمود که مقدار پهاش آب‌زیرزمینی ۸۳ حلقه چاه دشت ارسنجان از توزیع نرمال تبعیت نموده اما مقدار کل املاح محلول آب‌زیرزمینی از توزیع نرمال انحراف داشته و با تبدیل لگاریتمی به توزیع نرمال نزدیک شده است.

نیم‌تغییرنمای مسطحاتی محاسبه و ترسیم شده برای تمامی ویژگی‌ها تقریباً مدور و در جهات مختلف یکسان بود و درنتیجه تمامی ویژگی‌ها همسانگرد در نظر گرفته و از نیم‌تغییرنمای همسانگرد استفاده شد. ساختار مکانی ویژگی‌های مورد مطالعه با ضریب تبیین ۰/۸۱ تا ۰/۹۹ از مدل‌های کروی و نمایی تبعیت نموده به‌گونه‌ای که مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده به ساختار مکانی اغلب ویژگی‌ها بود (جدول ۲). نتایج با یافته های تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۳) و شعبانی (۷) به‌ترتیب برای همین ویژگی‌ها در آب‌های زیرزمینی دشت اردکان یزد و دشت ارسنجان که مدل کروی را بهترین مدل معرفی کردند، مطابقت دارد، درحالی‌که با نتایج حشمتی و بیگی (۴) که مدل گوسی را برای این ویژگی‌ها در دشت شهرکرد بهترین مدل معرفی کردند، همخوانی ندارد که احتمالاً به دلیل تفاوت در توپوگرافی، نوع تشکیلات زمین شناسی و سنگ‌ها و شرایط اقلیمی در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق (وضعیت نسبتاً مسطح و پست فسا با سازندهای زمین‌شناسی آغاجاری و مارنی-تبخیری کربناته گچساران و سازند آواری رازک (۶) و با میانگین بارش سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر) با دشت شهرکرد (وضعیت کوهستانی و مرتفع شهرکرد با سازندهای زمین‌شناسی آهکی کرتاسه و از جنس آبرفت‌های آهکی شیلی، ذرات آنزیتی و ماسه سنگ و با میانگین بارش سالانه بیش از ۵۰۰ میلی متر (۸) می‌باشد. کیت و همکاران (۱۹) نیز بیان کردند وضعیت توپوگرافی منطقه می‌تواند با تاثیر بر شیب هیدرولیکی بر الگوی جریان بین لایه‌های مختلف و در نتیجه بر کیفیت آب زیرزمینی تاثیرگذار باشد. آنان بیان کردند وضعیت زمین‌شناسی منطقه نیز با تاثیر بر الگوی جریان، مقدار جریان، فرایند انتقال و ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی می‌تواند بر تغییرپذیری مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی موثر باشد. به عنوان نمونه کیت و همکاران (۱۹) گزارش کردند در مناطقی که کیفیت آب‌های زیرزمینی نامطلوب است (غلظت املاح محلول، کلر و سولفات زیاد است) سازندهای زمین‌شناسی ضخیم و عمیق از جنس گچ و انهیدریت و یا رسوبات آتشفشانی می‌باشند آنان همچنین گزارش کردند در مناطقی که کیفیت آب های زیرزمینی نامطلوب است سابقه کاربری بیشتر و متراکم‌تر اراضی وجود دارد. به طور غیر مستقیم نیز توپوگرافی و تشکیلات زمین شناسی و همچنین جنس سنگ ها (مواد مادری) از عواملی هستند که در تعامل با سایر عوامل خاکساز سبب تشکیل خاک‌های با ویژگی‌های مختلف می‌شوند که هر یک از این خاک‌ها ممکن است کاربری زراعی یا غیر زراعی متفاوت و خاصی داشته باشند و بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه و همچنین الگوی تغییرات مکانی و زمانی آن موثر باشند.

مقدار اثر قطعه‌ای در بین ویژگی‌های اندازه گیری شده از ۰/۰۰۱ تا ۰/۷۲۵ به‌ترتیب برای پهاش و سدیم متغیر بود، درحالی که درصد

اثر قطعه‌ای (تعدیل شده نسبت به کل تغییرپذیری) در پهاش بیشترین (۴۸/۷ درصد) و در کلر کمترین (۶/۸ درصد) بود که به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی و ضعیف بین این ویژگی‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. از آنجا که اثر قطعه‌ای به دلیل تغییرات در فواصل کم و یا خطا در نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی نمایان می‌شود، بنابراین بیشتر بودن درصد اثر قطعه‌ای برای پهاش و کمتر بودن آن برای کلر نشان می‌دهد که میزان تغییرپذیری در فواصل کم و یا خطا در نمونه‌برداری و اندازه‌گیری نسبت به سایر ویژگی‌ها برای پهاش بیشتر و برای کلر کمتر بوده است. به عبارتی نیمی (۴۹ درصد) از تغییرات پهاش بدون ساختار مکانی مشخص و مابقی دارای ساختار مکانی بوده است درحالی که حدود ۹۳ درصد از تغییرات غلظت کلر ساختاردار و تنها حدود ۷ درصد بدون ساختار بوده است.

