شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت تهران-کرج)

مهدی شیخ گودرزی[1*]، سید حسن موسوی[1] و نعمت الله خراسانی[2]

[1] کارشناسی‌ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[2] استاد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: **۱۳۹۱/۲/۱۳** ، تاریخ تصویب: **۱۳۹۱/۱۱/۱۱**)

چکیده

تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی که معمولا بر اثر مدیریت غلط بهره‌برداری از آب زیرزمینی رخ می‌دهد، مقدمه‌ای بر تخریب سایر منابع چه به‌صورت مستقیم و چه به‌صورت غیر مستقیم است. با توجه به اهمیت منابع آبی زیرزمینی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک، و لزوم مدیریت صحیح آن، این پژوهش با هدف شبیه‌سازی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با تاکید بر مصارف آشامیدنی، به‌کمک روش‌های زمین‌آماری انجام شد. متغیرهای کیفی انتخاب شده عبارتند از: سختی کل، یون کلر، سولفات و نیترات. نخست نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی و متغیرهای غیر نرمال به‌کمک تبدیل لگاریتمی نرمال شدند. سپس تجزیه و تحلیل واریوگرام و واریوگرام متقابل متغیرها برای انتخاب مدل مناسب انجام گرفت. ارزیابی صحت نتایج حاصل نیز با رویکرد ارزیابی متقابل و محاسبه مجذور میانگین مربعات خطای کمتر (**پذ چد**) انجام شد. نتایج نشان داد روش کوکریجینگ (استفاده از متغیر کمکی) دارای دقت برآورد بیشتری نسبت به سایر روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده می‌باشد، لذا درون‌یابی متغیرها با استفاده از روش کوکریجینگ انجام و در ادامه اقدام به پهنه‌بندی بر اساس استانداردهای آب آشامیدنی گردید.

واژه های کلیدی: شبیه‌سازی تغییرات مکانی، کیفیت آب زیرزمینی، روش‌های زمین‌آمار، کوکریجینگ.

* نویسنده مسئول: تلفن: 09123467292 فاکس: 0263-22277650 ک‌گ‌غق‌ع‌ک غا۹۱.ف‌پلاع‌گ‌گ‌غفق‌ع‌ک- پ

