

مقدمه

حفظ اکوسیستم‌ها برای بقای بشر و سایر موجودات زنده در گرو آب است که این آب به لحاظ کیفی می‌بایست دارای ویژگی‌های کیفی و معیارهایی مشخص باشد و اگر تامین چنین آبی امکان پذیر نباشد، این فعالیت‌ها بی اثر می‌باشد [۱]. با توجه به تامین بیش تر آب مورد نیاز مناطق خشک از منابع زیرزمینی و همچنین شکننده بودن این اکوسیستم نسبت به اکوسیستم‌های دیگر، لذا بررسی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی این مناطق به منظور تضمین بقاء اکوسیستم و پیشگیری از شور شدن بیش از حد و همچنین سایر مشکلات کیفی امری بایسته است. در این میان استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کیفی سفره‌های زیرزمینی کاری زمان بر و پرهزینه است، لذا روش‌های زمین آماری با توجه به داشتن توانمندی‌های خوبی چون کاهش نمونه برداری‌ها و افزایش دقت تخمین‌ها، به لحاظ استفاده می‌تواند هم هزینه‌ها را کاهش داده و هم موجب افزایش دقت برآوردها شود. این دانش در سایر علوم همچون هواشناسی کشاورزی، اقلیم‌شناسی، خاکشناسی و بیولوژی بسیار مورد توجه واقع شده و کاربردهای فراوانی دارد. از سوی دیگر در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری به کمک روش‌های زمین آماری مبادرت به تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی نموده‌اند.

میثاقی و محمدی [۲] سطح آب زیرزمینی را با استفاده از روش‌های متداول درون‌یابی و روش زمین آمار تخمین و این روش‌ها را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان دهنده دقت قابل قبول روش زمین آمار و تخمینگر کریجینگ در مقایسه با دیگر روش‌های آمار کلاسیک بوده است. نظری زاده و همکاران [۳] از روش زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود استفاده کرده و گزارش نمودند که واریوگرام‌های هدایت الکتریکی، کلر و سولفات به ترتیب دارای دامنه‌ی تاثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰، ۱۰۲۱۰۰ متر و حد آستانه ۰/۵۳۳، ۱/۵۳۲ و ۲/۰۵ درصدند و از ساختار کروی تبعیت می‌کنند. کرسیک [۹] کریجینگ را به عنوان قابل اعتمادترین، قوی‌ترین و گسترده‌ترین روش برای درون‌یابی و تهیه‌ی منحنی‌های تراز آب‌های زیرزمینی می‌داند و عنوان می‌کند که روش یاد شده، روش ژئواستاتستیکی است که در آن واریانس مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. آگوستینو و همکاران

مدل سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی به کمک روش‌های زمین آماری

وحید حبیبی اربطانی^۱، عباس احمدی^۲ و محمد مهدی فتاحی^۳
تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۸

چکیده

این پژوهش با هدف مدل سازی تغییرات مکانی ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری و معین انجام گرفت. پارامترهای سدیم، کلر، بی‌کربنات، مجموع کاتیون‌ها، EC، SAR، TH و TDS از کل ویژگی‌های آب زیرزمینی انتخاب شدند. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد و نتایج نشان داد که پارامترهای EC، TDS و مجموع کاتیون‌ها نرمال نیستند که به کمک لگاریتم گیری نرمال شدند. سپس تجزیه و تحلیل واریوگرافی و واریوگرام متقابل پارامترها محاسبه شد. ارزیابی نتایج با محاسبه‌ی MAE و MBE برای مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای انجام گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های زمین آماری برتری شایان توجهی نسبت به روش‌های معین داشته و همچنین استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ دقت نتایج را بالا برده است. همچنین کوکریجینگ بهترین روش مدل سازی برای پارامترهای کلر، مجموع کاتیون‌ها، EC و TH، روش کریجینگ گسسته برای پارامترهای بی‌کربنات و سدیم، روش کریجینگ جامع برای پارامتر TDS و کریجینگ معمولی برای پهنه بندی پارامتر SAR می‌باشد. واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، روش‌های معین، زمین آمار، کوکریجینگ و مدل سازی