جدول ۱- خلاصه آماری داده های اولیه (قبل از تبدیل) ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب زیرزمینی ۸۰ چاه در منطقه مورد مطالعه

ویژگی های کیفی	واحد اندازه گیری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)	چولگی	افراشتگی
سختی کل	میلی گرم در لیتر	۱۵۰	۱۷۰۰	۴۱۲	۲۷۰	۶۶	۲/۲۲	۶/۴۵
مواد جامد محلول	میلی گرم در لیتر	۲۴۴	۲۴۵۷	۶۸۵	۴۴۸	۶۵	۱/۷۴	۳/۲۰
هدایت الکتریکی	میکروموس بر سانتی متر	۳۳۶	۳۶۲۱	۱۰۳۵	۶۸۴	۶۶	۱/۵۹	۲/۴۴
پ هاش	–	۷/۰۶	۸/۴	۷/۶۴	۰/۲۶	۳	۰/۴۷	۰/۶۰
نسبت جذب سدیم*	$^{0.5}$(میلی گرم در لیتر)	۰/۱۵	۳/۹۵	۱/۱۴	۰/۸۶	۷۶	۱/۱۵	۱/۰۲
کاتیون ها	میلی اکی والان در لیتر	۳/۷۱	۳۹	۱۰/۷۴	۷/۲۵	۶۸	۱/۷۸	۳/۲۶
کلسیم	میلی گرم در لیتر	۱/۷۰	۲۲/۵۰	۴/۵۶	۳/۲۶	۷۱	۳/۸۰	۱۶/۸۳
منیزیم	میلی گرم در لیتر	۰/۵۰	۱۲/۹۵	۳/۶۹	۲/۷۵	۷۵	۱/۲۹	۱/۲۲
سدیم	میلی گرم در لیتر	۴/۴۸	۵۹/۲۸	۲۰/۳۰	۱۰/۸۷	۵۴	۰/۹۰	۰/۹۹
پتاسیم	میلی گرم در لیتر	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۶۷	۱/۵۳	۲/۳۴
آنیون ها	میلی اکی والان در لیتر	۳/۶۹	۳۸/۴۲	۱۰/۶۵	۷/۰۹	۶۷	۱/۷۴	۳/۱۱
سولفات	میلی گرم در لیتر	۰/۰۸	۲۸/۷۲	۰۵۳	۴/۳۴	۱۴۲	۳/۴۲	۱۵/۵۸
بی کربنات	میلی گرم در لیتر	۱/۳۵	۸/۹۰	۴/۵۷	۱/۳۳	۲۹	۱/۰۲	۱/۶۵
کلر	میلی گرم در لیتر	۰/۳	۱۱	۳/۰۲	۲/۷۵	۹۱	۱/۲۳	۰/۷۴

جدول ۲- ضرایب مدل مناسب برازش داده شده به نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های کیفی آب‌زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

ویژگی های کیفی آب	واحد اندازه گیری	ویژگی های نیم تغییرنما							
		مدل	اثر قطعه ای	سقف	شعاع تاثیر (متر)	درصد اثر قطعه ای**	کلاس وابستگی مکانی†	ضریب تبیین	مجموع مربعات باقیمانده
سختی کل	میلی گرم در لیتر	کروی	۰/۱۰۴	۰/۳۳۷	۲۷۳۰۰	۳۰/۸۶	متوسط	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۱
مواد جامد محلول	میلی گرم در لیتر	کروی	۰/۰۷۳	۰/۳۲۲	۲۰۶۰۰	۲۲/۵۵	قوی	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱۷
قابلیت هدایت الکتریکی	میکروموس بر سانتی متر	کروی	۰/۰۷۷	۰/۳۳۸	۱۹۵۰۰	۲۲/۸۰	قوی	۰/۹۹	۰/۰۰۰۲۳
پ هاش	------	کروی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۱۰۲۷۰۰	۴۸/۷۳	متوسط	۰/۸۶	۰/۰۰۰۰۰
نسبت جذب سدیم*	$^{0.5}$(میلی گرم در لیتر)	کروی	۰/۳۱۹	۰/۸۴۷	۱۳۳۸۰۰	۳۷/۶۶	متوسط	۰/۸۴	۰/۰۰۶۵۴
کاتیون ها	میلی اکی والان در لیتر	کروی	۰/۰۷۴	۰/۳۳۹	۲۰۴۰۰	۲۱/۷۴	قوی	۰/۹۹	۰/۰۰۰۲۰
کلسیم	میلی گرم در لیتر	نمایی	۰/۱۷۱	۰/۵۳۶	۱۰۰۵۰۰	۳۱/۹۰	متوسط	۰/۹۵	۰/۰۰۰۲۵
منیزیم	میلی گرم در لیتر	کروی	۰/۱۸۰	۰/۵۷۸	۲۳۴۰۰	۳۱/۱۴	متوسط	۰/۹۵	۰/۰۰۲۷۴
سدیم	میلی گرم در لیتر	کروی	۰/۷۲۵	۲/۳۲۹	۱۴۰۶۰۰	۳۱/۱۳	متوسط	۰/۸۱	۰/۰۶۱۴۰
پتاسیم	میلی گرم در لیتر	کروی	۰/۰۱۰	۰/۳۷۳	۱۸۰۰۰	۲۶/۶۸	متوسط	۰/۹۴	۰/۰۰۰۱۰
آنیون ها	میلی اکی والان در لیتر	کروی	۰/۰۷۳	۰/۳۳۴	۲۰۳۰۰	۲۱/۹۱	قوی	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱۵
سولفات	میلی گرم در لیتر	نمایی	۰/۵۴۹	۲/۱۲۸	۲۱۶۰۰	۲۵/۸۰	متوسط	۰/۹۸	۰/۰۱۷۵۰
بی کربنات	میلی گرم در لیتر	نمایی	۰/۰۳۴	۰/۱۰۱	۶۷۰۰	۳۳/۵۰	متوسط	۰/۹۸	۰/۰۰۰۰۱
کلر	میلی گرم در لیتر	نمایی	۰/۰۶۳	۰/۹۳۱	۹۹۰۰	۶/۷۷	قوی	۰/۹۸	۰/۰۰۴۰۰

