



ارزیابی زمین آماری کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس

وحید غفوری^{۱*}، نصرت الله ملک پور^۲ و امین مردانی^۳

*^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، نویسنده مسئول مکاتبات: king_ghafori@hotmail.com

^۲ اداره توسعه شبکه ها و تجهیز نوسازی اراضی سازمان جهاد کشاورزی استان فارس

^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۹

چکیده

روش های زمین آمار یکی از پیشرفته ترین تکنیکها جهت ارزیابی و پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی می باشد. در این تحقیق سه روش درون یابی، عکس فاصله وزن دار، کریجینگ و کوکریجینگ جهت پیش بینی برخی از شاخص های کیفی از قبیل SO_4^{2-} , Na^+ , TH, EC, SAR, Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} مورد استفاده قرار گرفته است. داده ها از ۷۵ چاه مشاهده ای در دشت داراب جمع آوری شده است. بعد از نرمال سازی داده ها، واریوگرام محاسبه شد. مدل مناسب جهت برازش به واریوگرام تجربی براساس کمترین RMSE انتخاب شد. سپس با استفاده از ارزیابی متقابل و RMSE بهترین روش درون یابی انتخاب گردید. نتایج نشان داد برای تمام شاخص های کیفی آب زیرزمینی، کوکریجینگ بهتر از سایر روشها، شاخص های فوق را شبیه سازی می کند. در نهایت با استفاده از روش کوکریجینگ، نقشه های کیفیت آب زیرزمینی در محیط GIS تهیه شد.

کلمات کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی؛ عکس فاصله وزن دار؛ کریجینگ؛ کوکریجینگ

مقدمه

زیرزمینی بر گستره منطقه مطالعاتی اولین قدم در برنامه ریزی منابع آب می باشد (Tode., 1980). یکی از ابزارها به منظور پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی روش های زمین آمار می باشد. به کارگیری ابزارهای تجزیه و تحلیل و پردازش ریاضی و آماری، که توانایی به کارگیری هم زمان اطلاعات کمی و عددی متغیر مورد نظر و اطلاعات مربوط به موقعیت نسبی جغرافیایی داده ها را دارند، به منظور مدیریت مطلوب ضروری است. از اهداف اصلی زمین آمار ارائه مدلی مناسب جهت توصیف متغیر ناحیه ای با در نظر

مدیریت و برنامه ریزی منابع آب ابزار تصمیم گیری را برای ۳ هدف تامین می کند: (۱) تخصیص عادلانه آب به مصرف کننده در زمان و مکان مقتضی. (۲) محافظت از آب اضافی (سیلاب). (۳) نگهداری کیفیت آب در حد استاندارد (Loucks., 1981). با افزایش تقاضای آب به همراه رشد جمعیت، تنش بیش از اندازه بر منابع آب ظاهر شده است و این امر مدیریت قابل قبول و کارآمد بر این منابع را ایجاب می کند (Foster et al., 2006). پایش کیفیت منابع آب

آرسنیک را پیش بینی کرده و همچنین نقشه ریسک منطقه مورد مطالعه را تهیه کرده‌اند. نتایج نشان داد ۳۵ میلیون نفر از مردم در معرض آلودگی غلظت بالای آرسنیک قرار گرفته‌اند (۵۰ ppm) (Gaus et al., 2003). تخمین تغییرات آب سطحی در هلند از مدل کریجینگ ساده مورد بررسی قرار گرفت، و این روش را به عنوان راه حلی مناسب جهت پایش آب سطحی مطرح کرده‌اند (Finke et al., 2004). با استفاده از روش کریجینگ و شبیه سازی، نقشه ریسک نترات را در حدود ۱۰ و ۵۰ mg/lit در منطقه ای در کشور ایتالیا تهیه شد. نتایج نشان داد که روش کریجینگ روش مناسبی جهت مطالعه سطح آب زیرزمینی می‌باشد (Barca and Passarella, 2007). در مطالعه حاضر صحت روش‌های درون یابی عکس فاصله وزن دار، کریجینگ و کوکریجینگ جهت پایش بینی برخی از پارامترهای کیفی دشت داراب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

روشهای پایش بینی مکانی

روش درون یابی عکس فاصله وزن دار^۱ درون یابی IDW به طور واضح فرض بر این دارد که نمونه‌هایی که به هم نزدیک تر اند نسبت به نمونه‌های دورتر بیشتر به هم شبیه‌اند. برای پیش‌بینی مناطق اندازه‌گیری نشده، روش IDW از مقادیر اطراف موقعیت پیش‌بینی استفاده می‌کند. مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیکتر به موقعیت پیش‌بینی تأثیر بیشتری بر روی مقادیر پیش‌بینی نسبت به مقادیر دورتر دارند. بنابراین روش IDW فرض بر این دارد که هر نقطه اندازه‌گیری شده تأثیر موضعی بر روی پیش‌بینی دارد که با فاصله کم می‌شود. وزن نقاطی که به موقعیت پیش‌بینی نزدیکتر اند نسبت به نقاط دورتر بزرگتر

