فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۱۷، شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۷۳-۶۱ (۱۳۸۹)

مدلسازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی در حوزه آبخیز گرمسار)

غلامرضا زهتابیان[۱]، عنایت اله جان فزا[۲] ، حسین محمدعسگری[۳] و محمدجواد نعمت‌الهی[٤*]

۱- استاد، دانشکده منابع طبیعي، دانشگاه تهران
۲- کارشناسي ارشد بیابانزدایي، دانشکده منابع طبیعي، دانشگاه تهران
۳- دانشجوي دکتراي بیابان‌زدایي، دانشکده منابع طبیعي، دانشگاه تهران
۴*- نویسنده مسئول، کارشناسي ارشد بیابانزدایي، دانشکده منابع طبیعي، دانشگاه تهران پست الکترونیك:javad.nematolahi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش:۸۸/۱۱/۰۹

چکیده

تغییر در کیفیت آبهای زیرزمینی که معمولاً بر اثر مدیریت غلط استحصال آب زیرزمینی رخ می‌دهد مقدمه‌ای بر تخریب سایر منابع چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم است. این تحقیق با هدف مدلسازی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روشهای زمین‌آماری و معین انجام شد. عاملهای کاتیون، آنیون، یون سولفات و یون بی‌کربنات از کل خصوصیات آب زیرزمینی انتخاب شدند. به‌طوری‌که، در ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از روش کولوموگراف- اسمیرنوف بررسی گردید. سپس تجزیه و تحلیل واریوگرافی و واریوگرام متقابل عاملها محاسبه گردید. ارزیابی نتایج با محاسبه مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی انجام شد. نتایج نشان داد که روشهای زمین‌آماری برتری قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به روشهای معین بجز در مورد عامل کاتیون داشته که روش تخمین عام بهترین روش بوده است. در عاملهای آنیون و یون سولفات کمترین میزان *RMSE* در روش کوکریجینگ و به میزان ۹/۱ و ۲/۵۵ محاسبه شده است، این عدد برای عامل یون بی‌کربنات در روش کریجینگ گسسته ۰/۹۰؛ اما در مورد عامل کاتیون برخلاف عاملهای دیگر روش معین تخمین عام کمترین خطا را به خود اختصاص داده است و عدد ۱۲/٤۵ محاسبه گردیده است. به‌طوری‌که استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ دقت نتایج را بجز در عامل بی‌کربنات افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، روشهای زمین‌آماری و معین، کوکریجینگ، میانگین مجذور مربعات خطا (*RMSE*).

مقدمه

تغییر در کیفیت آبهای زیرزمینی که معمولاً بر اثر مدیریت غلط استحصال آب زیرزمینی رخ می‌دهد مقدمه‌ای بر تخریب سایر منابع چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم است. در مناطق خشک که وابستگی به این منابع بیشتر است اثر تخریبی شدت بیشتری خواهد داشت، زیرا به علت ضعف طبیعی در منابع آب و خاک فشار بر این منابع به نسبت بیشتر از سایر مناطق است. شور شدن خاکها تنها یکی از مشکلات بوجود آمده می‌باشد؛ هرچند مشکلات

اجتماعی و اقتصادی که به دنبال خواهد آمد اثر به نسبت پایدارتری از خود به جای خواهد گذاشت. شناسایی به موقع و تهیه نقشه از تغییرات کیفیت و شناسایی عامل آن توسط روشهای مشاهده‌ای و سنتی‌کاری سخت، زمانبر و پرهزینه می‌باشد. روشهای زمین‌آماری به‌عنوان روشهایی که باعث کاهش هزینه از طریق کاهش نمونه‌برداری شده و دقت تخمین‌ها را به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای بالا می‌برند، در علوم مختلف محیطی از جمله خاک‌شناسی، هوا و اقلیم‌شناسی و بیولوژی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین در سالهای اخیر محققان با استفاده از روشهای زمین‌آماری مبادرت به تهیه نقشه‌های خصوصیات آب زیرزمینی نموده‌اند.