با توجه به مقدار درصد اثر قطعه‌ای، کلاس وابستگی مکانی برای هر یک از ویژگی‌ها تعیین شد (۱۵) به‌این‌ترتیب که چنانچه درصد اثر قطعه‌ای کمتر از ۲۵ درصد، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد و بیشتر از ۷۵ درصد باشد کلاس وابستگی مکانی به‌ترتیب قوی، متوسط و ضعیف خواهد بود. کلاس وابستگی مکانی ویژگی‌های مورد مطالعه از متوسط تا قوی متغیر بود و از ۱۴ ویژگی مورد مطالعه پنج ویژگی وابستگی مکانی قوی و ۹ ویژگی وابستگی مکانی متوسط نشان دادند (جدول ۲).

مقدار سقف نیم‌تغییرنما که نشان دهنده کل تغییرپذیری است در محدوده ۰/۰۰۲ (برای پ هاش) تا ۲/۳۲۹ (برای سدیم) متغیر بود. به‌جز در مورد سدیم و سولفات، مقدار سقف نیم‌تغییرنما در سایر ویژگی‌ها کمتر از یک بود. مقدار شعاع‌تاثیر (فاصله‌ای که متغیر در آن فاصله وابستگی مکانی نشان می‌دهد) در محدوده ۶۷۰۰ تا ۱۴۰۶۰۰ متر به‌ترتیب برای بی‌کربنات و سدیم متغیر است (جدول ۲). شعاع-تاثیرکاتیون‌ها و آنیون‌ها (به‌ترتیب ۲۰۴۰۰ و ۲۰۳۰۰ متر) تقریباً یکسان به‌دست آمد. سایر ضرایب نیم‌تغییرنما (سقف، اثر قطعه‌ای و درصد اثر قطعه‌ای) نیز برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها تقریباً یکسان به-دست آمد که با توجه به همبستگی مثبت معنی‌دار بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها قابل توجیه است. نظری‌زاده و همکاران (۱۱) نیز گزارش کردند که نیم‌تغییرنمای قابلیت‌هدایت‌الکتریکی، کلر و سولفات آب زیرزمینی دشت بالارود از مدل کروی به‌ترتیب با شعاع‌تاثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰، و ۱۰۲۱۰۰ متر وآستانه ۰/۵۳، ۱/۵۳، و ۲/۰۵ تبعیت می‌نمایند که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد. درحالی که حشمتی و بیگی‌هرچگانی (۴) دامنه تاثیر را برای قابلیت‌هدایت-الکتریکی، مواد جامد محلول، پ‌هاش، نسبت‌جذب‌سدیم و غلظت سدیم بین ۲۲۲۶ تا ۲۴۱۹ متر در شهرکرد گزارش کردند. دلیل کمتر بودن شعاع‌تاثیر این ویژگی‌ها در شهرکرد احتمالاً به دلیل کوهستانی بودن شهرکرد، متفاوت بودن ویژگی‌های اقلیمی، تشکیلات زمین شناسی و نوع سنگ‌ها (وضعیت کوهستانی و مرتفع شهرکرد با سازندهای زمین‌شناسی آهکی کرتاسه و از جنس آبرفت‌های آهکی شیلی، ذرات آنزیتی و ماسه سنگ و با میانگین بارش سالانه بیش از ۵۰۰ میلی متر (۸) و بیشتر بودن تغییرات در این منطقه و مسطح بودن و طبیعت دشت‌گونه منطقه مورد مطالعه در این تحقیق (وضعیت نسبتاً مسطح و پست فسا با سازندهای زمین‌شناسی آغاجاری و مارنی-تبخیری کربناته گچساران و سازند آواری رازک (۶) و با میانگین بارش سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر) می‌باشد که سبب کمتر شدن تغییرات و درنتیجه وابستگی مکانی و شعاع‌تاثیر بیشتر شده است. بنابراین در مناطق مسطح نسبت به مناطق کوهستانی می‌توان از اندازه‌گیری‌ها در فواصل دورتری برای برآورد در نقاط فاقد اندازه-گیری و پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب با استفاده از روش‌های زمین‌آماری استفاده کرد (نتایج تخمین در مناطق مسطح و با پیوستگی مکانی بیشتر، دقیق‌تر و قابل اعتمادتر از نتایج تخمین در مناطق کوهستانی و به شدت متغیر می‌باشد زیرا در مناطق کوهستانی عوامل موثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی مانند شرایط توپوگرافی، تشکیلات زمین‌شناسی، نوع سنگ‌ها و حتی ویژگی‌های اقلیمی دارای تغییرات بیشتری نسبت به مناطق مسطح می‌باشند).