گرفتن مولفه‌های تغییر پذیری ساختاری و تصادفی است (یاری و کوچک زاده، ۱۳۸۷). کاربرد زمین آمار در علم هیدرولوژی به منظور جلوگیری از برخی خطاها و برآورد صحت و دقت پیش بینی سودمند است. در سالهای اخیر، محققان زیادی دقت روشهای مختلف درون یابی مکانی را جهت پیش بینی پارامترهای کیفی آب و خاک مورد ارزیابی قرار داده‌اند. از روش کریجینگ و کوکریجینگ جهت پیش بینی غلظت CI خاک در رود دشت اصفهان استفاده شد. نتایج محققان نشان داد روش کریجینگ دقت بیشتر و هزینه کمتری را تأمین می‌کند (Amini et al., 2002). در مطالعه مشابهی از ابزار زمین آمار نظیر کریجینگ به منظور شبیه سازی متغیر کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند و هم چنین نشان دادند که روش کریجینگ جهت شبیه سازی متغیر کیفیت آب زیرزمینی از سایر روشهای درون یابی مناسب‌تر است (Jager, 1990). در پژوهشی مشابه با استفاده از روش‌های زمین آمار متغیر مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت بالا رود مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل کروی بهترین مدل جهت برازش به واریوگرام تجربی متغیرهای EC, Cl و SO₄ می‌باشد (Nazari zade et al. 2006). در پژوهشی مشابه دیگری جهت تخمین غلظت فلزات سنگین در آب زیرزمینی از روش کریجینگ جهت مدل سازی ساختار مکانی استفاده شد و نتایج نشان که روش ذکر شده بهترین روش جهت تخمین مقادیر مکانی می‌باشد (Istok and Cooper, 1998). متغیر مکانی و تغییرات نیتريت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که روش کوکریجینگ از دقت بالا تری نسبت به کریجینگ جهت تخمین غلظت نیتريت برخوردار است (Dagostino et al., 1998). آلودگی آب زیرزمینی در بنگلادش در پژوهشی مورد مطالعه قرار گرفت. آنها با استفاده از دیسجانکتیوکریجینگ غلظت

¹ Inverse Distance Weighted

اما فرض بر آن است که مقادیر یک متغیر در فواصل نزدیک بیشترین شباهت را داشته و با افزایش فاصله از میزان همبستگی مقادیر کاسته می‌شود. معادله کلی کریجینگ برای برآورد مقادیر یک متغیر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Z(S_0) = \sum_{i=0}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (3)$$

که در این فرمول ضریب λ_i مجموعه ای از وزن هاست، که به نحوی انتخاب می‌شوند تا $Z(S_0)$ برآورد ناریب با حداقل خطا از $Z(S_i)$ باشد.

کوکریدجینگ:

کوکریدجینگ از اطلاعات انواع متغیرها استفاده می‌کند. متغیر اصلی Z_1 می‌باشد و خود همبستگی برای Z_1 و همچنین همبستگی دوجانبه بین Z_1 و بقیه متغیرهای دیگر جهت پیش‌بینی بهتر استفاده می‌کند. استفاده از اطلاعات متغیرهای دیگر جهت کمک به پیش‌بینی جذاب می‌باشد اما با هزینه همراه است. کوکریدجینگ نیاز به تخمین بیشتری دارد از جمله تخمین خودهمبستگی برای هر متغیر و هم چنین همبستگی دوجانبه بین متغیرهای دیگر می‌باشد. مدل کوکریدجینگ عادی به صورت زیر می‌باشد:

$$Z_1(S) = \mu_1 + \varepsilon_1(S) \quad (4)$$

$$Z_2(S) = \mu_2 + \varepsilon_2(S) \quad (5)$$

کوکریدجینگ عادی تلاشی برای پیش‌بینی $Z_1(S_0)$ دارد اما از اطلاعات $Z_2(S)$ جهت پیش‌بینی بهتر استفاده می‌کند.

مقایسه بین روش‌های مختلف:

در نهایت خطای تخمین را براساس مقایسه مقادیر تخمین زده شده و مقادیر معلوم حذف شده محاسبه می‌نماییم. نهایتاً این خطا در قالب تکنیک آماری ارزیابی متقابل خلاصه و به فرم‌های زیر خلاصه

می‌باشد از این رو این روش را روش وزنی معکوس فاصله می‌نامند و فرمول عمومی به صورت زیر می‌باشد:

$$Z(S_0) = \sum_{i=0}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (1)$$

$Z(S_0)$ مقدار پیش‌بینی در موقعیت S_0
 $Z(S_i) =$ مقدار مشاهده شده در موقعیت S_i
 $S_i =$ وزن‌های تخصیص داده شده به هر نقطه اندازه گیری، و این وزن با فاصله کاهش می‌یابد.
 $N =$ تعداد نقاط اندازه‌گیری اطراف منطقه پیش‌بینی که در پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
 فرمول تعیین وزن‌ها به صورت زیر است:

$$\lambda_i = d_{i_0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i_0}^{-p}, \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (2)$$

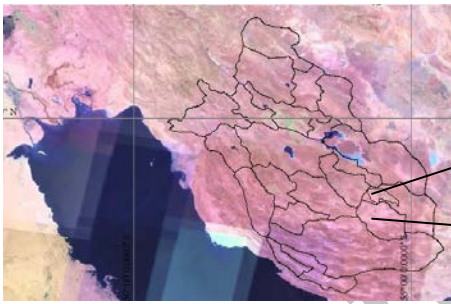
با افزایش فاصله وزن با فاکتور P کاهش می‌یابد. فاصله بین موقعیت پیش‌بینی (S_0) و هر موقعیت اندازه‌گیری (S_i).