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی که معمولا بر اثر مدیریت غلط بهره‌برداری از آب زیرزمینی رخ می‌دهد، مقدمه‌ای بر تخریب سایر منابع چه به‌صورت مستقیم و چه به‌صورت غیر مستقیم است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به این منابع بیشتر است، اثر تخریبی به‌علت ضعف طبیعی در منابع آب و خاک شدت بیشتری خواهد داشت. لذا ضرورت مطالعه و بررسی کیفیت آن در این مناطق می‌تواند به مدیریت صحیح استفاده از منابع آبی کمک نماید (**کعمع غش** *et al.*, **۲۰۱۰**). در این میان استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کیفی سفره‌های زیرزمینی کاری زمان‌بر و پرهزینه است، از این رو روش‌های زمین‌آماری با توجه به داشتن توانمندی‌هایی چون کاهش تعداد نمونه‌برداری، کاربرد توام و ارائه برآوردهای دقیق‌تر از وضعیت مکانی متغیرها، به لحاظ استفاده می‌توانند باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت برآوردها شود. این دانش در سایر علوم همچون هواشناسی کشاورزی، اقلیم‌شناسی، خاک‌شناسی و زیست شناسی کاربرد فراوانی دارد. از سویی دیگر در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری به‌کمک روش‌های زمین‌آماری مبادرت به تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی نموده‌اند (**فکعم عع لاغف ع ث** *et al.*, **۲۰۰۹**). (**۲۰۰۲**) **ف ع ک ک ع غگ چ &ف غغ لاف چ** سطح آب زیرزمینی را با استفاده از روش‌های متداول درون‌یابی و زمین‌آماری برآورد و این روش‌ها را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان دهنده دقت قابل قبول روش زمین‌آمار و تخمین‌گر کریجینگ در مقایسه با دیگر روش‌های آمار کلاسیک می‌باشد. در پژوهشی مشابه توسط (**کعمع غ غش** *et al.*, **۲۰۱۰**) و (**فکعم عع لاغف ع ث** *et al.*, **۲۰۰۹**) به برآورد بهترین روش مدل‌سازی توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به کمک روش‌های زمین‌آماری و معین پرداخته شد. نتایج این پژوهش‌ها حاکی از دقت بالاتر روش‌های زمین‌آماری به ویژه در شرایط استفاده از متغیرهای کمکی نسبت به روش‌های معین در اکثر موارد می‌باشد. (**عغ ک غا** **۲۰۰۲**) روش کریجینگ را در برآورد وابستگی مکانی متغیرهای کیفی آب مثل کل جامدات محلول به کار برد و نتیجه گرفت که کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد. (**ع ققپ** *et al.*, **۱۹۹۹**) به بررسی تغییرهای مکانی غلظت ازت نیتراتی در آب‌های زیرزمینی کم عمق و عمیق پرداختند. نتایج بدست آمده ساختار مکانی ضعیفی از غلظت ازت نیتراتی را در چاه‌های کم عمق و عمیق نشان داد. (**لاغگگ گ ب& گ گ م لژ** **۱۹۹۸**) روش کریجینگ را در برآورد غلظت عناصر سنگین مورد استفاده قرار دادند، این پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که روش یاد شده بهترین برآورد کننده خطی ناریب غلظت سرب می‌باشد. (**کگف گ لغغ پ** *et al.*, **۱۹۹۸**) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی غلظت نیترات به کمک روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در آب‌های زیرزمینی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش کوکریجینگ باعث افزایش دقت در برآورد غلظت نیترات شده است. (**لاغ لمگ چ &گ پهف د** **۲۰۰۰**) زمین‌آمار را برای تجزیه تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده و نمایه‌هایی از کیفیت شامل غلظت کلر، سولفات، سدیم، کلسیم و میزان شوری را مورد بررسی قرار دادند. آنها جمعیت میکروبی را به‌عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ مورد استفاده قرار دادند، نتایج نشان داد که کوکریجینگ دقت بهتری در برآورد کیفیت آب‌های زیرزمینی دارد. به‌طورکلی می‌توان گفت زمین‌آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی بوده و به عبارت دیگر بین مقادیر، فاصله و جهت قرار گرفتن آن‌ها یک ارتباط فضایی وجود دارد (**۲۰۰۶ ق گف کع لاع ث**). با توجه به اهمیت منابع آبی زیرزمینی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک، و لزوم مدیریت صحیح آن، پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی تغییرهای مکانی برخی از ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با تاکید بر مصارف آشامیدنی، با استفاده روش‌های زمین‌آماری انجام گرفت. متغیرهای کیفی آب آشامیدنی مورد ارزیابی در این پژوهش عبارتند: از میزان سختی کل (**ث ر**[1])، غلظت یون

[1] **لاغ علاع ق ع م گ ر**

Archive of SID
www.SID.ir

کلر (Cl⁻ **قب**)، غلظت یون سولفات (SO_4^{2-} **ءد**) و غلظت یون نیترات (NO_3^- **ءح**).

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی دشت تهران-کرج، حد فاصل استان‌های تهران و البرز می‌باشد. این دشت با مساحتی در حدود **٤٤١١** کیلومتر مربع، در حاشیه جنوبی البرز و در محدوده جغرافیایی **٥١** درجه و **٤١** دقیقه تا **٥١** درجه و **٤٨** دقیقه طول جغرافیایی و **٣٥** درجه و **٣** دقیقه تا **٣٥** درجه و **٥٧** دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. میانگین بارش و دمای سالیانه در این محدوده به ترتیب برابر **٣١٦** میلی‌متر و **٣٩/٤** درجه سانتی‌گراد است. شکل **١**، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

منابع آماری

برای انجام این پژوهش از داده‌های کیفی آب‌های زیرزمینی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در محدوده دشت تهران-کرج مربوط به سال **١٣٨٨** (تهیه شده توسط اداره آب منطقه‌ای استان تهران) استفاده گردید. از میان داده‌های اندازه‌گیری شده، اطلاعات مربوط به **٧١** حلقه چاه از نظر صحت و کفایت مناسب تشخیص داده شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین بررسی ویژگی‌های آماری، درون‌یابی و پهنه‌بندی‌های کیفی داده‌ها در محیط‌های نرم افزاری **١٦.٠ ذذخذ**، **٥.٣ +ذة** و **ذتتعلا ٩.٣** انجام گرفت.

بررسی ساختار مکانی داده‌ها

تخمین‌گرهای زمین‌آماری مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و واریوگرام برآورد می‌کنند. واریوگرام مدلی ریاضی است که به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر به‌کار می‌رود. به این منظور لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم **غ** از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل **غ** رسم گردد. معادله **١**، و شکل **٢**، فرم محاسباتی و نمایی کلی از یک واریوگرام را نشان می‌دهند (**٢٠٠٩** *al.*, **ققغگ‌لاع‌چ**).