جدول ۳ آماره‌های مختلف دقت روش مناسب تخمین (کریجینگ‌نقطه ای‌معمولی) را نشان می‌دهد. ارزیابی دوجانبه نشان داد که روش کریجینگ‌نقطه‌ای‌معمولی دقیق‌ترین روش تخمین برای تمامی ویژگی‌ها می‌باشد. ضریب تبیین بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین با روش کریجینگ‌نقطه‌ای‌معمولی بین مقادیر معنی‌دار ۰/۱۷ (برای پ‌هاش) و ۰/۶۳ (برای سختی کل و غلظت نمک‌های محلول) متغیر بود. مقادیر مثبت میانگین خطای باقیمانده و مقادیر کمتر از واحد میانگین هندسی نسبت خطا برای تمام ویژگی‌ها نشان می‌دهد که روش کریجینگ‌نقطه‌ای‌معمولی این ویژگی‌ها را مقداری بیش از مقدار واقعی برآورد نموده است (بیش تخمینی). بیشترین و کمترین ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌ترتیب مربوط به آنیون سولفات و پ‌هاش آب بود که به‌ترتیب نشان‌دهنده کمتر و بیشتر بودن دقت روش کریجینگ‌نقطه‌ای‌معمولی برای تخمین این ویژگی‌ها می‌باشد (جدول ۳). در تمام ویژگی‌ها به‌جز سختی کل، مواد جامد محلول و قابلیت‌هدایت‌الکتریکی مقدار ریشه‌میانگین‌مربعات‌خطا بسیار کمتر از ۴۰ درصد به‌دست آمد که نشان‌دهنده دقت زیاد روش کریجینگ‌نقطه‌ای‌معمولی می باشد (۱۴). نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های سایر محققان (احمد (۱۳)، شعبانی (۷)، تقی‌زاده‌مهرجردی و همکاران (۳)، و بارکا و پاسارلا (۱۴)) نیز که روش کریجینگ را مناسب‌تر از سایر روش‌ها معرفی نمودند مطابقت دارد. نتایج با یافته‌های حشمتی و بیگی‌هرچگانی (۴) نیز که روش کریجینگ را روشی مناسب و قابل اطمینان برای تخمین و پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های آب زیرزمینی شهرکرد معرفی کردند مطابقت دارد که احتمالاً به دلیل ماهیت فیزیکی-شیمیایی و ویژگی‌های توزیع آماری پارامترهای کیفی بررسی شده در آب زیرزمینی و همچنین دقت روش کریجینگ معمولی و تناسب به‌کارگیری این روش با ماهیت داده‌های مورد استفاده (روش کریجینگ معمولی برای تخمین داده‌هایی استفاده می‌شود که میانگین واقعی داده‌ها مشخص نباشد) می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه روش کریجینگ معمولی یک روش تخمین با بیشترین دقت و کمترین خطا (Best linear unbiased estimator) می‌باشد عمده پژوهش‌های انجام شده این روش را روش مناسب برای بررسی توزیع مکانی ویژگی‌های کیفی آب معرفی نموده‌اند البته در برخی موارد نیز بر خلاف نتایج حاصل از این تحقیق، روش‌های وزن دهی معکوس فاصله بهتر از روش کریجینگ معمولی معرفی

شده‌اند (۱و ۲۶).

