

مقایسه کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد غلظت کلر محلول در خاک

منوچهر امینی^۱، حسین خادمی^۲، نادر فتحیان پور^۳
۱، ۲، ۳، دانشجوی دوره دکتری و استادیاران دانشکده‌های کشاورزی و معدن دانشگاه صنعتی اصفهان
تاریخ پذیرش مقاله ۸۱/۳/۸

خلاصه

در چند دهه گذشته تخمین متغیرهای مکانی با استفاده از داده‌های همان متغیر (کریجینگ) و یا با بکارگیری اطلاعات متغیرهای کمکی (کوکریجینگ) مورد علاقه متخصصین علوم خاک بوده است. با توجه به اهمیت آگاهی در مورد غلظت کلر بعنوان یک عنصر ضروری و همینطور سمی (در غلظتهای بالا) و مشکلات و هزینه‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری آن یافتن راهکاری برای تخمین آن سودمند می‌باشد. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی توانایی تخمین زن‌های کریجینگ و کوکریجینگ (با استفاده از اطلاعات مربوط به هدایت الکتریکی) در برآورد این متغیر در برخی از خاکهای منطقه رودش اصفهان صورت گرفت. ۶۰۰ نمونه خاک بصورت منظم و در محل گره‌های شبکه‌ای مربعی با فواصل ۱۰۰ متر از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر برداشت گردید. مقدار هدایت الکتریکی (ECe) در تمام نمونه‌ها و غلظت کلر در نصف آنها اندازه‌گیری گردید. علیرغم وجود تغییرات بسیار بالای دو متغیر در منطقه مورد مطالعه محاسبات نشانگر وجود همبستگی مکانی مناسب در مورد دو متغیر و در مقیاس مورد مطالعه می‌باشد. هر دو تخمین زن (کریجینگ و کوکریجینگ) تخمینهای قابل قبولی را از غلظت کلر ارائه نمودند لیکن استفاده از اطلاعات هدایت الکتریکی عصاره اشباع بعنوان متغیر ثانویه در کوکریجینگ منجر به ۳۸٪ کاهش در مقدار میانگین مجذورات خطای تخمین و در نتیجه افزایش ضریب همبستگی بین داده‌های معیار و مقادیر تخمینی از ۷۶٪ در کریجینگ به ۹۰٪ در کوکریجینگ گردید. لذا استفاده از کوکریجینگ جهت برآورد غلظت کلر محلول در خاک به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های مورد نیاز برای تجزیه‌های شیمیایی و کسب دقت بالا در تخمینها بویژه در مواردی که میزان شوری خاک برای اهداف دیگر اندازه‌گیری می‌شود بسیار توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ، کوکریجینگ، واریوگرام متقابل، همبستگی مکانی

مقدمه

عدم قطعیت، مشکلات جمع‌آوری داده‌ها، اندازه‌گیری متغیرهای مختلف در یک مکان و زمان مشخص و محدود بودن داده‌ها روشهای مختلف کریجینگ و کوکریجینگ برای تخمین مکانی به عنوان یک ضرورت توسعه یافته اند (۳). معمولترین و ساده‌ترین روش تخمین یک متغیر در یک مکان خاص استفاده از ترکیب خطی همان متغیر با متغیرهای دیگر می‌باشد. نقطه عطف این روشهای تخمین، توانایی آنها در لحاظ نمودن موقعیت مکانی متغیرها در روند تخمین می‌باشد. موقعیت و

در علوم همچون خاکشناسی، اکولوژی، زمین‌شناسی و غیره که در آنها مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت در یک محدوده معین پردازش می‌شود، تخمین مقادیر متغیرها در مکان و زمان خاص با استفاده از داده‌های موجود از همان متغیر (کریجینگ) و یا بکار بردن اطلاعات متغیرهای دیگر (کوکریجینگ) معمول می‌باشد (۱۵). با توجه به ماهیت اندازه‌گیریهای ناحیه‌ای، ناهمگونی و همبستگی مکانی و زمانی آنها،