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

که در آن:

$\gamma(h)$: مقدار واریوگرام در فاصله (h)، $Z(x_i+h)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i+h)

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i)،

n: تعداد نقاط اندازه‌گیری

روش های زمین‌آماری

- کریجینگ معمولی[1]

کریجینگ برآورد گری است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیبی خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن درنظر می‌گیرد و برای برآورد نقاط ناشناخته، به هریک از نمونه‌ها وزنی نسبت می‌دهد (معادله**٢**).

$$Z_{.}=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \qquad (2$$

که در آن:

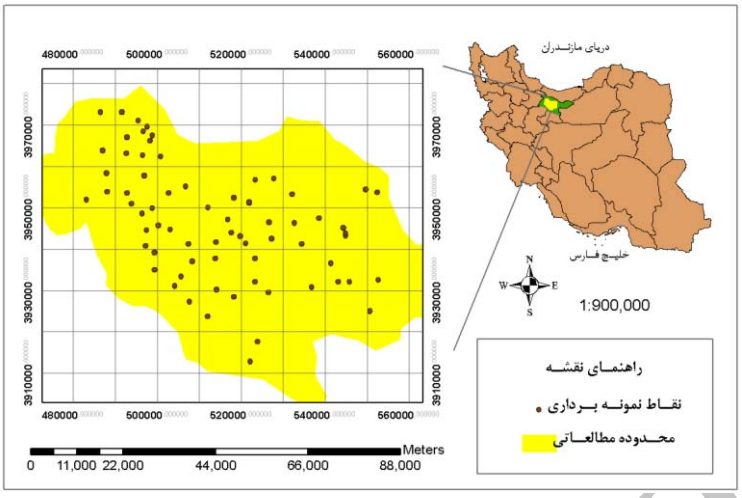
$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i)، $Z_{.}$ مقدار برآورد شده متغیر در نقطه

λ_i: وزن داده شده به متغیر x در نقطه**ف**

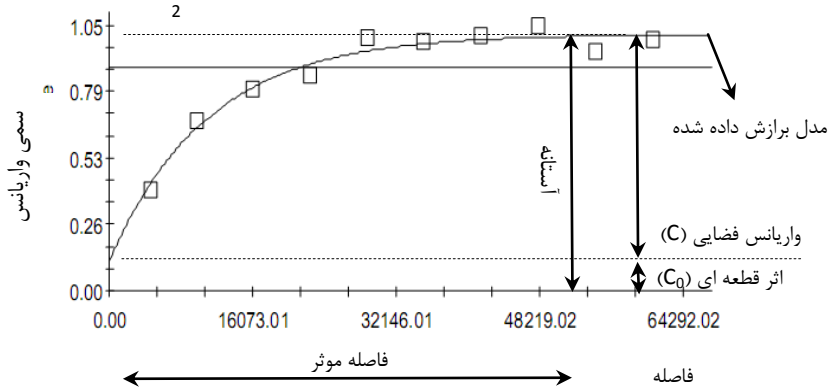
n: تعداد نقاطی که متغیر در آن‌ها اندازه گیری شده است. شرط استفاده از این برآورد گر این است که متغیر دارای توزیع نرمال باشد (**٢٠١٠** *et al.*, **كعمع غ ش**).

[1] **غكفف لاج طلاع‌كك علاد**

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و پراکنش نقاط نمونه‌برداری



شکل 2- نمایی کلی از واریوگرام (Marofi *et al.*, 2009)

- کریجینگ ساده[1]

تخمین‌گر کریجینگ ساده به شکل ترکیب خطی وزن‌دار است؛ اما این میانگین ثابت که بایستی حتما دارای ویژگی ایستایی مرتبه دوم باشد در فرآیند براورد مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد.

- کریجینگ جامع[2]

کریجینگ جامع در شرایطی است که هر دو مولفه تغییرپذیری (جبری و تصادفی)، به‌طور همزمان در ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای وجود داشته باشند؛ به‌طوری که رفتار و الگوی تغییرپذیری متغیر مربوط را می‌توان در قالب مدل زیر نشان داد (معادله**۳**):

$$Z(x)=\sum_{k=0}^{k} ak.fk(x_i)+\varepsilon(x_i) \qquad (۳$$

- کریجینگ گسسته[3]

این مدل برآورد گری غیرخطی می‌باشد و در شرایطی که توزیع داده‌ها پیچیده است، و یا برازش آن‌ها از راه توزیع‌های معمول آماری (نرمال و یا لوگ نرمال) دشوار باشد، به‌کار گرفته می‌شود (**[illegible]** *et al.*, **۲۰۰۹**).