نقشه‌های مقادیر تخمین‌زده و پهنه‌بندی شده با بهترین روش تخمین (کریجینگ‌نقطه‌ای معمولی) نشان می‌دهند الگوی تغییرات غلظت آنیون ها، کاتیون‌ها و قابلیت‌هدایت‌الکتریکی کاملاً مشابه می‌باشد که به دلیل همبستگی این ویژگی‌ها با یکدیگر است. الگوی تغییرات سختی کل و بی‌کربنات آب نیز به دلیل همبستگی مشابه یکدیگر می‌باشد (شکل ۱). نتایج نشان می‌دهد در شمال غربی منطقه غلظت آنیون‌ها، کاتیون‌ها، شوری (قابلیت‌هدایت‌الکتریکی)، و سختی کل آب کمتر و درنتیجه کیفیت آب برای مصارف مختلف از جمله شرب و کشاورزی بهتر از سایر بخش‌های منطقه می‌باشد. نقشه‌ها نشان می‌دهند به طور کلی آب‌های زیرزمینی در نیمه شمالی دشت مورد مطالعه نسبت به نیمه‌جنوبی از ویژگی‌های کیفی مطلوب‌تری برخوردارند که یکی از دلایل احتمالی آن علاوه بر متفاوت بودن تشکیلات زمین شناسی و نوع سنگ ها (وجود مواد و سنگ های گچی در بخش‌های جنوبی و عدم وجود و یا مقادیر کمتر این مواد در بخش‌های شمالی (۲))، می‌تواند زیادتر بودن دما، خشک‌تر بودن و در نتیجه بیشتر بودن میزان تبخیر و تعرق در نیمه جنوبی (۸) و همچنین نوع و تراکم کاربری اراضی باشد. کیت و همکاران (۱۹) نیز بیان کردند در داده‌های کیفیت آب زیرزمینی مربوط به منطقه کورتارو ایالت آریزونا در آمریکا تغییرات مکانی (و زمانی) به درجات و به دلایل مختلف (حاصل از منابع مختلف) وجود دارد. ایشان بیان کردند که برخی از این تغییرات دلیل هیدرولوژیکی خاصی ندارد ولی برخی نیز به کاربری اراضی مربوط می‌شود. ایشان منابع تغییرات مکانی-زمانی کیفیت آب زیرزمینی را در سه گروه کلی تقسیم بندی کردند: الف: تغییرات ناشی از کاربری اراضی که منجر به تغییرات مکانی و زمانی در منابع و مقدار آلاینده‌ها می‌شود. ب: تغییرات ناشی از ارتباط ناحیه اشباع و غیر اشباع که می‌تواند اثر کاربری اراضی بر کیفیت آب را تشدید یا تضعیف کند (منابعی که سبب ایجاد تغییر در این گروه می‌شوند عبارتند از: ساختمان چاه، مقدار و تغییرات زمانی پمپاژ، زمین شناسی، شرایط هیدرولیکی، شرایط فیزیکی-شیمیایی درون چاه و ناحیه اشباع و غیر اشباع). ج: تغییرات ناشی از تغییر در نحوه نمونه برداری و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها.

کیت و همکاران (۱۹) بیان کردند وضعیت زمین شناسی منطقه نیز با تاثیر بر الگوی جریان، مقدار جریان، فرایند انتقال و ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی بر تغییرپذیری مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی موثر باشد. آنان نیز گزارش کردند در مناطقی که کیفیت آب‌های زیرزمینی نامطلوب است سازندهای زمین شناسی ضخیم و عمیق و از جنس گچ و انهیدریت و یا رسوبات آتشفشانی می‌باشند و در این مناطق سابقه کاربری بیشتر و متراکم‌تر اراضی وجود دارد.

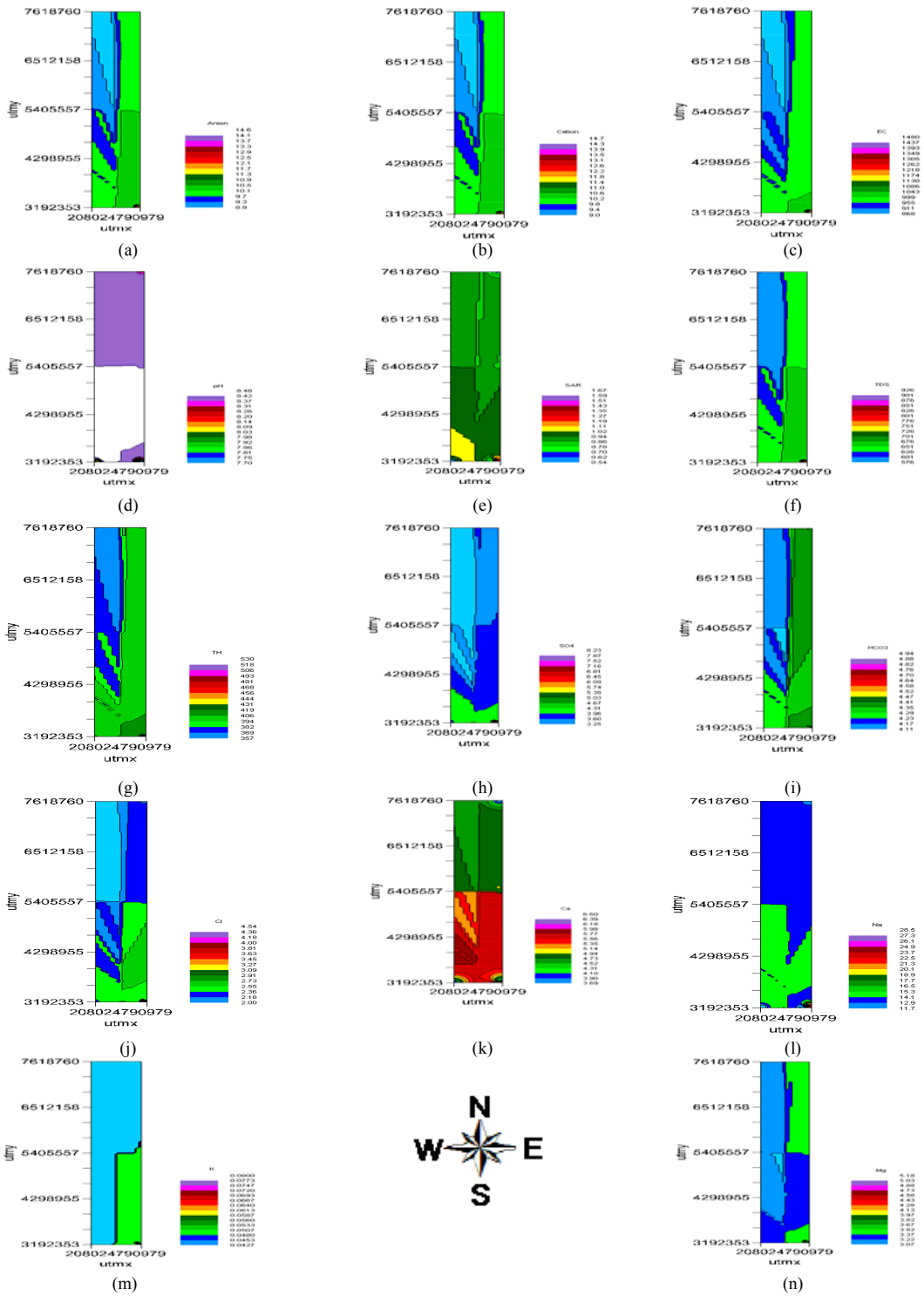
جدول ۳- نتایج ارزیابی (شاخص‌های آماری) تخمین ویژگی‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش کریجینگ‌نقطه‌ای معمولی در منطقه مورد مطالعه

