شبيه‌سازي تغييرات مكاني در ويژگي‌هاي كيفي آب‌هاي زيرزميني با روش‌هاي زمين‌آمار (مطالعه موردي: دشت تهران-كرج)

مهدي شيخ گودرزي[1*]، سيد حسن موسوي[1] و نعمت الله خراساني[2]
[1] كارشناسي‌ارشد محيط‌زيست، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
[2] استاد محيط‌زيست، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
(تاريخ دريافت: ۱۳۹۰/۲/۱۳ ، تاريخ تصويب: ۱۳۹۰/۱۰/۱۰)

چكيده
تغيير در كيفيت آب‌هاي زيرزميني كه معمولا بر اثر مديريت غلط بهره‌برداري از آب زيرزميني رخ مي‌دهد، مقدمه‌اي بر تخريب ساير منابع چه به‌صورت مستقيم و چه به‌صورت غير مستقيم است. با توجه به اهميت منابع آبي زيرزميني به‌ويژه در نواحي خشک و نيمه‌خشک، و لزوم مديريت صحيح آن، اين پژوهش با هدف شبيه‌سازي تغييرات مكاني برخي ويژگي‌هاي كيفي آب‌هاي زيرزميني با تاكيد بر مصارف آشاميدني، به‌كمک روش‌هاي زمين‌آماري انجام شد. متغيرهاي كيفي انتخاب شده عبارتند از: سختي كل، يون كلر، سولفات و نيترات. نخست نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون كولموگروف- اسميرنوف بررسي و متغيرهاي غير نرمال به‌كمک تبديل لگاريتمي نرمال شدند. سپس تجزيه و تحليل واريوگرام و واريوگرام متقابل متغيرها براي انتخاب مدل مناسب انجام گرفت. ارزيابي صحت نتايج حاصل نيز با رويكرد ارزيابي متقابل و محاسبه مجذور ميانگين مربعات خطاي كمتر (RMSE) انجام شد. نتايج نشان داد روش كوكريجينگ (استفاده از متغير كمكي) داراي دقت برآورد بيشتري نسبت به ساير روش‌هاي زمين‌آماري مورد استفاده مي‌باشد، لذا درون‌يابي متغيرها با استفاده از روش كوكريجينگ انجام و در ادامه اقدام به پهنه‌بندي بر اساس استانداردهاي آب آشاميدني گرديد.

واژه هاي كليدي: شبيه‌سازي تغييرات مكاني، كيفيت آب زيرزميني، روش‌هاي زمين‌آمار، كوكريجينگ.

* نويسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۳٤٦۷۲۹۲ فاكس: ۰۲٦۳-۲۲۲۷۷٦٥۰ E-mail: goodarzi.9091@gmail.com

مقدمه

تغيير در كيفيت آب‌هاي زيرزميني كه معمولا بر اثر مديريت غلط بهره‌برداري از آب زيرزميني رخ مي‌دهد، مقدمه‌اي بر تخريب ساير منابع چه به‌صورت مستقيم و چه به‌صورت غير مستقيم است. در مناطق خشک و نيمه-خشک که وابستگي به اين منابع بيشتر است، اثر تخريبي به‌علت ضعف طبيعي در منابع آب و خاک شدت بيشتري خواهد داشت. لذا ضرورت مطالعه و بررسي كيفيت آن در اين مناطق مي‌تواند به مديريت صحيح استفاده از منابع آبي كمک نمايد (Zehtabyan *et al.*, 2010). در اين ميان استفاده از روش‌هاي سنتي براي بررسي وضعيت كيفي سفره‌هاي زيرزميني كاري زمان‌بر و پرهزينه است، از اين‌رو روش‌هاي زمين‌آماري با توجه به داشتن توانمندي-هايي چون كاهش تعداد نمونه‌برداري، كاربرد توام و ارائه برآوردهاي دقيق‌تر از وضعيت مكاني متغيرها، به لحاظ استفاده مي‌توانند باعث كاهش هزينه‌ها و افزايش دقت برآوردها شود. اين دانش در ساير علوم همچون هواشناسي كشاورزي، اقليم‌شناسي، خاک‌شناسي و زيست شناسي كاربرد فراواني دارد. از سويي ديگر در سال‌هاي اخير پژوهشگران بسياري به‌كمک روش‌هاي زمين‌آماري مبادرت به تهيه نقشه‌هاي كيفي آب‌هاي زيرزميني نموده‌اند (Habibi Arbatani *et al.*, 2009). (2002) Missaghi & Mohammadi سطح آب زيرزميني را با استفاده از روش‌هاي متداول درون‌يابي و زمين‌آماري برآورد و اين روش‌ها را با هم مقايسه كردند. نتايج نشان دهنده دقت قابل قبول روش زمين‌آمار و تخمين‌گر كريجينگ در مقايسه با ديگر روش‌هاي آمار كلاسيک مي‌باشد.