۱ - نویسنده‌ی مسئول و دانش‌آموخته کارشناس ارشد بیابان‌زدایی دانشگاه

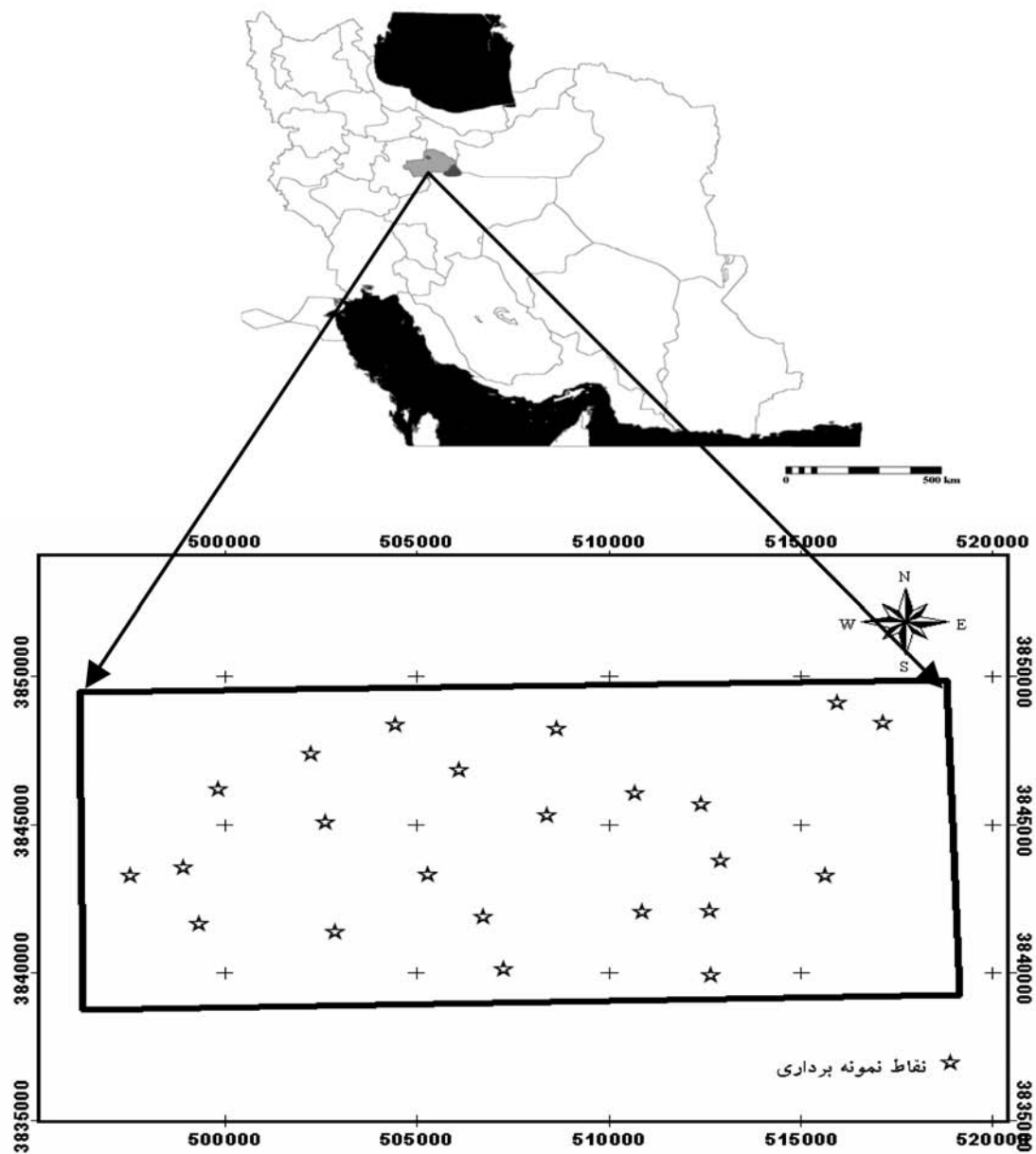
تهران Vhabibi.ut@gmail.com

۲ - استادیار دانشگاه آزاد اراک

۳ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه گرگان

بودند، تهیه کرده و تحلیل ژئواستاتستیکی روی داده های غلظت ازت نیتراتی انجام دادند. نتایج به دست آمده، ساختار مکانی وضعیتی را از غلظت ازت نیتراتی در چاه های کم عمق و عمیق نشان داد. این پژوهش با هدف مدل سازی تغییرات مکانی ویژگی های آب زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آماری و معین انجام گرفت. هدف از این مطالعه بررسی وضعیت تغییرات مکانی آب های زیرزمینی در یک دوره آماری است که با این بررسی می توان در آینده با تهیه نقشه ای مشابه نقشه های تهیه شده ی وضعیت تغییرات کیفی آب های زیرزمینی را در جهت بیابانزایی و یا احیای بیابان با تاکید بر مسایل آب منطقه در یک دوره ی آماری مشابه بررسی نمود.

[۶] به بررسی زمانی و مکانی غلظت نیترات در آب های زیرزمینی پرداختند. آنها از روش های کوکریجینگ و کریجینگ معمولی استفاده نموده و نتایج نشان دادند که افزایش عدم قطعیت باعث افزایش میزان واریانس می گردد و همچنین کاربرد روش کوکریجینگ باعث کاهش عدم قطعیت در تخمین غلظت نیترات شده و کاهش هزینه ی نمونه برداری صحرائی و کارهای آزمایشگاهی را در پی دارد. احمد [۴] کاربرد روش کریجینگ را در تخمین وابستگی مکانی متغیرهای کیفی آب مثل TDS به کار برد و نتیجه گرفت که کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد. الا و همکاران [۷] در رابطه با تغییرات مکانی غلظت ازت نیتراتی در آب های زیرزمینی کم عمق و عمیق مطالعه نمودند. نمونه های آب زیرزمینی از ۴۲ چاه که به گونه ی پراکنده حفر شده



شکل ۱ - موقعیت منطقه ی مورد مطالعه

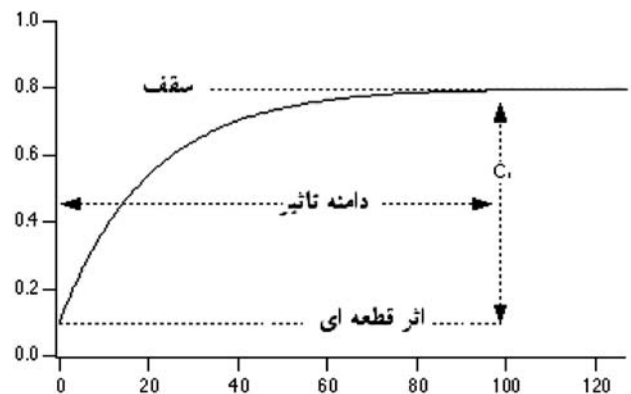
مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در بخشی از دشت شریف آباد با وسعتی بالغ بر ۳۷۰۰ هکتار بر روی رسوبات کواترنری با مختصات جغرافیایی "۵۲° ۵۰' تا "۱۷° ۵۲' طول شرقی و "۳۸° ۳۴' تا "۵۰° ۳۴' عرض شمالی، در شمال شرقی استان قم در فاصله‌ی ۲۰ کیلومتری قم واقع شده است. میانگین ارتفاع دشت از سطح دریا ۸۵۰ متر است. میانگین بارندگی سالانه بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی کشور ۱۳۷ میلی متر، میزان تبخیر از تشتک کلاس A حدود ۲۴۴۰ میلی متر در سال، بیشینه‌ی دمای سالانه ۴۵ و کمینه‌ی آن ۷- درجه‌ی سانتی گراد است. اقلیم منطقه با توجه به اقلیم نمای دومارتن اصلاح شده سرد و فراخشک است. شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

منابع آماری

برای انجام پژوهش از داده‌های کیفی آب زیرزمینی دشت شریف آباد تمام تماب مربوط به سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۶ استفاده شد که داده‌های ۲۳ حلقه چاه مشاهده‌ای از لحاظ صحت و کفایت مناسب تشخیص داده شد. همچنین به کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۲ - نمایی از یک واریوگرام

فاصله‌ی معلوم h از همدیگر واقع شده‌اند، محاسبه و در مقابل h رسم شوند. شکل (۲) نمایی از یک واریوگرام را نشان می‌دهد.

در این پژوهش سعی شد تا روش‌های گوناگون زمین آماری (کریجینگ معمولی^۲، کریجینگ جامع^۳، کریجینگ گسسته^۴ و کوکریجینگ^۵) و روش‌های معین (تابع شعاعی^۶ و میانگین متحرک وزنی^۷) با هم مقایسه شوند.

۱- روش‌های زمین آماری

۱-۱- کریجینگ معمولی

کریجینگ تخمین زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. برآورد مقدار Z در نقطه‌ی x_0 به وسیله‌ی تخمین زن کریجینگ با معادله‌ی (۱) بیان می‌شود.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (1)$$

که در آن Z^* مقدار متغیر مکانی بر آورد شده، $z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه‌ی x_i و λ_i وزنی است که به نمونه‌ی x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه‌ی i ام در برآورد است.

۱-۲- کریجینگ جامع

در شرایطی که هر دو مؤلفه‌ی تغییرپذیری (جبری و تصادفی)، همزمان در ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای وجود داشته باشند؛ رفتار و الگوی تغییرپذیری متغیر مربوط را می‌توان در قالب معادله‌ی (۲) نشان داد:

$$z(x) = \sum_{k=0}^k a_k f_k(x) + \varepsilon(x) \quad (2)$$

۱-۳- کریجینگ گسسته

عبارت از تخمین گر غیر خطی است و هنگامی که توزیع داده‌ها پیچیده باشد و همچنین برآزش آنها از راه توزیع‌های معمول آماری (نرمال و یا لوگ نرمال) دشوار باشد، به کار گرفته می‌شود.