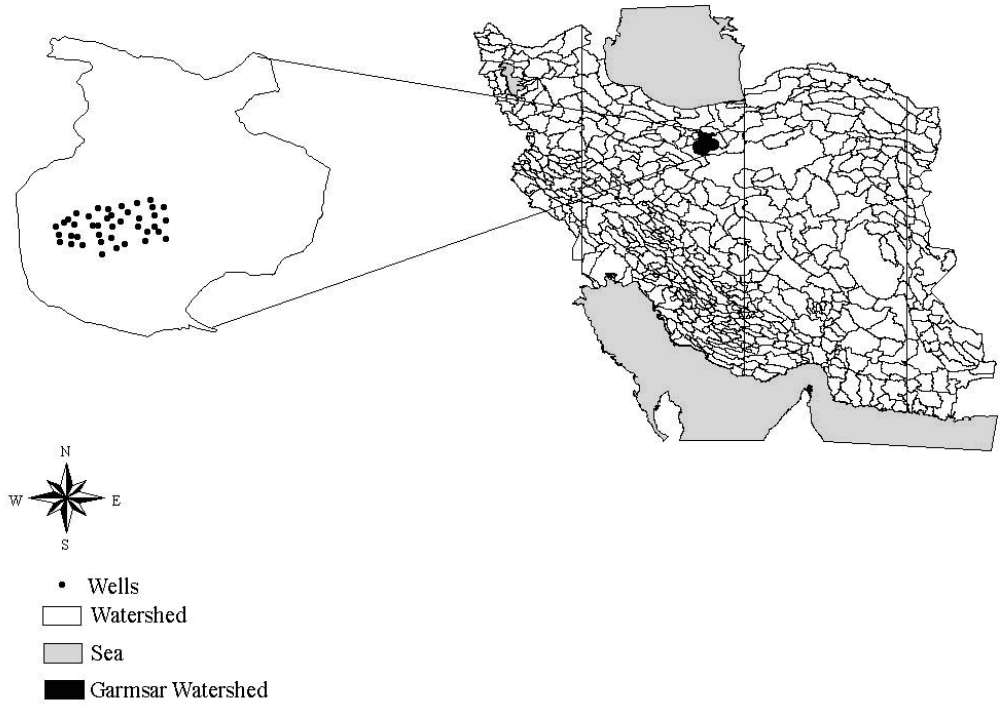
امینی و همکاران(۱۳۸۱) میزان کلر موجود در خاک را با استفاده از روشهای زمین‌آماری برای منطقه‌ای در جنوب شرق اصفهان مدلسازی کردند. میثاقی و همکاران (۱۳۸۱) سطح آب زیرزمینی را با استفاده از روشهای متداول درون‌یابی و تکنیک زمین‌آمار برآورد کرده و این روشها را با هم مقایسه نمودند. نظری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) از تکنیک زمین‌آمار در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود استفاده کرده و گزارش نمودند که واریوگرام‌های هدایت‌الکتریکی، کلر و سولفات به‌ترتیب دارای دامنه تأثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰، ۱۰۲۱۰۰ متر و حد آستانه ۰/۵۳۳، ۱/۵۳۲ و ۲/۰۵ درصد و از ساختار کروی تبعیت می‌کند. Kresic (1997) کریجینگ را به‌عنوان قابل اعتمادترین، قویترین و گسترده‌ترین روش برای درون‌یابی و تهیه منحنی‌های تراز آبهای زیرزمینی می‌داند و عنوان می‌کند که روش یاد شده روش ژئواستاتیستیکی است که در آن واریانس مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. Dagostino *et al.*, (1998) به بررسی زمانی و مکانی غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه از سه مجموعه داده در سه زمان متفاوت استفاده گردید و از روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ معمولی استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش عدم قطعیت باعث افزایش میزان واریانس می‌گردد و همچنین کاربرد روش کوکریجینگ باعث کاهش عدم قطعیت در تخمین غلظت نیترات شده و کاهش هزینه نمونه‌برداری صحرایی و کارهای آزمایشگاهی را در پی دارد Mohammadi & Van Meroone (1999), از ابزارهای زمین‌آماری برای تهیه نقشه خطر منطقه‌ای آلودگی اکولوژیکی استفاده نمودند. Campling *et al.*, (2001) در جنوب اسپانیا میانگین منطقه‌ای بارش متوسط را با استفاده از روش کلاسیک تیسن و روشهای متفاوت زمین‌آماری (کریجینگ و کوکریجینگ) بدست آوردند. تخمین‌های بدست‌آمده نشان داد که نتایج کریجینگ بیشترین همبستگی را با داده‌های واقعی دارد. Ahmed (2002) کاربرد روش کریجینگ را در تخمین وابستگی مکانی متغیرهای کیفیت آب مثل TDS بکاربرد و نتیجه گرفت که کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد. Gaus *et al.*, (2003) به بررسی غلظت آرسنیک در آبهای زیرزمینی بنگلادش پرداختند. در این مطالعه از اطلاعات ۳۵۳۴ چاه استفاده گردید. داده‌های بدست‌آمده نشان‌دهنده چولگی بالا در داده‌های آرسنیک بود. برای تخمین غلظت و تهیه نقشه احتمال از روش کریجینگ گسسته استفاده گردید. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه ۳۵ میلیون نفر در معرض غلظت بالای آرسنیک ($50\ mgL^{-1}$) و ۵۰ میلیون نفر در معرض غلظت ($10\ mgL^{-1}$) می‌باشند.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

دشت گرمسار با وسعتی بالغ بر ۵۰۰۰۰ هکتار بر روی آبرفت رودخانه حبله‌رود و مخروط‌افکنه آن در طول '۱۰°۵۲ تا '۴۵°۵۲ درجه شرقی و عرض '۰۰°۳۵ تا '۲۰°۳۵ درجه شمالی در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوب‌شرقی تهران واقع شده است. نقشه (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا ۸۷۵ متر است. میانگین بارندگی سالانه دشت براساس اطلاعات اداره کل آب سمنان ۱۱۵ میلی‌متر و میزان تبخیر از تشتک کلاس A حدود ۳۲۰۰ میلی‌متر در سال و حداکثر دمای سالانه ۴۵ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن ۱۵- درجه سانتی‌گراد است.