[1] [illegible]
[2] [illegible]
[3] [illegible]

www.SID.ir

- **کوکریجینگ**[1]

همانطوری که در آمار کلاسیک، روشهای چندمتغیره برای برآورد وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان به‌کمک روش کوکریجینگ بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف برآورد زد، که این ویژگی می‌تواند باعث دقت بیشتر برآوردها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها شود (**۲۰۰۹ ,.*al* t ف‌علاغ‌فلا غغ‌چغ‌عع‌پف غغ‌ر**). معادله کوکریجینگ (**٤**) با فرض وجود یک متغیر کمکی و یک متغیر اصلی به شرح زیر است:

$$Z^*(x_.) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^{m} \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (٤$$

که در آن:

$Z_2(x_i)$: متغیر مکانی کمکی یا ثانویه

$Z_1(x_j)$: متغیر مکانی اصلی

$Z^*(x_.)$: مقدار نامعلوم متغیر در نقطه $x_.$

m و n به ترتیب تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای اصلی و کمکی λ_{1i} و λ_{2j} عبارتند از وزن‌های آماری اختصاص داده شده به متغیرهای اصلی و کمکی.

روش مناسب برای درون‌یابی و برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تاثیرگذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را صرفا روشی برتر در تمامی شرایط دانست (**۱۹۹۸،لاغ‌گگ‌گ‌ب &وگ‌م‌لژ**). از این‌رو در این پژوهش، شبیه‌سازی تغییرات مکانی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ (معمولی، ساده، جهانی، گسسته) و کوکریجینگ (همراه با متغیر کمکی) انجام گرفت.

تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی و پهنه‌بندی کیفی جهت مصارف شرب

پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات درون‌یابی بوسیله روش‌های مذکور بررسی گردید. برای این منظور می‌توان از شیوه‌های مختلفی استفاده نمود که یکی از مناسب‌ترین آنها استفاده از نتایج ارزیابی متقابل[2] می‌باشد (**۱۹۸۷ف‌ط‌ن‌ع‌پ**). بدین ترتیب که ابتدا یکی از نقاط اندازه‌گیری را حذف نموده و سپس با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر برای نقطه حذف شده، برآورد آماری صورت می‌گیرد. در مرحله بعد این نقطه به محل خود بازگردانیده می‌شود و نقطه بعدی حذف می‌گردد، به‌همین ترتیب برای تمامی نقاط یک برآورد و یک مقدار مشاهده‌ای ارائه می‌گردد. معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی وجود دارد. در این پژوهش به‌منظور آزمون نکویی برازش روش‌های درون‌یابی، از معیار مجذور میانگین مربعات خطا (**پذچد**[3]) استفاده شد، که معادله محاسبه این معیار (**5**) به‌صورت زیر است (**۱۹۸۷ف‌ن‌ع‌پ**):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)\right)^2} \quad (5$$

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 معیار را دارد، استفاده گردید.

در نهایت متغیرهای درون‌یابی شده براساس استاندارد‌های ملی تدوین شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی، جهت بهره برداری شرب مورد طبقه‌بندی مجدد قرار گرفتند (جدول1).(**۲۰۰۹ ,دئذژ**)

---

[1] غ‌ک‌ف‌غف‌لاج‌گ‌ب

[2] ک‌گ‌ف‌م‌ع‌غ‌ف‌ق‌ع‌ژ لاگ‌لاب

[3] گ‌لاپ‌غ‌لاع‌ملغ‌ژ‌غ‌ک‌پ‌غ‌گ م‌گ‌گ‌د

Archive of SID
www.SID.ir

جدول 1- استانداردهای آب آشامیدنی

متغیر	حد مجاز (ق/ک)	حد مطلوب (ق/ک)
ثدر	500	150
قب	600	200
٤حذ	400	200
٣حح	45	0

نتایج

استفاده از روش‌های زمین‌آماری مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی میان داده‌ها است که این امر توسط تجزیه و تحلیل واریوگرام بررسی می‌شود. همچنین با استفاده از واریوگرام می‌توان شعاع همبستگی متغیرها، بررسی حالت ایستایی و وجود یا عدم وجود روند را در داده‌ها را تشخیص داد. شرط استفاده از این تجزیه و تحلیل نرمال بودن داده‌ها است. بدین منظور از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد، که از میان متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش، تنها یون نیترات (و در میان متغیرهای کمکی هدایت الکتریکی **بپ**) نرمال بودند. در ادامه متغیرهای غیر نرمال با گرفتن لگاریتم از داده‌های اصلی نرمال شدند.