پارامتر P توان بر روی وزن موقعیت مقادیر اندازه‌گیری در موقعیت پیش‌بینی تأثیر می‌گذارد. بدین صورت که با افزایش فاصله بین موقعیت نمونه‌های اندازه‌گیری و موقعیت پیش‌بینی، وزن (یا اثر) نقاط اندازه‌گیری به صورت نمایی در مناطق پیش‌بینی کاهش می‌یابد.

کریجینگ

یک روش و تخمینگر موضعی و تصادفی برای برآورد مقادیر یک متغیر در نقاط نمونه برداری نشده، با استفاده از مقادیر آن متغیر در نقاط نمونه برداری شده است. کلید اساسی در کریجینگ واریوگرام است، که در واقع بررسی همبستگی مکانی بین دو نقطه است

موقعیت جغرافیایی $28^{\circ}44' - 28^{\circ}35'$ شمالی و $54^{\circ}44' - 54^{\circ}13'$ جنوبی و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۱۰ متر می‌باشد. میانگین بارندگی دشت داراب ۲۷۵ میلیمتر گزارش شده است که کمتر از یک سوم مقدار جهانی است و توزیع نامناسب آن موجب گردیده که نیاز آبی حدود ۷۰۰۰۰ هکتار محصولات باغی و زراعی عمدتاً توسط برداشت از منابع آب زیرزمینی برآورده می‌شود. شکل (۱-الف) موقعیت دشت داراب در ایران و (۱-ب) چاه‌های مشاهده‌ای دشت داراب را نشان می‌دهد.



شکل ۱-ب- موقعیت دشت داراب در ایران

هیستوگرام داده‌ها از تابع لگاریتم، جهت نرمال سازی داده‌ها استفاده شده است. بعد از نرمال سازی داده‌ها واریوگرام تجربی محاسبه شد. بهترین مدل به واریوگرام تجربی براساس کمترین مقدار RMSE برازش داده شد (جدول ۲). واریوگرام آنها در شکل (۲) نشان داده شده است. براین اساس جهت پارامترهای TH, Na, Ca, EC مدل Gaussian و برای SAR, Mg, Cl مدل Spherical و تنها برای SO_4 مدل Exponential انتخاب شده است.

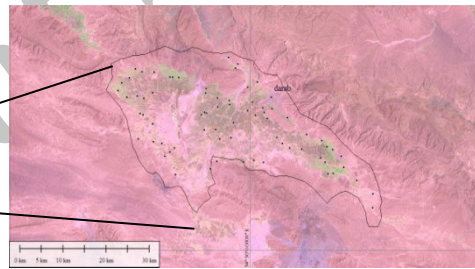
می‌شود که در آن مقدار پیش بینی از ارزیابی

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z(\hat{x}_i) - Z^*(x_i))^2} \quad (6)$$

متقابل و $\hat{z}(s_i)$ مقدار مشاهده شده می‌باشد.

مواد و روشها منطقه مطالعاتی

داراب یکی از شهرستان‌های گرم و خشک استان فارس است که با وسعتی بالغ بر ۶۵۰۰ کیلومتر مربع در جنوب شرقی این استان و در فاصله ۲۵۰ کیلومتری شیراز واقع شده است. این دشت دارای



شکل ۱-الف - موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای دشت داراب در ایران

در این تحقیق سه روش درون یابی، عکس فاصله وزن دار، کریجینگ و کوکریجینگ جهت پیش بینی برخی از شاخص‌های کیفی از قبیل Na^+ , TH, EC, SO_4 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl⁻ در پاییز ماه سال ۸۶ مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌ها از ۷۵ چاه کشاورزی در دشت داراب جمع‌آوری شده است (شکل ۱-الف و ب).

نتایج و بحث

خلاصه نتایج آماری کیفیت آب زیرزمینی در جدول (۱) مشاهده می‌شود. براساس مقادیر چولگی و

جدول ۱- نتایج آنالیز آماری کیفیت آب زیرزمینی

GWQI	N*	Min	Max	Mean	Std	kurtosis	Skewness
TH(mg/l)	۷۵	۱۶۵	۲۱۰۰	۵۱۶/۴	۴۰۳/۸۴	۶/۹	۲/۰۲
TH**	۷۵	۵/۱	۷/۶	۶/۰۲	۰/۶۲	۲/۶۷	۰/۷۶
SAR	۷۵	۰/۲۷	۲۱/۱۸	۳/۰۱	۳/۴۷	۱۱/۸۵	۲/۵۵
SAR*	۷۵	-۱/۲۸	۳/۰۵	۰/۵۷	۱/۰۳۲	۲	۰/۲۶
Na(mg/l)	۷۵	۰/۴۸	۵۰	۸/۱۱	۱۰/۹	۶/۹	۲/۰۲
Na*	۷۵	-۰/۷۳	۳/۹۱	۱/۲۹	۱/۲۸	۱/۸۶	۰/۳۴
Ca(mg/l)	۷۵	۱/۷	۳۵	۵/۲۹	۴/۸۸	۲/۸	۳/۷۹
Ca*	۷۵	۰/۵۳	۳/۵۵	۱/۴۶	۰/۵۵	۵/۲۲	۱/۵۲
Mg(mg/l)	۷۵	۰/۳	۲۳	۵/۰۳	۴/۴	۶/۱۵	۱/۶۷
Mg*	۷۵	-۱/۲	۳/۱۳	۱/۲۴	۰/۹	۲/۷	-۰/۲۷
SO ₄ (meq/l)	۷۵	۰/۱۱	۲۸/۳	۵/۹۵	۶/۵۹	۴/۳	۱/۴۴
SO ₄ *	۷۵	-۲/۲	۳/۳۴	۱/۱	۱/۳۲	۲/۷۴	-۰/۴۴
Cl(mg/l)	۷۵	۰/۳	۵۷/۵	۷/۹۷	۱۱/۶۵	۷/۸۱	۲/۲۴
Cl*	۷۵	-۱/۲	۴/۰۵	۱/۱۹	۱/۳۴	۲/۱۳	۰/۳
EC(μs/cm)	۷۵	۴۲۸	۷۹/۱	۱۷۵۸/۸	۱۶۶۶/۲	۵/۰۴	۱/۶۴
EC*	۷۵	۶/۰۵	۸/۹۷	۷/۱۱	۰/۸۱	۲/۱۶	۰/۶

