

مقاله پژوهشی

ارزیابی روشهای کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (مطالعه موردی: اراضی منطقه بوکان)

خالد احمدالی^{۱*}، سامان نیک‌مهر^۲ و عبدالمجید لیاقت^۳

چکیده

با توجه به اهمیت آگاهی از نحوه پراکنش مکانی شوری و اسیدیته در اعماق مختلف خاک، برای تعیین تناسب اراضی برای کاشت و یا تعیین میزان آب لازم برای آبیاری در اراضی شور و از طرفی مشکلات و هزینه‌های اندازه‌گیری صحرایی این داده‌ها، یافتن راهکار مناسب در تخمین این پارامترها امری ضروری به نظر می‌رسد. با در نظر گرفتن همبستگی مکانی شوری و اسیدیته در اعماق مختلف، با استفاده از اطلاعات موجود در یک عمق می‌توان اطلاعات موجود در دیگر اعماق را برآورد کرد. مطالعه حاضر با هدف بررسی و تعیین پراکنش مکانی شوری و اسیدیته در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر خاک به کمک مقادیر این دو پارامتر در خاک سطحی در منطقه بوکان انجام گرفت. برای این منظور روش کوکریجینگ برای تخمین و تهیه نقشه پراکنش پارامترهای مذکور استفاده شد. نتایج حاصل از این تخمین با نتایج حاصل از کریجینگ معمولی در آن نقاط مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ برتری زیاد محسوس نسبت به کریجینگ ندارد. با در نظر گرفتن پیچیدگی این روش در شرایطی که تعداد نمونه‌ها برابر باشد و مدل‌های برازش داده شده بر داده‌ها یکسان باشد، روش کریجینگ توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ، کوکریجینگ، شوری، اسیدیته، همبستگی مکانی، منطقه بوکان

ارجاع: احمدالی خ. نیک‌مهر س و لیاقت ع. ۱۳۸۷. ارزیابی روشهای کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (مطالعه موردی: اراضی منطقه بوکان). مجله پژوهش آب ایران. ۲(۳): ۶۴-۵۵.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳- عضو هیات علمی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
* نویسنده مسئول khaled.ahmadali@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۲۲

مقدمه

مطالعه بر روی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای خاک نظیر شوری و اسیدیته در تعیین الگوی کشت مناسب منطقه، پیش بینی عملکرد محصولات و مدیریت درست مزرعه بسیار موثر است. به طور کلی پیش‌بینی خصوصیات خاک که در مکان و زمان متغیراند بر اساس نقشه‌های خاک صورت می‌گیرد که این نقشه‌ها تغییرات مکانی پارامترهای خاک را نادیده می‌گیرند و برای آنها در یک نوع تیپ خاک یک مقدار یکسان در نظر می‌گیرد و پراکندگی صحیح این پارامترها را ارائه نمی‌دهد. برای تخمین متغیرهای ناحیه‌ای در نقاط اندازه‌گیری نشده از نظریه ژئواستاتستیک استفاده می‌شود که با بهره‌گیری از اطلاعات این متغیرها در نقاط اندازه‌گیری شده و در گستره‌ی مکان قادر به ارائه مجموعه متنوعی از تکنیک‌های مدلسازی و پهنه‌بندی متغیرهای محیطی است. در علوم خاک تخمین مقادیر متغیرها در مکان و زمان با استفاده از داده‌های همان متغیر (کریجینگ) و یا بکار بردن اطلاعات متغیرهای دیگر (کوکریجینگ) معمول است. در ژئواستاتستیک با استفاده از تخمینگر کوکریجینگ و بهره‌گیری از اطلاعات مربوط به هم بستگی دوجانبه‌ی بین متغیرها، می‌توان تخمین مناسب و دقیق‌تری از متغیر مورد نظر (متغیر اصلی) با بهره‌گیری از مقادیر دیگر متغیرها (متغیرهای ثانویه یا کمکی) به دست آورد. سودمندی متغیر ثانویه در شرایطی که متغیر اصلی به تعداد کمتری مورد نمونه برداری قرار گرفته باشد، بیشتر نمایان می‌شود.