۱-۴- کوکریجینگ

تخمین زن کوکریجینگ همان کریجینگ توسعه یافته است که در آن متغیرهای ثانویه نیز لحاظ شده‌اند. معادله‌ی (۳) نشان دهنده‌ی رابطه‌ی کوکریجینگ است.

$$z_1(s) = \sum_{a=1}^{a1} \lambda_{a1} z_1(S_{a1}) + \sum_{\beta=1}^{\beta2} \lambda_{\beta2} Z_2(V\beta1) \quad (3)$$

- 2- Ordinary Kriging
- 3- Universal Kriging
- 4- Disjunctive Kriging
- 5- Cokriging
- 6- Radial Basis Functions
- 7- Inverse Distance Weighting

بررسی ساختار مکانی داده‌ها

اساس زمین آمار بر تعریف نیم تغییرنا (واریوگرام)^۱ استوار است. تغییر واریانس بین نقاطی به فاصله‌ی h از یکدیگر، می‌تواند همبستگی متقابل بین مقدار متغیر و این نقاط را نشان دهد. در صورت وجود ساختار مکانی، طبیعی است که وابستگی مقدار متغیر در نقاط نزدیک به هم بیش تر از نقاط دور از هم باشد. اگر واریانس بین نقاطی به فاصله‌ی h کوچک باشد، نشانه‌ی وابستگی بیش تر متغیر بین آن نقاط است. این واریانس وابسته به فاصله را نیم تغییرنا می‌نامند. بدین منظور لازم است مجموع مربع تفاضل نقاطی که به

1- Semi Variogram

جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام

متغیر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	مدل	اثر قطعه ای	سقف	دامنه ی تاثیر	استحکام فضایی
TH (meq/lit)	۱۵۶۳/۸	۶۱۰	۰/۸۹	۰/۰۵	نمایی	۰/۰۱۴۲	۰/۱۳۶۴	۱۵۸۰	۰/۹۸
SAR (meq/lit)	۱۶/۷	۳/۴۳	۰/۶۱	-۰/۰۹	اسفروئیدی	۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۱۶	۷۳۳۰	۰/۹۹
EC ($\mu\text{moh/cm}$)	۹۱۱۰/۱	۲۹۳۶	۰/۵۸	-۰/۸۹	نمایی	۰/۰۵۴	۰/۱۰۹	۵۴۴۰	۰/۵۰۵
TDS (mg/lit)	۵۸۵۱	۲۰۹۳	۰/۶۴	-۰/۷۶	نمایی	۰/۰۷۶	۰/۱۵۳	۱۰۸۹۰	۰/۵۰۳
Na (meq/lit)	۶۵/۹	۲۳/۲	۰/۶۴	-۰/۸۴	اسفروئیدی	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۳۳۶	۳۶۸۰	۰/۹۹
Cl (meq/lit)	۶۴/۱۱	۲۳/۴	۰/۷۵	-۰/۶۳	نمایی	۰/۰۱۷۱	۰/۱۲۰۲	۱۱۵۰	۰/۸۵۸
Hco ₃ ⁻² (meq/lit)	۳/۰۰۷	۰/۵۳	۰/۳۱	-۰/۵۳	اسفروئیدی	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۴۱۷	۹۵۰۰	۰/۹۹۷
مجموع کاتیون ها	۹۷/۶	۳۴/۵	۰/۶۴	-۰/۸۴	نمایی	۰/۰۸۶	۰/۱۷۳	۲۲۵۹۰	۰/۵۰۳

جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام متقابل

متغیر	متغیر کمکی	ضریب همبستگی	مدل	اثر قطعه ای	سقف	دامنه تاثیر	استحکام فضایی
TH	مجموع کاتیونها	۰/۸۹	اسفروئیدی	۴۲۰	۳۸۳۱	۵۱۱۰۰	۰/۸۹
SAR	EC	۰/۸۹۴	اسفروئیدی	۱۳۰	۸۳۲/۴	۲۴۹۰۰	۰/۸۴۴
EC	TDS	۰/۹۹	نمایی	۳۷۱	۱۳۵۲/۹	۲۱۷۶۰	۰/۷۲۶
TDS	مجموع کاتیون ها	۰/۶۱۶	نمایی	۷/۳۱	۳۳/۸	۴۱۱۰۰	۰/۷۸۴
Na	EC	۰/۷۴۱	اسفروئیدی	۵۳۳	۱۶۸۲	۲۹۳۹۰	۰/۶۸۳
Cl	EC	۰/۶۵	نمایی	۶۵۲	۲۸۶۷	۴۱۱۰۰	۰/۷۷۳
Hco ₃	SAR	۰/۹۰۷	اسفروئیدی	۰/۰۰۱	۰/۴۵۲	۱۹۲۸۰	۰/۹۹۸
مجموع کاتیون ها	EC	۰/۶۶۸	نمایی	۶۰۹	۲۹۳۳	۴۱۱۰۰	۰/۷۹۲

R نشان دهنده ی فاصله ی اقلیدوسی بین هر جفت نقطه در مجموعه ی Ω است.

در این معادله $Z_1(s)$ تخمین متغیر Z_1 در نقطه ی s_0 و λa_1 و $\lambda \beta_1$ وزن های آماری مربوط به متغیرهای اولیه و ثانویه می باشند.

۲-۲- میانگین متحرک وزنی

در روش میانگین متحرک وزن دار، مقدار فاکتور وزنی (λ_i) با استفاده از معادله ی (۴) محاسبه می شود.

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (4)$$

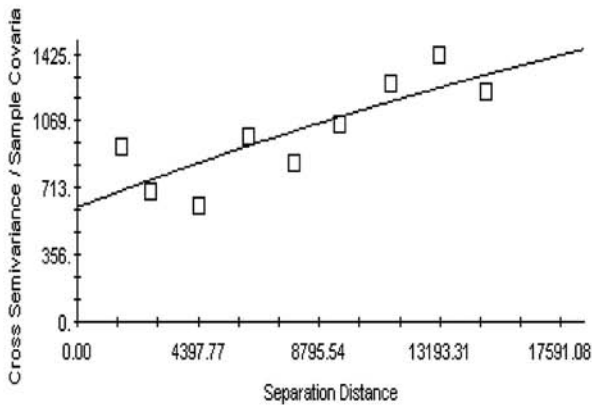
۲- روش های معین

۲-۱- تابع شعاعی

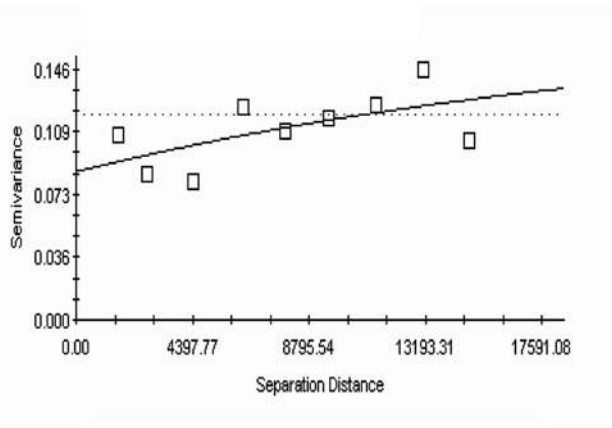
تابع شعاعی تابعی به صورت $\Phi(z) = \Phi(\|x - z\|)$ است که وابسته به فاصله بین $X \in R^d$ و نقطه ی ثابت $Z \in R^d$ است. در این تابع Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\Omega \in R^d$ می باشد.