** با استفاده از تابع لگاریتم داده‌ها نرمال می‌شود
* تعداد داده‌ها

همچنین پارامتر واریوگرام‌های کیفیت آب زیرزمینی در جدول (۳) نشان داده شده است. نسبت اثر قطعه‌ای^۱ به سقف^۲ معیاری برای بیان استحکام یک ساختار مکانی می‌باشد. اگر این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، نشان دهنده وابستگی قوی متغیر مکانی می‌باشد. اگر این نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد نشان دهنده وابستگی معمولی (میانه) متغیر مکانی است و اگر بزرگتر از ۷۵ درصد باشد وابستگی متغیر مکانی بسیار ضعیف می‌باشد. تمام پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی بجز Ca از استحکام مکانی بالایی برخوردار است. همچنین دامنه تاثیر تمام پارامترها کیفی بهم نزدیک است (۱۲ تا ۲۲ کیلومتر).

¹ Nugget

² Sill

جدول ۲- انتخاب بهترین مدل واریوگرام تجربی بر اساس RMSE

GWQI	Spherical	Exponential	Guassain
TH(mg/l)	۳۱۵/۵	۳۲۱/۶	۳۱۳/۸
SAR	۲/۳۶	۲/۴۴	۲/۳۷
Na(mg/l)	۸/۴۳	۸/۸۲	۸/۲۷
Ca(mg/l)	۴/۵۶	۴/۵۸	۴/۵۵
Mg(mg/l)	۳/۲۴	۳/۲۹	۳/۳۲
SO ₄ (meq/l)	۴/۸۹	۴/۷۲	۵/۳۵
Cl(mg/l)	۱۰/۴	۱۰/۸۸	۱۰/۵
EC(μs/cm)	۱۱۴۹	۱۱۹۹	۱۱۴۵

جدول ۳- بهترین مدل‌های برازش یافته بر متغیر کیفیت آب زیرزمینی و پارامترهای آنها

GWQI	Model	Nugget	Sill	Range(km)	(C0/C0+C)%
TH	Gaussain	۰/۱۱	۰/۴	۱۴	۲۱/۵
SAR	Spherical	۰/۰۶۶	۱/۲۵	۱۵	۵
Na	Gaussian	۰/۳۳	۱/۸۱	۱۳/۳۳	۱۵/۴
Ca	Gaussian	۰/۱	۰/۲۹	۱۲/۹۶	۲۵/۶
Mg	Spherical	۰/۱۹	۰/۷۲	۱۴/۲۱	۲۰/۸
SO ₄	Exponential	۰/۴۳	۱/۷۶	۲۲/۲۹	۱۹/۶۳
Cl	Spherical	۰/۲۲	۲/۱۴	۱۶/۸۶	۹/۳۲
EC	Gaussain	۰/۱۴	۰/۷۲	۱۴/۶۸	۱۶/۲۷

واریوگرام متقابل پارامترها در شکل (۳) نشان داده شده است. به عنوان مثال براساس جدول ۴ جهت تخمین متغیر EC متغیر TDS به عنوان متغیر کمکی انتخاب می‌شود چرا که با ضریب همبستگی ۰/۹۹۸ بالاترین همبستگی را در بین متغیرهای دیگر دارد.