در پژوهشي مشابه توسط Zehtabyan *et al.*,(2010) و Habibi Arbatani *et al.*, (2009) به برآورد بهترين روش مدل‌سازي توزيع مكاني پارامترهاي كيفي آب زيرزميني به كمک روش‌هاي زمين‌آماري و معين پرداخته شد. نتايج اين پژوهش‌ها حاكي از دقت بالاتر روش‌هاي زمين-آماري به ويژه در شرايط استفاده از متغيرهاي كمكي نسبت به روش‌هاي معين در اكثر موارد مي‌باشد. (2002) Ahmedروش كريجينگ را در برآورد وابستگي مكاني متغيرهاي كيفي آب مثل كل جامدات محلول به كار برد و نتيجه گرفت كه كريجينگ قابليت بالايي براي اين هدف دارد. Ella *et al.*, (1999) به بررسي تغييرهاي مكاني غلظت ازت نيتراتي در آب‌هاي زيرزميني كم عمق و عميق پرداختند. نتايج بدست آمده ساختار مكاني ضعيفي از غلظت ازت نيتراتي را در چاه‌هاي كم عمق و عميق نشان داد. Istok & Cooper (1998) روش كريجينگ را در برآورد غلظت عناصر سنگين مورد استفاده قرار دادند، اين پژوهشگران به اين نتيجه رسيدند كه روش ياد شده بهترين برآورد كننده خطي نااريب غلظت سرب مي‌باشد. Dagostino *et al.*, (1998) به بررسي تغييرات مكاني و زماني غلظت نيترات به كمک روش‌هاي كريجينگ و كوكريجينگ در آب‌هاي زيرزميني پرداختند. نتايج آن‌ها نشان داد كه روش كوكريجينگ باعث افزايش دقت در برآورد غلظت نيترات شده است. Rizzo & Mouser (2000) زمين‌آمار را براي تجزيه تحليل كيفيت آب‌هاي زيرزميني مورد استفاده و نمايه-هايي از كيفيت شامل غلظت كلر، سولفات، سديم، كلسيم و ميزان شوري را مورد بررسي قرار دادند. آنها جمعيت ميكروبي را به‌عنوان متغير كمكي در روش كوكريجينگ مورد استفاده قرار دادند، نتايج نشان داد كه كوكريجينگ دقت بهتري در برآورد كيفيت آب‌هاي زيرزميني دارد. به-طوركلي مي‌توان گفت زمين‌آمار به بررسي آن دسته از متغيرهايي مي‌پردازد كه داراي ساختار مكاني بوده و به عبارت ديگر بين مقادير، فاصله و جهت قرار گرفتن آن‌ها يک ارتباط فضايي وجود دارد (Hassanipak, 2006). با توجه به اهميت منابع آبي زيرزميني به‌ويژه در نواحي خشک و نيمه‌خشک، و لزوم مديريت صحيح آن، پژوهش حاضر با هدف شبيه‌سازي تغييرهاي مكاني برخي از ويژگي‌هاي كيفي آب‌هاي زيرزميني با تاكيد بر مصارف آشاميدني، با استفاده روش‌هاي زمين‌آماري انجام گرفت. متغيرهاي كيفي آب آشاميدني مورد ارزيابي در اين پژوهش عبارتند: از ميزان سختي كل (TH[1])، غلظت يون

[1] Total Hardness

کلر (Cl^-)، غلظت يون سولفات (SO_4^{-2}) و غلظت يون نيترات (NO_3^-).

مواد و روش‌ها

معرفي منطقه مورد بررسي

منطقه مورد بررسي دشت تهران-کرج، حد فاصل استان-هاي تهران و البرز مي‌باشد. اين دشت با مساحتي در حدود ۴۴۱۰ کيلومتر مربع، در حاشيه جنوبي البرز و در محدوده جغرافيايي ۵۰ درجه و ۴۱ دقيقه تا ۵۱ درجه و ۴۸ دقيقه طول جغرافيايي و ۳۵ درجه و ۳ دقيقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقيقه عرض جغرافيايي قرار دارد. ميانگين بارش و دماي ساليانه در اين محدوده به ترتيب برابر ۳۱۶ ميلي‌متر و ۳۹/۴ درجه سانتي‌گراد است. شکل۱، موقعيت جغرافيايي منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه-برداري را نشان مي‌دهد.

منابع آماري

براي انجام اين پژوهش از داده‌هاي کيفي آب‌هاي زيرزميني چاه‌هاي عميق و نيمه‌عميق در محدوده دشت تهران-کرج مربوط به سال ۱۳۸۸ (تهيه شده توسط اداره آب منطقه‌اي استان تهران) استفاده گرديد. از ميان داده-هاي اندازه‌گيري شده، اطلاعات مربوط به ۷۰ حلقه چاه از نظر صحت و کفايت مناسب تشخيص داده شد و مورد تجزيه و تحليل قرار گرفت. همچنين بررسي ويژگي‌هاي آماري، درون‌يابي و پهنه‌بندي‌هاي کيفي داده‌ها در محيط‌هاي نرم افزاري SPSS 16.0، GS+ 5.3 و ArcGIS 9.3 انجام گرفت.

