

برآورد مکانی مولفه‌های کیفی آب‌های زیر زمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت گلپایگان)

محمدرضا حاجی‌هاشمی جزی^{۱*}، مجید آتشگاهی^۲ و امیرحسین حمیدیان^۳
^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
^۲ دانشجوی کارشناسی‌ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
^۳ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۲۱، تاریخ تصویب: ۸۹/۱۱/۴)

چکیده

امروزه استفاده از روش‌های زمین آمار برای تخمین متغیرهای مکانی با استفاده از داده‌های همان متغیر (کریجینگ) یا با استفاده از متغیرهای کمک (کوکریجینگ) در علوم آب و خاک بسیار مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. با توجه به اهمیت اطلاع از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و نیز هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری پارامترهای SAR، Na، Ca، TH، TDS و EC، یافتن راهکاری برای تخمین آنها با استفاده از پارامترهایی که اندازه‌گیری آنها راحت‌تر است امری ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور از اطلاعات مربوط به نمونه‌های حاصل از ۸۴ حلقه چاه دشت گلپایگان استان اصفهان استفاده شد و با روش‌های زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. پس از نرمال سازی داده‌ها، واریوگرام ترسیم شد و برای انتخاب مدل مناسب جهت برازش بر روی واریوگرام تجربی از مقدار RSS کمتر و استحکام ساختار فضایی قوی تر استفاده شد. نتایج حاصل از روش کوکریجینگ با کریجینگ برای برآورد SAR، Na، Ca، TH، TDS و EC به کمک معیار آماری RMSE که میزان دقت را نشان می‌دهد، مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت نتایج حاصل از محاسبه RMSE نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ برتری ندارد. اما با توجه به RMSE کمتر روش کوکریجینگ که نشان دهنده دقت بالا و خطای پایین است، نقشه‌های پهنه‌بندی مولفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با این روش در محیط GIS تهیه شد.

واژه‌های کلیدی: مولفه کیفی آب‌های زیرزمینی، کریجینگ، کوکریجینگ، RMSE، گلپایگان

مقدمه

بهره‌برداری زیاد و روزافزون از منابع آب زیرزمینی می‌تواند کیفیت آب را در یک منطقه کاملاً تحت تاثیر قرار دهد و باعث شور شدن سفره‌های آب زیرزمینی شود. در مواردی که آب محتوی املاح زیاد و جنس خاک نیز ریز بافت و رسی باشد، امکان دارد به علت تراکم زیاد نمک در خاک و عدم قابلیت نفوذ آب در این نوع زمین‌ها، قدرت حاصلخیزی خاک آنچنان کاهش یابد که دیگر کشت و زرع در آنها امکان‌پذیر نباشد به‌خصوص در مناطقی که آب شیرین برای آبیاری و آبشویی مداوم زمین وجود نداشته باشد. بسته به نوع و میزان املاح آب، امکان دارد خاک، به شور و قلیایی شدن گرایش یابد (Kardovani, 2007). Missaghi و Mohammadi (2002) سطح آب زیر زمینی را با استفاده از روش‌های متداول درون یابی و زمین آمار، تخمین زدند و این روش‌ها را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان از دقت قابل قبول روش زمین آمار و برآوردکننده کریجینگ^۱ در مقایسه با دیگر روش‌های آمار کلاسیک داشت. Ahmed (2002) روش کریجینگ را در تخمین وابستگی مکانی متغیرهای کیفی آب، مانند کل جامدات محلول (TDS)^۲ بکار برد و نتیجه گرفت که کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد. Ella و همکاران (1999)، در رابطه با تغییرات مکانی غلظت ازت نیتراتی در آب‌های زیر زمینی کم عمق و عمیق مطالعه نمودند. نتایج به‌دست آمده ساختار مکانی ضعیفی از غلظت ازت نیتراتی در چاه‌های کم عمق و عمیق نشان داد. Istok و Cooper (1998) روش کریجینگ را در برآورد غلظت عناصر سنگین مورد استفاده قرار دادند آنها به این نتیجه رسیدند که روش یاد شده بهترین برآورد کننده خطی ناریب غلظت سرب است. Dagostino و همکاران (1998)، به بررسی تغییرات مکانی و زمانی غلظت نیترات به کمک روش‌های