در بررسی شوری و مطالعات زهکشی و تعیین تناسب اراضی برای محصولات باغی که نمونه برداری از اعماق مختلف (حداقل تا عمق نفوذ ریشه) صورت می‌گیرد. نمونه‌گیری از اعماق پایین تر خاک به مراتب دشوارتر و هزینه‌بر تر از نمونه‌گیری از اعماق سطحی است. به همین دلیل تعداد نمونه‌های برداشت شده از اعماق پایینی نیمرخ خاک، معمولاً کمتر از نمونه‌های سطحی است. در چنین شرایطی با استفاده از همبستگی بین شوری و اسیدیته در اعماق مختلف خاک، می‌تواند به تخمین‌های دقیق‌تری از شوری و اسیدیته در اعماق پایین تر که دارای تعداد

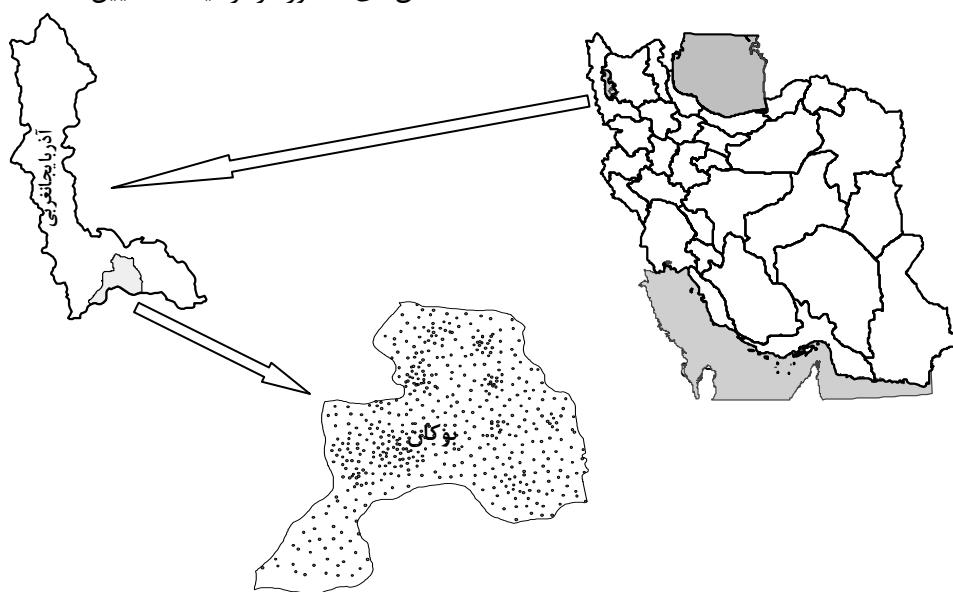
نمونه‌های برداشتی کمتری هستند، دست یافت. احمد و دی مارسیلی (۱۹۸۷) روشهای مختلف درون‌یابی را برای متغیری که به اندازه‌ی کافی نمونه برداری نشده بود از روی متغیر کمکی دیگری که به تعداد بیشتری نمونه‌گیری شده بود پرداختند. هودسون و واکرناگل (۱۹۹۴) از متغیر کمکی ارتفاع در بهبود تخمین متغیر درجه حرارت استفاده کردند. لاسلت و همکاران (۱۹۸۷) به بررسی تغییرات pH به روشهای کریجینگ و فاصله معکوس پرداختند و کریجینگ را روش بهتری معرفی کردند مطالعات مشابهی توسط باوسن و زیمنگ (۲۰۰۳) برای بررسی تغییرات و پهنه‌بندی pH خاک در ایالت ساو برزیل صورت گرفت و نتایج مشابهی به دست آمد. نتایج تحقیقات هولمگرن‌تال (۱۹۹۳) نشان داد که استفاده از کوکریجینگ در تعیین پراکنش عناصر ریزمغذی از روی متغیرهای کمکی درصد مواد آلی و اسیدیته بسیار مناسب است. عالمی و همکاران (۱۹۸۸) با مقایسه روشهای کریجینگ و کوکریجینگ که هدایت الکتریکی متغیر اصلی و درصد رس خاک را متغیر کمکی در نظر گرفتند به این نتیجه رسیدند که استفاده از کریجینگ بهتر است. جانگ و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که استفاده از روش کریجینگ وقتی که داده‌های مربوط به متغیر مکانی به صورت نرمال پراکنده شده باشد بسیار کارا و سودمند است. سو و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک به روش کریجینگ نشان دادند که همبستگی مکانی ضعیفی بین درصد مواد آلی وجود دارد. آنها همچنین اعلام کردند که متغیرهای زیادی نظیر ناهمگن بودن منطقه، وسعت، تعداد و نحوه پراکنش نقاط نمونه برداری در انتخاب روش درون‌یابی تأثیر دارد. وو و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از pH و کربن آلی خاک میزان روی را در داکوتای شمالی با استفاده از کوکریجینگ برآورد کردند. و دریافتند که کوکریجینگ بسیار موثرتر از کریجینگ بود. ولی بین کوکریجینگ، لوگ‌نرمال کریجینگ و آرایش یافته‌ی کوکریجینگ تفاوت چندانی وجود ندارد. یانل و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی روشهای مختلف ژئواستاتستیک در برآورد شوری خاک در اراضی شور ساحل شانکیوی چین با تعداد داده‌های