ویژگی های کیفی آب	واحد اندازه گیری	معیارهای آماری††					
		R^2	MRE	RMSE	NRMSE	GMER	GSDER
سختی کل	میلی گرم در لیتر	۰/۶۳**	۲۸۳۱۸	۱۶۸/۲۸	۰/۸۴۱۵	۰/۷۰۴۸	۰/۰۳۷۳
مواد جامد محلول	میلی گرم در لیتر	۰/۶۳**	۱۰۰۱۹۶	۳۱۶/۵۴	۱/۱۴۲۰	۰/۸۳۰۹	۰/۰۵۹۹
قابلیت هدایت الکتریکی	میکروموس بر سانتی متر	۰/۶۰**	۲۱۳۴۱۱	۴۶۱/۹۶	۱/۰۴۸۳	۰/۷۸۶۶	۰/۰۴۴۳۸
پ هاش	------	۰/۱۷*	۰/۰۹۲۱	۰/۳۰۳۴۵	۰/۰۸۰۲	۰/۹۶۰۰	۰/۷۰۶۳۵
نسبت جذب سدیم†	$^{0.5}$(میلی گرم در لیتر)	۰/۴۱**	۰/۲۸۲۶	۰/۵۳۱۵۹	۱/۰۱۶۲	۰/۲۰۹۱	۰/۰۰۰۰۲
کاتیون ها	میلی اکی والان در لیتر	۰/۶۲**	۲۵/۷۹۱	۵/۰۷۸۵	۱/۲۰۵۳	۰/۸۲۶۴	۰/۰۵۵۳۱
کلسیم	میلی گرم در لیتر	۰/۴۱**	۱/۶۰۹۲	۱/۲۶۸۵	۱/۱۴۸۰	۰/۵۳۹۶	۰/۰۰۹۴۸
منیزیم	میلی گرم در لیتر	۰/۵۰**	۶/۹۸۶۳	۲/۶۴۳۲	۱/۲۰۹۱	۰/۴۹۰۵	۰/۰۰۲۲۱
سدیم	میلی گرم در لیتر	۰/۳۷*	۵۹/۳۰۴	۷/۷۰۰۹	۰/۷۳۷۸	۰/۶۸۰۳	۰/۰۲۴۴۱
پتاسیم	میلی گرم در لیتر	۰/۵۱**	۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۲۵۸	۱/۲۱۹۶	۰/۷۴۳۵	۰/۰۲۲۶۵
آنیون ها	میلی اکی والان در لیتر	۰/۶۲**	۲۶/۴۶۷	۵/۱۴۴۶	۱/۱۷۶۷	۰/۸۳۱۷	۰/۰۵۶۶۲
سولفات	میلی گرم در لیتر	۰/۴۵	۵/۹۵۴	۲/۴۴۰۴	۳/۲۹۵۴	۰/۱۲۳۳	۰/۰۰۰۰۰
بی کربنات	میلی گرم در لیتر	۰/۲۴	۱/۴۸۴۶	۱/۲۱۸۴	۰/۶۰۲۵۳	۰/۱۴۹۶	۰/۱۵۱۳۵
کلر	میلی گرم در لیتر	۰/۵۵	۴/۳۳۷۷	۲/۰۸۲۷	۱/۱۱۶۹	۰/۳۹۷۸	۰/۰۰۰۸۲

†. نسبت جذب سدیم (SAR) عبارتند از جذر نسبت سدیم به مجموع کلسیم و منیزیم موجود در آب بر حسب واحد میلی گرم در لیتر.