مخروط‌افکنه حبله‌رود که دشت گرمسار بر روی آن قرار دارد، یک نمونه بارز از مخروط‌افکنه‌های کلاسیک است که در نتیجه اعمال فرسایش، حمل و رسوبگذاری رودخانه و از مواد آبرفتی آن تشکیل شده است، رأس مخروط در مدخل ورودی رودخانه دارای ارتفاعی معادل ۹۸۰ متر و در قسمت قاعده آن به رقم ۸۰۵ متر می‌رسد. شعاع مخروط در حدود ۵ تا ۱۲ کیلومتر است و شیب زمین در امتداد محور اصلی مخروط از ۱/۴ درصد در بخش فوقانی تا ۰/۵ درصد در قسمت تحتانی متغیر می‌باشد. با توجه به شیب و امتداد لایه‌های سازندهای موجود در شمال و جنوب دشت گرمسار، به نظر می‌رسد سنگ کف دشت گرمسار از سازندهای تبخیری و مارنی دوران ترسیر باشد.



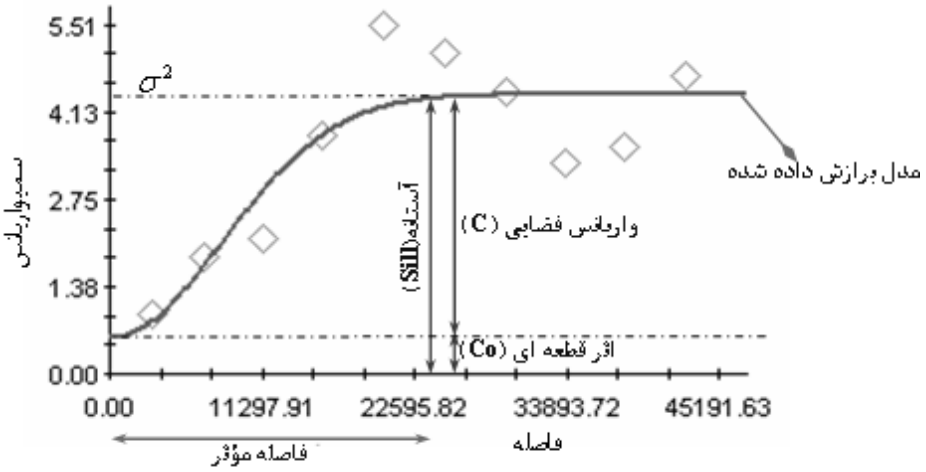
نقشه ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منابع آماری

برای انجام این تحقیق از داده‌های کیفی آب زیرزمینی منطقه گرمسار که از شرکت تماب تهیه گردید استفاده شد. داده‌ها مربوط به سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸٤ بوده و شامل داده‌های چاه و قنات بود که ٤۱ منبع از لحاظ صحت و کفایت داده مناسب تشخیص داده شد.

بررسی ساختار مکانی داده‌ها

واریوگرام به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر بکار می‌رود. به این منظور لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h رسم گردد. شکل (۱) نمایی از یک واریوگرام را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای کلی از یک واریوگرام

در این تحقیق سعی بر آن است که روشهای مختلف زمین‌آماری و همچنین روشهای معین با هم مقایسه گردد. از این رو، در ابتدا روش کلی کریجینگ توضیح داده شده و بعد سایر روشها نیز به صورت اختصار خواهد آمد.

کریجینگ[1]

کریجینگ تخمین‌زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیبی خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد و برای برآورد نقاط ناشناخته، به هریک از نمونه‌ها وزنی نسبت می‌دهد.

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, . \, Z(x_i)$$

که در آن Z^* مقدار متغیرمکانی برآورد شده، Z(xi) مقدار متغیرمکانی مشاهده شده در نقطه x_i و λi وزنی است که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است.

کریجینگ ساده[2]

تخمین‌گر کریجینگ ساده به شکل ترکیب خطی وزن‌دار است؛ اما میانگین μ، که بایستی حتماً دارای

1. Kriging

2. Simple Kriging

ویژگی ایستایی مرتبه دوم باشد در فرایند تخمین مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد.

کریجینگ معمولی[1]

کریجینگ معمولی تخمین‌زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده بصورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد.

کریجینگ جامع[2]

کریجینگ جامع در شرایطی است که هر دو مؤلفهٔ تغییرپذیری (جبری و تصادفی)، به طور همزمان در ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای وجود داشته باشند؛ به‌طوری‌که رفتار و الگوی تغییرپذیری متغیر مربوط را می‌توان در قالب مدل زیر نشان داد:

$$z(x) = \sum_{k=o}^{k} a_k f_k(x) + \varepsilon(x)$$

کریجینگ گسسته[3]

عبارت از تخمین‌گری غیرخطی می‌باشد که در شرایطی که توزیع داده‌ها پیچیده است و برازش آنها توسط توزیع‌های معمول آماری (نرمال و یا لوگ نرمال) دشوار می‌باشد، بکارگرفته می‌شود.

کوکریجینگ[4]

تخمین‌زن کوکریجینگ همان کریجینگ توسعه یافته است که در آن متغیرهای ثانویه نیز لحاظ شده است.

روش‌های معین[5]

روش تابع شعاعی[6]

تابع شعاعی تابعی به صورت $\Phi j(x)= \Phi(\|x-xj\|)$ می‌باشد که وابسته به فاصله بین $X \in R^d$ و نقطه ثابت $Xj \in R^d$ است. در این تابع Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\Omega \in R^d$ می‌باشد. r نشان‌دهنده فاصله اقلیدوسی بین هر جفت نقطه در مجموعه Ω می‌باشد.

