مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان)
با استفاده از نظریه ژئواستاتیستیک
۲- کوکریجینگ

جهانگرد محمدی*

چکیده

تجزیه و تحلیل داده‌های شوری نشان داد که پراکنش مکانی نمونه‌های شوری در اعماق مختلف نیمرخ خاک به هم وابسته می‌باشند. در چنین حالتی داده‌های مزبور را می‌توان هم بسته مکانی دانست. این بدان معنی است که مقادیر شوری در یک عمق به خصوص حاوی اطلاعات مفیدی دربارهٔ وضعیت شوری در دیگر اعماق نیمرخ خاک بوده و می‌توان از این اطلاعات به منظور بهبود تخمین شوری در هر کدام از اعماق نیمرخ خاک استفاده نمود. هدف از این مطالعه بررسی اثرات استفاده از اطلاعات مربوط به شوری، در دو عمق نیمرخ خاک جهت تخمین این مشخصه در عمق سوم می‌باشد. بدین منظور از روش کوکریجینگ استفاده شده است. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از کوکریجینگ به عنوان وسیله‌ای جهت تهیه نقشه شوری، این روش با استفاده از داده‌های معیار با نتایج کریجینگ معمولی مقایسه گردید.

نتایج نشان می‌دهد که کوکریجینگ علیرغم مبانی تئوریک روشن و قطعی، برتری اندکی نسبت به کریجینگ معمولی دارد. این امر را می‌توان ناشی از عدم تفاوت بین متغیر اولیه و متغیرهای کمکی از نظر تعداد نمونه‌ها و همچنین یکسانی تمامی واریوگرام‌های شوری در اعماق مختلف دانست. با در نظر گرفتن پیچیدگی روش کوکریجینگ و مشکل بودن برازش واریوگرام‌های محاسبه شده توسط مدل LMC، نتیجه‌گیری می‌شود که در چنین شرایطی کاربرد روش کریجینگ معمولی از ارجحیت برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی – *همبستگی مکانی، واریوگرام دو جانبه، مدل LMC، کوکریجینگ*

مقدمه

تغییرات مکانی هدایت الکتریکی عصاره اشباع در سه عمق متفاوت نیمرخ خاک، با استفاده از تئوری متغیرهای مکانی مورد مطالعه قرار گرفت (۱). در آن مطالعه ساختار تغییرات مکانی شوری، با محاسبه و ترسیم واریوگرام‌های مختلف شناسایی و نهایتاً با استفاده از این اطلاعات میزان شوری در نقاطی که نمونه‌برداری نشده بود، با روش کریجینگ تخمین و اقدام به تهیه نقشه پراکنش شوری در اعماق مختلف شد. واریوگرام‌های شوری بیانگر این واقعیت بود که پراکنش مکانی شوری در اعماق مختلف نیمرخ خاک به طور محسوسی به هم وابسته و در ارتباط می‌باشد. به دیگر سخن، چنانچه میزان شوری در هر عمق را به عنوان یک متغیر مکانی در نظر بگیریم، سه متغیر مورد نظر را می‌توان وابسته مکانی منظور داشت، که

* – استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1378.3.1.8.9]

در تئوری ژئواستاتیستیک این حالت را اصطلاحاً هم بستگی مکانی[1] می‌نامند (۳). از نظر عملی وجود همبستگی مکانی بین چند متغیر حائز اهمیت است. زیرا هر متغیر حاوی اطلاعات سودمندی در ارتباط با متغیر دیگر بوده که می‌توان از آن اطلاعات جهت افزایش میزان دقت و صحت تخمین و برآورد متغیر مورد نظر استفاده نمود. این کار با استفاده از روش کوکریجینگ[2] امکان پذیر می‌باشد.

در بعضی از مواقع ممکن است از یک متغیر به دلایلی، مانند مشکل بودن نمونه‌گیری و یا گران بودن اندازه‌گیری آزمایشگاهی، به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و بر اساس آنها نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می‌توان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین این متغیر و متغیر دیگری، که از آن به خوبی نمونه‌برداری شده است، تخمین را اصلاح و دقت آن را بالا برد. به طور مثال، واکلین و همکاران (۹) از رابطه بین بافت خاک و میزان آب قابل دسترس و آب نگهداری شده در مکش ۰/۳۳- مگاپاسگال، جهت تخمین درصدهای مختلف رس، سیلت و شن خاک استفاده کردند. همچنین میزان رطوبت وزنی خاک با استفاده از دو متغیر ثانویه درجه حرارت و درصد شن لایه سطحی خاک، توسط روش کوکریجینگ تخمین زده شده است (۱۲). مقایسه جامعی بین روشهای مختلف برآورد آماری متغیری که به اندازه کافی نمونه‌گیری نشده باشد، با استفاده از رابطه مکانی این متغیر با متغیرهای ثانویه دیگری که به تعداد بیشتری نمونه‌گیری شده است، توسط احمد و دی مارسیلی (۲) صورت گرفته است.