جدول ۳- نتایج روش های گوناگون تخمین پارامترهای مورد مطالعه

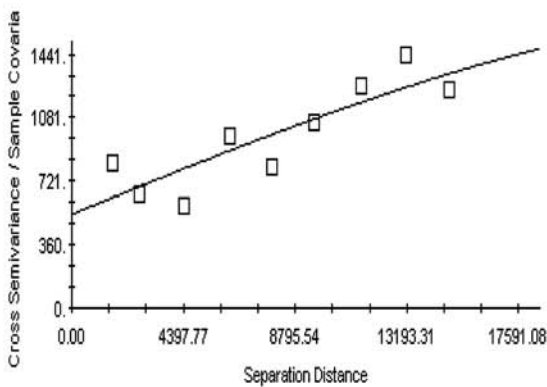
پارامتر	روش تخمین	MBE	MAE	پارامتر	MBE	MAE
TH	کریجینگ معمولی	۰/۹۲	۱۸/۶۳	SAR	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۸۶
	کریجینگ گسسته	۰/۱۳	۲۰/۵۲		-۰/۰۰۱۱	۰/۰۹۳
	کریجینگ جامع	۰/۷۷	۱۸/۷		-۰/۰۰۱۲	۰/۱۰۱
	کوکریجینگ	۱/۰۵	۱۷/۱۶		-۰/۰۰۵۱	۰/۱۰۲
	تابع شعاعی (اسپلاین)	۰/۶۳	۱۹/۰۱		-۰/۰۰۱	۰/۰۹۳
	میانگین متحرک وزنی توان ۱	۱/۶	۱۸/۷		-۰/۰۰۰۵	۰/۰۹۲
	میانگین متحرک وزنی توان ۲	۱/۹۵	۱۸/۹		-۰/۰۰۰۲	۰/۰۹۸
EC	کریجینگ معمولی	۲/۲۹	۸۵/۲	TDS	۲/۱۸	۶۰
	کریجینگ گسسته	۳/۸۷	۹۴/۹		۳/۳۴	۶۷/۲
	کریجینگ جامع	-۱۲/۵	۸۵/۷		۲/۴۳	۵۶/۳۴
	کوکریجینگ	۰/۱۱	۵۲/۳۷		-۹/۳	۶۰/۶
	تابع شعاعی (اسپلاین)	۱/۷۴	۶۱/۹		-۰/۳۲	۶۰/۷
	میانگین متحرک وزنی توان ۱	۳/۷	۸۵/۲		۲/۷	۵۹/۸
	میانگین متحرک وزنی توان ۲	۹/۱۴	۸۸/۱		۶/۷۶	۵۹/۹
مجموع کاتیون ها	کریجینگ معمولی	۰/۰۲	۱/۰۱۷	سدیم	۰/۰۱۲	۰/۶۸
	کریجینگ گسسته	-۰/۰۱	۱/۱۶		۰/۰۰۰۱	۰/۷
	کریجینگ جامع	-۱/۳	۱۸/۲۶		۰/۰۳۸	۰/۶۷
	کوکریجینگ	۰/۰۰۰۱۱	۰/۶۱		۰/۰۱۲	۰/۶۵
	تابع شعاعی (اسپلاین)	۰/۰۱۵	۱/۰۶۸		-۰/۰۳	۰/۶۷
	میانگین متحرک وزنی توان ۱	۰/۰۴۶	۱/۰۱۹		۰/۰۱۱	۰/۶۷
	میانگین متحرک وزنی توان ۲	۰/۱۰۸	۱/۰۲		۰/۰۵۵	۰/۶۶
کلر	کریجینگ معمولی	۰/۰۱۳	۰/۷۲	بی کربنات	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۶
	کریجینگ گسسته	۰/۰۲	۰/۷۷		۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۱۶
	کریجینگ جامع	-۰/۰۱۸	۰/۷۱		۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۶
	کوکریجینگ	۰/۰۱۳	۰/۷۰		۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۱۶
	تابع شعاعی (اسپلاین)	-۰/۰۱۸	۰/۷۱		۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۶
	میانگین متحرک وزنی توان ۱	۰/۰۲	۰/۷۰		۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۱۶
	میانگین متحرک وزنی توان ۲	۰/۰۷	۰/۷۴		۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۶



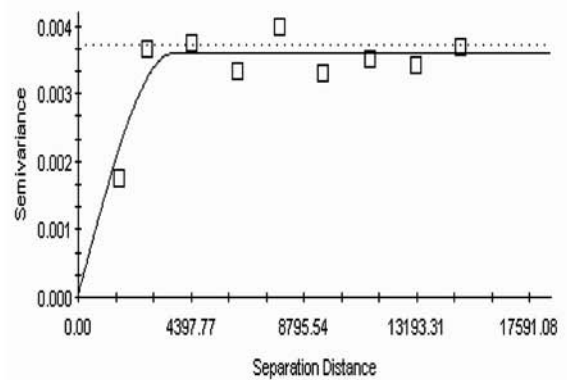
شکل ۲ - واریوگرام متقابل مجموع کاتیون‌ها



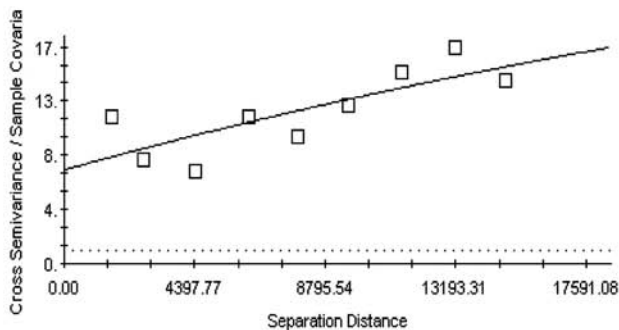
شکل ۳ - واریوگرام مجموع کاتیون‌ها



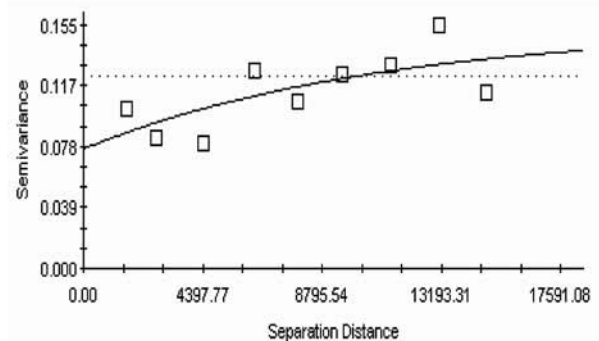
شکل ۴ - واریوگرام متقابل سدیم



شکل ۵ - واریوگرام سدیم



شکل ۶ - واریوگرام متقابل TDS



شکل ۷ - واریوگرام TDS

اشتباهها MAE^۱، میانگین اریبی اشتباهها MBE^۲ انجام شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | \hat{Z}_i - z(x) | \quad (5)$$

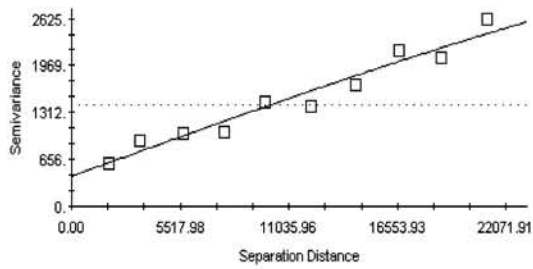
- 1- Mean Absolute Error
2- Mean Basie Error

که در این معادله:

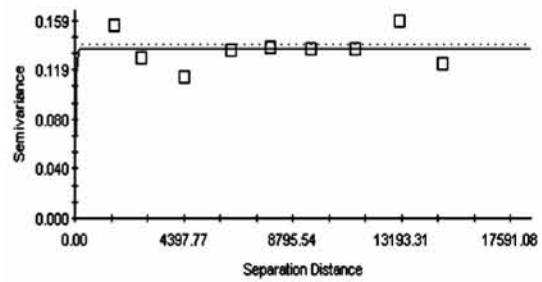
D_i = فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه i ام
 α : توان معادله و n : تعداد نقاط مشاهده شده است.