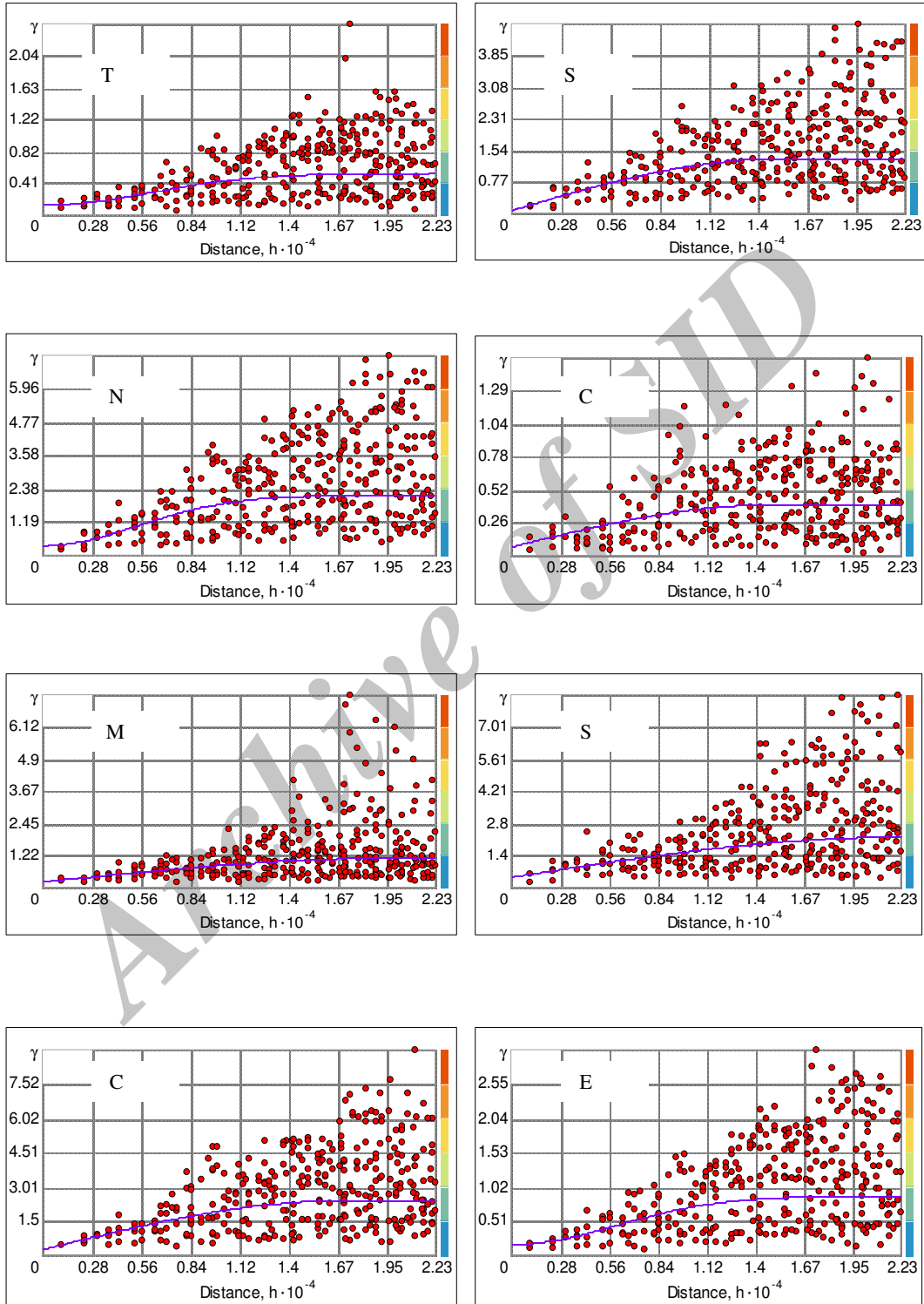
در روش کوکریجینگ پس از بررسی ماتریس همبستگی، پارامتری که بالاترین ضریب همبستگی را دارد به عنوان متغیر کمکی انتخاب می‌شود جدول (۴). متغیرهای Mg, Na, SAR, TH, TH, Na, Na, TDS به ترتیب عنوان متغیر کمکی جهت پیش بینی TH, SAR, Na, Ca, Mg, SO₄, Cl, EC انتخاب شدند.