در شرایطی که هر دو متغیر اصلی و ثانویه به یک اندازه نمونه‌گیری شده باشند، از نظر دقت تخمین متغیر اصلی، تفاوتی بین نتایج حاصل از کریجینگ معمولی و کوکریجینگ وجود نخواهد داشت (۱۱). گاهی اوقات نه تنها دقت تخمین، بلکه وابستگی و مرتبط بودن تخمین متغیر اصلی در حالات مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است. به عنوان مثال، ولتز و گولارد (۱۰) از همبستگی بین میزان رطوبت خاک و مکشهای مختلف اعمال شده به منظور برآورد منحنی رطوبتی خاک، در نقاطی که نمونه‌برداری نشده است، استفاده کردند. در آزمایش آنها گرچه تعداد نمونه‌ها یکسان بوده است، لیکن از آن جایی که تخمین میزان رطوبت در مکشهای مختلف می‌بایستی با کاهش فشار ایستایی به صورت یکنواختی کاهش یابد، لذا کاربرد روش کوکریجینگ می‌تواند چنین ارتباطی را در فرآیند تخمین آماری تضمین نماید.

هدف از مقاله حاضر بررسی اثرات استفاده از اطلاعات شوری مربوط به دو عمق مختلف در نتایج برآورد شوری در یک عمق مورد نظر است. همچنین ارزیابی و مقایسه نتایج حاصله از روش کریجینگ (۱) و کوکریجینگ با استفاده از مجموعه داده‌های معیار صورت گرفته است.

مواد و روشها

تجزیه و تحلیل ساختاری و روش کوکریجینگ

محمدی (۱) تئوری متغیر مکانی، واریوگرام و چگونگی تخمین متغیر مکانی به کمک روش کریجینگ را مورد بحث قرار داده است. در مواردی که بیش از یک متغیر مورد مطالعه قرار می‌گیرد، با در نظر گرفتن وابستگی مکانی بین آنها می‌توان نتایج حاصل از تخمین را بهبود بخشید.

تئوری کوکریجینگ به صورت کامل و عمیق توسط مایرز (۶، ۷ و ۸) ارائه شده است. بنابراین در اینجا به طور مختصر به بررسی این روش پرداخته می‌شود.

همانند روش کریجینگ، اولین قدم در به کارگیری کوکریجینگ تعیین و مدل نمودن ساختار تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر است. در این حالت علاوه بر تعیین واریوگرام‌های متغیرهای اولیه و ثانویه به طور جداگانه، واریوگرام دو جانبه[3]، که بیانگر ساختار همبستگی مکانی بین دو متغیر اولیه و ثانویه است، نیز بایستی محاسبه و ترسیم گردد.

1- Co-regionalization 2- Co-kriging 3- Cross-variogram

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1378.3.1.8.9]

چنانچه دارای دو متغیر $Z_1(X)$ و $Z_2(X)$ باشیم در این صورت واریوگرام دو جانبه را، که رابطه و همبستگی بین این دو متغیر را به عنوان تابعی از فاصله h نشان می‌دهد، می‌توان به صورت زیر بیان نمود.

$$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ Z_1(X_1) - Z_1(X_i+h) \} \{ Z_2(X_i) - Z_2(X_i+h) \} \quad [1]$$

که در آن N(h) تعداد جفتهای $\{ Z_1(X_i) - Z_1(X_i+h) \} \{ Z_2(X_i) - Z_2(X_i+h) \}$ را نشان می‌دهد.

برای محاسبه موفق یک واریوگرام دو جانبه به تعداد قابل توجهی نقاط نمونه‌برداری شدهٔ مشترک نیازمند می‌باشیم. از سوی دیگر چنانچه همبستگی بین دو متغیر ضعیف باشد واریوگرام دو جانبه محاسبه شده فاقد ساختار مناسب جهت تجزیه و تحلیلهای بعدی خواهد بود (۲).