††. GSDER, GMER, NRMSE, RMSE, MRE, R^2 به ترتیب ضریب تبیین، میانگین خطای باقیمانده، ریشه میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، میانگین هندسی نسبت خطا و انحراف معیار هندسی نسبت خطا می باشند.

* و ** - به ترتیب در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی دار می باشند.



شکل ۱- نقشه مقادیر تخمین زده شده با روش کریجینگ نقطه‌ای معمولی (شکل های a تا n به ترتیب مربوط به غلظت آنیون، غلظت کاتیون، قابلیت هدایت الکتریکی، پ‌هاش، نسبت جذب سدیم، غلظت نمک‌های محلول، سختی کل، غلظت سولفات، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، سدیم، پتاسیم و منیزیم آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد)

نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفیت آب زیرزمینی منطقه که با دقت‌های قابل قبولی تهیه شده‌اند می‌توانند راهنمایی برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی، تعیین الگوی کشت و سیستم تناوب گیاهی، تعیین روش‌های آبیاری، صدور یا عدم صدور مجوزهای لازم برای توسعه چاه‌های موجود و یا حفر چاه‌های جدید و حفاظت از منابع آب و خاک منطقه باشند.

نتیجه‌گیری

ساختار مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه از مدل‌های همسانگرد کروی و نمایی پیروی کرد و مدل کروی به‌عنوان بهترین مدل معرفی شد. وابستگی مکانی ویژگی‌های مورد مطالعه در محدوده متوسط تا قوی قرار داشت. در بین روش‌های تخمین به کاربرده شده برای تمامی ویژگی‌ها، روش کریجینگ نقطه‌ای معمولی دقیق‌ترین و مناسبترین روش برآورد معرفی و با استفاده از نتایج آن، پهنه‌بندی انجام شد. کیفیت آب‌های زیرزمینی در نیمه شمالی و به‌ویژه شمال غرب منطقه مورد مطالعه مطلوب‌تر از سایر بخش‌ها بود (البته چنانچه تنها با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده مربوط به ۸۰ چاه و بدون استفاده از روش کریجینگ پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌ها انجام می‌شد دقت و قابلیت کاربرد نقشه‌های حاصل بسیار کمتر می‌بود). نقشه‌های تهیه شده می‌توانند در مدیریت و بهره-برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و غیرشرب، به کارگیری روش‌های کشاورزی و آبیاری، تعیین نوع گیاهان مناسب برای کشت در منطقه، مدیریت آبخیزها و مرتعداری، در منطقه مورد مطالعه راه‌گشا باشند و به حفظ منابع آب و خاک و استفاده پایدار از آنها کمک کنند.

سپاسگزاری

از دانشگاه فسا، دانشگاه شیراز، اداره آب شهرستان فسا و سازمان آب منطقه‌ای فارس به سبب حمایت از انجام این تحقیق و در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱- استواری ی.، بیگی هرچگانی ح. و داودیان ع.ر. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات مکانی نیترات در آب زیرزمینی دشت لردگان. مدیریت آب و آبیاری، ۲: ۵۵-۶۷.

۲- اویسی ب. ۱۳۷۸. گزارش زمین شناسی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فسا.

۳- تقی زاده مهرجردی ر.، زارعیان جهرمی م.، محمودی ش. حیدری الف. و سرمدیان ف. ۱۳۸۷. بررسی روشهای درون یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی های کیفی آبهای زیرزمینی دشت رفسنجان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۲(۵):۷۰-۶۳.

۴- حشمتی س.س. و بیگی هرچگانی ح. ۱۳۹۱. پهنه بندی شاخصهای کیفی آب زیرزمینی شهرکرد به منظور استفاده در طراحی سامانه‌های آبیاری. مجله پژوهش آب در کشاورزی ۲۶(۱): ۵۹-۴۳.

۵- دهقانی ف.، راهنمایی ر.، ملکوتی م.ج. و سعادت س. ۱۳۹۱. بررسی وضعیت نسبت کلسیم به منیزیم در برخی از آب های آبیاری کشور. مجله پژوهش آب در کشاورزی ۲۶(۱): ۱۲۵-۱۱۳.

۶- سازمان زمین شناسی کشوری. ۱۳۹۱. نقشه سازندهای زمین شناسی شهرستان فسا.

۷- شعبانی م .۱۳۸۷ . تعیین مناسبترین روش زمین آمار در تهیه ی نقشه ی تغییرات TDS و pH آبهای زیرزمینی (مطالعه ی موردی :دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب ۱ : ۵۸-۴۷.

۸- لاله‌زاری ر. و طباطبائی س.ج. ۱۳۸۹. خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد. محیط شناسی، ۵۳: ۸.