همچنین به‌منظور برازش بهترین مدل بر روی واریوگرام تجربی از میزان **ذذد**[1] کمتر و استحکام ساختار فضایی قوی‌تر استفاده شد؛ بدین صورت که هرچه نسبت $C_0/(C_0+C)$ کوچکتر باشد، ساختار فضایی متغیر بهتر ترسیم می‌گردد (**فغذ** *et al.*, **٢٠٠٧**). نتایج تجزیه و تحلیل‌های واریوگرام متغیرها در جدول**٢**، ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده، بهترین مدل برازش داده شده برای متغیرهای سختی کل، یون سولفات و نیترات مدل کروی و برای یون کلر، مدل نمایی است. در رابطه با ساختار فضایی متغیرها نیز یون‌های کلر و سولفات دارای ساختار فضایی قوی (کوچکتر از **١/٢٥**) و سختی کل و یون نیترات دارای ساختار فضایی متوسط (بین **١/٢٥**-**١/٧٥**) می‌باشند. جدول **٣**، نتایج حاصل از واریوگرام متقابل داده‌ها که برای محاسبه روش کوکریجینگ مورد نیاز است را نشان می‌دهد.

در روش کوکریجینگ، پس از تشکیل ماتریس همبستگی برای پیش‌بینی کیفیت آب از عاملی به عنوان متغیر کمکی استفاده شد که دارای بیشترین ضریب همبستگی با متغیر مورد نظر باشد. لذا برای برآورد سختی کل و یون کلر از ضریب هدایت الکتریکی (**٩٩٩/١آلا**) و (**٨٦١/١آلا**)، سولفات از کاتیون (**٩٣٤/١آلا**) و نیترات از پتاسیم (**٦١٦/١آلا**) استفاده گردید. مدل‌های مناسب در این روش نیز عبارتند از: مدل کروی برای یون کلر و نیترات و مدل نمایی برای متغیرهای سختی کل و سولفات. نتایج حاصل نشان می‌دهد که رابطه همبستگی میان متغیرها با اعمال متغیر کمکی در تمام موارد بجز کلر که تغییر چندانی نداشته، قوی‌تر شده است.

برای تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی میان روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده، از معیار مجذور میانگین مربعات خطا (**پذچد**) استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ در مقایسه با مجموعه روش‌های کریجینگ دارای خطای کمتری بوده و دقت پیش بینی را تا حد بسیار زیادی بالا برده است (جدول**٤**). در نهایت درون‌یابی متغیرها با استفاده از روش کوکریجینگ و براساس استانداردهای ملی آب آشامیدنی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت (شکل‌های **٣**و**٤**).

[1] لغلاغهذ غ گ گ مذ قع عف لغ د

Archive of SID

www.SID.ir

نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره 65، شماره 1، بهار 1391، از صفحه 83 تا 93

جدول 2- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام

متغیر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	آستانه (C_0+C)	شعاع تاثیر	$C_0/(C_0+C)$	R^2	RSS
ثر (ق/عک)	۲۸۲۶۷	۱/۲٤	۱/۵۳	کروی	0/202	0/611	68700	0/330	0/906	0/0152
قبˉ (ق/ل‌عک)	۲/۳۶	۱/۵۶	۱/۹۵	نمایی	0/120	1/014	11100	0/118	/0964	0/0136
حذ$^{-2}_{٤}$ (ق/ل‌عک)	۲/۹۹	۱/٤۸	۱/۶۱	کروی	0/203	0/932	35800	0/217	0/885	0/0536
حˉ^{٣} (ق/ل‌عک)	۱/۶۱	۱/٤٤	۱/۱۳	کروی	0/316	0/693	41700	0/455	0/876	0/0169