یکی از مهم‌ترین دشواریهای کاربرد روش کوکریجینگ چگونگی مدل نمودن واریوگرام‌های تجربی است. این دشواری بدین سبب است که تمامی واریوگرام‌های منفرد[1] و دو جانبه باید به طور همزمان مدل شوند. از طرف دیگر ما تنها مجاز به استفاده از یک مدل پایه (به طور مثال مدل کروی) و یا ترکیبی از آن (مانند مدل کروی مضاعف[2]) می‌باشیم. معمول‌ترین روش برای مدل کردن واریوگرام‌ها تحت شرایط فوق، مدل خطی همه ناحیه‌ای بودن[3] (LMC) است (۳و۴). مبانی نظری این روش توسط ایساک و سریواستوا(۵) شرح داده شده است. در این مطالعه از برنامه ارائه شده توسط گولارد و ولتس (۴) به منظور مدل نمودن واریوگرام‌های داده‌های شوری استفاده گردیده است.

از نظر تئوری، کوکریجینگ با کریجینگ تفاوتی ندارد. چنانچه $Z_1(X)$ و $Z_2(X)$ نشانگر دو متغیر مکانی بوده که دارای همبستگی مکانی نیز می‌باشند. در این صورت تخمین Z_1 توسط روش کوکریجینگ عبارت از بهترین تخمینگر خطی ناریب، به همراه حداقل واریانس تخمین خواهد بود. چنین تخمینگری را می‌توان به شکل زیر نشان داد:

$$\hat{Z}_1(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i} Z_1(x_1) + \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad [2]$$

در معادله بالا N_1 و N_2 به ترتیب بیانگر تعداد نمونه‌های متغیرهای اولیه و ثانویه است که در تخمین متغیر اولیه در موقعیت X_0 به کار گرفته شده و λ_{1i} و λ_{2j} عبارت از وزنهای آماری اختصاص داده شده به این داده‌ها است. همانند کریجینگ، عملیات به حداقل رساندن واریانس کوکریجینگ با استفاده از تکنیک لاگرانژ صورت می‌پذیرد. واریانس تخمین کوکریجینگ را می‌توان به صورت ذیل نشان داد:

$$\mathrm{Var}\left[\hat{Z}(X_0) - Z(X_0)\right] = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i}\gamma_1(X_{1i},X_0) + \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_{2j}\gamma_{12}(X_{2j},X_0) + \mu \quad [3]$$