مواد و روشها

این تحقیق در منطقه بوکان با وسعت ۲۹۹۲ کیلومترمربع که ۴۹۲ کیلومترمربع منطقه را دشت بوکان و دشت حاجی آباد تشکیل می دهد انجام گرفت. منطقه مذکور بین در ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی واقع شده و متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۰ متر است. دشت بوکان با وسعت ۳۳۵۰۰ هکتار در جنوب استان آذربایجان غربی و جنوب دریاچه ارومیه واقع شده است که عمده ترین محدودیت های اراضی قابل کشت آبی، بافت خاک و توپوگرافی آن است. محصولات عمده زراعی در کشت آبی گندم، چغندر قند، یونجه (به همراه اسپرس و شبدر) و جو و در کشت دیم گندم، جو و نخود است. دشت حاجی آباد نیز مساحتی معادل ۱۳۸۰۰ هکتار دارد و در شمال دشت بوکان واقع شده است. عمده ترین محدودیت اراضی قابل آبیاری در این دشت عوامل کیفی خاک، توپوگرافی، ماندابی و شوری است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و نحوه پراکنش نقاط در آن را نشان می دهد. برای بررسی تغییرات مکانی شوری و اسیدیته خاک از ۱۸۳ نقطه از عمق ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۶۰ سانتی متری نمونه برداری انجام شد و شوری و اسیدیته همه ی نمونه ها در تمام عمق های مذکور در آزمایشگاه تعیین شد.

متفاوت، دریافتند که روش کریجینگ و رگرسیون کریجینگ را نسبت به روش کریجینگ دقت بیشتری در برآورد شوری خاک داشتند. یتربی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از کریجینگ به بررسی تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی (۱۳ مشخصه)، بافت و ساختمان خاک در منطقه ی باجگاه شیراز پرداختند. نتایج آنها نشان داد که دامنه ی همبستگی مکانی برای پارامترهای مختلف متفاوت است. فسفر کمترین دامنه ی وابستگی مکانی (۴۹/۵ متر) و کربنات کلسیم با ۱۸۱/۹۴ متر بیشترین دامنه ی وابستگی مکانی را دارد. امینی و همکاران (۱۳۸۱) به برآورد غلظت کلر خاک با استفاده از متغیر کمکی شوری در منطقه رودشت اصفهان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش کوکریجینگ را در برآورد غلظت کلر بسیار مناسب بود.

این تحقیق با هدف تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک با استفاده از داده های شوری و اسیدیته سطحی خاک که دسترسی به آنها راحتتر است انجام گرفت که از دو روش زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ برای پهنه بندی استفاده شد و دو روش مذکور در برآورد این پارامترها مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکندگی نقاط نمونه برداری در آن

می توان به هر تعداد متغیر ثانویه تعمیم داد. با فرض وجود فقط یک متغیر مکانی کمکی $Z_2(x_i)$ در کنار متغیر مکانی اصلی $Z_1(x_j)$ مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 برابر $Z^*(x_0)$ است که در تخمینگر کوکریجینگ به صورت زیر تعریف می شود.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^m \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (3)$$

که در آن: n و m به ترتیب تعداد جفت مقایسه‌ها برای متغیرهای کمکی و اصلی و λ_{1i} و λ_{2j} عبارتند از وزن‌های آماری اختصاص داده شده به این متغیرهای کمکی و ثانویه.

برای ارزیابی تخمینگرهای استفاده شده از تکنیک ارزیابی متقابل استفاده شد. در این روش برای کلیه نقاط مشاهده‌ای در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف و با استفاده از بقیه‌ی نقاط مشاهده‌ای آن نقطه برآورد می‌شود. معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌بایی وجود دارد که در این تحقیق از معیارهای آماری میانگین خطای انحراف MBE و میانگین خطای مطلق MAE استفاده شد که اولی نشان دهنده‌ی انحراف روش و دومی نشانگر دقت هر روش است. روشی که در آن میزان MAE کوچک تر باشد، مقادیر محاسبه شده توسط مدل و مقادیر واقعی به هم نزدیکتر بوده و مدل خطای کمتری دارد. در شاخص MBE تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی به صورت جبری محاسبه می‌شود لذا این شاخص می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد بیش یا کم برآورد کردن عملکرد مدل ارائه می‌دهد. مقادیر مثبت MBE نشان‌دهنده بیش برآورد کردن مدل و مقادیر منفی آن دال بر کم برآورد کردن آن هستند. معادلات محاسبه آنها به شرح زیر است:

$$MAE = \frac{\sum |\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)|}{n} \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\sum (\hat{Z}(x_i) - Z(x_i))}{n} \quad (5)$$