کنترل اعتبار مدل و واریوگرام

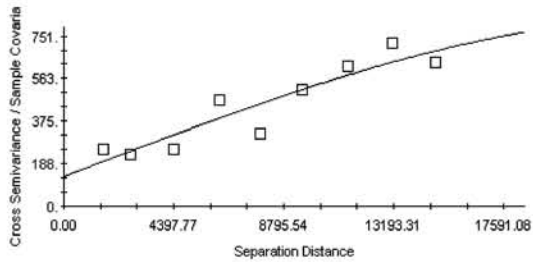
ارزیابی اعتبار مدل و برآورد ها با محاسبه آمارهای میانگین مطلق



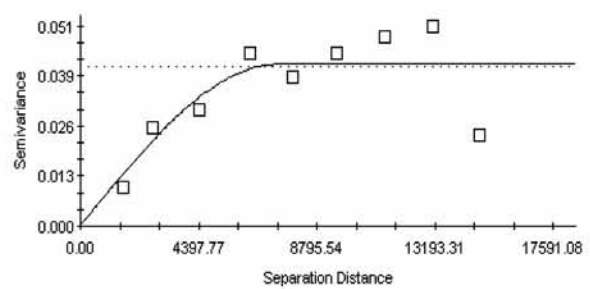
شکل ۱۰ - واریوگرام متقابل TH



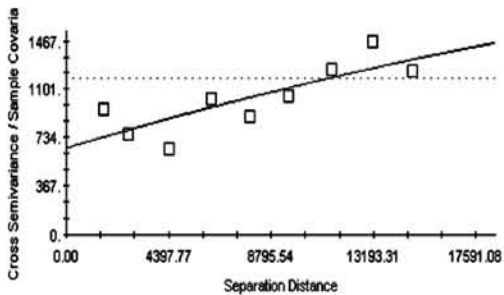
شکل ۹ - واریوگرام TH



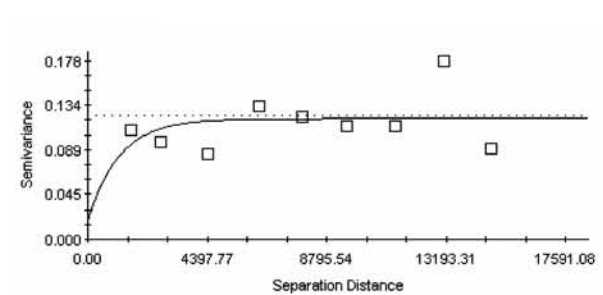
شکل ۱۲ - واریوگرام متقابل SAR



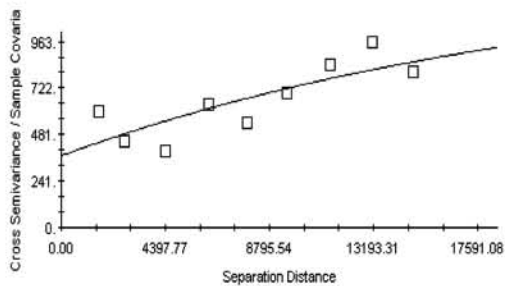
شکل ۱۱ - واریوگرام SAR



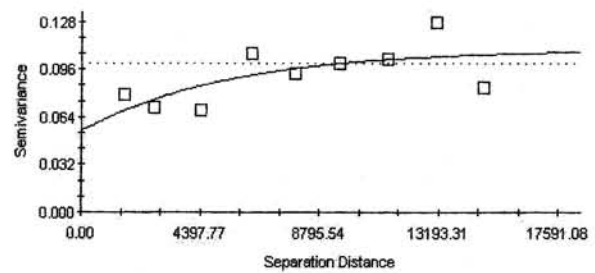
شکل ۱۴ - واریوگرام متقابل کلر



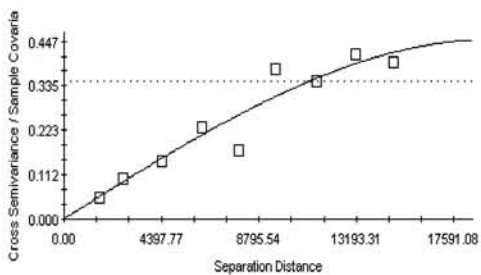
شکل ۱۳ - واریوگرام کلر



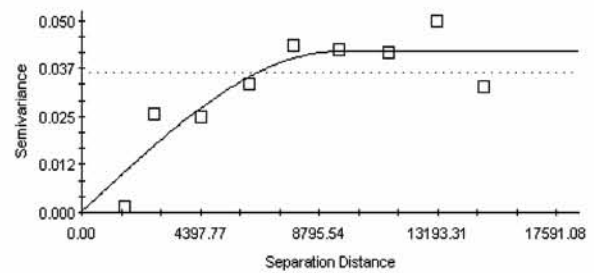
شکل ۱۶ - واریوگرام متقابل هدایت الکتریکی