۹- محمدی م.، محمدی قلعه نی م. و ابراهیمی ک. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین. مجله پژوهش آب ایران ۵(۸):۵۲- ۴۱ .

۱۰- میرزایی س. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب پذیری و تهیه خطر و مدل های GIS آلودگی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از دراستیک و سینتکس. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد .۱۷۰ ص.

۱۱- نظری زاده ف.، ارشدیان ب. و زندوکیلی ک. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. اولین همایش منطقه ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوزه های کارون و زاینده رود. دانشگاه شهرکرد. ۱۲۳۶-۱۲۴۰.

۱۲- نقشه اقلیم فارس. ۱۳۸۹. اداره کل هواشناسی استان فارس (http://www.farsmet.ir)

13- 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 M.M. Sherif et al (eds) Groundwater Hydrology, Tokyo, Japan.
14- Barca E., and Passarella G. 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation. A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. Environmental Monitoring and Assessment, 137:261-273.
15- Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M. Parkin T.B. Karlen D.L. Turco R.F., and A.E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58:1501-1511.
16- Dash J.P., Sarangi A., and Singh D.K. 2010. Spatial variability of groundwater depth and quality parameters in National Capital Territory of Delhi. Environmental Management, 45:640-650.
17- Hengel T., Huvelink G.B.M., and Stein A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variabls based on regression–kriging. Geoderma, 120:75-93.
18- James B. 2000. Spatial variability of chemical constituents in groundwater over shor distances. International Conference on Water and Irrigation, 2 March, Coshocton, Ohio, USA.
19- Keith S.J., Wilson L.G., Fitch H.R., and Esposito D.M. 1983. Sources of spatial-temporal variability in groundwater quality data and methods of control. Groundwater Monitoring Program Report, Spring, Arizona, USA.
20- Kresic N. 1997. Hydrogeology and groundwater modeling. Lewis Publishers, USA.
21- Mallants D., Mohanty, B.P., Jacquesand D., and Feyen J. 1996. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Science*, 161:167-181.
22- Mogheir Y., Lima J.L.M.P., and Singh V.P. 2004. Characterizing the spatial variability of groundwater quality using the entropy theory: case study from Gaza Strip. Hydrological Processes, 18: 2579-2590.
23- Nas B. 2009. Geostatistical approach to assessment of spatial distribution of groundwater quality. Polish Journal of Environmental Studying, 6: 1073-1082.
24- 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 Limpur, Malaysia.
25- Webster R., and Oliver M. 2001. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, England.
26- Widory D., Kloppmann W., Chery L., Bonnin J., Rochdi H. and Guinamant J. 2004. Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach. Contaminant Hydrology, 72(4): 165-188.
27- Yamamoto J.K. 2000. An alternative measure of the reliability of ordinary kriging estimates. Mathematical Geology, 32: 489-497.
28- Zheng Z., Zhang D., Chai M.F., Zhu X., Shi Z., and Zhang S. 2009. Spatio temporal changes in soil salinity in a drip-irrigated field. Geoderma, 149: 243–248.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.4, Sept.-Oct. 2013, p. 812-822

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۲، ص. ۸۲۲-۸۱۲

Zoning the Groundwater Chemical Quality Attributes of Fasa Plain Using Geostatistical Approaches

M. Zahedifar[1*]- S.A.A. Moosavi[2] - M. Rajabi[3]
Received: 13-03-2013
Accepted: 25-08-2013

Abstract

Management and chemical quality of groundwater is very important in arid regions. Fasa plain (in Fars province) is an arid-semi arid region in Iran, that almost all of its residents are using groundwater in agricultural activities. Recent water shortages resulted in deepens water table, salinization and reduced groundwater quality in this area. Studying the spatial variability and zoning of the chemical quality attributes of water in order to optimum utilization and management of soil and water resources is one of the practical methods in conservation of these resources. Therefore, the spatial variability for some of groundwater quality attributes in 80 wells located in Fasa plain of Fars province including total hardness, total dissolved solids, electrical conductivity, pH, soluble cations (calcium, magnesium, sodium, and potassium) and anions (sulfate, chloride, and bicarbonate) concentration was studied and attributes were estimated by applying geostatistical methods. The suitable estimation method was determined and zoning of the studied area was done for each studied attributes. The spatial variability structure of studied attributes followed the spherical and exponential models having the range parameters of 6700 to 140600 m belonging to the moderate to strong spatial correlation classes. The Ordinary Point Kriging was determined as the suitable estimating method that used for preparing the maps of water quality zoning. The quality of groundwaters in the southern half of the studied area was lower than that of the northern half, therefore, the more sensitive management in utilization of water resources and in using of agricultural systems is needed in order to avoiding the deterioration of water quality and worsening of groundwater status that is directly related to the residents livelihood.

Keywords: Geostatistics, Ordinary kriging, Inverse distance weighting, Spatial correlation

1,3- Assistant Professor and B.Sc. Student of Rangeland and Watershed Management Department, College of Agriculture and Natural Resources, Fasa University, Respectively
(*-Corresponding Author Email: maryamzahedifar2000@yahoo.com)
2- Assistant Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Shiraz University