که در آن: $\hat{Z}(x_i)$: مقدار تخمین‌زده شده متغیر $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر n : تعداد نقاط مشاهده

برای تحلیل و بررسی پیوستگی مکانی متغیر محیطی موردنظر، از یک تابع واریوگرام کریجینگ و کوکریجینگ به صورت زیر استفاده شد (محمدی ۱۳۸۵).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i+h) - Z(x_i))^2 \quad (1)$$

که در آن: $\gamma(h)$: مقدار نیم‌تغییر نما در فاصله h $Z(x_i+h)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در موقعیت مکانی (x_i+h) $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در موقعیت (x_i) $N(h)$: تعداد جفت مقایسه‌ها به فاصله‌ی h در محدوده مورد مطالعه نیم‌تغییر نماها از سه پارامتر اثر قطعه‌ای، شعاع تأثیر و حد آستانه تشکیل شده‌اند. مقدار نیم‌تغییرنما به ازای $h=0$ را اثر قطعه‌ای می‌گویند. که معمولاً ناشی از وجود مولفه‌های تصادفی در توزیع متغیر که در واقع به تصادفی بودن فرایندها بر می‌گردد و خطاهای نمونه‌برداری، آماده سازی، آزمایشگاهی و آنالیز است. با افزایش h ، مقدار نیم‌تغییرنما تا فاصله معینی اضافه شده سپس به حد ثابتی می‌رسد که این فاصله را شعاع تأثیر و مقدار نیم‌تغییرنما که ثابت شده را حد آستانه گویند.

ساده‌ترین و معمول‌ترین روش تخمین در زمین آمار کریجینگ معمولی است که در این روش برای تخمین مقدار یک متغیر در نقطه‌ای که اطلاعات آن اندازه‌گیری نشده است، به کار می‌رود. در صورتی که $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان (x_i) ، Z_0 مقدار تخمین زده شده متغییر در نقطه (x_0) از ترکیب خطی زیر است:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

که در آن: λ_i : وزن داده شده به متغیر x در نقطه i n : تعداد نقاطی که متغیر در آنها اندازه‌گیری شده است. شرط استفاده از تخمینگر کریجینگ خطی این است که متغیر دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید داده‌ها نرمال شوند و یا باید از کریجینگ غیر خطی استفاده کرد. در صورتی که برای تخمین یک متغیر اصلی از یک یا چند متغیر کمکی که با متغیر اصلی هم بستگی داشته باشند، کمک گرفته شود، روش تخمین موسوم به کوکریجینگ است. از نظر تئوری، کوکریجینگ با کریجینگ تفاوتی ندارد. سیستم معادلاتی کوکریجینگ را

نتایج و بحث

همبستگی بالایی بین مقادیر شوری در اعماق مختلف و نیز بین مقادیر اسیدیته در اعماق مختلف وجود دارد که در جدول ۲ قابل ملاحظه است.

خصوصیات آماری شوری و اسیدیته در اعماق مختلف در جدول ۱ آورده شده است. همانطوری که ملاحظه می شود