یکی از فرآیندهایی که در مناطق خشک و نیمه خشک به شدت عملکرد محصولات زراعی را تحت تاثیر قرار می دهد شور شدن خاکها و تجمع املاحی چون کلرورها و سولفاتها و در نتیجه تخریب اراضی زراعی می باشد. شناسائی و گروهبندی خاکهای دارای شرایط تقریباً مشابه در این مناطق (به منظور برنامه ریزی صحیح جهت جلوگیری از پیشروی فرآیند شوری، مدیریت بهتر منابع آب و خاک در راستای بهینه سازی عملکرد گیاهان زراعی و بهسازی خاکهای دارای شرایط نامناسب) ضروری می باشد. کلر یکی از مهمترین آنیونهای است که به مقدار زیاد در خاکهای مناطق خشک دارای شرایط مساعد برای شور شدن تجمع می یابد و غلظت بالای این عنصر در خاک باعث مسمومیت گیاهان خواهد گردید. لذا تعیین مقدار این عنصر برای مدیریت بهتر اراضی ضروری می باشد. از آنجائیکه اندازه گیری غلظت کلر بسیار پر هزینه می باشد، یافتن راهکاری برای تخمین مکانی آن و شناسائی مناطقی که نیازمند مدیریت یکسانی هستند مفید خواهد بود. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی توانائی تخمین زن خطی کوکریجینگ برای تخمین این متغیر با استفاده از متغیر ثانویه هدایت الکتریکی عصاره اشباع و مقایسه آن با برآوردهای حاصل از تخمین زن کوریجینگ صورت گرفته است.

مواد و روشها

الف) تئوری کوریجینگ معمولی^۱

کوریجینگ تخمین زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه برداری نشده بصورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می گیرد. تئوری این روش به تفصیل در منابع مختلف (از جمله ۱، ۸، ۷) تشریح گردیده است. فرض کنید مقادیر متغیر Z در n نقطه اندازه گیری شده است.

$$Z = (Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n))$$

تخمین مقدار Z در نقطه x_0 توسط تخمین زن کوریجینگ به شکل زیر بیان می شود.

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

گسترش مکانی پدیده های زیست محیطی جنبه کلیدی آنها در شناسایی، ارزیابی و مدیریت مسائل زیست محیطی نظیر آلودگیهای غیر نقطه ای آبهای سطحی و زیر زمینی و فرآیندهای تخریب اراضی همچون فرسایش، شور شدن، بیابانزائی و غیره در مقیاسهای محلی، منطقه ای و جهانی می باشد (۹).

با توجه به قابلیت کوکریجینگ در بکارگیری اطلاعات متغیرهای ثانویه جهت بهبود دقت تخمین، وجود همبستگی متقابل بین متغیرهای اندازه گیری شده، مشکلات اقتصادی، زمانی و تکنولوژیکی اندازه گیری بعضی از متغیرها، افزایش توان پردازش داده ها و وجود نرم افزارهای متنوع و قابل دسترس، استفاده از این روش تخمین در مطالعات خاکشناسی و زیست محیطی سیر افزایشی را طی می نماید.

تخمین زن کوکریجینگ با استفاده از همبستگی بین متغیرها به منظور بهبود تخمین توسط محققین مختلفی بکار گرفته شده است. جاگر و همکاران (۹) از متغیر ثانویه ارتفاع برای بهبود تخمین ظرفیت خنثی سازی اسید (ANC)^۱ در رودخانه ها استفاده نمودند و استفاده از کوکریجینگ منجر به ۲۷ درصد کاهش در میانگین مجذورات خطای تخمین (MSEE)^۲ گردید. استین و همکاران (۱۳) برای شبیه سازی کمبود رطوبت، ناش و همکاران (۱۲) برای تخمین میزان پوشش گیاهی در مراتع، فینک و استین (۵) برای ارزیابی روشهای کوددهی، واقان و همکاران (۱۴) و محمدی (۲) برای بررسی پدیده شوری، ناترز و همکاران (۱۰) برای تخمین عمق افقهای خاک از این تکنیک استفاده نموده اند. زانگ و همکاران (۱۷) کوکریجینگ را برای بهبود تخمین غلظت املاح در عمقهای تحتانی خاک با استفاده از اطلاعات شوری لایه های فوقانی بکار برده اند. نتایج این مطالعه حاکی است که استفاده از کوکریجینگ منجر به کاهش ۳۰ تا ۶۰ درصدی میانگین مجذورات خطای تخمین (MSEE) در افقهای مختلف گردیده است. لی و به (۱۱) نیز این تکنیک را برای تخمین هدایت هیدرولیکی با استفاده از اطلاعات متغیرهای ثانویه ارتفاع فشاری، غلظت املاح و زمان رسیدن املاح^۳ در محیط متخلخل ناهمگون و شرایط جریان پایدار بکار برده اند.