روش عکس فاصله[7]

در روش میانگین متحرک وزن‌دار، مقدار فاکتور وزنی (λ_i) با استفاده از معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\alpha}}$$

D_i: فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه i

α: توان معادله

n: تعداد نقاط مشاهده شده

روش تخمین عام[8]

این روش یک مدل رگرسیونی چندمتغیره براساس تمامی داده‌ها ایجاد و یک سطح تفهیمی ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه‌برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند ضلعی با توان یک، ۲ و یا ٤ باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است.

روش تخمین موضعی[9]

این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های

1. Ordinary Kriging
2. Universal Kriging
3 . Disjunctive Kriging
4. Cokriging
5. Deterministic
6. Radial Basis function
7. Inverse distance weights
8. Global Polynomial Interpolation
9. Local Polynomial Interpolation

ورودی را در نظر می‌گیرد و با فواصل همسایگی در پنجره مشترک حساس است، بدین‌گونه که پنجره حرکت کرده و مقادیر سطحی در مرکز هر پنجره در هر نقطه بوسیله برازش یک چند ضلعی تخمین زده می‌شود. این روش انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به روش تخمین عام دارد. این دو روش هیچ فرضی برای داده‌ها نیاز ندارند.

نتایج

استفاده از روشهای زمین‌آماری مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌هاست که توسط تجزیه و تحلیل واریوگرام این امر بررسی می‌شود. شرط استفاده از این تجزیه و تحلیل نرمال بودن داده‌هاست. از داده‌های استفاده شده در این تحقیق کاتیون، آنیون و یون بی‌کربنات با توجه به آزمون کولوموگراف- اسمیرنوف نرمال بودند و یون سولفات که شرایط نرمال بودن را نداشت با گرفتن لگاریتم از داده‌ها نرمال شد. نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام در جدول ۱ آورده شده است که طبق نتایج بدست‌آمده برای عاملهای کاتیون، آنیون و یون سولفات مدل کروی و برای عامل یون بی‌کربنات مدل خطی بدست‌آمده است.

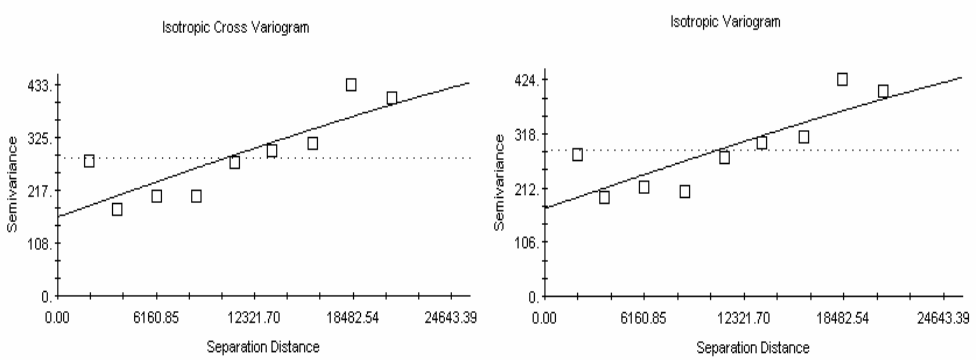
جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام

متغیر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر	ضریب همبستگی مکانی
کاتیون	٤٥/٠٧	١٦/٨٩	٠/٨٦	٠/٠٧	کروی	١٧٢	٥٤٢	٥١١٠٠	٠/٦٨٣
آنیون	٤٥/٦٣	١٧/٢٧	٠/٧٧	-٠/٢١	کروی	١٥٧	٦٠٣/٩	٥١١٠٠	٠/٧٤٠
یون سولفات	١١/٩٨	٦/٩٢	٠/٩٦	٠/٤٥	کروی	٠/١٠٩	٠/٤٢	٥١١٠٠	٠/٧٤٠
یون‌بی‌کربنات	٣/٨٥	٠/٩٤	٠/٢٥	٠/٤	خطی	٠/٩٢	٠/٩٢	٢٠٨٩٦	٠

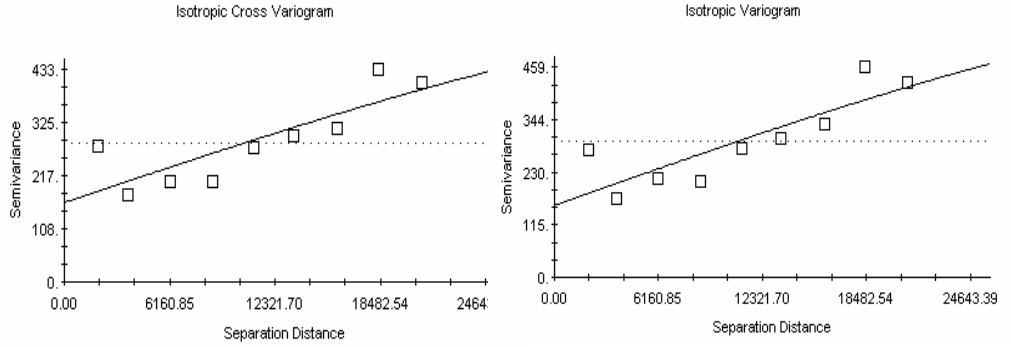
نتایج نشان می‌دهد در عاملهای کاتیون، آنیون و یون سولفات ساختار مکانی قوی بین داده‌ها وجود دارد که به‌ترتیب ٠/٦٨٣، ٠/٧٤٠ و ٠/٧٤٠ محاسبه شده است، در حالی که در عامل بی‌کربنات همبستگی مکانی بین داده‌ها وجود ندارد. به‌طوری‌که در جدول ۲ نتایج حاصل از واریوگرام متقابل داده‌ها که برای محاسبه روش کوکریجینگ مورد نیاز است آورده شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متقابل