نتایج و بحث

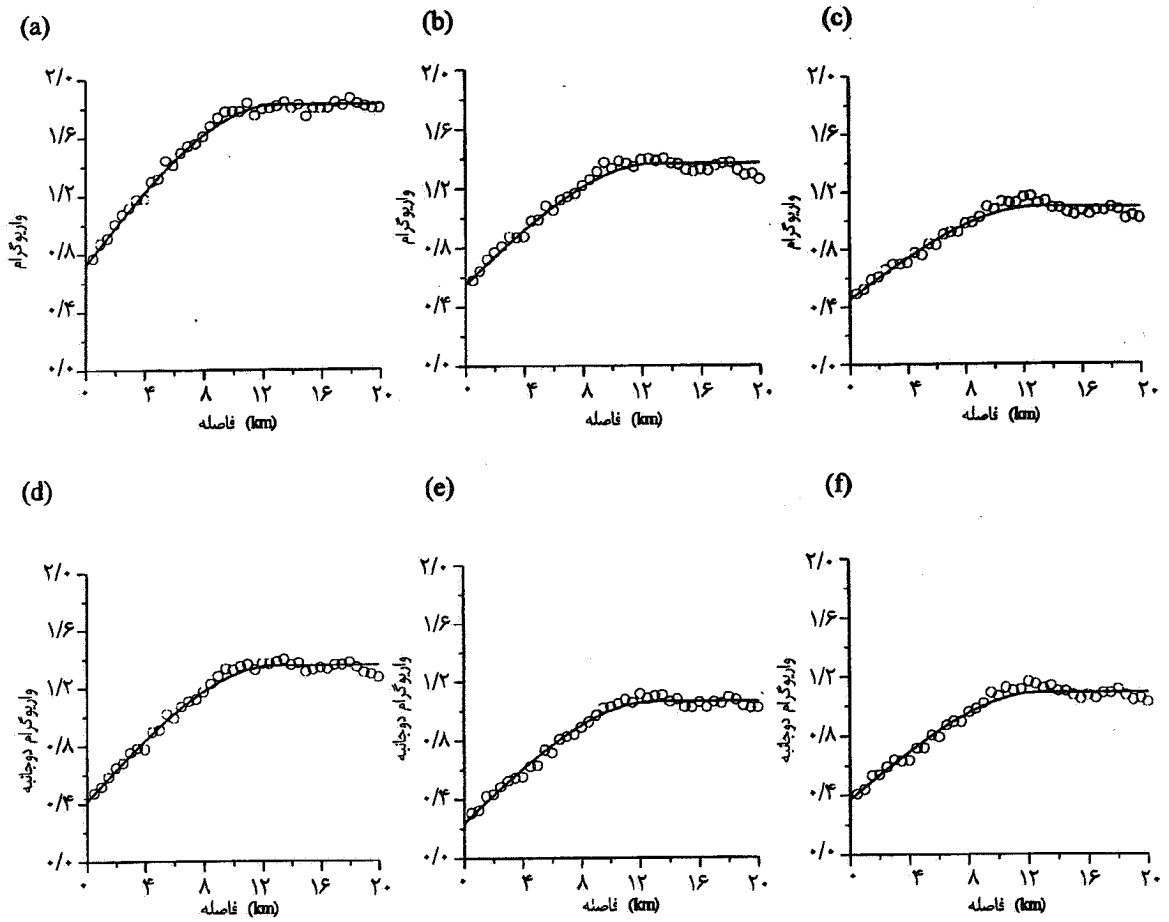
ضرایب همبستگی بین داده‌های شوری در اعماق مختلف در جدول ۱ آمده است. نتایج حاکی از وجود همبستگی نسبتاً قوی و مثبت بین میزان شوری در اعماق مختلف می‌باشد. همبستگی بین لایه‌های مجاور بیشتر از لایه‌های دور از هم است.

واریوگرام‌های جداگانه داده‌های شوری، پس از تبدیل لگاریتمی، در هر عمق به همراه واریوگرام‌های دو جانبهٔ آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی ظاهری این واریوگرام‌ها بیانگر این واقعیت است که تمامی آنها را می‌توان با استفاده از مدل کروی توصیف نمود. بنابراین با استفاده از روش LMC واریوگرام‌های مزبور مدل و پارامترهای آنها شامل اثر قطعه‌ای و حدآستانه محاسبه گردید. در تمامی این مدل‌ها از دامنه تاثیر ۱۳ کیلومتر استفاده شده است. مقایسه این واریوگرام‌ها نشانگر شباهت ظاهری بسیار زیاد بین آنها می‌باشد.

1- Auto variogram
2- Double spherical
3-Linear Model of Co-regionalization

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1378.3.1.8.9]



شکل ۱- واریوگرام‌های منفرد، $(Ln(dS/m)^2$ ، (a) عمق اول ۵۰-۰ سانتیمتر، (b) عمق دوم ۱۰۰-۵۰ سانتیمتر، (c) عمق سوم ۱۵۰-۱۰۰ سانتیمتر و واریوگرام‌های دو جانبه، $(Ln(dS/m).Ln(dS/m))$ ، بین (d) عمق اول و دوم، (e) عمق اول و سوم و (f) عمق دوم و سوم، به همراه مدل‌های برازش داده شده به روش LMC

به منظور بررسی و مقایسه روش کوکریجینگ با روش کریجینگ، از مجموعه داده‌های معیار ($N = ۵۰$) استفاده گردید (۱). از آن جایی که تعداد نمونه‌ها در هر سه عمق تقریباً یکسان بوده است بنابراین در این مطالعه مهم‌ترین دلیل جهت به کارگیری روش کوکریجینگ تلاش در جهت دخیل نمودن ارتباط مکانی بین داده‌های شوری در اعماق مختلف به منظور تخمین بهینه نیمرخ شوری خاک در منطقه مطالعاتی می‌باشد. بدین ترتیب با استفاده از دو روش کریجینگ و کوکریجینگ، میزان‌شوری در محلهایی که دارای داده‌های معیار بوده‌اند تخمین زده شد. در روش کوکریجینگ، جهت تخمین میزان شوری در یک عمق، از داده‌های شوری دو عمق دیگر به عنوان متغیرهای ثانویه استفاده شده است. سپس با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی از هر دو روش و مقادیر حقیقی شوری و با استفاده از معیارهای آماری زیر اقدام به مقایسه دو روش فوق‌الذکر گردید: ۱) قدر مطلق میانگین خطای تخمین[1] (AMEE).