کریجینگ و کوکریجینگ^۳ در آب‌های زیر زمینی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که روش کوکریجینگ باعث افزایش دقت در برآورد غلظت نیترات شده است. Rizzo و Mouser (2000) زمین آمار را برای تجزیه تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده و نمایه‌های کیفیت شامل غلظت کلر، سولفات، سدیم، کلسیم و میزان شوری را مورد بررسی قرار دادند. آنها جمعیت میکروبی را به عنوان متغیر کمی در روش کوکریجینگ به‌کاربردند، نتایج نشان داد که کوکریجینگ دقت بهتری در برآورد کیفیت آب‌های زیرزمینی دارد. به طور کلی می‌توان گفت زمین آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند یا به عبارتی بین مقادیر، فاصله و جهت قرار گرفتن آنها یک ارتباط فضایی وجود دارد (Hassanipak, 2006). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در سال‌های اخیر با افزایش روز افزون ایجاد کارخانه‌های صنعتی، برداشت بی رویه از چاه‌ها و همچنین حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و زیر کشت بردن اراضی که دارای قابلیت کشت نبودند روبرو بوده است در این مقاله از برآورد کننده‌های کریجینگ و کوکریجینگ برای برآورد مکانی برخی مولفه‌های کیفی آب‌های زیر زمینی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

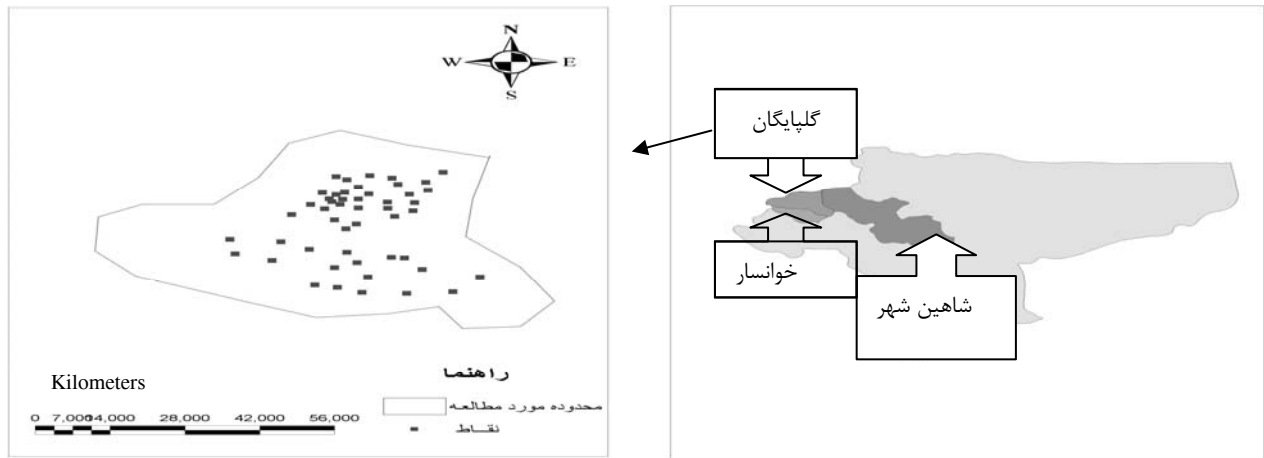
محدوده مورد مطالعه

دشت گلپایگان در فاصله ۱۵۰ کیلومتری استان اصفهان واقع شده و وسعت آن برابر با ۳۸۲۸/۶۹ کیلومترمربع است. در این مطالعه از ۸۴ حلقه چاه در سطح منطقه، نمونه‌برداری شد و شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد.

۱-Kriging

۲- Total Dissolve Solid

۳- Cokriging



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری

و یک نیم تغییرنما، برآورد می‌کند. فرم محاسباتی یک نیم تغییرنما به صورت رابطه ۱ است:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i + h) - Z(x_i))^2 \quad (1)$$

در این رابطه؛ $\gamma(h)$: مقدار شبیه واریوگرام در فاصله (h) مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان $(x_i + h)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i) تعداد اندازه‌گیری‌های انجام شده در محدوده مورد مطالعه است (Marofi et al., 2009).

واریوگرام‌ها از سه پارامتر اثر قطعه‌ای، شعاع تاثیر و حد آستانه تشکیل شده‌اند. مقدار نیم تغییرنما به ازای $h=0$ را اثر قطعه‌ای می‌گویند. که معمولاً ناشی از خطای نمونه‌برداری و یا آنالیز داده‌ها است. با افزایش h مقدار نیم تغییرنما تا فاصله معینی اضافه شده سپس به حد ثابتی می‌رسد که این فاصله را شعاع تاثیر و مقدار نیم تغییرنما که ثابت شده را حد آستانه گویند که همان واریانس مکانی متغیر مورد بررسی است (Hassanipak, 1998).