جدول ۱- توصیف متغیرهای مورد بررسی

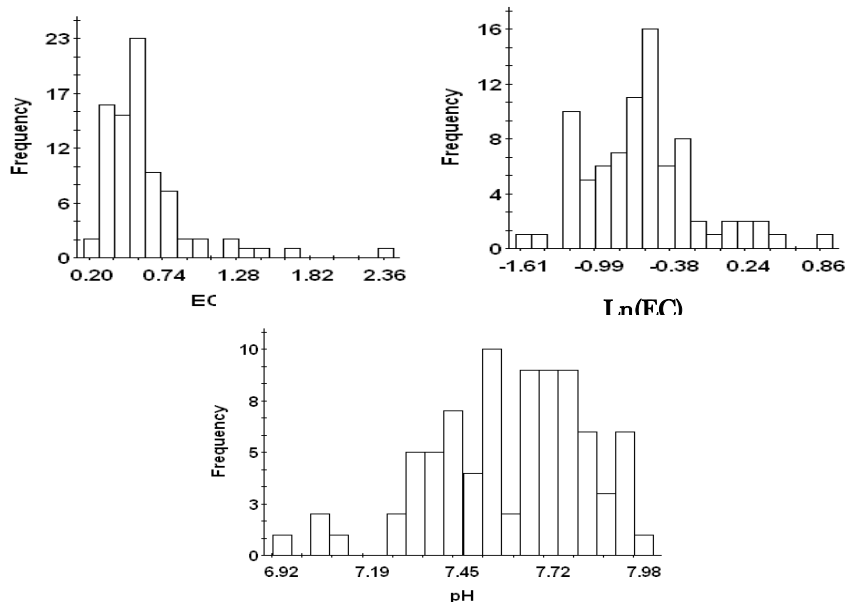
متغیر مورد بررسی	عمق نمونه برداری (cm)	میانگین	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	دامنه تغییرات
شوری	۰-۳۰	۰/۶۳	۰/۲	۲/۳۶	۲۴/۷۶	۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۸۶	۲/۱۶
	۳۰-۶۰	۰/۵۶	۰/۲	۲/۹۳	۲۰/۵۵	۰/۱۲	۳/۷۶	۱۵/۴	۲/۷۳
	۶۰-۹۰	۰/۵۴	۰/۱۹	۲/۸۹	۱۹/۲۳	۰/۱۰	۳/۸۲	۱۵/۵۷	۲/۷
اسیدیته	۰-۳۰	۷/۵۹	۶/۹۲	۷/۹۸	۳/۰۳	۰/۲۳	-۰/۶۴	۳/۱۷	۰/۹۷
	۳۰-۶۰	۷/۶۸	۶/۹۵	۸/۰۴	۳	۰/۲۳	-۰/۸۸	۳/۷۴	۱/۰۹
	۶۰-۹۰	۷/۶۹	۶/۹	۸/۰۶	۳	۰/۲۳	-۰/۹	۳/۷۵	۱/۱۶

جدول ۲- ضریب همبستگی بین داده های شوری و اسیدیته در اعماق مختلف

پارامتر عمق	شوری		اسیدیته	
	۰-۳۰ سانتیمتر	۳۰-۶۰ سانتیمتر	۰-۳۰ سانتیمتر	۳۰-۶۰ سانتیمتر
۳۰-۶۰ سانتیمتر	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۶
۶۰-۹۰ سانتیمتر	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۹۲

شد که داده های اسیدیته نرمال بوده ولی داده های شوری نرمال نبوده که نرمال شدند (شکل ۲).

شرط استفاده از روش کریجینگ این است که داده ها نرمال باشند. داده های منحنی های فراوانی داده های شوری و اسیدیته در اعماق مختلف رسم شد و مشاهده



شکل ۲- منحنی های فراوانی داده های شوری و اسیدیته در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری

باشد مدل کروی برای وایوگرامها مناسبترین مدل تشخیص داده شد. در ادامه پارامترهای اثر قطعه ای، حد

مدل مناسب برای برازش بر روی نیم تغییرنمای تجربی با توجه میزان نسبت $C_0 / (C_0 + C)$ که باید کمتر از ۰/۵

مکانی داده‌های اسیدیته در اعماق مختلف استفاده شد. روشهای به کار رفته برای درون‌یابی با استفاده از معیارهای آماری میانگین خطای انحراف (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) مورد ارزیابی قرار گرفت. و نتایج حاصل برای دو روش کریجینگ و کوکریجینگ پارامتر اسیدیته و شوری در اعماق مختلف در جداول ۳ تا ۵ آورده شده است.

آستانه و دامنه برای واریوگرامها محاسبه شد. مطالعه حاضر با هدف تخمین بهینه پروفیل شوری در سه عمق مختلف خاک انجام شد و در این راستا از دو روش کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شد و در اعماق مختلف برای تخمین شوری و اسیدیته مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. روش کوکریجینگ برای استفاده از ارتباط مکانی بین داده‌های شوری در اعماق مختلف همچنین ارتباط

جدول ۳- معیارهای ارزیابی روش کریجینگ در تخمین اسیدیته، شوری در اعماق مختلف

عمق نمونه برداری (cm)	شوری (dS/m)					
	اسیدیته	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۹۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰
MBE	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۸	-۰/۰۰۰۳
MAE	۰/۱۷۶	۰/۱۶۱	۰/۱۶۹	۰/۲۶۸	۰/۲۸۲	۰/۲۲

جدول ۴- معیارهای ارزیابی روش کوکریجینگ در تخمین اسیدیته، شوری در اعماق مختلف

متغیر اصلی متغیر کمکی (شوری در عمق (cm))	شوری در عمق ۶۰ تا ۹۰ cm		شوری در عمق ۳۰ تا ۶۰ cm	
	۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰	۰ تا ۳۰	۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰	۶۰ تا ۹۰
MBE	۰/۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۸
MAE	۰/۲۶۶	۰/۲۶۷	۰/۲۷۹	۰/۲۸۱