1-Absolute Mean Estimation Error

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1378.3.1.8.9]

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین داده‌های شوری در اعماق مختلف

	عمق ۵۰-۰ سانتیمتر	عمق ۱۰۰-۵۰ سانتیمتر
عمق ۱۰۰-۵۰ سانتیمتر	۰/۸۵	
عمق ۱۵۰-۱۰۰ سانتیمتر	۰/۷۲	۰/۸۵

جدول ۲- نتایج حاصل از مقایسه دو روش کریجینگ و کوکریجینگ بر روی داده‌های معیار (N=۵۰)

عمق(سانتیمتر)	روش	AMEE	MSEE	r
۵۰-۰	کریجینگ	۱۲/۷	۳۹۱/۷	۰/۶۸
	کوکریجینگ	۱۲/۵	۳۹۰/۴	۰/۶۸
۱۰۰-۵۰	کریجینگ	۱۱/۳	۳۶۷/۷	۰/۵۶
	کوکریجینگ	۱۱/۳	۳۶۶/۴	۰/۵۶
۱۵۰-۱۰۰	کریجینگ	۷/۰	۱۹۵/۸	۰/۳۵
	کوکریجینگ	۶/۹	۲۰۲/۵	۰/۳۳

۲) مجذور میانگین خطای تخمین[1] (MSEE).

۳) ضریب همبستگی[2] (r) بین مقادیر حقیقی و تخمین زده شوری.

برطبق تعریف، قدر مطلق میانگین خطای تخمین عبارت است از:

$$AMEE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \left| z(x_i) - \hat{z}(x_i) \right| \qquad [۴]$$

که در آن N تعداد نمونه‌های معیار را نشان می‌دهد. کوچک‌تر بودن مقدار AMEE دلالت بر نااریب بودن تخمینگر دارد. همچنین مجذور میانگین خطای تخمین را می‌توان طبق رابطهٔ ذیل محاسبه نمود:

$$MSEE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \left\{ z(x_i) - \hat{z}(x_i) \right\}^2 \qquad [۵]$$

این معیار آماری نشانگر دقت تخمینگر بوده و باید حداقل مقدار عددی خود را دارا باشد.

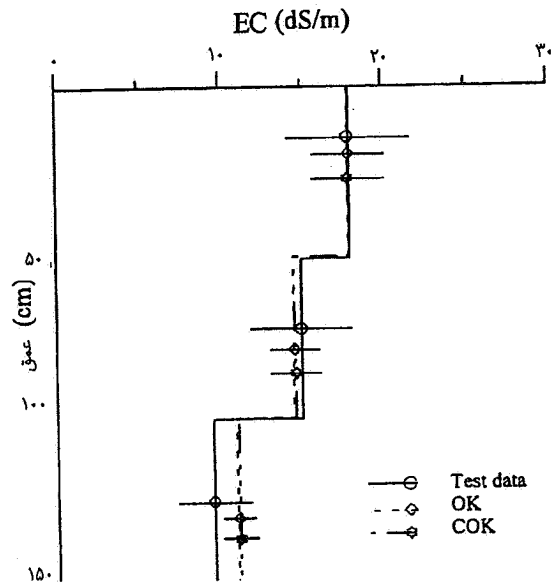
جدول ۲ نتایج محاسبه معیارهای فوق‌الذکر و مقایسه بین دو روش کریجینگ و کوکریجینگ برای اعماق مختلف را نشان می‌دهد. مهم‌ترین نکته‌ای که از مطالعه این جدول حاصل می‌شود این است که کوکریجینگ هیچ گونه ارجحیتی در تخمین شوری اعماق مختلف خاک در مقایسه با کریجینگ معمولی از خود نشان نداده است. از نظر تئوری، در شرایط مشخصی کوکریجینگ در مقایسه با کریجینگ هیچ گونه بهبودی در امر تخمین به دست نمی‌دهد. چنانچه تعداد نمونه‌ها برای هر دو متغیر اولیه و ثانویه تقریباً یکسان باشد و همچنین در شرایطی که واریوگرام‌ها از نظر شکل و نوع مدل برازش داده شده با یکدیگر متناسب و شبیه به هم باشند، نتایج حاصل از روش کوکریجینگ و کریجینگ معمولی یکسان خواهد بود (۵). در مطالعه حاضر به نظر می‌رسد که وجود شرایط فوق باعث به دست آوردن نتایج تقریباً یکسان برای هر دو روش شده است.