بررسي ساختار مکاني داده‌ها

تخمين‌گرهاي زمين‌آماري مقادير مجهول را با استفاده از مقادير معلوم و واريوگرام برآورد مي‌کنند. واريوگرام مدلي رياضي است که به‌منظور تشريح پيوستگي مکاني يک متغير به‌کار مي‌رود. به اين منظور لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطي که به فاصله معلوم h از يکديگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h رسم گردد.

معادله۱، و شکل۲، فرم محاسباتي و نمايي کلي از يك واريوگرام را نشان مي‌دهند (Marofi *et al.*, 2009).

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}(Z(x_i+h)-Z(x_i))^2 \qquad (۱$$

که در آن:

$\gamma(h)$: مقدار واريوگرام در فاصله (h)، $Z(x_i+h)$: مقدار اندازه‌گيري شده متغير در مکان (x_i+h)

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گيري شده متغير در مکان (x_i)،

n: تعداد نقاط اندازه‌گيري

روش هاي زمين‌آماري

- کريجينگ معمولي[1]

کريجينگ برآورد گري است که مقادير يک متغير را در نقاط نمونه‌برداري نشده به صورت ترکيبي خطي از مقادير همان متغير در نقاط اطراف آن درنظر مي‌گيرد و براي برآورد نقاط ناشناخته، به هريک از نمونه‌ها وزني نسبت مي‌دهد (معادله۲).

$$Z_0=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \qquad (۲$$

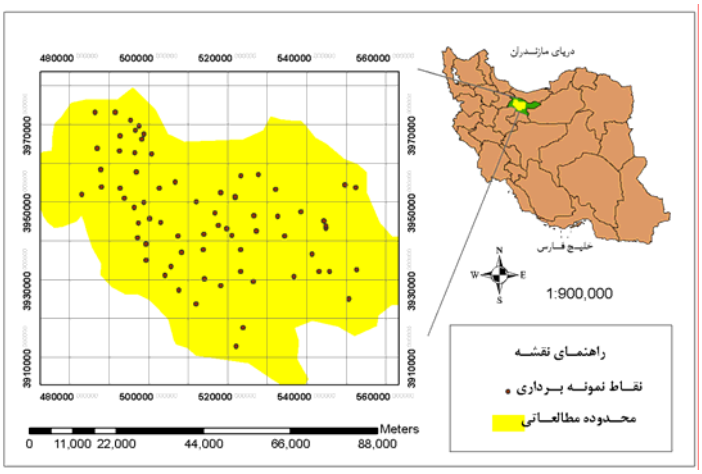
که در آن:

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گيري شده متغير در مکان (x_i)، Z_0 مقدار برآورد شده متغير در نقطه

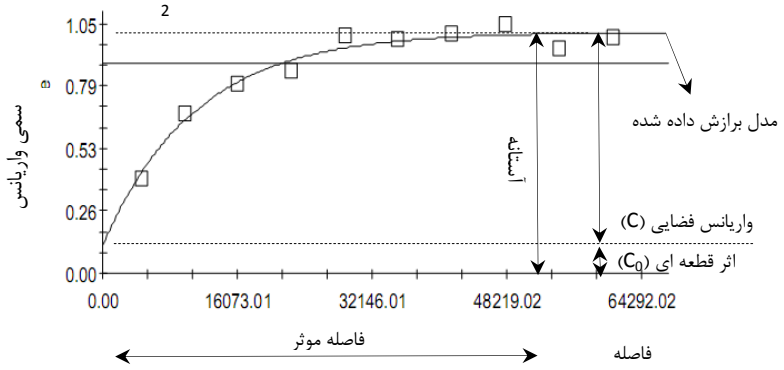
λ_i: وزن داده شده به متغير x در نقطه i

n: تعداد نقاطي که متغير در آن‌ها اندازه گيري شده است. شرط استفاده از اين برآورد گر اين است که متغير داراي توزيع نرمال باشد (Zehtabyan *et al.*, 2010).

[1] Ordinary Kriging



شكل ١- موقعيت جغرافيايي منطقه مورد بررسي و پراكنش نقاط نمونه‌برداري



شكل ٢- نمايي كلي از واريوگرام **(Marofi *et al.*, 2009)**

- كريجينگ ساده[1]

تخمين‌گر كريجينگ ساده به شكل تركيب خطي وزن‌دار است؛ اما اين ميانگين μ، كه بايستي حتما داراي ويژگي ايستايي مرتبه دوم باشد در فرآيند براورد مورد توجه و استفاده قرار مي‌گيرد.

- كريجينگ جامع[2]

كريجينگ جامع در شرايطي است كه هر دو مولفه تغييرپذيري (جبري و تصادفي)، به‌طور همزمان در ساختار مكاني متغير ناحيه‌اي وجود داشته باشند؛ به‌طوري كه رفتار و الگوي تغييرپذيري متغير مربوط را مي‌توان در قالب مدل زير نشان داد (معادله٣):

$$Z(x)=\sum_{k=0}^{k} ak.fk(x_i)+\varepsilon(x_i) \qquad (٣$$

- كريجينگ گسسته[3]

اين مدل برآورد گري غيرخطي مي‌باشد و در شرايطي كه توزيع داده‌ها پيچيده است، و يا برازش آن‌ها از راه توزيع‌هاي معمول آماري (نرمال و يا لوگ نرمال) دشوار باشد، به‌كار گرفته مي‌شود (Habibi Arbatani *et al.*, 2009).