جدول ۵- معیارهای ارزیابی روش کوکریجینگ در تخمین اسیدیته، شوری در اعماق مختلف

متغیر اصلی متغیر کمکی (اسیدیته در عمق (cm))	اسیدیته در عمق ۶۰ تا ۹۰ cm		اسیدیته در عمق ۳۰ تا ۶۰ cm	
	۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰	۰ تا ۳۰	۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰	۶۰ تا ۹۰
MBE	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۷
MAE	۰/۱۷۳	۰/۱۷۴	۰/۱۵۸	۰/۱۵۹

در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتری خاک و بار سوم اسیدیته در هر دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتر هم زمان به عنوان متغیر کمکی و مقایسه با روش کریجینگ حاصل شد.

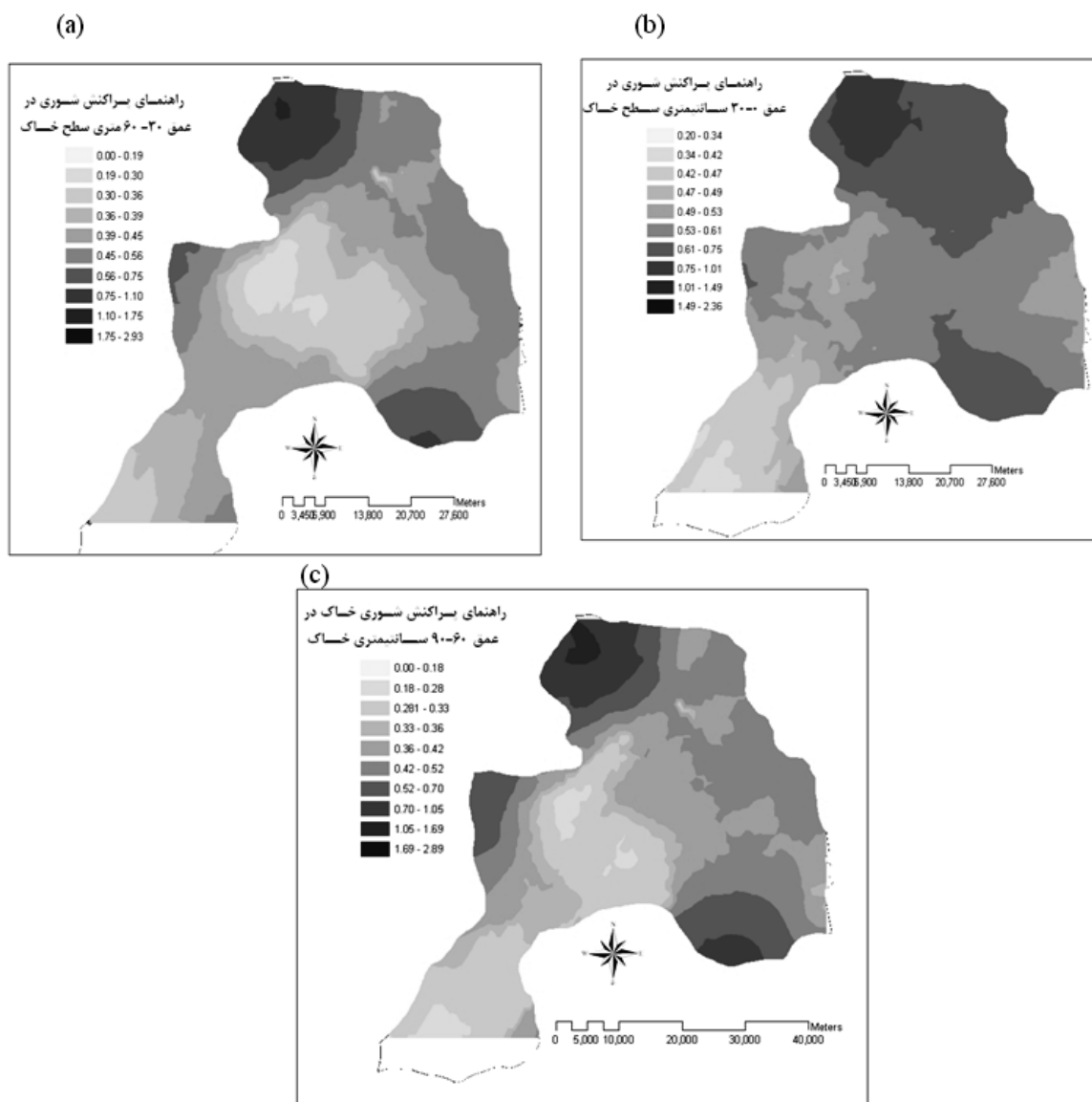
در مورد تخمین شوری و اسیدیته با روش کوکریجینگ در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتر از روی اعماق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ و ۳۰ تا ۹۰ هر دو هم زمان به عنوان متغیر کمکی و مقایسه با روش کریجینگ معمولی مشاهده شد که در تمام حالات تفاوت چندانی بین دو روش وجود ندارد هر چند که در تمام حالات میزان MAE در روش کوکریجینگ کمتر از روش کریجینگ است.