طول و عرض جغرافیایی محل نمونه‌ها با GPS^۱ (سیستم موقعیت یاب جهانی) ثبت و هر نمونه در ظروف پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌های به‌دست آمده برای پارامترهای SAR^۲ (نسبت جذب سدیمی)، Ca، Na، سختی کل (TH)^۳، TDS و هدایت الکتریکی (EC)^۴ در نرم افزار Excel جهت تهیه بانک اطلاعاتی به فرمت dbf ذخیره شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و با روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور گسترش و تعمیم اطلاعات نقطه‌ای از روی نقاط نمونه‌برداری شده و نیز تغییرات مکانی و زمانی هر متغیر نیاز به مدل‌هایی است که بتواند متغیر مورد بررسی را در نقاط مجهول شبیه‌سازی نماید. در مدل‌های زمین آماری برای تخمین متغیرها در نقاط مجهول، موقعیت مکانی داده‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود و ارتباط بین داده‌ها به صورت یک مدل ریاضی ارائه می‌گردد. برآوردکننده‌های زمین آماری مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم

۱- Global Position System

۲- Sodium Absorption Rate

۳- Total Hardness

۴- Electricity Conductivity

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^m \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (3)$$

که در آن؛ $Z_2(x_i)$: متغیر مکانی کمکی یا ثانویه

$Z_1(x_j)$: متغیر مکانی اصلی

$Z^*(x_0)$: مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 و m و n به ترتیب تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای کمکی و اصلی λ_{2j} و λ_{1i} عبارت از وزن‌های آماری اختصاص داده شده به متغیرهای اصلی و کمکی است.

به منظور ارزیابی روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ از نرم افزار ArcGIS که توانایی انجام تکنیک ارزیابی متقابل و معیار آماری ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطا استفاده شد که معادله‌ی محاسبه‌ی آن به قرار رابطه ۴ است:

$$RMSE = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2 \right] / n} \quad (4)$$

که در آن؛ $\hat{Z}(x_i)$: مقدار برآورد شده در نقطه‌ی x_i

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه‌ی x_i

i : شماره‌ی نقاط

n : تعداد نقاط مشاهده شده

در روش ارزیابی متقابل در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود و در پایان به ازای هر نقطه‌ی مشاهده‌ای یک نقطه‌ی برآورد وجود خواهد داشت. برای صحت سنجی روابط رگرسیونی انتخاب شده برای برآورد SAR، Na، Ca، TH، TDS و EC نیز از همین پارامتر استفاده شد (Marofi et al., 2009).

نتایج

داده‌های مربوط به هر یک از متغیرهای SAR، Na، Ca، TH، TDS و EC با لگاریتم طبیعی نرمال شد. جهت بررسی رابطه‌ی بین پارامترهای SAR، Na، Ca، TH، TDS و EC از تجزیه‌ی همبستگی به روش پیرسون در

تخمین مکانی به روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ

روش‌های مختلفی برای تخمین زدن وجود دارد که در یک تقسیم بندی کلی می‌توان آنها را به روش‌های زمین آماری و روش‌های کلاسیک تقسیم بندی نمود. روش‌های کلاسیک از آمار کلاسیک برای تخمین استفاده می‌کند. در صورتی که در روش‌های زمین‌آمار، تخمین براساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد. تخمین زمین آماری فرآیندی است که طی آن مقدار یک کمیت در یک نقطه‌ی معلوم با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به دست می‌آید. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است و بهترین برآوردکننده خطی ناریب است. در صورتی که $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i) ، Z_0 مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه (x_0) از ترکیب خطی رابطه ۲ به دست می‌آید:

(۲)

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

در این رابطه؛ λ_i : وزن داده شده به متغیر x در نقطه i : تعداد نقاطی که متغیر در آنها اندازه‌گیری شده است.

این نوع کریجینگ را کوکریجینگ خطی می‌نامند. زیرا ترکیب خطی از n داده است. شرط استفاده از این برآوردکننده این است که متغیر دارای توزیع نرمال باشد (Marofi et al., 2009). همانطوری که در آمار کلاسیک، روش‌های چند متغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ براساس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین زد، که این خصوصیت می‌تواند باعث دقت بیشتر تخمین‌ها و صرفه جویی در هزینه‌ها (با نمونه برداری کمتر) شود. معادله کوکریجینگ با فرض وجود یک متغیر کمکی و یک متغیر اصلی به شرح رابطه ۳ است:

مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد با یکدیگر رابطه معناداری داشتند.

محیط نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. طبق این جدول مولفه‌های

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین مولفه‌های کیفی آب (ضریب همبستگی پیرسون)

	SAR	(meq/l) Na	(meq/l) Ca	(mg/l) TDS	(μ s/cm) EC	(mg/l) TH
SAR	۱					
(meq/l) Na	**۰/۹۴۶	۱				
(meq/l) Ca	**۰/۴۵۴	**۰/۵۰۸	۱			
(mg/l) TDS	**۰/۹۰۳	**۰/۹۷۹	**۰/۶۲۹	۱		
(μ s/cm) EC	**۰/۹۱۹	**۰/۹۸۸	**۰/۶۱۵	**۰/۹۹۳	۱	
(mg/l) TH	**۰/۷۷۹	**۰/۸۸۲	**۰/۸۰۵	**۰/۹۴۷	**۰/۹۴۲	۱

** داده‌ها در سطح ۹۹ درصد با یکدیگر ارتباط معنی‌داری دارند.

عنوان متغیر کمکی استفاده شد که دارای بیشترین ضریب همبستگی با متغیر مورد نظر باشد (جدول ۱). واریوگرام‌های متقابل مربوطه در شکل ۳ ارائه شده است. برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی، از میان دو روش کریجینگ و کوکریجینگ از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)^۲ استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ با روش کریجینگ تفاوت محسوسی ندارد (جدول ۵)، اما با توجه به RMSE کمتر روش کوکریجینگ که نشان دهنده دقت بالا و خطای کمتر است، نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های آب زیرزمینی با این روش در محیط GIS تهیه شد.