جدول ۴- ماتریس همبستگی کیفیت آب زیرزمینی

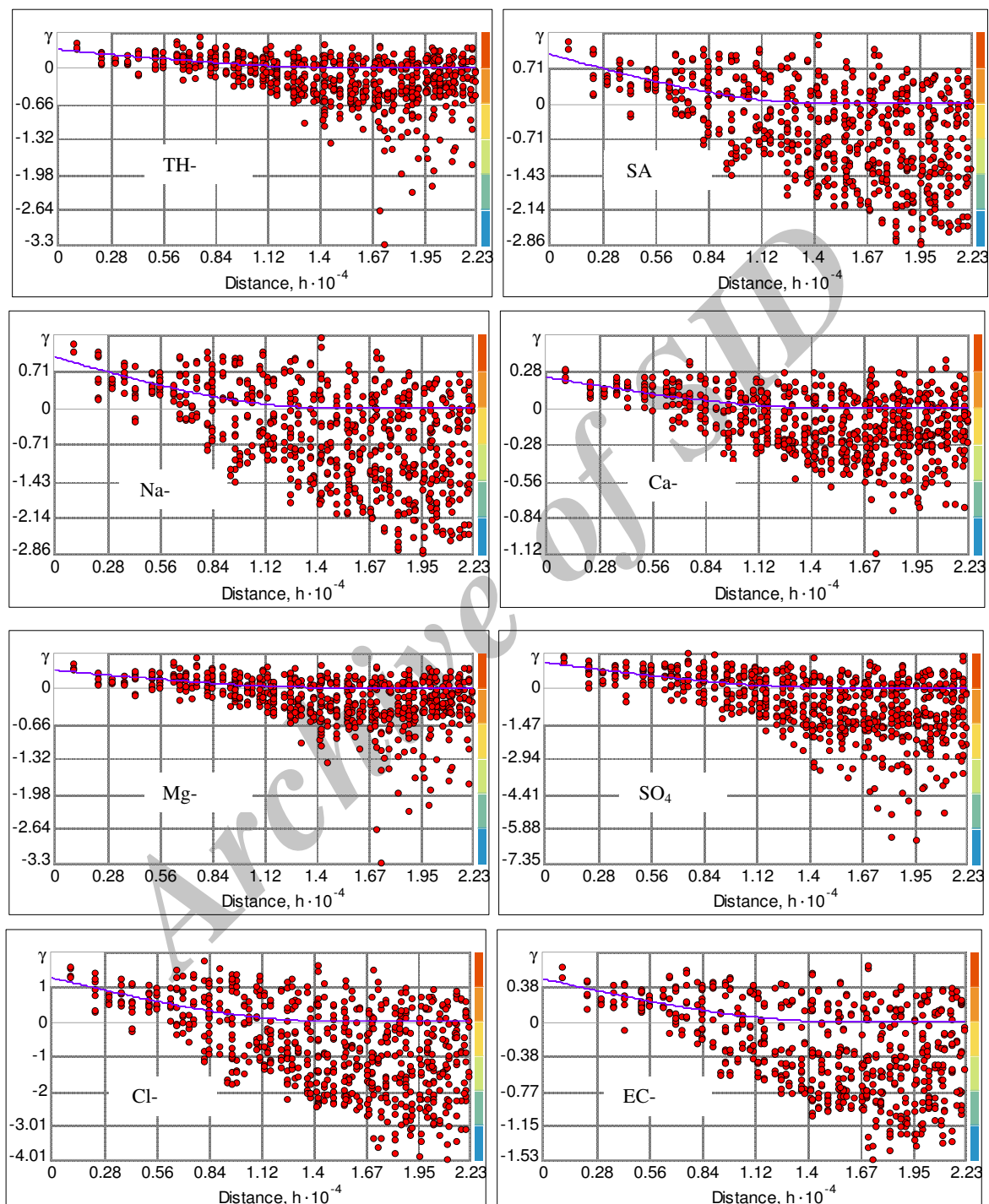
		TH	SAR	Na	Mg	Ca	SO4	Cl	HCO3	TDS	EC
TH	Pearson Correlation	1	.592**	.767**	.855**	.883**	.823**	.901**	.260*	.923**	.914**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.024	.000	.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
SAR	Pearson Correlation	.592**	1	.955**	.683**	.364**	.808**	.785**	.319**	.850**	.859**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.001	.000	.000	.005	.000	.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Na	Pearson Correlation	.767**	.955**	1	.812**	.536**	.864**	.915**	.300**	.954**	.960**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.009	.000	.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Mg	Pearson Correlation	.855**	.683**	.812**	1	.512**	.746**	.862**	.450**	.882**	.881**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Ca	Pearson Correlation	.883**	.364**	.536**	.512**	1	.689**	.713**	.024	.731**	.717**
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.000		.000	.000	.836	.000	.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
SO4	Pearson Correlation	.823**	.808**	.864**	.746**	.689**	1	.766**	.132	.896**	.900**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.261	.000	.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Cl	Pearson Correlation	.901**	.785**	.915**	.862**	.713**	.766**	1	.285*	.967**	.964**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.013	.000	.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
HCO3	Pearson Correlation	.260*	.319**	.300**	.450**	.024	.132	.285*	1	.312**	.302**
	Sig. (2-tailed)	.024	.005	.009	.000	.836	.261	.013		.006	.009
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
TDS	Pearson Correlation	.923**	.850**	.954**	.882**	.731**	.896**	.967**	.312**	1	.998**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.006		.000
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
EC	Pearson Correlation	.914**	.859**	.960**	.881**	.717**	.900**	.964**	.302**	.998**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.009	.000	
	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