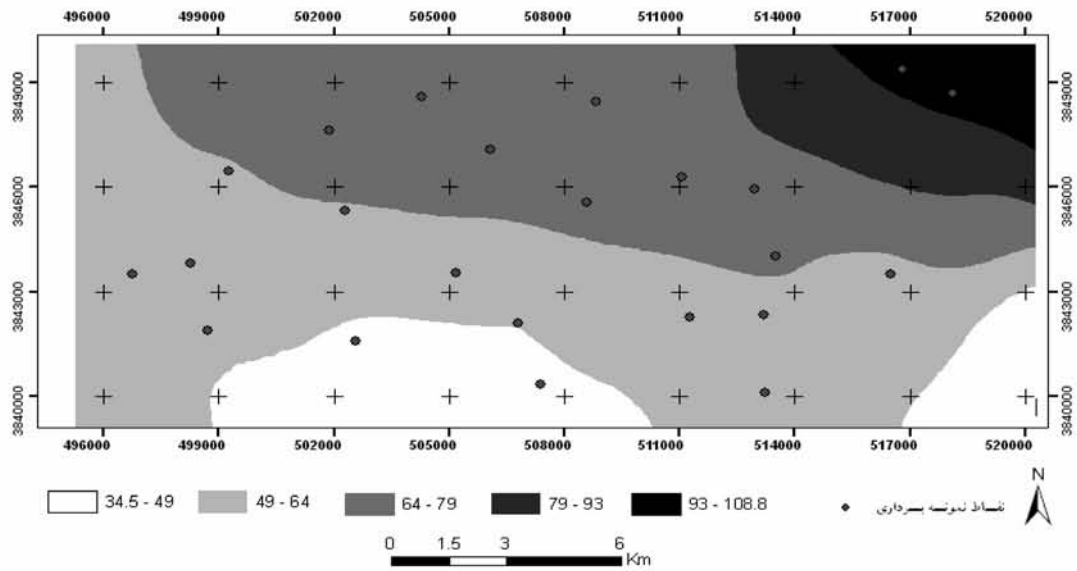
شکل ۱۵ - واریوگرام هدایت الکتریکی



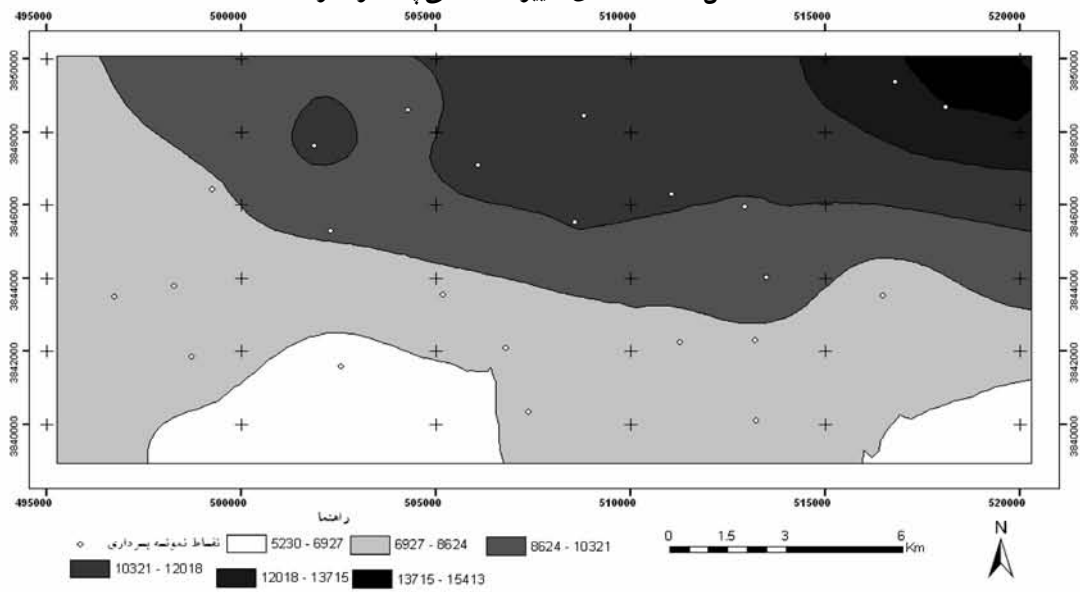
شکل ۱۸ - واریوگرام متقابل بی کربنات



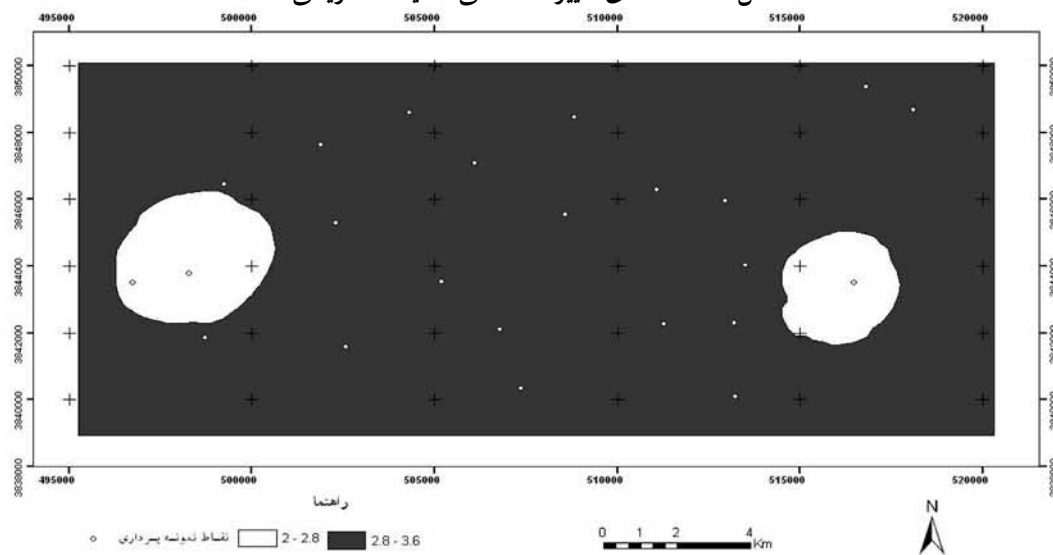
شکل ۱۷ - واریوگرام بی کربنات



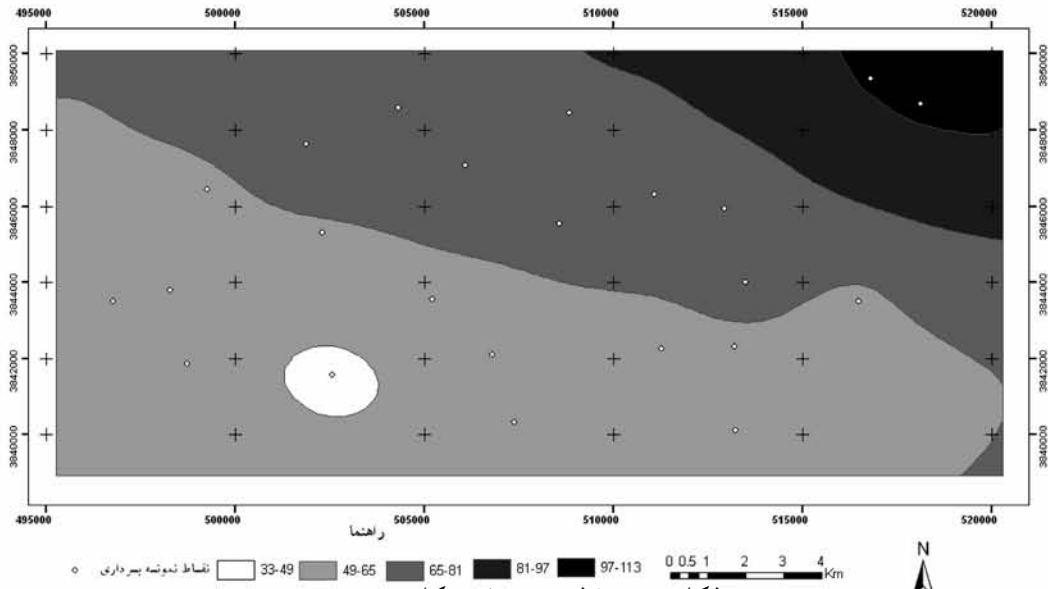
شکل ۱۹ - نقشه‌ی تغییرات مکانی پارامتر کلر



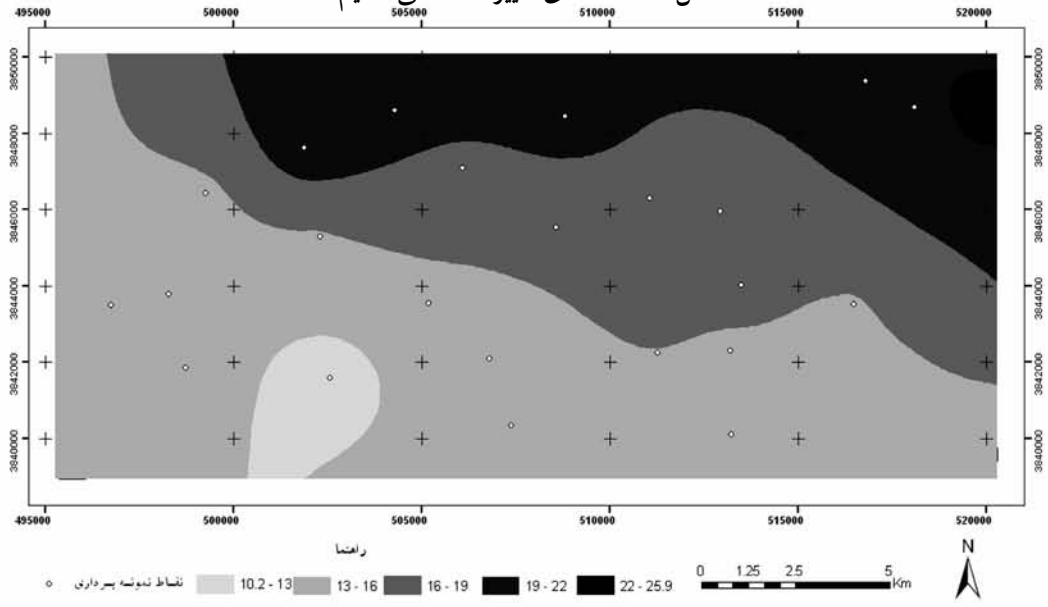
شکل ۲۰ - نقشه‌ی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی