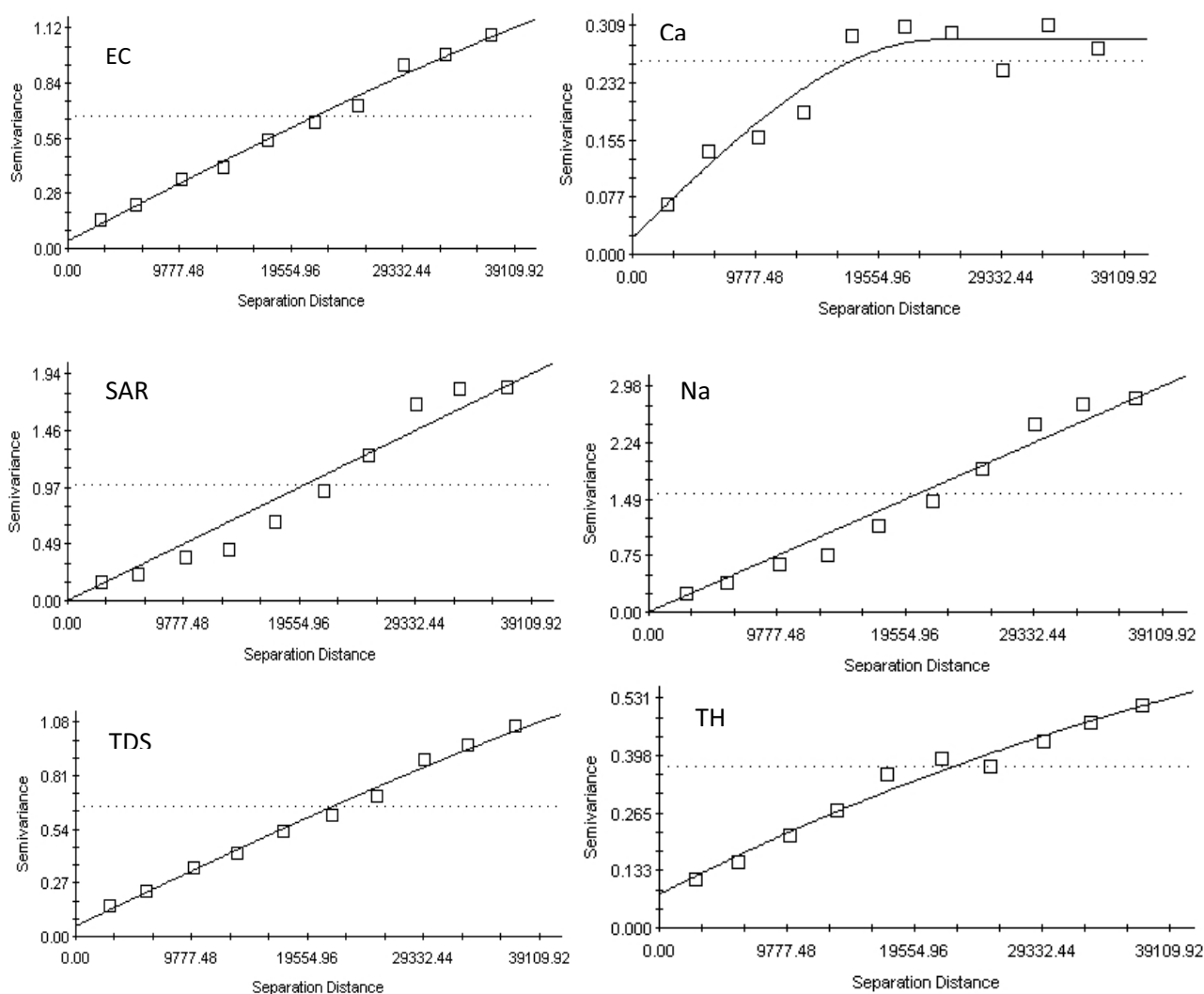
تجزیه و تحلیل زمین آماری

به منظور بررسی همبستگی مکانی و ساختار مکانی متغیرها با استفاده از نرم افزار تخصصی زمین آماری GS^+ نیم تغییرنمای داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از نیم تغییرنمای می‌توان علاوه بر بررسی ساختار مکانی، شعاع همبستگی متغیرها، بررسی ایستایی داده‌ها، همسانگردی متغیرها و وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها را نیز تشخیص داد. جهت انجام آنالیز بر روی نیم تغییرنمای داده‌های SAR، Na، Ca، TH، TDS و EC بعد از نرمال سازی، واریوگرام‌های هر کدام از متغیرها با نرم افزار GS^+ رسم شد (شکل ۲). مدل