[1] Simple Kriging
[2] Universal Kriging
[3] Disjunctive Kriging

- کوکریجینگ[1]

همانطوري که در آمـار کلاسـیک، روشـهاي چنـدمتغیره براي برآورد وجود دارد، در زمین‌آمار نیز مي‌توان به‌کمـک روش کوکریجینگ بر اساس همبـستگي بـین متغیرهـاي مختلف برآورد زد، که این ویژگي مـي‌توانـد باعـث دقـت بیـشتر بـرآوردهـا و صـرفه‌جـویي در هزینـه‌هـا شـود (Taghizade Mehrjerdi *et al.*, 2009). معادلـــه کوکریجینگ (٤) با فرض وجود یک متغیر کمکـي و یـک متغیر اصلي به شرح زیر است:

$$Z^*(x_0)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_{1i}Z_1(x_i)+\sum_{j=1}^{m}\lambda_{2j}Z_2(x_j) \qquad (٤$$

که در آن:

$Z_2(x_i)$: متغیر مکاني کمکي یا ثانویه

$Z_1(x_j)$: متغیر مکاني اصلي

$Z^*(x_0)$: مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0

m و n به ترتیب تعداد نقاط نمونه‌برداري متغیرهاي اصلي و کمکي λ_{1i} و λ_{2j} عبارتند از وزن‌هاي آماري اختصاص داده شده به متغیرهاي اصلي و کمکي.

روش مناسب براي درون‌یابي و برآورد یک متغیر، به نـوع متغیر و عوامل منطقه‌اي تاثیرگذار بـر آن بـستگي دارد و نمي‌توان روش منتخب در یک منطقه را صرفا روشي برتر در تمـامي شـرایط دانـست (Istok & Cooper, 1998). از این‌رو در این پـژوهش، شـبیه‌سـازي تغییـرات مکـاني بـا استفاده از روش‌هاي زمـین‌آمـاري کریجینـگ (معمـولي، ساده، جهاني، گسسته) و کوکریجینگ (همـراه بـا متغیـر کمکي) انجام گرفت.

تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابي و پهنه‌بندي کیفي جهت مصارف شرب

پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات درون‌یابي بوسیله روش‌هاي مذکور بررسي گردید. براي این منظور مي‌توان از شیوه‌هاي مختلفي استفاده نمود که یکي از مناسب‌ترین آنها استفاده از نتایج ارزیابي متقابل[2] مي‌باشد (Davis, 1987). بدین ترتیب که ابتدا یکي از نقاط اندازه‌گیري را حذف نموده و سپس با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابي مورد نظر براي نقطه حذف شده، برآورد آماري صورت مي‌گیرد. در مرحله بعد این نقطه به محل خود بازگردانیده مي‌شود و نقطه بعدي حذف مي‌گردد، به‌همین ترتیب براي تمامي نقاط یک برآورد و یک مقدار مشاهده‌اي ارائه مي‌گردد. معیارهاي مختلفي براي ارزیابي کارایي روش‌هاي درون‌یابي وجود دارد. در این پژوهش به‌منظور آزمون نکویي برازش روش-هاي درون‌یابي، از معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE[3]) استفاده شد، که معادله محاسبه این معیار (۵) به‌صورت زیر است (Davis, 1987):

$$RMSE=\sqrt{[\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(x_i)-Z(x_i)\right)^2]/n} \qquad (۵$$

که در آن:

$\hat{Z}(x_i)$: مقدار برآورد شده در نقطه‌ي x_i

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیري شده در نقطه‌ي x_i

i: شماره‌ي نقاط

n: تعداد نقاط مشاهده شده معیار را دارد، استفاده گردید.

در نهایت متغیرهاي درون‌یابي شده براسـاس اسـتاندارد-هـاي ملـي تـدوین شـده توسـط موسـسه اسـتاندارد و تحقیقات صنعتي، جهت بهره برداري شرب مـورد طبقـه-بندي مجدد قرار گرفتند (جدول۱).(ISIR, 2009)

[1] Co-Kriging

[2] Cross Validation

[3] Root of Mean Square Error

جدول ۱- استانداردهاي آب آشاميدني

متغير	حد مجاز (mg/l)	حد مطلوب (mg/l)
TH	۵۰۰	۱۵۰
Cl^-	۶۰۰	۲۰۰
$SO4^{-2}$	۴۰۰	۲۰۰
$NO3^-$	۴۵	۰

نتايج

استفاده از روش‌هاي زمين‌آماري مستلزم بررسي وجود ساختار مكاني ميان داده‌ها است كه اين امر توسط تجزيه و تحليل واريوگرام بررسي مي‌شود. همچنين با استفاده از واريوگرام مي‌توان شعاع همبستگي متغيرها، بررسي حالت ايستايي و وجود يا عدم وجود روند را در داده‌ها را تشخيص داد. شرط استفاده از اين تجزيه و تحليل نرمال بودن داده‌ها است. بدين منظور از آزمون كولموگروف-اسميرنوف جهت بررسي نرمال بودن داده‌ها استفاده شد، كه از ميان متغيرهاي مورد بررسي در اين پژوهش، تنها يون نيترات (و در ميان متغيرهاي كمكي هدايت الكتريكي EC) نرمال بودند. در ادامه متغيرهاي غير نرمال با گرفتن لگاريتم از داده‌هاي اصلي نرمال شدند.