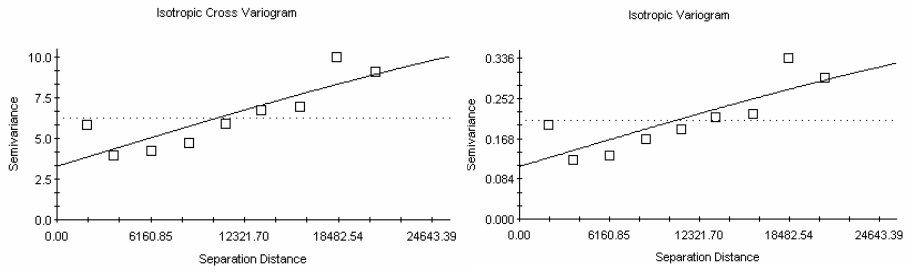
متغیر	متغیر کمکی	ضرب همبستگی	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر	ضریب همبستگی مکانی
کاتیون	آنیون	٠/٩٧١	کروی	١٦٢	٥٦٠	٥١١٠٠	٠/٧١١
آنیون	کاتیون	٠/٩٧١	کروی	١٦٢	٥٦٠/١	٥١١٠٠	٠/٧١١
سولفات	کاتیون	٠/٧١٤	کروی	٣/٣	١٣/٠٧	٥١١٠٠	٠/٧٤٨
بی‌کربنات	سدیم	٠/٣٧٦	کروی	٠/٠٠١	٣/٠٥	٨٦٧٠	١



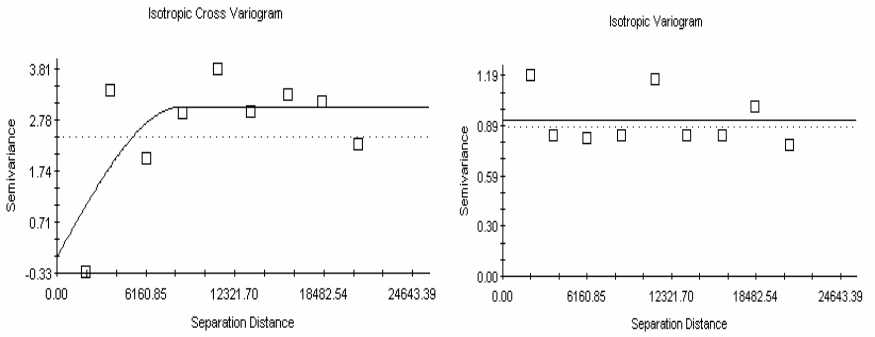
نمودار ۱- واریوگرام کاتیون نمودار ۲- واریوگرام اثر متقابل کاتیون- آنیون



نمودار ۳- واریوگرام آنیون نمودار ٤- واریوگرام اثر متقابل آنیون-کاتیون



نمودار ۵- واریوگرام یون سولفات نمودار ٦- واریوگرام اثر متقابل یون سولفات-کاتیون



نمودار ۷- واریوگرام یون بی‌کربنات نمودار ۸- واریوگرام اثر متقابل بی‌کربنات سدیم

برای محاسبه واریوگرام متقابل از روابط همبستگی بین کل عاملهای آب زیرزمینی با عاملهای یادشده استفاده گردید و عاملهای آنیون، کاتیون، کاتیون و سدیم به‌ترتیب به‌عنوان متغیرکمکی عاملهای کاتیون، آنیون، سولفات و بی‌کربنات انتخاب گردید. واریوگرام‌های ساده عاملها و واریوگرام‌های اثر متقابل در نمودارهای ۱ تا ۸ آورده شده است.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که رابطه همبستگی بین داده‌ها در مورد عاملهای کاتیون، آنیون و سولفات تغییر چندانی نکرده است (به‌ترتیب ۰/۷۱۱، ۰/۷۱۱ و ۰/۷۴۸)؛ در حالی که برای عامل بی‌کربنات که قبلاً همبستگی مکانی وجود نداشت، همبستگی مکانی کامل بدست‌آمد و اثر قطعه‌ای در واریوگرام متقابل این عامل وجود نداشت. در ادامه ارزیابی نتایج روشهای مختلف تخمین برای خصوصیات ذکر شده آمده است (جدولهای ۳، ٤، ٥ و ٦).