مناسب برای برازش بر روی نیم تغییرنمای تجربی با توجه به مقدار RSS^1 (مجموع باقیمانده مربعات) کمتر و میزان نسبت $C_0/(C_0+C)$ که باید کمتر از ۰/۵ انتخاب شد. این نسبت معرف آن است که چه مقدار از کل تغییر پذیری را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند (Taghizade Mehrjardi et al., 2009). جدول ۲ پارامترهای واریوگرام برازش شده به داده‌های SAR، Na، Ca، TH، TDS و EC و بهترین مدل برازش داده شده به واریوگرام را برای هر کدام از این عوامل نشان می‌دهد.

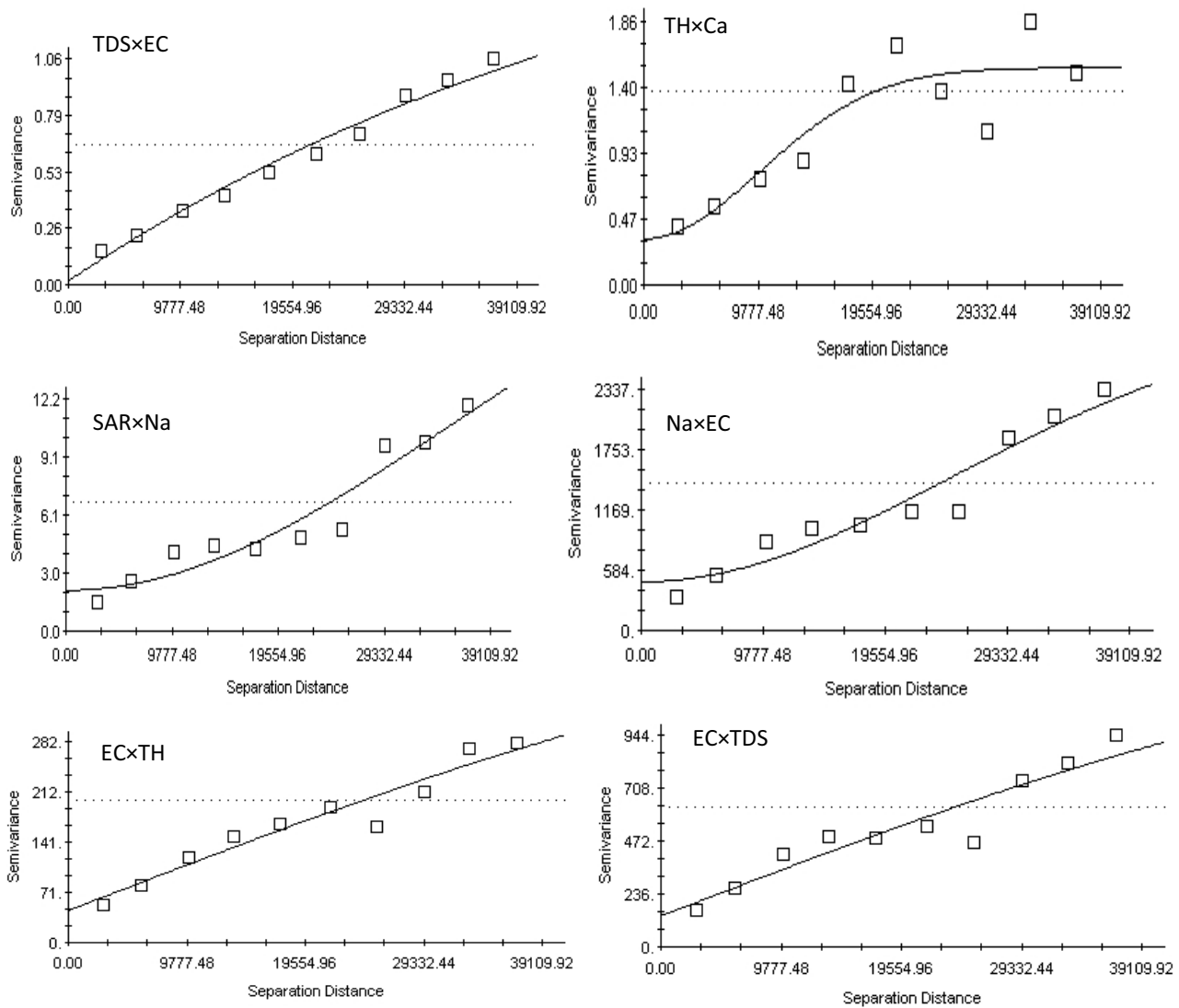
در روش کوکریجینگ، پس از تشکیل ماتریس همبستگی برای پیش بینی کیفیت آب از مولفه‌ای به