1 . Acid Neutralizing Capacity

2 . Mean Squared Estimation Error (MSEE)

3 . Solute arrival time

(۵)

$$\begin{cases} \sum_{\beta_r=1}^{n_r} \lambda_{\beta_r} C_{1r}(S_{\alpha_1} - V_{\beta_r}) + \mu_1 = C_{11}(S_{\alpha_1} - S_1), \alpha_1 = 1, 2, \dots, n_1 \\ \sum_{\alpha_r=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_r} C_{1r}(V_{\beta_1} - S_{\alpha_r}) + \sum_{\beta_r=1}^{n_r} \lambda_{\beta_r} C_{rr}(V_{\beta_1} - V_{\beta_r}) + \mu_2 = C_{r1}(V_{\beta_1} - S_1), \beta_1 = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{\alpha_r=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_r} = 1, \quad \sum_{\beta_r=1}^{n_r} \lambda_{\beta_r} = 0 \end{cases}$$

که در معادلات فوق C_{ij} سمی واریانس متقابل بین متغیرهای Z_i و Z_j در موقعیت های S_{α_i} ، V_{β_j} و μ_1 و μ_2 ضرایب لاگرانژ مربوط به محدودیت های ذکر شده می باشند. همانگونه که ملاحظه می گردد برای محاسبه C_{ij} بایستی واریوگرامهای متغیر اولیه و ثانویه و همینطور واریوگرام متقابل بین دو متغیر محاسبه، ترسیم و مدلسازی گردند. نحوه محاسبه و مدلسازی واریوگرام و واریوگرام متقابل در منابع مختلفی (۷) و (۸) تشریح گردیده است.

ج) منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرقی اصفهان در مسیر جاده اصفهان - ورزنه واقع است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی این منطقه بین عرضهای جغرافیایی 5° و 23° و 25° تا 32° شمالی و طولهای جغرافیایی 43° و 31° تا 52° شرقی قرار دارد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا 1484 متر و مساحت آن 600 هکتار است. این منطقه بر روی نقشه سازمان جغرافیایی کشور با نام ورزنه به شماره N ۵۰۰۰۰

۶۵۵۴ واقع است. بطور کلی منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت آبرفتی زاینده رود است. خاکهای منطقه دارای افق مشخصه سطحی اکریک و افقهای مشخصه تحت الارضی سالیک و کمبیک می باشند و در تحت گروههای Typic Haplosalids و Typic Haplocambids قرار می گیرند. نمونه برداری بصورت منظم و بر روی شبکه ای مربعی با فواصل 100 متر و در محل گره های شبکه از عمق $30-0$ سانتیمتر صورت گرفت. به این ترتیب مجموعاً 600 نمونه برداشت گردید. هدایت الکتریکی عصاره اشباع به کمک دستگاه هدایت سنج مدل متر اهم در تمام نمونه ها و غلظت کلر به روش تیتراسیون به کمک نیترات نقره در نصف نمونه ها اندازه گیری گردید. الگوی نمونه برداری و موقعیت نمونه ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. از مجموع داده ها 60 داده مربوط به غلظت کلر بعنوان داده های معیار انتخاب گردیدند. لذا مجموعاً 600 داده برای ECE و 240 داده برای غلظت کلر در محاسبات بکار رفته است.

مهمترین قسمت در کریجینگ تعیین وزنهاى آماری λ_i می باشد. جهت ناریب بودن تخمینها این اوزان بایستی به نحوی تعیین گردد که مجموع آنها برابر ۱ باشد ($\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$) و برای دقیق بودن تخمینها بایستی واریانس تخمین حداقل باشد به عبارتی دیگر:

$$Var[Z^*(x_0)] = E[(Z^*(x_0) - Z(x_0))^2] = \min \quad (۲)$$

ب) تئوری کوکریجینگ معمولی

تخمین زن کوکریجینگ همان کریجینگ توسعه یافته می باشد که در آن متغیرهای ثانویه نیز لحاظ شده اند. تئوری کوکریجینگ به تفصیل در مراجع متفاوت (همچون ۱، ۶، ۷، ۸) تشریح گردیده است. برای سهولت حالتی را در نظر بگیرید که تنها یک متغیر ثانویه برای بهبود تخمین مورد استفاده قرار می گیرد. فرض کنید Z_1 متغیر اولیه است که در n_1 نقطه و Z_2 متغیر ثانویه است که در n_2 نقطه در فضای D اندازه گیری شده اند.