شکل ۲- واریوگرام‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب

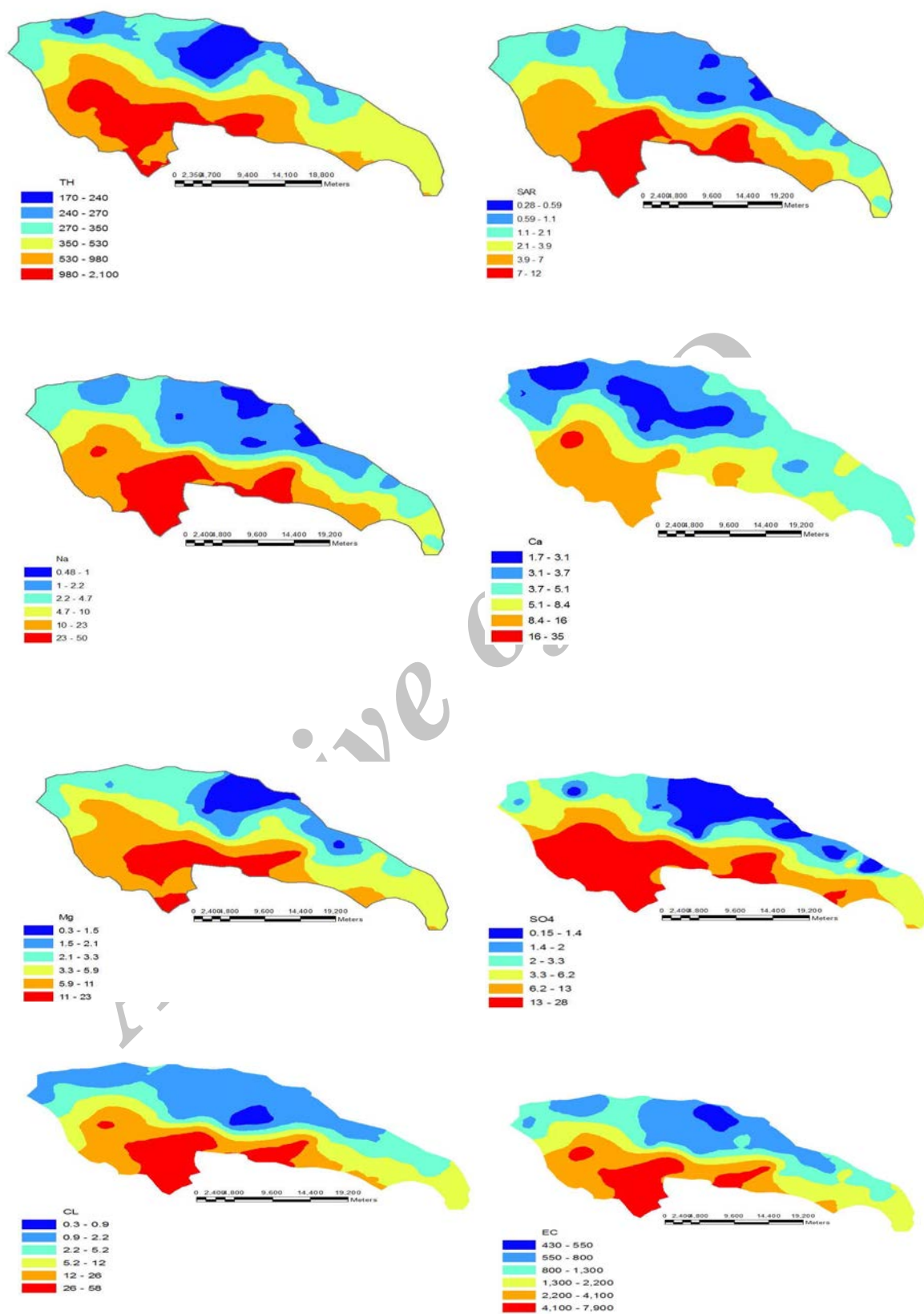


شکل ۳- واریوگرام‌های متقابل کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب

دقت بالاتری نسبت به روش عکس فاصله وزن دار برای تمام پارامترها برخوردار است. علاوه بر این روش کوکریجینگ سطوح تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را با دقت بالاتری نسبت به سایر روشها ایجاد می‌کند. در نهایت سطوح تخمین با استفاده از توسعه زمین آمار نرم افزار GIS ایجاد گردید شکل (۴). جهت طبقه بندی داده‌ها و رسم نقشه‌های پیش بینی از روش فواصل هندسی (Geometric Interval) استفاده شده است. این روش طبقه بندی جهت داده‌های پیوسته طراحی شده است نتایج حاصل از این نوع طبقه بندی جامع و فراگیر می‌باشد (Janston et al., 2001).

همان طور که در نمودار هر واریوگرام‌های متقابل نشان داده شده است، متغیر اول جهت پیش‌بینی و متغیر دوم به عنوان متغیر کمکی می‌باشد. به عنوان مثال EC، EC-TDS، جهت پیش بینی و TDS به عنوان متغیر کمکی (بر اساس جدول ۴) استفاده شده است. بهترین مدل برازش یافته بر واریوگرام متقابل بر اساس کمترین مقدار RMSE انتخاب شده است جدول (۵). همچنین در جدول (۶) پارامترهای مدل واریوگرام‌های متقابل ارائه شده است. بر اساس نسبت استحکام، تمام پارامترها از استحکام بالایی مکانی برخوردار است. جهت انتخاب بهترین روش از بین کریجینگ، عکس فاصله وزن دار و کوکریجینگ از مقدار RMSE استفاده شده است. نتایج نشان داد که روش‌های زمین آمار از

Archive of SID



شکل ۴- نقشه کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب

جدول ۵- انتخاب بهترین مدل واریوگرام متقابل تجربی بر اساس RMSE

GWQI	Spherical	Exponential	Guassian
TH-Mg	۲۸۵	۲۸۸	۳۱۰
SAR-Na	۱/۳۵	۱/۵۱	۲/۲۴
Na-SAR	۴/۷۲	۴/۷۳	۸
Ca-TH	۳/۹۳	۳/۸	۴/۴۶
Mg-TH	۲/۶۸	۲/۵۸	۳/۱۶
SO4-Na	۳/۶۴	۳/۵۷	۴/۸۵
CL-Na	۷/۳۱	۸/۱۴	۱۰/۰۲
EC-TDS	۷۱۱	۷۰۶	۱۱۰۳

جدول ۶- بهترین مدل‌های برازش یافته بر متغیر کیفیت آب زیرزمینی و پارامترهای آنها

GWQI	Model	Nugget	Sill	Range(km)	(C0/C0+C)%
TH-Mg	Spherical	۰/۰۶۸	۰/۴۳	۱۶/۲	۱۳/۶۵
SAR-Na	Spherical	۰/۰۵۵	۱/۲۵	۱۴/۴۴	۴/۲۱
Na-SAR	Spherical	۰/۰۳۳	۲/۰۳	۱۴/۴۴	۱/۵۹
Ca-TH	exponential	۰/۰۲۱	۰/۳۹	۱۷/۶۴	۵/۱
Mg-TH	exponential	۰/۱	۱	۲۱/۱۵	۹/۰۹
SO4-Na	exponential	۰/۱۲	۱/۹۶	۲۰/۶۲	۵/۷
CL-Na	Spherical	۰/۱۹	۲/۰۸	۱۴/۸۴	۸/۳۷
EC-TDS	exponential	۰	۰/۸۸	۲۰/۸۶	۰