جدول ۲- پارامترهای واریوگرام برازش داده به مولفه‌ها و بهترین مدل برازش داده به واریوگرام

مولفه کیفی آب	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	آستانه (C_0+C)	شعاع تاثیر (Km)	$C_0/(C_0+C)$	R_2	RSS
SAR	کروی	۰/۰۶۲	۰/۳۳	۳۸۷۰۰	۰/۱۸۷	۰/۹۸۱	۰/۰۰۱۲
Na(meq/l)	گوسی	۰/۲۱۰	۲/۴۳	۴۹۴۵۰	۰/۰۶۱	۰/۹۸۹	۰/۱۰۴۰
Ca(meq/l)	کروی	۰/۰۲۲	۰/۲۹	۲۴۲۰۰	۰/۰۷۵	۰/۹۱۴	۰/۰۰۵۶
TDS(mg/l)	کروی	۰/۰۵۳	۱/۵۹	۸۱۱۰۰	۰/۰۳۳	۰/۹۹۱	۰/۰۰۷۶
EC(μ s/cm)	کروی	۰/۰۳۸	۱/۶۶	۸۱۱۰۰	۰/۰۲۲	۰/۹۹۲	۰/۰۰۷۷
TH(mg/l)	نمایی	۰/۰۷۹	۰/۵۳	۸۴۵۹۰	۰/۱۴۲	۰/۹۷۸	۰/۰۰۳۶



شکل ۲- واریوگرام‌های مربوط به کیفیت آب زیر زمینی



شکل ۳- واریوگرام‌های متقابل مربوط به کیفیت آب زیرزمینی

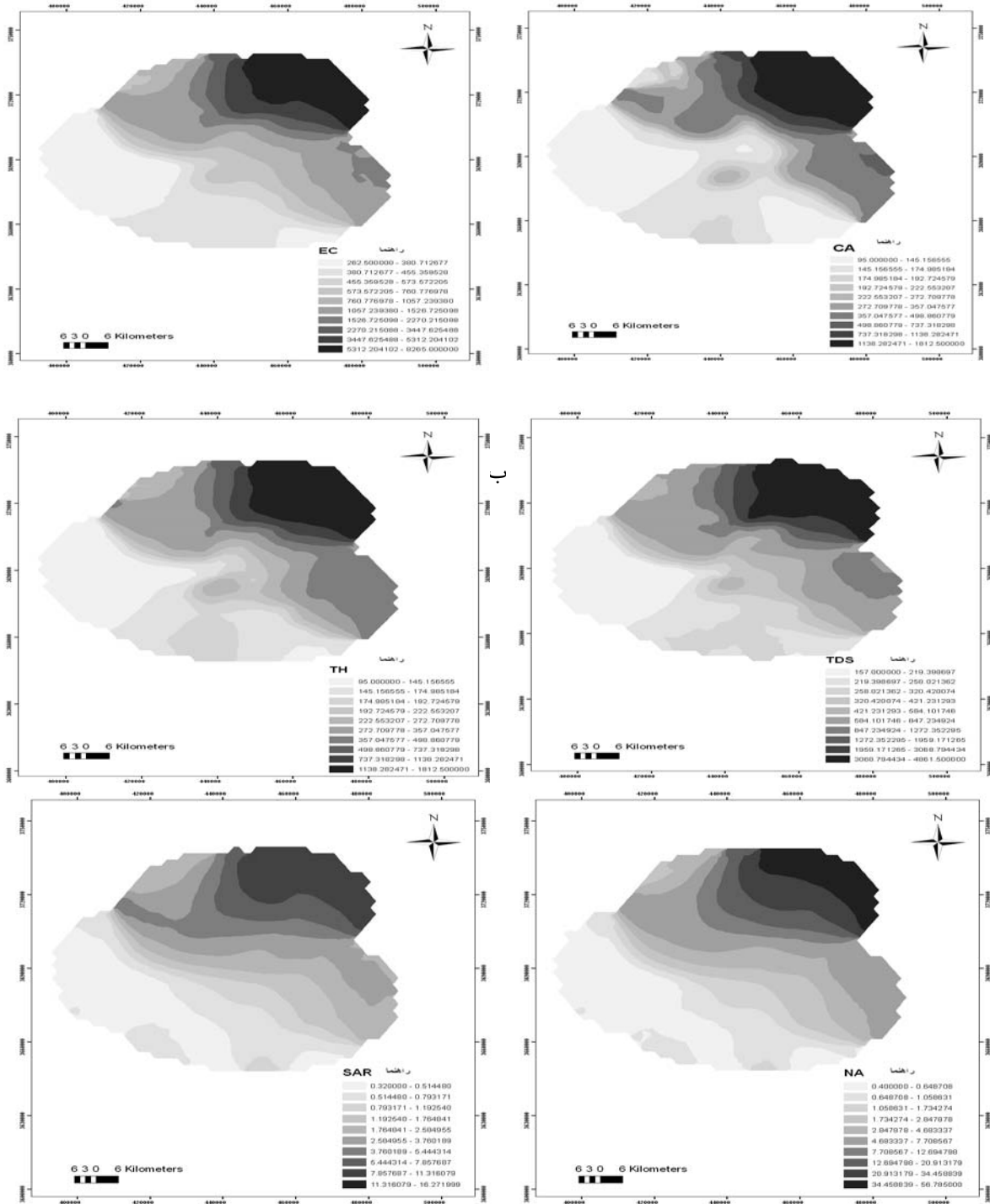
جدول ۳- نتایج RMSE برای برآورد کیفیت آب زیرزمینی