جدول 3- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متقابل

متغیر	متغیر کمکی	ضریب همبستگی^{xx}	مدل	اثر قطعه‌ای(C_0)	آستانه (C_0+C)	شعاع تاثیر	$C_0/(C_0+C)$	R^2
ثر (ق/عک)	پ (ک‌ع/لد)	۱/۹۹۹	نمایی	8	654/5	19900	0/0122	0/909
قبˉ (ق/ل‌عک)	پ (ک‌ع/لد)	۱/۸۶۱	کروی	182	869/8	49400	0/2092	0/936
حذ$^{-2}_{٤}$ (ق/ل‌عک)	کگ‌م‌ع‌ج (ق/ل‌عک)	۱/۹۳٤	نمایی	0/09	9/5	14900	0/0094	0/882
حˉ^{٣} (ق/ل‌عک)	ج$^{+}$ (ق/ل‌عک)	۱/۶۱۶	کروی	0/00206	0/02502	83400	0/0823	0/956

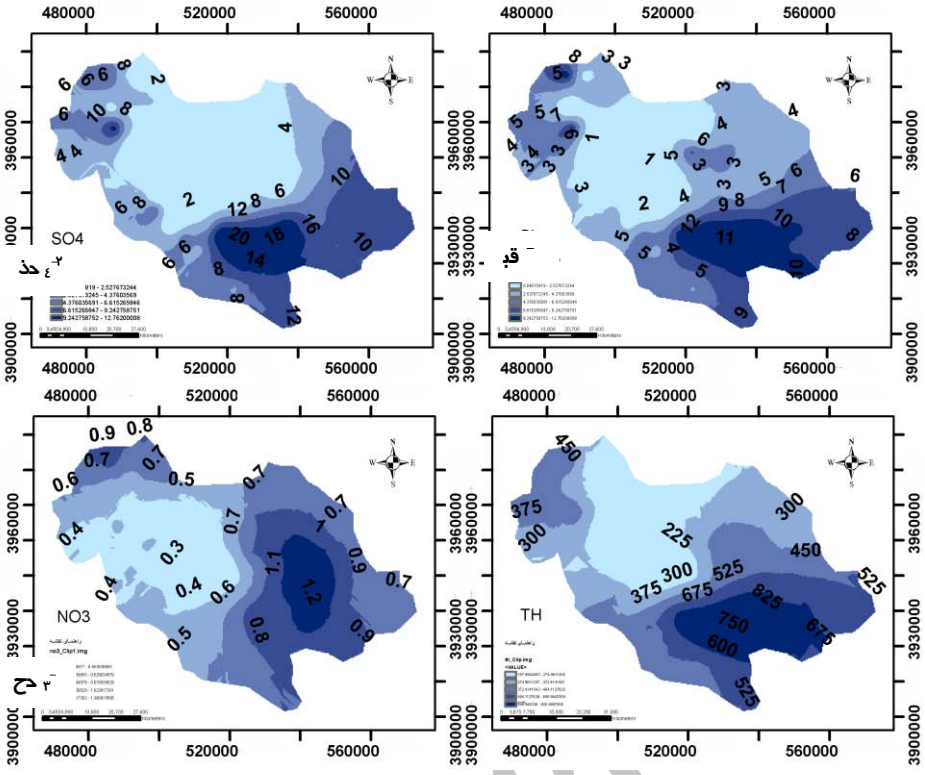
^{xx}داده ها در سطح ۹۹درصد با یکدیگر ارتباط معنی‌داری دارند.