همچنين به‌منظور برازش بهترين مدل بر روي واريوگرام تجربي از ميزان RSS[1] كمتر و استحكام ساختار فضايي قوي‌تر استفاده شد؛ بدين صورت كه هرچه نسبت $C_0/(C_0+C)$ كوچكتر باشد، ساختار فضايي متغير بهتر ترسيم مي‌گردد (Shi *et al.*, 2007). نتايج تجزيه و تحليل‌هاي واريوگرام متغيرها در جدول۲، ارائه شده است. طبق نتايج بدست آمده، بهترين مدل برازش داده شده براي متغيرهاي سختي كل، يون سولفات و نيترات مدل كروي و براي يون كلر، مدل نمايي است. در رابطه با ساختار فضايي متغيرها نيز يون‌هاي كلر و سولفات داراي ساختار فضايي قوي (كوچكتر از ۰/۲۵) و سختي كل و يون نيترات داراي ساختار فضايي متوسط (بين ۰/۲۵-۰/۷۵) مي‌باشند. جدول ۳، نتايج حاصل از واريوگرام متقابل داده‌ها كه براي محاسبه روش كوكريجينگ مورد نياز است را نشان مي‌دهد.

در روش كوكريجينگ، پس از تشكيل ماتريس همبستگي براي پيش‌بيني كيفيت آب از عاملي به عنوان متغير كمكي استفاده شد كه داراي بيشترين ضريب همبستگي با متغير مورد نظر باشد. لذا براي برآورد سختي كل و يون كلر از ضريب هدايت الكتريكي (r=۰/۹۹۹) و (r=۰/۸۶۰)، سولفات از كاتيون (r=۰/۹۳۴) و نيترات از پتاسيم (r=۰/۶۰۶) استفاده گرديد. مدل‌هاي مناسب در اين روش نيز عبارتند از: مدل كروي براي يون كلر و نيترات و مدل نمايي براي متغيرهاي سختي كل و سولفات. نتايج حاصل نشان مي‌دهد كه رابطه همبستگي ميان متغيرها با اعمال متغير كمكي در تمام موارد بجز كلر كه تغيير چنداني نداشته، قوي‌تر شده است.

براي تعيين مناسب‌ترين روش درون‌يابي ميان روش‌هاي زمين‌آماري مورد استفاده، از معيار مجذور ميانگين مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتايج نشان داد كه روش كوكريجينگ در مقايسه با مجموعه روش‌هاي كريجينگ داراي خطاي كمتري بوده و دقت پيش بيني را تا حد بسيار زيادي بالا برده است (جدول۴). در نهايت درون‌يابي متغيرها با استفاده از روش كوكريجينگ و براساس استانداردهاي ملي آب آشاميدني در محيط سامانه اطلاعات جغرافيايي انجام گرفت (شكل‌هاي ۳و۴).

[1] Residual Sums of Squares

جدول ۲- نتايج تجزيه و تحليل واريوگرام

متغير	ميانگين	انحراف معيار	چولگي	مدل	اثر قطعه‌اي (C_0)	آستانه (C_0+C)	شعاع تاثير	$C_0/(C_0+C)$	R^2	RSS
TH (mg/l)	۲۸۲/۶۷	۱/۲٤	۰/۵۳	كروي	۰/۲۰۲	۰/۶۱۱	٦۸۷۰۰	۰/۳۳۰	۰/۹۰٦	۰/۰۱۵۲
Cl^- (meq/l)	۲/۳٦	۱/۵٦	۰/۹۵	نمايي	۰/۱۲۰	۱/۰۱٤	۱۱۱۰۰	۰/۱۱۸	/۰۹٦٤	۰/۰۱۳٦
SO_4^{-2} (meq/l)	۲/۹۹	۱/٤۸	۰/٦۰	كروي	۰/۲۰۳	۰/۹۳۲	۳۵۸۰۰	۰/۲۱۷	۰/۸۸۵	۰/۰۵۳٦
NO_3^- (meq/l)	۰/٦۱	۰/٤٤	۱/۱۳	كروي	۰/۳۱۶	۰/٦۹۳	٤۱۷۰۰	۰/٤۵۵	۰/۸۷٦	۰/۰۱٦۹