با مقایسه روش کوکریجینگ در تخمین شوری در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر از روی شوری خاک یک بار شوری در عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر و بار دوم شوری خاک در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتری خاک و بار سوم شوری در هر دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتر هم زمان به عنوان متغیر کمکی، با روش کریجینگ از روی معیارهای آماری این نتیجه حاصل شد که روش کوکریجینگ علیرغم مبانی تئوری بسیار قوی، برتری محسوسی نسبت به روش کریجینگ معمولی ندارد.

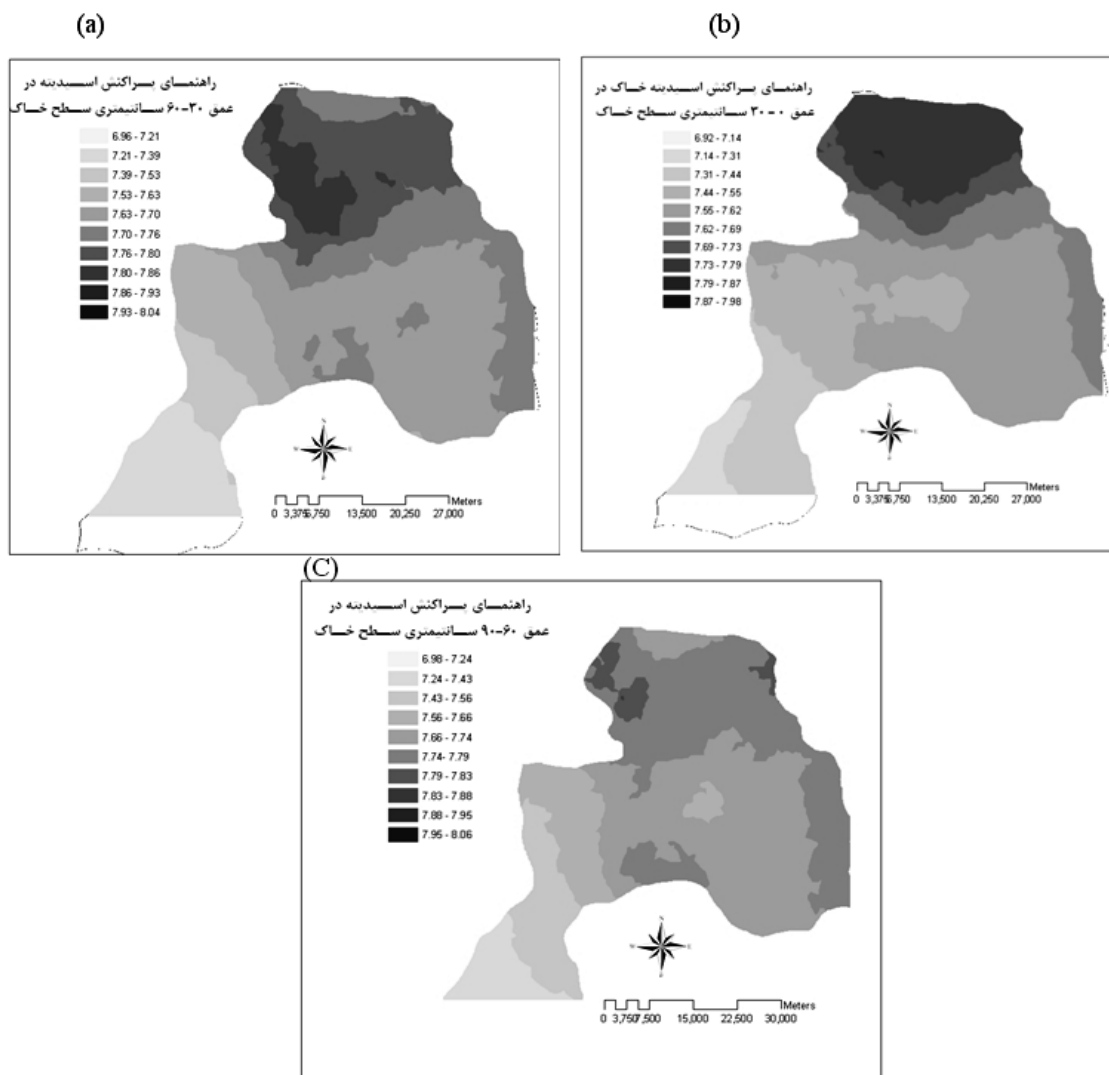
همین نتیجه در مورد تخمین اسیدیته در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری خاک از روی شوری اسیدیته خاک یک بار اسیدیته در عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر و با دوم اسیدیته خاک

دست آمده است. لذا با در نظر گرفتن پیچیدگی های روش کوکریجینگ در شرایطی که تعداد نمونه ها یکسان باشند، استفاده از روش کریجینگ معمولی نتایجی مشابه با کوکریجینگ به دست می دهد.