جدول ۳- ارزیابی نتایج روشهای تخمین کاتیون‌ها

متغیر	مدل تخمین	ضریب همبستگی	RMSE	MAE
کاتیون	کوکریجینگ	۰/٦۲	۱۹/۹۲	۱۹/۱۲
کاتیون	کریجینگ گسسته	۰/۲٦	۱٦/٦	۱۲/۷٦
کاتیون	کریجینگ عام	۰/۲٥	٤۱/۹۸	۳۱/۳٤
کاتیون	کریجینگ ساده	۰/٤۳	۱۳/٥۸	۱۱/۳۷
کاتیون	کریجینگ معمولی	۰/٤۰	۱۳/۸۲	۱۱/٤۰
کاتیون	روش عکس فاصله	۰/٤٥	۱۲/۹٤	۱۱/٥٤
کاتیون	روش تابع شعاعی	۰/٤٦	۱۲/۹۸	۱۱/٤۰
کاتیون	روش تخمین عام	۰/٤۸	۱۲/٤٥	۱۱/۲٥
کاتیون	روش تخمین موضعی	۰/۳۹	۱٤/٤٤	۱۱/٤٤

جدول ٤- ارزیابی نتایج روشهای تخمین آنیون‌ها

متغیر	مدل تخمین	ضریب همبستگی	RMSE	MAE
آنیون	کوکریجینگ	۰/۸۰	۹/۱	۷/۸٥
آنیون	کریجینگ گسسته	۰/۳۱	۱۷/۲	۱۲/۹٥
آنیون	کریجینگ عام	۰/٤۹	۱۳/٥٦	۱۲/۰۷
آنیون	کریجینگ ساده	۰/٥۳	۱۲/٦۳	۱۱/۰۲
آنیون	کریجینگ معمولی	۰/٥۲	۱۲/٥٦	۱۰/۷۳
آنیون	روش عکس فاصله	۰/٥۳	۱۲/۱۸	۱۱/۰٤
آنیون	روش تابع شعاعی	۰/٥٤	۱۲/۱٦	۱۰/۸۷
آنیون	روش تخمین عام	۰/٥۳	۱۲/۹٤	۱۰/٦٤
آنیون	روش تخمین موضعی	۰/٤۹	۱۳/۳۰	۱۱/۹٥

جدول ۵- ارزیابی نتایج روشهای تخمین یون سولفات

متغیر	مدل تخمین	ضریب همبستگی	RMSE	MAE
یون سولفات	کوکریجینگ	۰/۶۳	۲/۵۵	۳/۲۰
یون سولفات	کریجینگ گسسته	۰/۳٤	۳/٦۰	۳/۲۵
یون سولفات	کریجینگ عام	۰/٤٦	۳/۸۳	٤/۵٤
یون سولفات	کریجینگ ساده	۰/۳۵	۳/۵٤	٤/۳۰
یون سولفات	کریجینگ معمولی	۰/۳۷	۳/۵۳	٤/۳۷
یون سولفات	روش عکس فاصله	۰/۲۹	۳/۳۰	٤/۲۷
یون سولفات	روش تابع شعاعی	۰/۳۳	۳/۳۹	٤/۳۵
یون سولفات	روش تخمین عام	۰/٤٦	٤/۱۰	٤/٦٤
یون سولفات	روش تخمین موضعی	۰/۳٦	۳/۸۷	٤/۷۲

جدول ٦- ارزیابی نتایج روشهای تخمین یون بی‌کربنات

متغیر	مدل تخمین	ضریب همبستگی	RMSE	MAE
یون بی‌کربنات	کوکریجینگ	۰/۲۱	۰/۹۵	۰/۷۰
یون بی‌کربنات	کریجینگ گسسته	۰/۳۲	۰/۹۰	۰/۷۰
یون بی‌کربنات	کریجینگ عام	۰/۳۳	۰/۹٦	۰/۷۵
یون بی‌کربنات	کریجینگ ساده	۰/۱۵	۰/۹٦	۰/۷۱
یون بی‌کربنات	کریجینگ معمولی	۰/۳۲	۰/۹۵	۰/۷۱
یون بی‌کربنات	روش عکس فاصله	۰/۱٤	۱	۰/۷۷
یون بی‌کربنات	روش تابع شعاعی	۰/۱۹	۰/۹۹	۰/۷۷
یون بی‌کربنات	روش تخمین عام	۰/۲۵	۰/۹۹	۰/۷٤
یون بی‌کربنات	روش تخمین موضعی	۰/۳۰	۰/۹٦	۰/۷۰

در این جدولها (۳، ٤، ۵ و ٦) بر مبنای کمترین میزان خطا بهترین روش انتخاب می‌شود، یعنی بهترین روش، روشی است که میانگین مجذور مربعات (*RMSE*) خطای کمتری داشته باشد.

بحث

براساس نتایج بدست‌آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش‌های زمین‌آماری دارای برتری‌های قابل‌ملاحظه نسبت به روش‌های معین در تحلیل مکانی خصوصیات آب‌های زیرزمینی می‌باشند، بگونه‌ای که تنها در مورد عامل کاتیون روش تخمین عام از روشهای معین از دیگر روشها بهتر بود. با توجه به اصول زمین‌آماری متغیری که همبستگی مکانی مناسب و واریانس تخمین کمتری دارد جهت تخمین نیاز به نمونه‌برداری کمتری دارد و از این رو هزینه نمونه‌برداری آن نیز کمتر خواهد شد. نتایج بدست‌آمده مطابق با تحقیقات میثاقی

و همکاران (۱۳۸۱)، نظری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵)، Kresic (1997) و Ahmed (2002) می‌باشد که همه‌ی آنها در اصل نیاز به نمونه‌برداری کمتر و به طبع هزینه نمونه‌برداری کمتر با استفاده از روشهای زمین‌آماری اذعان دارند.