مولفه کیفی آب زیرزمینی	کریجینگ	کوکرینگ
SAR	۰/۹۲۵۴	۰/۹۲۰۵
Na (meq/l)	۰/۹۲۶۱	۰/۹۱۲۳
Ca (meq/l)	۱/۰۵۹	۱/۰۲۵
TDS (mg/l)	۱/۱۷۷	۱/۰۲۲
EC (μs/cm)	۰/۹۳۶۷	۰/۹۰۴۹
TH (mg/l)	۰/۹۴۴۱	۰/۹۱۱۵

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد پس از این که واریوگرام ترسیم و مدل مناسب نیز برازش داده شد، مولفه‌های مربوطه استخراج می‌شود. بر طبق مشاهدات، استحکام ساختار فضایی در مولفه‌های کیفی آب مورد مطالعه بسیار قوی بود (مقدار مولفه $C_0/(C_0+C)$ کمتر از ۰/۲۵ که در جدول ۲ نشان داده شده است). این موضوع نشان دهنده دقت بالا و پیوستگی مکانی مدل‌های برازش داده شده است. برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی از مقدار RMSE (میانگین مجذور مربعات خطا) استفاده شد که هر چه این مقدار کمتر باشد، نشان دهنده این است که این روش صحت بیشتری در برآورد مکانی مولفه‌های کیفی آب دارد. RMSE محاسبه شده برای هر کدام از روش‌ها، نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ برتری ندارد. ولی با توجه به RMSE کمتر روش کوکریجینگ که نشان دهنده خطای کمتر و صحت بیشتر است، نقشه‌های پهنه‌بندی مولفه‌های آب زیرزمینی با این روش در محیط GIS تهیه شد. که با نتایج Rizzo & Mouser (2000)، et al. Dagostino (1998)، Ahmadali et al. و Taghizade Mehrjardi et al. (2009)، al. (2008) مطابقت داشت. Rizzo و Mouser (2000)، برای پهنه‌بندی مولفه‌های کیفیت شامل سدیم، کلر، سولفات، کلسیم و شوری روش کوکریجینگ را به عنوان روش مناسب معرفی کردند. نتایج به دست آمده به طور کلی نشان دهنده این است که روش کوکریجینگ برای بیشتر پارامترهای آب زیرزمینی مناسب است و با توجه به این که در این روش از همبستگی بین متغیرهای مختلف استفاده می‌شود پس می‌توان گفت که بین مولفه‌های آب زیرزمینی رابطه معنی‌دار وجود دارد (Habibi Arbatani et al., & Zehtabyan et al., 2010). با توجه به اصول زمین‌آمار، متغیری که همبستگی مکانی مناسب و واریانس تخمینی کمتری دارد

برای تخمین، نیاز به نمونه برداری کمتری دارد و از این رو هزینه نمونه برداری آن نیز کمتر خواهد شد (2010 Zehtabian et al.). این یافته با نتایج Misaghi و Mohammadi (2010) Zehtabian و همکاران (2010) و Ahmed (2002) مطابقت داشت که همه آن‌ها نیاز به نمونه برداری کمتر و به طبع کاهش هزینه نمونه برداری با استفاده از روش‌های زمین‌آمار اشاره دارند. با توجه به نقشه‌های تهیه شده، مشخص شد که غلظت مولفه‌های کیفی در شمال شرقی منطقه، بیش از بقیه مناطق این دشت است (شکل ۴) که با توجه به صنعتی و شهری بودن شمال شرق منطقه، احتمال می‌رود بالا بودن غلظت این مولفه‌ها در این منطقه به همین دلیل باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود، مطالعاتی مبنی بر این احتمال که غلظت مولفه‌ها در شمال شرق منطقه به دلیل صنعتی و شهری بودن منطقه است، صورت گیرد. همچنین با توجه به خشکسالی‌های اخیر و روند استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی که خطر شور شدن و از بین رفتن زمین‌های کشاورزی منطقه و روند بیابانزایی را در منطقه تسریع خواهد کرد، به مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی در این منطقه، بیشتر توجه شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود که سایر روش‌های زمین‌آمار به منظور مقایسه هر چه بهتر و بیشتر روش‌های زمین‌آمار با روش‌های معین مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل ۴- نقشه‌های پهنه‌بندی مولفه‌های کیفی آب‌های زیر زمینی (EC و TDS, TH, Ca, Na, SAR)