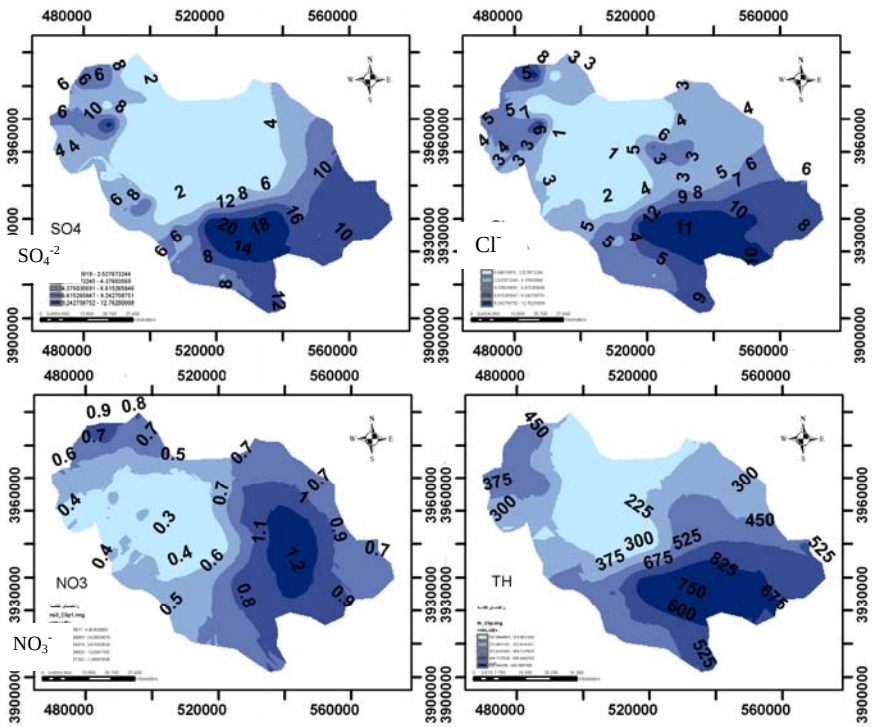
جدول ۳- نتايج تجزيه و تحليل واريوگرام متقابل

متغير	متغير كمكي	ضريب همبستگي**	مدل	اثر قطعه-اي(C_0)	آستانه (C_0+C)	شعاع تاثير	$C_0/(C_0+C)$	R^2
TH (mg/l)	EC (µs/cm)	۰/۹۹۹	نمايي	۸	۶۵۴/۵	۱۹۹۰۰	۰/۰۱۲۲	۰/۹۰۹
Cl^- (meq/l)	EC (µs/cm)	۰/۸٦۰	كروي	۱۸۲	۸٦۹/۸	٤۹٤۰۰	۰/۲۰۹۲	۰/۹۳٦
SO_4^{-2} (meq/l)	Kation (meq/l)	۰/۹۳٤	نمايي	۰/۰۹	۹/۵	۱٤۹۰۰	۰/۰۰۹٤	۰/۸۸۲
NO_3^- (meq/l)	K^+ (meq/l)	۰/٦۰٦	كروي	۰/۰۰۲۰۶	۰/۰۲۵۰۲	۸۳٤۰۰	۰/۰۸۲۳	۰/۹۵٦

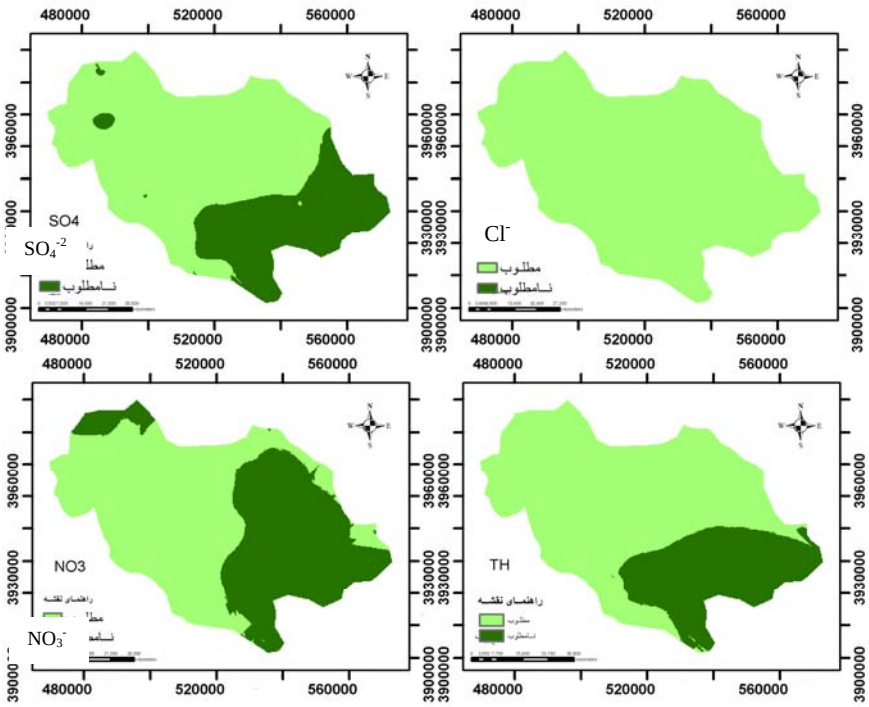
** داده ها در سطح ۹۹درصد با يكديگر ارتباط معني‌داري دارند.