در شکل ۲ نیمرخ شوری برای داده‌های معیار و همچنین نیمرخ شوری تخمین زده شده توسط روشهای کریجینگ معمولی و کوکریجینگ نمایش داده شده است. در این شکل خطوط افقی نشانگر خطای استاندارد، حول میانگین مقادیر شوری (مقادیر حقیقی و برآورد شده) در سه عمق مختلف خاک می‌باشد. همان گونه که این شکل نشان می‌دهد در مقایسه با

1- Mean Square Estimation Error 2- Pearson Correlation Coefficient

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1378.3.1.8.9]



شکل ۲- نیمرخ شوری تخمین زده شده توسط روشهای کریجینگ (OK) و کوکریجینک (COK) در مقایسه با نیمرخ واقعی شوری (Test data) در منطقه مطالعاتی

نیمرخ حقیقی شوری، هر دو روش کریجینگ و کوکریجینگ تقریباً نیمرخ شوری یکسانی را برآورد نموده‌اند. گر چه از نظر تئوریک در روش کوکریجینگ همبستگی ساختار مکانی بین متغیرها به وضوح در نظر گرفته می‌شود، لیکن نتایج مبین این نکته است که مقادیر تخمین زده شده توسط کریجینگ معمولی بدون در نظر گرفتن وجود چنین روابط تابعی استوار و نامتناقض است. نتایج مشابهی توسط ولتز و گولارد (۱۰) به دست آمده است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان نمود که گر چه روش کوکریجینگ از نظر مبانی نظری بسیار قوی و قابل توجیه است، لیکن در این مطالعه هیچ گونه مزیتی نسبت به روش به مراتب ساده‌تر کریجینگ معمولی نشان نداده است.

بنابراین، در شرایطی که هر دو متغیر اولیه و ثانویه به طور نسبتاً یکسانی نمونه‌برداری شده و تمامی واریوگرام‌ها شبیه به هم و یکسان باشند روش کوکریجینگ برتری اندکی نسبت به روش کریجینگ از خود بروز خواهد داد. لذا با در نظر گرفتن پیچیدگی محاسباتی روش کوکریجینگ و همچنین دشواری مدل نمودن واریوگرام‌ها با استفاده از روش LMC، در چنین شرایطی استفاده از روش به مراتب ساده‌تر کریجینگ معمولی در الویت قرار دارد.

منابع مورد استفاده

۱- محمدی، ج. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتیستیک. ۱- کریجینگ. مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۲، شماره ۴، ص. ۶۴-۴۹.

2- Ahmad, S. and G. De Marsily. 1987. Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. Water Resour. Res. 23: 1717-1737.

3- Goovaerts, P. 1992. Factorial kriging analysis: a useful tool for exploring the structure of multivariate spatial soil information. J. Soil Sci. 43: 597-619.

4- Goulard, M. and M. Voltz. 1992. Linear coregionalization model: tools for estimation and choice of cross

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1378.3.1.8.9]

variogram matrix. Math. Geol. 24: 269-286.

5- Isaaks, E.H. and R.M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press, 561P.

6- Myers, D.E. 1982. Matrix formulation of cokriging. Math. Geol. 14: 249-257.

7- Myers, D.E. 1984. Cokriging: New Developments. *In*: G. Verly (Ed.), Geostatistics for Natural Resources Characterization. Reidel, Dordrecht, Holland, pp. 295-305.

8- Myers, D.E. 1985. Cokriging: Methods and Alternatives. *In*: P.S. Glaeser (Ed.), The Role of Data in Scientific Progress. Elsevier Science, New York, pp. 425-428.

9- Vauclin, M., S.R. Vieira, G. Vachaud and D.R. Nielsen. 1983. The use of cokriging with limited field soil observations. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 175-184.

10- Voltz, M. and M. Goulard. 1994. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. Geoderma, 62: 109-123.

11- Wackernagel, H. 1994. Cokriging versus kriging in regionalized multivariate data analysis. Geoderma, 62: 83-92.

12- Yates, S.R. and A.W. Warick. 1987. Estimating soil water content using cokriging. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 23-30.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1378.3.1.8.9]