جدول 4- مقایسه مقادیر RMSE حاصل از روش‌های زمین‌آماری

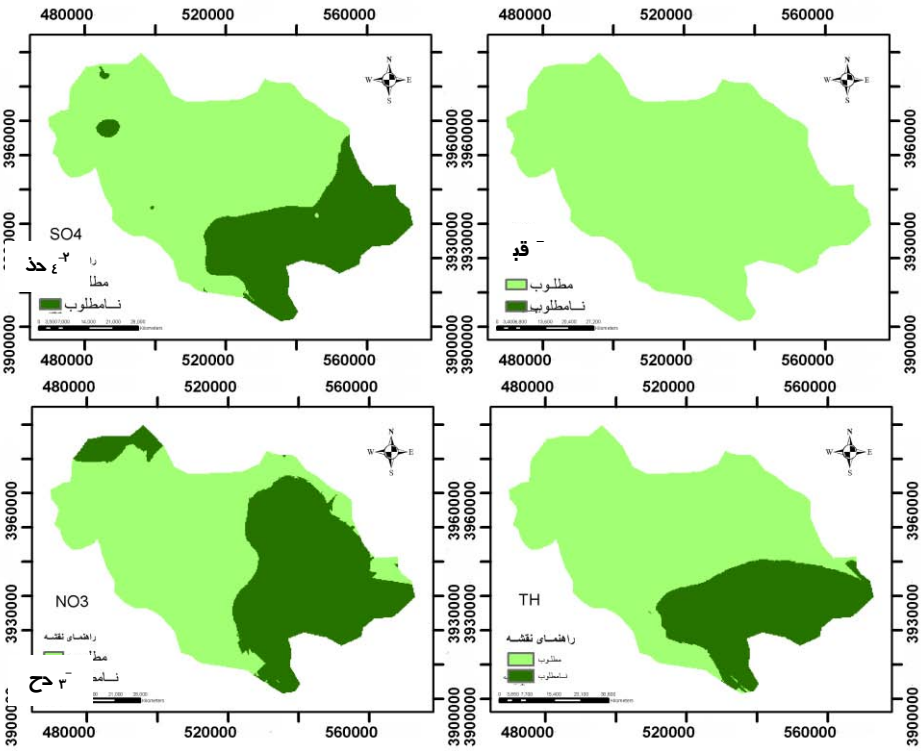
روش تخمین	کریجینگ معمولی	کریجینگ ساده	کریجینگ جامع	کریجینگ گسسته	کوکریجینگ
ثر (ق/عک)	۲۵۱/۷	۲٤۶/۱	۲۵۱/۱	۲٤۶/۸	۱۹۵/۵
قبˉ (ق/ل‌عک)	۲/۶۱۳	۲/۵۵۹	۲/۶۳۷	۲/۵۱۳	۲/۲۲۵
حذ$^{-2}_{٤}$ (ق/ل‌عک)	٤/٤۷۹	٤/۳۸۱	٤/٤۷۹	٤/۳۸۱	۳/۱٤۷
حˉ^{٣} (ق/ل‌عک)	۱/۳۹۲۲	۱/۳۸۵۲	۱/۳۹۲۲	۱/۳۸۵٤	۱/۳۸٤۹

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 3- نقشه تغییرات مکانی متغیرهای کیفی TH (mg/l)، Cl^- (meq/l)، SO_4^{-2} (meq/l) و NO_3^- (meq/l)



شکل 4- نقشه پهنه‌بندی شده متغیرهای کیفی TH (mg/l)، Cl^- (meq/l)، SO_4^{-2} (meq/l) و NO_3^- (meq/l) براساس استاندارد آب آشامیدنی ISIR, (2009)

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج بدست آمده، عمده متغیرهای مورد بررسی دارای چولگی بالایی بودند، که دلیل آن می‌تواند کم بودن تعداد نمونه‌ها باشد. بدین منظور از لگاریتم جهت نرمال‌سازی داده‌ها استفاده گردید. پس از ترسیم واریوگرام و برازش مدل مناسب بر روی آن‌ها، عوامل مربوطه استخراج شدند. استحکام ساختار فضایی متغیرها در تمامی حالات مناسب تشخیص داده شد. این امر نشان دهنده پیوستگی مکانی و دقت بالای مدل‌های برازش شده می‌باشد، که خود نقش مهمی در بالا بردن برآوردها دارد. به‌منظور برآورد متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی، از روش‌های زمین‌آماری سری کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های درون‌یابی براساس شاخص پذیرش، حکایت از برتری روش کوکریجینگ و بکارگیری متغیر کمکی دارد. نتایج بدست آمده با نتایج (لاغ‌لمگ‌چ &گ‌پهپف‌د، ۲۰۰۰) و(فف‌ععلاغ‌فلا غغ‌غ‌عع‌پهف غغ‌غ‌ر et al., ۱۹۹۸) مطابقت داشت. باتوجه به این که روش کوکریجینگ برای بیشتر پارامترهای آب زیرزمینی مناسب است، لذا می‌تواند بیانگر این نکته باشد که بیشتر پارامترهای آب های زیرزمینی دارای رابطه معنی‌دار با هم هستند (فکع‌م‌ع‌ع‌لاغ‌ف‌ع‌ع‌ث et al., ۲۰۰۹). باتوجه به اصول زمین‌آمار، متغیری که همبستگی مکانی مناسب و واریانس تخمینی کمتری دارد جهت تخمین، نیاز به نمونه‌برداری کمتری دارد و ازاین‌رو هزینه نمونه‌برداری آن نیز کمتر خواهد شد (کع‌ع‌ع‌غ‌ش et al., ۲۰۱۰). این یافته با نتایج بدست آمده پیشین (ف‌غغ‌لاف‌چ &ف‌عع‌کک‌ع‌غگ‌چ، ۲۰۰۲) و (فکع‌م‌ع‌ع‌لاغ‌ف‌ع‌ع‌ث et al., ۲۰۰۹) و (عغ‌ک‌غا، ۲۰۰۲) مطابقت داشت که همه آن‌ها نیاز به نمونه‌برداری کمتر و به طبع هزینه پایین‌تر را با استفاده از روش‌های زمین‌آماری را اذعان می‌نمایند.