جدول ۴- مقايسه مقادير **RMSE** حاصل از روش‌هاي زمين‌آماري

روش تخمين	كريجينگ معمولي	كريجينگ ساده	كريجينگ جامع	كريجينگ گسسته	كوكريجينگ
TH (mg/l)	۲۵۰/۷	۲٤٦/۱	۲۵۱/۰	۲٤٦/۸	۱۹۵/۵
Cl^- (meq/l)	۲/٦۰۳	۲/۵۵۹	۲/٦۳۷	۲/۵۰۳	۲/۲۲۵
SO_4^{-2} (meq/l)	٤/٤۷۹	٤/۳۸۱	٤/٤۷۹	٤/۳۸۱	۳/۱٤۷
NO_3^- (meq/l)	۰/۳۹۲۲	۰/۳۸۵۲	۰/۳۹۲۲	۰/۳۸۵٤	۰/۳۸٤۹



شکل ۳- نقشه تغییرات مکاني متغیرهاي کیفي **TH (mg/l)**، **Cl^- (meq/l)**، **SO_4^{-2} (meq/l)** و **NO_3^- (meq/l)**



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندي شده متغیرهاي کیفي **TH (mg/l)**، **Cl^- (meq/l)**، **SO_4^{-2} (meq/l)** و **NO_3^- (meq/l)** براساس استاندارد آب آشامیدني **ISIR, (2009)**

بحث و نتيجه‌گيري

براساس نتايج بدست آمده، عمده متغيرهاي مورد بررسي داراي چولگي بالايي بودند، كه دليل آن مي‌تواند كم بودن تعداد نمونه‌ها باشد. بدين منظور از لگاريتم جهت نرمال-سازي داده‌ها استفاده گرديد. پس از ترسيم واريوگرام و برازش مدل مناسب بر روي آن‌ها، عوامل مربوطه استخراج شدند. استحكام ساختار فضايي متغيرها در تمامي حالات مناسب تشخيص داده شد. اين امر نشان دهنده پيوستگي مكاني و دقت بالاي مدل‌هاي برازش شده مي‌باشد، كه خود نقش مهمي در بالا بردن برآوردها دارد. به‌منظور برآورد متغيرهاي كيفي آب‌هاي زيرزميني، از روش‌هاي زمين‌آماري سري كريجينگ و كوكريجينگ استفاده شد. نتايج حاصل از ارزيابي روش‌هاي درون‌يابي براساس شاخص RMSE، حكايت از برتري روش كوكريجينگ و بكارگيري متغير كمكي دارد. نتايج بدست آمده با نتايج Rizzo & Mouser (2000)، (2009) Taghizade Mehrjerdi *et al.*, و Dagostino *et al.*, (1998) مطابقت داشت. باتوجه به اين كه روش كوكريجينگ براي بيشتر پارامترهاي آب زيرزميني مناسب است، لذا مي‌تواند بيانگر اين نكته باشد كه بيشتر پارامترهاي آب‌هاي زيرزميني داراي رابطه معني‌دار با هم هستند (Habibi Arbatani *et al.*, 2009). باتوجه به اصول زمين‌آمار، متغيري كه همبستگي مكاني مناسب و واريانس تخميني كمتري دارد جهت تخمين، نياز به نمونه‌برداري كمتري دارد و ازاين‌رو هزينه نمونه‌برداري آن نيز كمتر خواهد شد (Zehtabyan *et al.*, 2010). اين يافته با نتايج بدست آمده پيشين Missaghi & Mohammadi (2002)، Habibi Arbatani *et al.*,(2009) و Ahmed (2002) مطابقت داشت كه همه آن‌ها نياز به نمونه‌برداري كمتر و به طبع هزينه پايين‌تر را با استفاده از روش‌هاي زمين‌آماري را اذعان مي‌نمايند.

باتوجه به نقشه‌هاي ارائه شده در شكل۳، ملاحظه مي-گردد كه روند تغييرات عامل‌هاي كيفي آب زيرزميني تقريبا مشابه با يكديگر مي‌باشد. همچنين بيشترين تجمع غلظت عناصر مربوط به قسمت‌هاي شرق و جنوب‌شرقي دشت مي‌باشد، كه در اين مورد، با درنظر گرفتن ناهمواري‌هاي طبيعي منطقه، اين پديده قابل توجيه است. علاوه بر تاثير ناهمواري‌هاي طبيعي، افت كيفيت به سمت شرق و جنوب‌شرقي دشت مي‌تواند به‌علت وجود زمين‌هاي كشاورزي، بهره‌برداري بيش از حد مجاز از منابع زيرزميني و تمركز صنايع در اين بخش نسبت به ساير نواحي دشت باشد، كه در اين زمينه بهترين پيشنهاد ممكن به مديران منطقه‌اي، استفاده از رويكرد برنامه‌ريزي استراتژيک جهت رسيدن به الگوهاي توسعه پايدار منطقه‌اي است.