همچنین با توجه به مقادیر RMSE و r روش کوکریجینگ برای عاملهای آنیون و یون‌سولفات، روش کریجینگ گسسته برای تخمین عامل یون بی‌کربنات و روش تخمین عام از روشهای معین برای تخمین عامل کاتیون مناسب تشخیص داده شد.

بنابراین با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به همبستگی دو جانبه بین متغیرها، می‌توان تخمین مناسب و دقیق‌تری از متغیر موردنظر با بهره‌گیری از مقادیر متغیرهای دیگر (متغیرهای ثانویه یا کمکی) بدست‌آورد. به دیگر سخن با استفاده از اطلاعات مربوط به متغیرهای ثانویه در فرایند تخمین، اقدام به کاهش هرچه بیشتر واریانس خطای تخمین متغیر اصلی می‌گردد که در مورد عاملهای آنیون و یون سولفات اینگونه بوده است. همچنین نتایج حاصل از واریوگرام متقابل نشان‌دهنده بهبود همبستگی مکانی بین بعضی از داده‌ها می‌باشد.

از نتایج جالب این تحقیق همبستگی بالای عامل آنیون با کاتیون و بالعکس می‌باشد که نشان‌دهنده همبستگی بالا بین کل یون‌های مثبت با یون‌های منفی است.

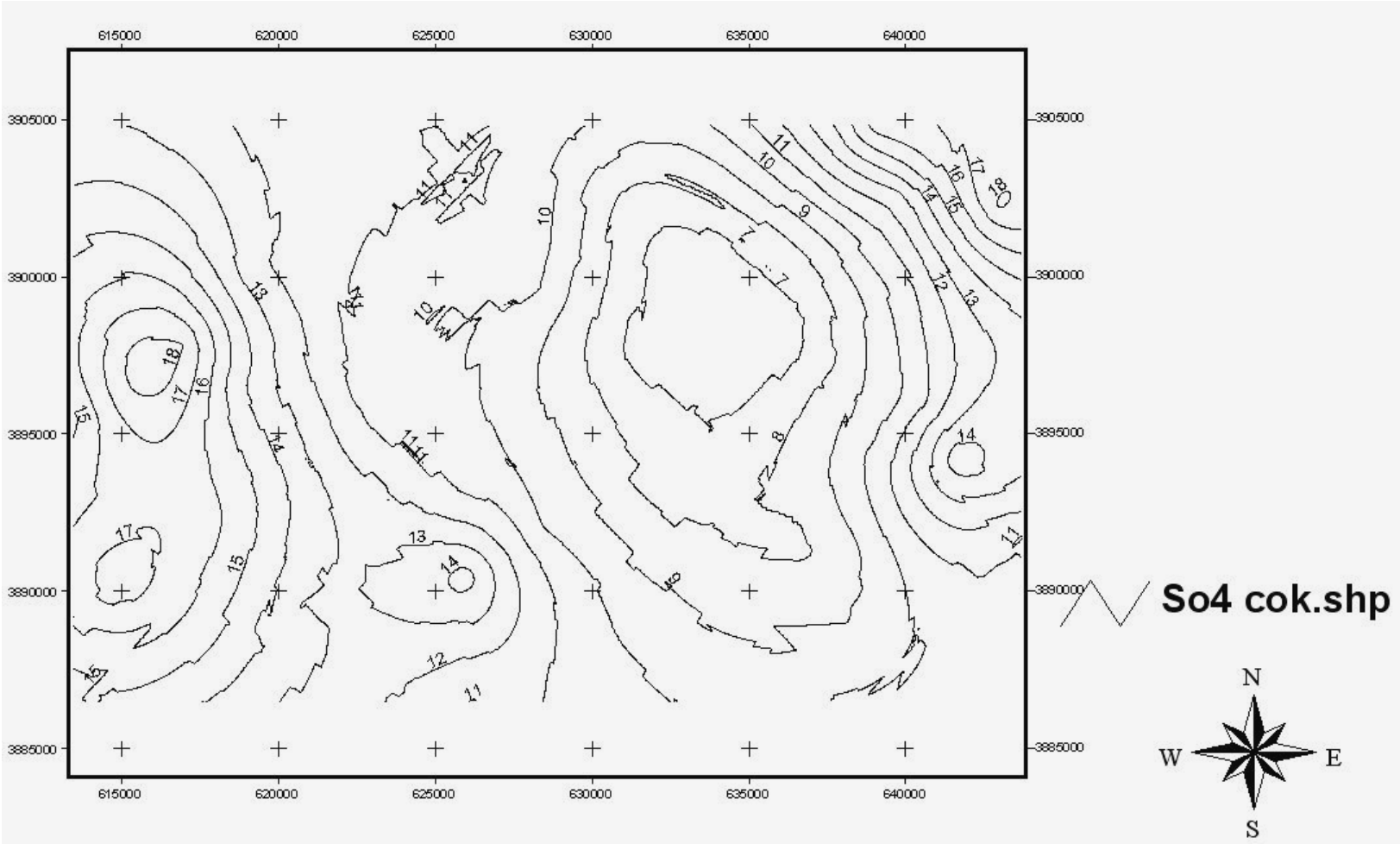
نتایج به طور کلی نشانگر این است که روش کوکریجینگ برای بیشتر عاملهای آب زیرزمینی مناسب می‌باشد (در شرایطی که برای تخمین عاملها تنها از یک روش استفاده گردد). این امر وجود رابطه معنی‌دار بین عاملهای آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، در برآورد عامل آنیون میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) برای روش کوکریجینگ ۹/۱ می‌باشد که نشان‌دهنده خطای کمتر و دقت بیشتر نسبت به دیگر روشها می‌باشد. در مورد یون سولفات نیز این نتیجه تکرار گردیده است و میانگین مجذور مربعات خطا ۲/۵۵ محاسبه شده است که کمترین میزان خطا در مقایسه با سایر روشها می‌باشد. این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق Dagostino *et al.*, (1998) که به بررسی غلظت نیترات در آب زیرزمینی پرداختند و روش کوکریجینگ را به‌عنوان روشی که باعث کاهش عدم قطعیت می‌شود معرفی نمودند مطابقت دارد.