$$Z_1 = (Z_1(S_1), Z_1(S_2), \dots, Z_1(S_{n_1}))$$

$$Z_2 = (Z_2(V_1), Z_2(V_2), \dots, Z_2(V_{n_2}))$$

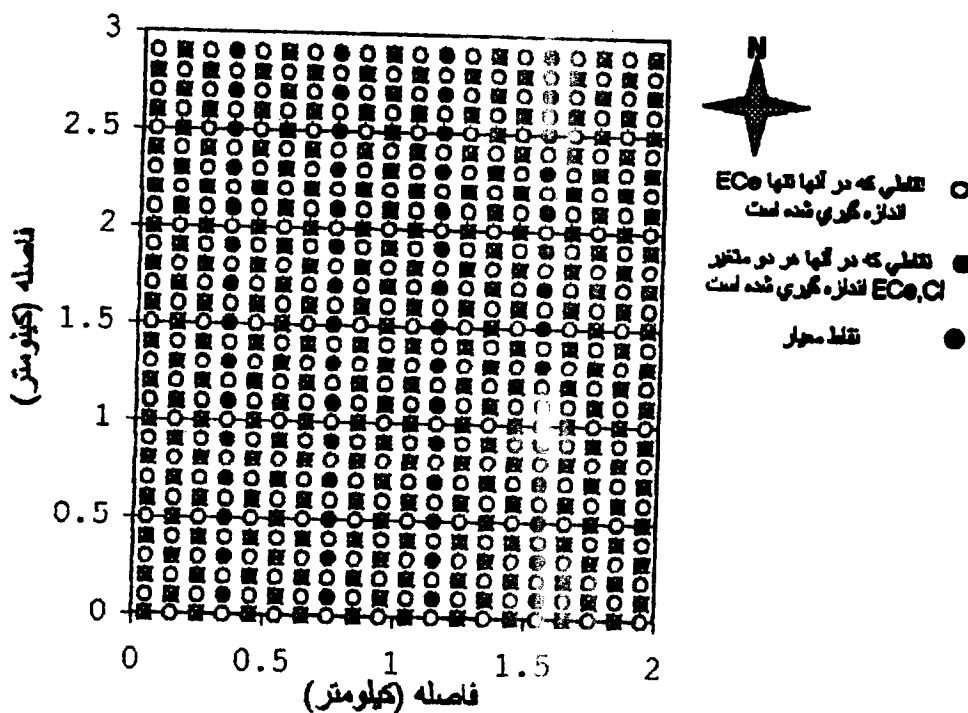
که در معادلات فوق S و V بیانگر موقعیت نمونه ها است و فضای $D = (S, V)$. در این حالت تخمین زن کوکریجینگ به شکل زیر تعریف می گردد.

$$Z_1^*(S_0) = \sum_{\alpha_1=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_1} Z_1(S_{\alpha_1}) + \sum_{\beta_1=1}^{n_2} \lambda_{\beta_1} Z_2(V_{\beta_1}) \quad (۳)$$

که در این معادله $Z_1^*(S_0)$ تخمین متغیر Z_1 در نقطه S_0 ، λ_{α_1} و λ_{β_1} وزنهاى آماری مربوط به متغیرهای اولیه و ثانویه می باشند. به منظور ناریب بودن تخمین فوق بایستی دو محدودیت زیر برقرار باشد.

$$\sum_{\alpha_1=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_1} = 1, \quad \sum_{\beta_1=1}^{n_2} \lambda_{\beta_1} = 0 \quad (۴)$$

برای بهینه سازی تخمین تحت دو محدودیت فوق یا به عبارت دیگر جهت حداقل نمودن واریانس تخمین ($E(Z-Z^*)$) از روش ضرایب لاگرانژ استفاده می گردد که نتیجه آن دستگاه معادلات خطی زیر با n_1+n_2+2 معادله می باشد.