از طرفي با هدف بهره‌برداري آشاميدني از منابع آبي زيرزميني، در اين پژوهش اقدام به پهنه‌بندي گستره دشت با استانداردهاي آب آشاميدني گرديد (شكل۴). نتايج اين پهنه‌بندي در مورد متغير كلر، تمامي منطقه را از اين منظر در محدوده مجاز طبقه‌بندي مي‌كند. در مورد ساير متغيرها (سختي كل، سولفات و نيترات) روند كلي افزايش غلظت مطرح شده در بخش شرق و جنوب-شرقي منطقه، بالاتر از حد مجاز تعيين شده توسط استانداردهاي آب آشاميدني قرار مي‌گيرد.

پهنه‌بندي صورت گرفته مي‌تواند به‌عنوان راهنمايي براي تعيين نواحي مناسب بهره‌برداري شرب، همراه با درنظر گرفتن ساير پارامترهاي كيفي آب در محدوده مطالعاتي، مورد استفاده قرار گيرد. همچنين پيشنهاد مي‌گردد پژوهش‌هاي مشابه با درنظر گرفتن شرايط محيطي متغيرها و روش‌هاي متفاوت زمين‌آماري، به‌منظور دستيابي به اصولي كلي و اجمالي در خصوص بهره‌برداري شرب از آب‌هاي زيرزميني صورت پذيرد.

تقدير و تشكر

بدين‌وسيله از مسئولان محترم اداره آب منطقه‌اي استان تهران بدليل در اختيار قرار دادن اطلاعات مورد نياز اين تحقيق، تشكر و قدرداني مي‌گردد.

References

- 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. No, 2. pp: 37-57.
- Dagostino, V., Greene, E.A, Passarella, B., Vurro, G., 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. Environmental Geology. No, 36. pp: 285-295.
- Davis, B.M., 1987.Uses and abuses of cross-validation in geostatistics .Math. Geol. No, 19. pp: 241-248.
- Ella, V.B., Melvin, S.W., Kanwar, R.S., 1999. Spatial analysis of NO_3-N concentration in glacial till. ASAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July 1999, ASAE Paper No, 992004.
- Habibi Arbtani,V., Ahmadi, A., Fattahi, M.M., 2009. Modeling of spatial variations of some chemical characteristics of underground waters using geostatistical methods. Iranian Watersheds Science and Engineering. No,7. pp: 23-34.
- Hassanipak, A.A., 2006. Geostatistics. Tehran University, 330 p. (In Persian).
- ISIR (Institute of Standards and Industrial Research of Iran)., 2009. Specification for drinking water (4^{th} Edition). Tehran, 18p. (In Persian).
- Istok, J.D., Cooper, R.M., 1998. Geostatistics applied to groundwater pollution. III: Global Estimates, Journal of Environmental Engineering. Vol, 4. No, 114. pp: 915-928.
- Marofi, S., Toranjeyan, A., Zare Abyaneh, H., 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream waters in Hamedan-Bahar plain. Journal of Water and Soil Conservation. No.16, pp: 169-187.
- Missaghi, F., Mohammadi, K., 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. pp: 588-590.
- Rizzo, D.M., Mouser, J.M., 2000. Evaluation of geostatistics for combined hydrochemistry and microbial community fingerprinting at a waste disposal Site. pp: 1-11.
- Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Liu, X., Zhu, H., Yu, C., 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of changxing, china, Environ Geol. No, 52. pp :1-10.
- Taghizade Mehrjardi, R., Zareian Jahromi., M., Mahmodi, Sh., Heidari, A., Sarmadian, F., 2009. Reviewing methods of spatial interpolation to investigate the underground water quality parameters, Rafsanjan plain. Journal of Iranian Watersheds Science and Engineering. No, 2. pp: 63-70.
- Zehtabyan, Gh., Jaanfaza, A., Mohammad Asgari, H., Nematollahi, M.C., 2010. Modeling of spatial variations of some groundwater chemical properties (case study: Garmsar watershed). Journal of Range and Desert Research of Iran. No, 17. pp: 61-73.

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*]M.Sc. Department of Environmental sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

[2]Professor, Department of Environmental sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

(Received: 02/05/2011 , Accepted: 30/11/2012)

Abstract

Changes in groundwater quality, is caused destruction of other resources, either directly or indirectly, due to bad management of groundwater extractions. Considering the importance of groundwater resources, especially in arid and semiarid regions, this research was done to modeling the spatial distribution of some groundwater qualitative factors with emphasis on drinking using geostatistical methods. Qualitative variables selected are: total hardness, chloride, sulfate and nitrate ions. First of all, normality of data investigated based on Kolmogrov-Smirnov test and non-normal variables were transformed to normal by using logarithmic transform. Then variography and cross-variogram analysis of variables was done. Accuracy assessment of results was investigated based on cross validation and root mean square error (RMSE). Results showed that Cokriging Method (using auxiliary variables) compared with other Geostatistical methods is a more accurate estimator, so interpolating and zoning of variables were done by using Cokriging Method and drinking water standards.

Keywords: Simulation, Groundwater quality, Geostatistical methods, Cokriging.

*Corresponding author: Tel: +989123467292 Fax: +98263-22277650 E-mail: goodarzi.9091@gmail.com