پیشنهادها

بنابراین به‌عنوان پیشنهاد توصیه می‌گردد که در مناطق مشابه منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطق غیرخشک این روش‌ها بررسی و نتایج بدست‌آمده با هم مقایسه گردد، از روش‌های دیگر زمین‌آماری مثل کوکریجینگ ساده، کوکریجینگ گسسته، کوکریجینگ جامع و ... در تحقیقات آینده استفاده شود و دیگر اینکه عاملهای دیگر کیفیت آب همچون نیترات، جیوه، بر و ... در تحقیق وارد گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولان محترم معاونت پژوهشی دانشگاه تهران که با حمایت مالی شرایط انجام این تحقیق را فراهم نمودند و همچنین از شرکت تحقیقات منابع آب ایران (تماب) بدلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.



نقشه ۲- نمونه نقشه نهایی براساس بهترین مدل تخمین برای یون سولفات

منابع مورد استفاده

– امینی، م.، خادمی، ح. و فتحیان‌پور، ن.، ۱۳۸۱. مقایسه کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد غلظت کلر محلول در خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد۳۳، شماره ٤ ص ۷٤۷– ۷٤۱.
– حسنی پاک، ع.ا.، ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.
– محمدی، ج.، ۱۳۸۵. آمار مکانی (ژئواستاتیستیک). انتشارات پلک، چاپ اول.
– میثاقی، ف. و محمدی، ک.، ۱۳۸۱. برآورد سطح آب زیرزمینی با استفاده از روشهای متداول درون‌یابی و مقایسه آن با تکنیک زمین‌آمار. چکیده مقالات بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۸ تا ۵۹۰.
– نظری زاده، ف.، ارشادیان، ب. و زند وکیلی، ک.، ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد، ص ۱۲۳٦ تا ۱۲٤۰.
– 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, M.M. Sherif, V.P. Singh and M. Al-Rashed (Eds.), Balkema, Tokyo, Japan. 2, 37-57.
– Campling, P., Gobin, A. and Fegen, J., 2001. Temporal and spatial rainfall across humid Tropical Cachment. Hydrological processes , 15, 359-375.
– Dagostino, V., Greene, E.A., Passarella, G. and Vurro, M., 1998. spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. Environmental geology, 36, 285-295.
– Gaus, I., Kinniburgh, D.G., Talbot, J.C. and Webster, R., 2003. geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging. Environmental geology,44:939-948
– Kresic, N., 1997. Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers.
– Mohammadi, G. and Van Meroone., 1999. Using geostatistiCal tools to prepare hazard zonation maps of ecological pollution.Tarbite Modares University.

Modeling of ground water spatial distribution for some chemical properties (Case study in Garmsar watershed)

Zehtabian, Gh.[1], Janfaza, E.[2], Mohammad asgari, H.[3] and Nematollahi, M.J.[4*]

1- Professor, Faculty of Natural Resources, Univesity of Tehran, Karaj, Iran,
2- Msc of desertification, Faculty of Natural Resources, Univesity of Tehran, Karaj, Iran.
3- PhD Student of desertification, Faculty of Natural Resources, Univesity of Tehran, Karaj, Iran.
4-*- Corresponding Author, Msc of desertification, Faculty of Natural Resources, Univesity of Tehran, Karaj, Iran, Email: javad.nematolahi@gmail.com

Received: 24.12.2008 Accepted: 29.01.2010

Abstract

Ground Water quality change is due to mismanagement in use of groundwater resources. Main objective of this research was to investigate spatial variability of chemical properties of ground water. In this research chemical properties such as cation, anion, sulphate and carbonate were studied. Normality of data investigated based on Kolmogeraph- Smirnov test. Then, variogeraphy analysis was done in geostatistical methods. Accuracy assessment was investigated based on mean absolute error (MAE), residual mean square error (RMSE) and correlation coefficient (R). Results showed that geostatistical methods have more accuracy than determinestic methods. However, global polynomial interpolation was the best method for mapping cation. In addition, for the most parameters, Cokriging method was the best method for interpolation.

Keywords: groundwater, geostatistical and deterministic methods, Cokriging, RMSE