References

- Ahmadali, Kh.; S. Nickmehr and A. Liaghat. 2008. Evaluation of kriging and cokriging methods for the estimation of deep soil acidity and salinity (case study: plains of Bokan). *Iranian Journal of Water Research* 2: 55-64.
- Ahmed, S. 2002. Groundwater monitoring network design: application of Geostatistics with a few Case studies from a granitic aquifer in a semiarid region. In: *Groundwater Hydrology*, M.M. Sherif, V.P. Singh and M. Al-Rashed (Eds.), Balkema, Tokyo, Japan. 2: 37-57.
- Barca, E. and G. Passarella. 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation. A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation, *Environmental Monitoring and Assessment*, 137: 261-73
- Dagostino, V.; E.A. Greene; B. Passarella and G. Vurro. 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. *Environmental Geology*. 36: 285-295.
- Ella, V.B.; S.W.Melvin and R.S. Kanwar. 1999. Spatial analysis of NO₃-N concentration in glacial till. ASAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July 1999, ASAE Paper No. 992004.
- Hassanipak, A.A. 2006. *Geostatistics*. Tehran University, 330 p. (In Persian).
- Habibi Arbtani, V. ;A. Ahmadi and M.M. Fattahi. 2009. Modeling of spatial variations of some chemical characteristics of underground waters using geostatistical methods. *Iranian Watersheds Science and Engineering*. 7: 23-34.
- Istok, J.D. and R.M. Cooper. 1998. *Geostatistics Applied to Groundwater Pollution*. III: Global Estimates, *Journal of Environmental Engineering*, 114(4): 915-928.
- Kardovani, P., 2007. *Water; resources and issues in Iran*, Tehran University Press, 237p.
- Mohammadi, J. 2006. *Pedometry, Spatial Statistics (2nd Vol.)*. Nashre Pelk, 453p.
- Missaghi, F. and K. Mohammadi. 2002. Estimation of groundwater levels using conventional interpolation techniques and comparison with geostatistics technique, twenty-first meeting on Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Country: 588 - 590.
- Marofi, S.; A. Toranjeyan and H. Zare Abyaneh. 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream waters in Hamedan-Bahar plain. *Journal of Water and Soil Conservation*, 16: 169-187.
- Rizzo, D.M. and J.M. Mouser. 2000. Evaluation of Geostatistics for Combined Hydrochemistry and Microbial Community Fingerprinting at a Waste Disposal Site: 1-11
- Taghizade Mehrjardi, R.; M. Zareian Jahromi; Sh. Mahmodi; A. Heidari and F. Sarmadian. 2009. Reviewing methods of spatial interpolation to investigate the underground water quality parameters, Rafsanjan plain. *Journal of Iranian Watersheds Science and Engineering*. 2: 63-70.
- Zehtabyan, Gh.; A. Jaanfaza; H. Mohammad Asgari and M.C. Nematollahi. 2010. Modeling of spatial variations of some groundwater chemical properties (case study: Garmsar watershed). *Journal of Range and Desert Research of Iran*. 17: 61-73.

Spatial estimation of groundwater quality factors using geostatistical methods (case study: Golpayegan plain)

M. R. Hajhashemijazi¹, M. Atashgahi² and A. H. Hamidian³

¹ M. Sc. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

² M. Sc. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

³ Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

(Received: 13 December 2010, Accepted: 24 January 2011)

Abstract

Nowadays, much attention has been paid on using geostatistical methods for estimation of spatial parameters, either using the variables of these parameters (kriging) or auxiliary variables (cokriging), in water and soil sciences. The quality of ground water for agriculture is very important; however, it is expensive and time consuming to measure parameters such as SAR, Na, Ca, TH, TDS and EC. Therefore, it is essential to explore methods for estimation of these parameters based on those which can be easily measured. In this paper, information on individual samples taken from 84 wells of Golpayegan plain was investigated using, kriging and cokriging geostatistical methods. Variograms were produced using the normalized data. In order to select the appropriate model fitting the experimental variograms, lower values of RSS and stronger spatial structures were used. Outputs of the cokriging and kriging for estimation of SAR, Na, Ca, TH, TDS and EC using RMSE were evaluated. The results showed no preference for using cokriging over kriging method. However, because of lower RMSE value of cokriging, this method was used for the preparation of underground water zoning maps using GIS.

Keywords: groundwater quality factor, kriging, cokriging, RMSE, Golpayegan