شکل ۱- الگوی نمونه برداری

واریوگرامها با فرض مدل خطی هم ناحیه ای بودن (LMC)^۱ به روش کمترین مربعات صورت گرفته است. اساس این روش توسط ایساک و سری و استاوا (۸) تشریح گردیده است. در این مطالعه از نرم افزار Geopack برای محاسبه و الگوسازی واریوگرامها استفاده گردیده است.

جدول ۱- توصیف متغیرهای مورد بررسی در منطقه

متغیر	واحد	تعداد	حداقل	میانگین	حداکثر	SD*	CV**
ECe	dS/m	۶۰۰	۳	۴۸/۶	۳۰۴	۶۶/۷	۱۳۷
Cl	meq/l	۳۰۰	۱۲	۸۰۳	۶۵۰۰	۱۳۳۲	۱۶۵

* انحراف استاندارد ** ضریب تغییرات

به منظور بررسی وضعیت تخمینها از نظر دقت و اریب یا ناریب بودن آنها ۶۰ داده معیار غلظت کلر و معیارهای آماری میانگین خطای تخمین^۲، میانگین مجذورات خطای تخمین و ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. طبق تعریف میانگین خطای تخمین به شکل زیر محاسبه می گردد.

نتایج و بحث

خلاصه ای از آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه، ECe و Cl در جدول شماره ۱ گزارش شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد دو متغیر از تغییرات بسیار زیادی در منطقه مورد مطالعه برخوردارند بطوریکه ضریب تغییرات دو متغیر نسبتاً بزرگ می باشد. با این وجود همبستگی بالائی بین دو متغیر وجود دارد ($r=0.83^{**}$). با توجه به وجود همبستگی بالا بین دو متغیر استفاده از کوکریجینگ برای تخمین غلظت کلر منطقی بنظر می رسد.

اولین گام در استفاده از تخمین زن های کوریجینگ و کوکریجینگ محاسبه و الگوسازی واریوگرام و واریوگرام متقابل می باشد. واریوگرامهای ECe و Cl و واریوگرام متقابل ECe-Cl در شکلهای ۱ تا ۳ نمایش داده شده اند. الگوهای نسبتاً مشابه واریوگرام در دو متغیر همینطور مناسب بودن الگوی واریوگرام متقابل بیانگر این مطلب می باشند که دو متغیر دارای همبستگی مکانی بوده و تحت تاثیر فاکتورهای خاکساز می باشد. الگوسازی یا برازش مدل مناسب برای

1- Linear model of co-regionalization
2- Mean Estimation Error (MEE)

دقیق بودن تخمینها مستلزم حداقل بودن این معیار آماری می باشد. نتایج حاکی است که استفاده از تخمین زن کوکریجینگ و بکار بردن متغیر ECE باعث افزایش چشمگیری در دقت تخمینها گردیده است (جدول ۲). بطوریکه میانگین مجذورات خطای تخمین از ۱/۰۴ در کریجینگ به ۰/۶۴۵ در کوکریجینگ کاهش یافته است. برای تعیین میزان بهبود تخمینها توسط کوکریجینگ از معیار کاهش نسبی میانگین مجذورات خطای تخمین $RMSE^1$ که به شکل زیر محاسبه می گردد استفاده شده است.

$$RMSE = [(MSE_k - MSE_{ck}) / MSE_k] \times 100 \quad (۸)$$

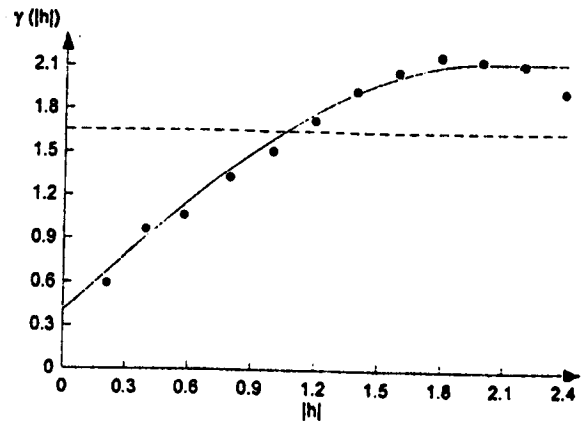
که در معادله فوق MSE_k و MSE_{ck} به ترتیب میانگین مجذورات خطای تخمین کریجینگ و کوکریجینگ می باشند. $RMSE$ در مطالعه حاضر ۳۸٪ می باشد. به عبارتی دیگر کوکریجینگ باعث شده است که دقت تخمینها ۳۸٪ افزایش یابد.