باتوجه به نقشه‌های ارائه شده در شکل۳، ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات عامل‌های کیفی آب زیرزمینی تقریبا مشابه با یکدیگر می‌باشد. همچنین بیشترین تجمع غلظت عناصر مربوط به قسمت‌های شرق و جنوب‌شرقی دشت می‌باشد، که در این مورد، با درنظر گرفتن ناهمواری‌های طبیعی منطقه، این پدیده قابل توجیه است. علاوه بر تاثیر ناهمواری‌های طبیعی، افت کیفیت به سمت شرق و جنوب‌شرقی دشت می‌تواند به‌علت وجود زمین‌های کشاورزی، بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع زیرزمینی و تمرکز صنایع در این بخش نسبت به سایر نواحی دشت باشد، که در این زمینه بهترین پیشنهاد ممکن به مدیران منطقه‌ای، استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی استراتژیک جهت رسیدن به الگوهای توسعه پایدار منطقه‌ای است.

از طرفی با هدف بهره‌برداری آشامیدنی از منابع آبی زیرزمینی، در این پژوهش اقدام به پهنه‌بندی گستره دشت با استانداردهای آب آشامیدنی گردید (شکل۴). نتایج این پهنه‌بندی در مورد متغیر کلر، تمامی منطقه را از این منظر در محدوده مجاز طبقه‌بندی می‌کند. در مورد سایر متغیرها (سختی کل، سولفات و نیترات) روند کلی افزایش غلظت مطرح شده در بخش شرق و جنوب‌شرقی منطقه، بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط استانداردهای آب آشامیدنی قرار می‌گیرد.

پهنه‌بندی صورت گرفته می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای تعیین نواحی مناسب بهره‌برداری شرب، همراه با درنظر گرفتن سایر پارامترهای کیفی آب در محدوده مطالعاتی، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌های مشابه با درنظر گرفتن شرایط محیطی متغیرها و روش‌های متفاوت زمین‌آماری، به‌منظور دستیابی به اصولی کلی و اجمالی در خصوص بهره‌برداری شرب از آب‌های زیرزمینی صورت پذیرد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از مسئولان محترم اداره آب منطقه‌ای استان تهران بدلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

References

– [illegible] ۲۰۰۲. [illegible] ۳۷-۵۷.

– [illegible] ۱۹۹۸. [illegible] ۳۶، ۲۸۵-۲۹۵.

– [illegible] ۱۹۸۷. [illegible] ۱۹، ۲۴۱-۲۴۸.

– [illegible] ۱۹۹۹. [illegible] ۱۸-۲۱ [illegible] ۱۹۹۹، [illegible] ۹۹۲۰۰٤.

– [illegible] ۲۰۰۹. [illegible] ۷، ۲۳-۳٤.

– [illegible] ۲۰۰۶. [illegible] ۳۰ [illegible]

– [illegible] ۲۰۰۹. [illegible] ۱۸ [illegible]

– [illegible] ۱۹۹۸. [illegible] ٤، ۱۱٤، ۹۱۵-۹۲۸.

– [illegible] ۲۰۰۹. [illegible] ۶، ۱۶۹-۱۸۷.

– [illegible] ۲۰۰۲. [illegible] ۵۸۸-۵۹۰.

– [illegible] ۲۰۰۰. [illegible] ۱-۱۱.

– [illegible] ۲۰۰۷. [illegible] ۵۲، ۱-۱۰.

– [illegible] ۲۰۰۹. [illegible] ۲، ۶۳-۷۰.

– [illegible] ۲۰۱۰. [illegible] ۱۷، ۶۱-۷۳.

Archive of SID

Imulating Spatial Changes in Groundwater Qualitative Factors Using Geostatistical Methods
(Case Study: Tehran - Karaj Plain)

M. Sheikh Goodarzi[1]*, S. H. Mousavi [1] and N. Khorasani[2]

[1] [illegible]

[2] [illegible]

(Received: [illegible] , Accepted: [illegible])

Abstract

[illegible]

Keywords: [illegible]

* [illegible]

Archive of SID

www.SID.ir