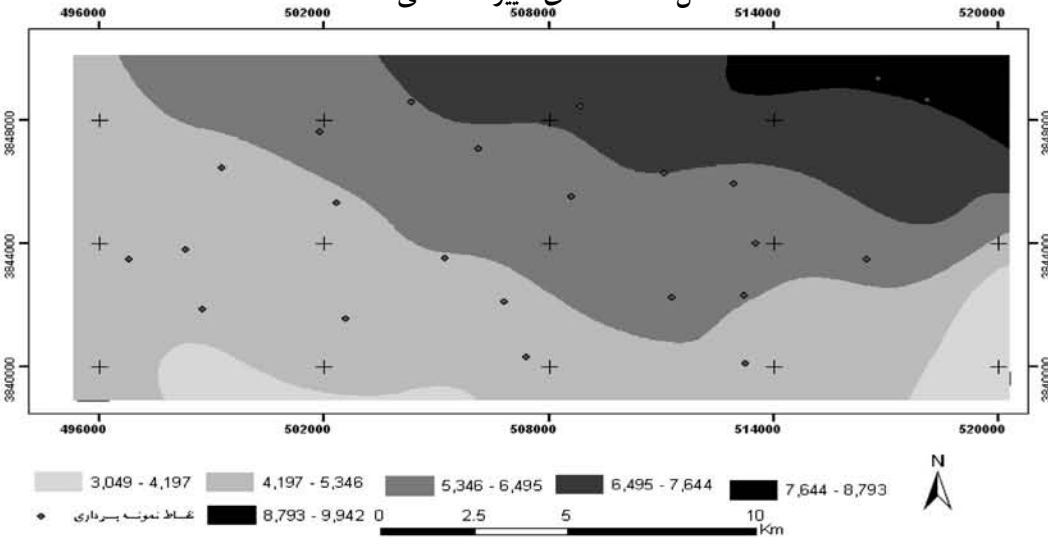
شکل ۲۱ - نقشه‌ی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی



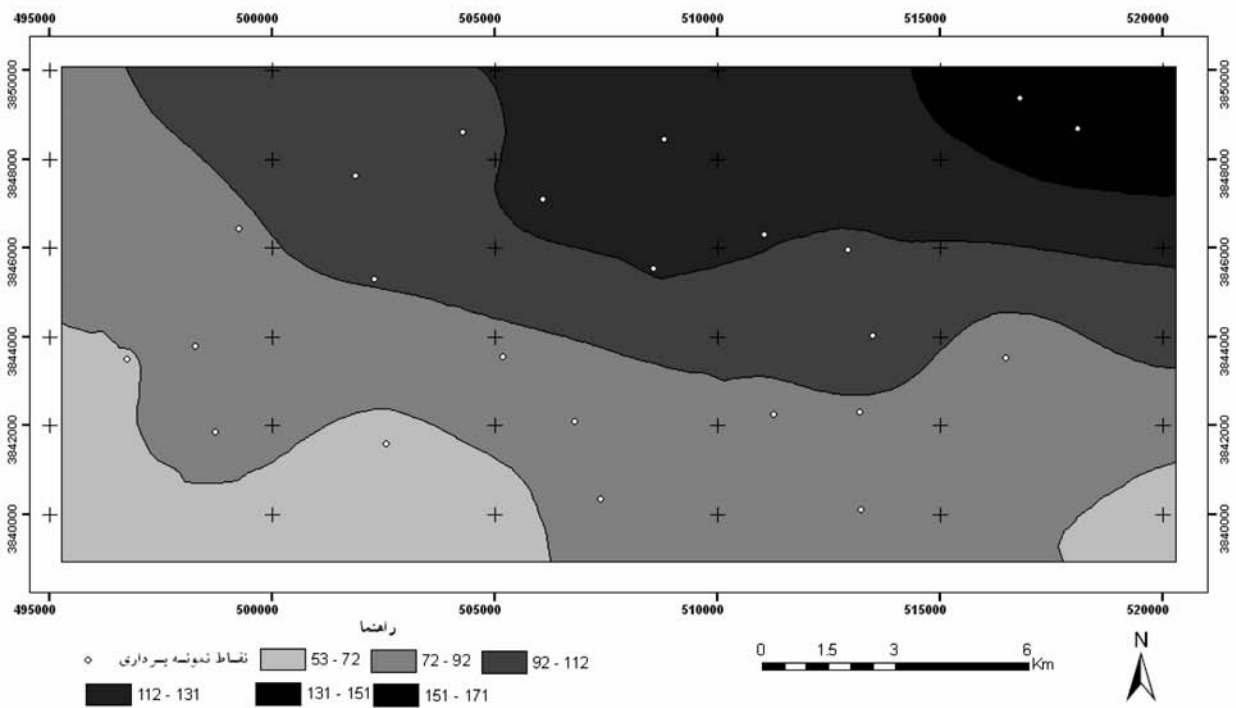
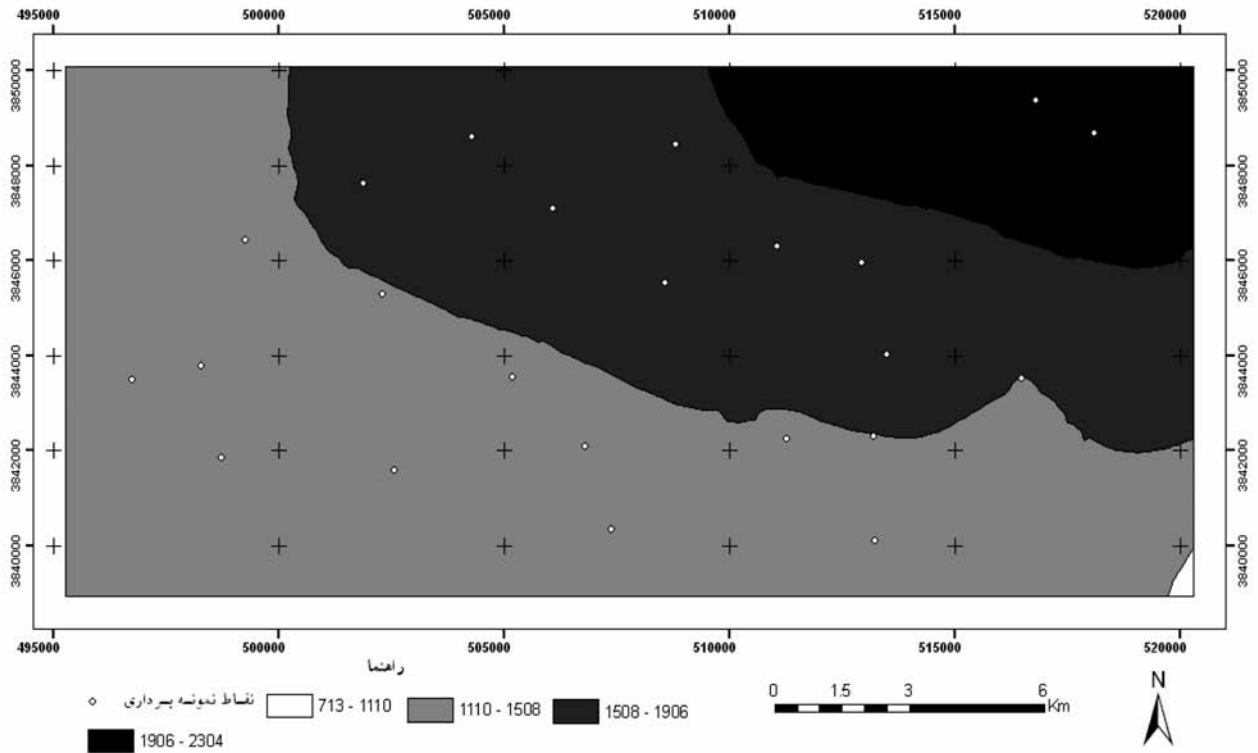
شکل ۲۲ - نقشه‌ی تغییرات مکانی سدیم