جدول ۲- مقایسه کریجینگ و کوکریجینگ برای تخمین غلظت کلر

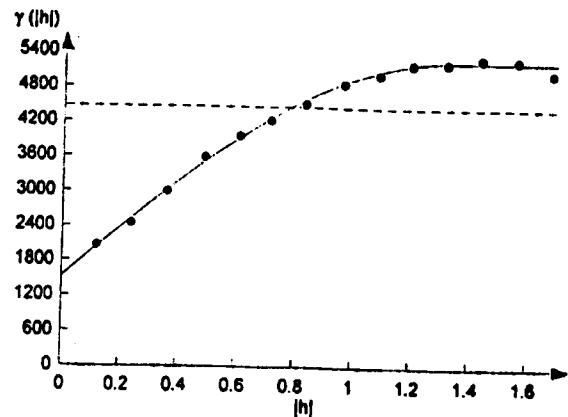
R	MSEE	MEE	میانگین (eq/l)	تعداد	معیار آماری
-	-	-	۰/۹۳۴	۶۰	داده های معیار
۰/۷۶**	۱/۰۴	۰/۱۶۵	۰/۷۶۸	۶۰	کریجینگ
۰/۱۹**	۰/۶۴۵	۰/۱۹۱	۰/۷۴۲	۶۰	کوکریجینگ

**- ضریب همبستگی در سطح یک درصد معنی دار میباشد

علاوه بر موارد فوق ضریب همبستگی پیرسون نیز بین داده های اندازه گیری شده و تخمین زده شده بوسیله کریجینگ و کوکریجینگ محاسبه گردید. نتایج نشان میدهد که هر دو روش تخمینهای قابل قبولی ارائه می نمایند، لیکن کوکریجینگ باعث شده است که ضریب همبستگی از ۷۶٪ به ۹۰٪ بهبود یابد. به عبارت دیگر بکار بردن متغیر ثانویه ECE باعث گردیده که تخمین بهتری از غلظت کلر بدست آید. اشکال ۵ و ۶ پراکنش داده های اندازه گیری شده را در مقابل تخمینهای حاصل از کریجینگ و کوکریجینگ نمایش می دهد. از نظر تنوریکی هنگامی که تغییرات متغیر اولیه خیلی بیشتر از متغیر ثانویه باشد ($\text{Var}(Z_1) \gg \text{Var}(Z_2)$) وزنه های آماری اختصاص یافته به متغیر ثانویه بسیار کوچک خواهد بود



شکل ۲- واریوگرام همه جانبه غلظت کلر که در آن h بر حسب کیلومتر و $\gamma(h)$ بر حسب $(\text{eq/L})^2$ می باشد

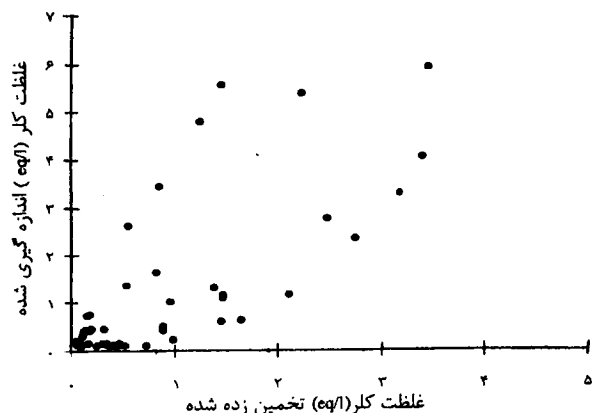


شکل ۳- واریوگرام همه جانبه هدایت الکتریکی عصاره اشباع که در آن h بر حسب کیلومتر و $\gamma(h)$ بر حسب $(\text{ds/m})^2$ می باشد

$$MEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z(x_i) - Z^*(x_i)) \quad (۶)$$