جدول ۷- انتخاب بهترین روش درون یابی بر اساس کمترین مقدار RMSE

GWQI	Cokriging	Kriging	Exp1	Exp2	Exp3
TH	۲۸۵	۳۱۳/۸	۳۲۰	۳۳۰	۳۵۸
SAR	۱/۳۵	۲/۳۶	۲/۱۸	۲/۱۶	۲/۲۸
Na	۴/۷۲	۸/۲۷	۷/۵۳	۷/۷۹	۸/۴۵
Ca	۳/۸	۴/۵۵	۴/۴۸	۴/۶	۴/۹
Mg	۲/۵۸	۳/۲۴	۳/۳۷	۳/۴۷	۳/۷۹
SO4	۳/۵۷	۴/۸۹	۴/۷۶	۴/۵۸	۴/۷
CL	۷/۳۱	۱۰/۴	۹/۲۲	۹/۹۱	۱۱/۰۸
EC	۷۰۶	۱۱۴۵	۱۱۷۱	۱۱۹۲	۱۲۷۹

نتیجه‌گیری

اکثر پارامترها کیفیت آب زیرزمینی به هم نزدیک می‌باشد، که نشان دهنده همبستگی مکانی بالا بین آنها می‌باشد. نتایج آنالیز مکانی نشان داد که روش کوکریجینگ با دقت بالاتری تمام پارامترهای کیفی را تخمین می‌زند.

نتایج نشان داد توزیع بیشتر پارامترهای تحت مطالعه دارای ضریب چولگی بالا و توزیع غیرنرمال می‌باشد. به هر حال داده‌ها با استفاده از تابع لگاریتم به توزیع نرمال نزدیک شد. همچنین نتایج نشان داد دامنه تاثیر

- strategy and setting priorities. World Bank Publication. Washington, D.C., USA
- 7) Gaus I. Kinniburgh D. G. Talbot J. C. Webster R. 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging, *Environmental geology*, 44: 939-948.
- 8) Istok J. D. and Cooper R. M. 1998. Geostatistics Applied to Groundwater Pollution. III: Global Estimates, *Journal of Environmental Engineering*, 114(4): 915-928.
- 9) Jager N. 1990. Hydrogeology and Groundwater simulation. Lewis Publishers.
- 10) Janston, K., Ver Hoef, M. J., Krivoruchko, K. and Lucas, N. 2001. Using Arc GIS Geostatistical Analyst. ESRI.
- 11) Loucks D. P. Stedinger J. R. and Haith D. A. 1981, "Water Resources Systems Planning and Analysis", Prantice-Hall, Inc. New Jersey.
- 12) Nazari zade F. Arshadiyan F. Behnaz T. and Zand Vakily K. 2006. Study of spatial variability of Groundwater quality of Balarood Plain in Khuzestan Province. The first Congress of Optimized Exploitation from Water Source of Karoon and Zayanderood Plain. Shahre Kord University, pp: 1236-1240. (Persian Version).
- 13) Todd D. K. 1980. "Groundwater hydrology", John Wiley and Sons, New York.
- فهرست منابع**
- ۱) یاری، ر. کوچک زاده. م ۱۳۸۷. مقایسه روش های زمین آماری برای پیش بینی پراکنش شوری آب زیرزمینی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- 2) Amini M. Khadi H. and Fathianpour N. 2002. Comparison of kriging and co-kriging methods for estimating Cl- concentration of soil, *Iranian Journal of the risk of groundwater quality degradation. of Agricultural Science (In Persian)*, 33(4): 741-748.
- 3) Barca E. and Passarella. G. 2007. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation. of *Agricultural Science (In Persian)*, 33(4): 741-748. A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation, *Environ Monit Assess*, (in press).
- 4) 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.
- 5) Finke P.A. Brus D.J. Bierkens M. F. P. Hoogland T. Knotters M. and Vriesde F. 2004. Mapping groundwater dynamics using multiple sources of high resolution data, *Geoderma*, 123: 23-39.
- 6) Foster S. H. Garduño K. Kemper A. Tuinho M. Nanni G. and Dumars C. 2006. *Groundwater Quality Protection: defining*

Evaluation of geostatistical methods for mapping groundwater quality in Fars Province

Vahid Ghafoori^{1*}, Nosratolahe Malekpour² and Amin Mardani³

^{1*)} M.Sc. graduated of water resources engineering, Islamic Azad University, Shiraz branch, Corresponding author: email:king_ghafoori@hotmail.com

2) manager of developing irrigation networks, Fars Jahade Keshavarzi

3) M.Sc. graduated of irrigation and drainage, Tehran University

Abstract

Geostatistical methods are one of the most advanced techniques for monitoring of groundwater quality. In this research, we compare efficiency of three interpolation techniques namely IDW, kriging, and cokriging for predicting a few groundwater quality indices such as: Na⁺, TH, EC, SAR, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ and SO₄. Data were gathered from 75 wells in Darab district, of Fars province. After normalizing the data, variograms were computed. A suitable model of fitness on experimental variogram was selected which was based on least RMSE value. Then the best method for interpolation was selected, using cross-validation and RMSE. Results showed that for all groundwater quality indices, cokriging performed better than other methods in simulating groundwater quality indices. Finally, using cokriging method, maps of Groundwater quality were prepared in GIS environment.

Key words: Cokriging; Groundwater quality; IDW; Kriging