شکل ۲۳ - نقشه‌ی تغییرات مکانی SAR



شکل ۲۴ - نقشه‌ی تغییرات مکانی TDS



نتایج

نخستین گام در استفاده از داده‌های مکانی در زمین آمار بررسی نرمال بودن داده‌ها است که بدین منظور آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بر روی داده‌ها آزمایش شد و مشخص گردید که از

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | \hat{Z} - z(x) | \quad (۶)$$

که در این معادله‌ها $\hat{Z}(x)$ مقدار برآورد شده در نقطه‌ی x ، $z(x)$ مقدار مشاهده‌ای و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

میان داده‌های کیفی انتخابی آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه، پارامترهای سدیم، کلر، بی‌کربنات، TH^1 و SAR نرمال بوده و سایر داده‌ها یعنی مجموع کاتیون‌ها، TDS^2 و هدایت الکتریکی^۳ نرمال نبوده، لذا به کمک لگاریتم گرفتن این داده‌ها نرمال شدند.

در مرحله بعد تجزیه و تحلیل واریوگرام به کمک نرم افزار $GS+$ بر روی داده‌ها صورت پذیرفت که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد در پارامترهای سدیم، کلر، بی‌کربنات، SAR و TH ساختار مکانی ضعیفی بین داده‌ها وجود دارد. در ادامه درون‌یابی داده‌ها به کمک نرم افزار Arc GIS به وسیله‌ی روش‌های زمین‌آماري و معین انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است. در جدول (۲) نیز نتایج به دست آمده از واریوگرام متقابل داده‌ها که برای محاسبه‌ی روش کوکریجینگ مورد نیاز است، نمایش داده شده است. به منظور محاسبه‌ی واریوگرام متقابل بین کل پارامترهای مورد نظر آب‌های زیرزمینی رابطه‌ی همبستگی برقرار شد و پارامتری که ضریب همبستگی بالاتری نسبت به سایر پارامترها با پارامتر متقابل را داشت، به عنوان متغیر کمکی در نظر گرفته شد. متغیرهای کمکی در جدول (۲) آورده شده‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که متغیرهای اصلی TH ، SAR ، EC و بی‌کربنات همبستگی بالایی با متغیرهای کمکی خود نسبت به سایر پارامترها دارند. در ادامه ارزیابی نتایج روش‌های گوناگون تخمین، واریوگرام و واریوگرام متقابل پارامترهای مورد استفاده (شکل‌های ۳ تا ۱۸) آورده شده است. در نهایت با توجه به مقدار MAE و MBE نقشه‌ی بهترین مدل تخمین برای هر پارامتر ترسیم شد (شکل‌های ۱۹ تا ۲۶).

کاتیون‌ها، EC و TH و روش کوکریجینگ گسسته برای پارامترهای سدیم و همچنین روش کوکریجینگ جامع برای پارامتر TDS و کوکریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی پارامتر SAR می‌باشد. البته گفتنی است که برای پارامتر کلر و بی‌کربنات مقدار MBE در تشخیص نهایی برای پهنه‌بندی این پارامترها در نظر گرفته شد به گونه‌ای که در پارامتر بی‌کربنات در تمامی روش‌ها مقدار MAE برابر بود، لذا MBE به عنوان مرجع کنترل مدل و ارزیابی آن مورد استفاده قرار گرفت. این وضعیت در پارامتر کلر نیز در برابر بودن مقدار MAE روش‌های کوکریجینگ و میانگین متحرک وزن دار با توان ۱ نیز مشاهده گردید. این پژوهش نشان دهنده‌ی اولویت روش‌های زمین‌آماري نسبت به روش‌های معین در پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب در منطقه‌ی مورد مطالعه است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های کرسپک [۹] و احمد [۴] همخوانی دارد. با توجه به این که روش کوکریجینگ برای بیش‌تر پارامترهای آب زیرزمینی مناسب است، لذا می‌تواند بیانگر این نکته باشد که بیش‌تر پارامترهای آب‌های زیرزمینی دارای رابطه‌ی معنی‌دار با هم هستند.

پیشنهاد می‌شود که در مناطقی با اقلیم‌های متفاوت از منطقه‌ی مورد مطالعه، روش‌های مورد استفاده در این پژوهش بررسی و نتایج به دست آمده مقایسه گردند تا شاید بتوان به اصلی کلی و اجمالی در خصوص پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دست یافت. از سوی دیگر سایر روش‌های زمین‌آماري همچون $Disjunctive Cokriging$ ، $Simple Kriging$ و $Disjunctive Cokriging$ و $Disjunctive Cokriging$ و $Simple Kriging$ به منظور مقایسه‌ی هر چه بهتر و بیش‌تر روش‌های زمین‌آماري با روش‌های معین مورد ارزیابی قرار گیرند.

منابع

- ۱- علیزاده، ا. ۱۳۷۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- ۲- میثاقی، ف. و محمدی، ک. ۱۳۸۱. برآورد سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های متداول درون‌یابی و مقایسه‌ی آن با تکنیک زمین‌آمار، چکیده‌ی مقالات بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۸ تا ۵۹۰.
- ۳- نظری‌زاده، 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 شهر کرد، ص ۱۲۳۶ تا ۱۲۴۰.

بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر MAE و MBE مقدار اریبی را نشان می‌دهند که در حالت ایده آل بایستی مساوی صفر باشند. مقادیر مثبت یا منفی قابل توجه آنها به ترتیب نشان دهنده‌ی برآورد بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار واقعی هستند [۱۰]. در واقع MAE معرف دقت روش و میانگین خطاست که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است و MBE نشانگر میانگین انحراف معیار تخمینی از مقدار مشاهده است و هر چه کم‌تر باشد، بهتر است [۵]. ایساکس و سربواستاوا [۸] پیشنهاد کردند که MAE می‌تواند به عنوان معیاری که هر دو ویژگی انحراف و دقت روش را در بر دارد، برای مقایسه‌ی دقت روش‌ها به کار رود. مقادیر نسبتاً پایین میانگین مطلق اشتباهها و میانگین اریبی اشتباهها نشان دهنده‌ی دقت نسبتاً بالای روش کوکریجینگ برای پارامترهای کلر، مجموع آنیون‌ها، مجموع

- 1- Total Hardness
- 2- Total dissolved solids
- 3 EC (Electrical Conductivity)

7- Ella, V.B., Melvin, S.W. and Kanwar, R.S. 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.

8- Isaaks, E.H. and Serivastava, R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. 561pp.

9- Kresic, N. 1997. Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers

10- Wakernagel R., H., 2002. Multivariate geostatistics. Springer Press, 387 pp.

4- 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

5- Allexandra, K. and Bullock, G. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. Agronomy Journal, 91: 394-400

6- Dagostino, V., Greene, E.A., Passarella, G. and Vurro, M. 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of co regionalization. Environmental geology, 36,