با توجه به تعریف، ناریب بودن تخمینها مستلزم این است که مقدار MEE برابر صفر گردد. لیکن در عمل مقدار کمینه آن را در نظر می گیرند. نتایج بدست آمده در این مطالعه بیانگر این است که تخمینهای حاصل از کریجینگ و کوکریجینگ تا حدی ناریب می باشند. استفاده از تخمین زن کوکریجینگ در مطالعه حاضر باعث شده که MEE نسبت به کریجینگ به میزان ناچیزی افزایش یابد. به منظور تعیین میزان دقت تخمینها از معیار آماری میانگین مجذورات خطای تخمین استفاده شد که به شکل زیر محاسبه می گردد.

$$MSEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2 \quad (۷)$$



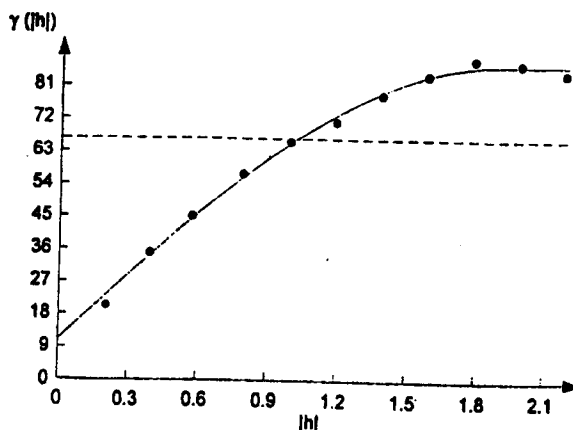
شکل ۶- نمودار پراکنش غلظت کلر تخمین زده شده به وسیله کریجینگ معمولی در مقابل داده‌های معیار

علاوه بر این، در مواردی که واریوگرام متقابل متناسب با واریوگرام منفرد متغیر اولیه باشد کوکریجینگ ارجحیتی نسبت به کریجینگ ندارد (۱۶). علیرغم اینکه در مطالعه حاضر واریوگرامهای محاسبه شده از الگوی مشابهی پیروی می نمودند لیکن کوکریجینگ، تخمین‌هایی به مراتب دقیق تر از کریجینگ ایجاد نموده است.

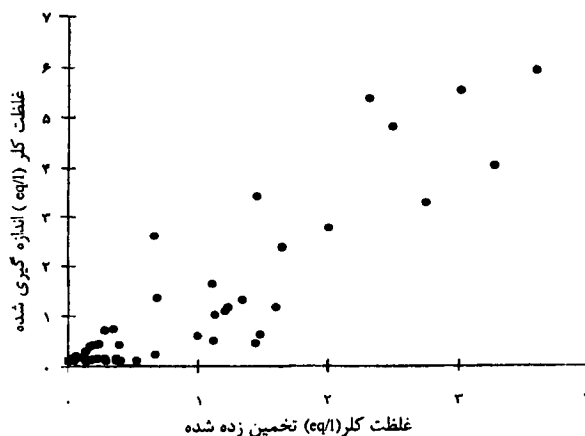
بطور کلی با توجه به افزایش توانایی بشر در برداشتن داده‌ها، قابل دسترس بودن نرم افزارهای متنوعی که توانایی انجام محاسبات پیچیده را دارند، جمع آوری داده های مختلف در مطالعات خاکشناسی و تئوری بسیار قوی کوکریجینگ استفاده از این تکنیک برای افزایش دقت تخمینها بسیار سودمند می باشد. نتایج این مطالعه نشان میدهد که هر دو تخمین زن برآوردهای خوبی از غلظت کلر ارائه می نماید لیکن در صورتی که داده های مربوط به شوری خاک در دسترس باشد، بویژه در مواردی که جهت سایر اهداف اندازه گیری شوری خاک بعمل آمده باشد کوکریجینگ ارجحیت دارد.

REFERENCES

۱. حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم.
۲. محمدی، ج. ۱۳۷۸. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک. کوکریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سوم، شماره اول، ص. ۷-۱.
3. Abbaspour, K. C., R. Schulin, M. Th. Van Genuchten and E. Schlappi (1998). An alternative to cokriging for situations with small sample sizes. *Math. Geol.* 30:250-274.
4. Cressie, N. and C. K. Wikle (1998). The variance-based cross-variogram: you can add apples and oranges. *Math. Geol.* 30:789-799.



شکل ۴- واریوگرام عرضی ECE-Cl که در آن h بر حسب کیلومتر و $\gamma(h)$ بر حسب [(eq/L)(dS/m)] می باشد.



شکل ۵- نمودار پراکنش غلظت کلر تخمین زده شده به وسیله کوکریجینگ در مقابل داده‌های معیار

$$\left(\sum_{\alpha_1=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_1} \gg \sum_{\beta_1=1}^{n_2} \lambda_{\beta_1} \right) \quad (6 \text{ و } 4)$$

این بررسی مقدار عددی غلظت Cl بر حسب meq/L بسیار بزرگتر از ECE بر حسب dS/m بود جهت کاهش بروز چنین مشکلی غلظت کلر بر حسب eq/L در محاسبات استفاده گردید.

مراجع مورد استفاده

5. Finke, P. A. and A. Stein (1994). Application of disjunctive cokriging to compare fertilizer scenarios on a field scale. *Geoderma* 62:247-263.
6. Goovaerts, P. (1998). Ordinary cokriging revisited. *Math. Geol.* 30:21-41.
7. Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biol. Fertil.* 27:315-334.
8. Isaaks, E. H. and R. M. Srivastava (1989). An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, P. 561.
9. Jager, H. I., M. J. Sale and R. L. Schmoyer (1990). Cokriging to assess regional stream quality in the southern Blu Ridge Province. *Wat. Res. Res.* 26: 1401-1412.
10. Knotters, M., D. J. Brus and J. H. O. Voshoar (1995). A comparison of kriging, cokriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. *Geoderma* 67:227-246.
11. Li, B. and T. C. J. Yeh (1999). Cokriging estimation of the conductivity field under variably saturated flow conditions. *Wat. Res. Res.* 35: 3663-3674.
12. Nash, M. S., A. Toorman, P. J. Wierenga, A. Gutjahr and G. L. Cunningham (1992). Estimation of vegetative cover in an arid rangeland based on soil moisture using cokriging. *Soil Sci.* 154:25-36.
13. Stein, A., I. G. Staritsky, A. J. Bouma, A. C. Van Eijnsbergen and A. K. Bregt (1991). Simulation of moisture deficits and areal interpolation by universal cokriging. *Wat. Res. Res.* 27:1963-1973.
14. Vaughan, P. J., S. M. Lesch, D. L. Corwin and D. G. Cone (1995). Water content effect on soil salinity prediction: A geostatistical study using cokriging. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1146-1156.
15. Ver Hoef, J. M. and N. Cressie (1993). Multivariate spatial prediction. *Math. Geol.* 25:219-241.
16. Wackernagel, H. (1994). Cokriging versus kriging in regionalized multivariate data analysis. *Geoderma* 62:83-92.
17. Zhang, R., P. Shouse and S. Yates (1997). Use of pseudo- cross variograms and cokriging to improve estimates of soil solute concentrations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1342-1347.

A Comparison of Kriging and Cokriging Techniques in Estimating Cl⁻ Concentration in Soil

M. AMINI¹, H. KHADEMI² AND N. FATHIAN POUR³

**1, 2, 3, Ph.D. Student and Assistant Professors, Faculty of Agriculture,
and Faculty of Mining Eng. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran**

Accepted May 29, 2002

SUMMARY

Estimation of spatial variables using data of the property under estimation (kriging technique) or by employing data of supplementary variable(s) (cokriging theory) has been of prime interest to soil scientists in the last few decades. Chlorine is both an essential and a toxic element for plant growth and its measurement is not only costly but also time consuming. The objective of this study was to evaluate the ability of kriging and cokriging techniques to predict the chloride concentration in selected surface soils from Rudasht area. Six hundred surface soil samples (0-30 cm) were taken from the nodes of a 100*100 m regularly spaced grid scheme. E_{Ce} was measured in all the samples whereas, the Cl⁻ concentration was measured in half of them. Both parameters were highly variable and showed strong spatial correlation. Both kriging and cokriging provided reasonable estimates for Cl⁻ concentration. However, using soil salinity data (E_{Ce}) for the estimation of Cl⁻ concentration by cokriging could reduce the MSEE by 38% and, as a result, the correlation coefficient between the estimated and measured concentration of Cl⁻ improved from 0.76 to 0.90. Therefore, if higher accuracy is needed, cokriging is preferred to kriging particularly when soil salinity data have been collected for other purposes.

Key words: Variogram, Cross variogram, Kriging, Cokriging, Spatial correlation