از نظر تئوری در شرایطی که مقدار نمونه های متغیر اولیه و ثانویه با هم تقریباً برابر باشند و یا در شرایطی که شکل و نوع مدل واریوگرام برآزش داده شده شبیه هم باشند، نتایج حاصل از دو روش کریجینگ و کوکریجینگ معمولی یکسان خواهد بود. که این نتایج در تحقیقات انجام شده توسط ولتر و گولارد (۱۹۹۴) و محمدی (۱۳۷۸) به



شکل ۳- نقشه پراکنش شوری خاک (ds/m) در اعماق مختلف در منطقه بوکان



شکل ۴- نقشه پراکنش اسیدینه خاک در عمق ۰ تا ۳۰ (a)، ۳۰ تا ۶۰ (b) و ۶۰ تا ۹۰ (c) سانتی‌متری در منطقه بوکان

منابع

- ۱- امینی م. خادمی ج. و فتحیان‌پور ن. ۱۳۸۱. مقایسه کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد غلظت کلر محلول در خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴(۳۳): ۴۸۷-۷۴۱.
- ۲- محمدی ج. ۱۳۸۵. پدومتری ۲. انتشارات پلک، ص ۴۵۳.
- ۳- محمدی ج. ۱۳۷۸. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک. ۲- کوکریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (۱): ۳: ۱-۷.

با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که گرچه روش کوکریجینگ از نظر مبانی نظری بسیار قوی و قابل توجه است، ولی در این مطالعه برتری محسوسی نسبت به روش به مراتب ساده‌تر کریجینگ معمولی نشان نداده است. بنابراین هر چند که روش کوکریجینگ برتری اندکی نسبت به روش کریجینگ معمولی در این تحقیق دارد ولی به دلیل پیچیدگی محاسباتی روش کوکریجینگ و همچنین دشواری مدل کردن واریوگرام‌های دو جانبه، در چنین شرایطی استفاده از روش کریجینگ معمولی در اولویت قرار دارد.

- 10- Laseltt G.M. McBratney A.B. Pahl P.J. and Hutchinson M.F. 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *Soil Science*. 38: 325-341.
- 11- Su W. YiMin N. XiaoJie H. and XiGang Z. 2004. Study on spatial variability of soil nutrients in Beima town of Shandong Province by using Kriging method. *Journal of Anhui-Agricultural University*. 31(1): 76-81.
- 12- Wu J. Norvell W.A. Welch R.M. 2006. Kriging on highly skewed data for DTPA-extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon. *Geoderma* 134: 187– 199.
- 13- Voltz M. and Goulard M. 1994. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. *Geoderma*, 62: 109-123.
- 14- Yanl LI. Zhou SHI. Ci-fang WU. Hong-yi LI and Feng LI. 2007. Improved prediction and reduction of sampling density for soil salinity by different geostatistical methods. *Agricultural Sciences in China* 6(7): 832-841.
- 15- Yasrebi J. Sharifi M. Fathi H. Karimian N. Emadi M. and Baghernejad M. 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. *Journal of Applied Sciences* 8(9): 1612-1650.
- 4- Ahmad S. And Marsily G. De. 1987. Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. *Water Resour. Res.* 23: 1717-1737.
- 5- Alemi M. H. Shahriari M. R. and Nielsen D. R. 1988. Kriging and Cokriging of soil properties. *Soil Technology*, 1: 117- 132.
- 6- Bucence L.C. and Zimback C.R.L. 2003. Comparison of methods of interpolation and spatial analysis of pH data in Botucatu, SP. *IRRIGA*. 8(1): 21-28.
- 7- Juang K.W. Lee D.Y. and Ellsworth T.R. 2001. Using rank-order geostatistics for spatial interpolation of highly skewed data in a heavy-metal contaminated site, *J. Environ. Qual.* 30: 894–903.
- 8- Holmgren G.G.S. M.W. Meyer Chaney R.L and Daniels R.B. 1993. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America, *J. Environ. Qual.* 22:335–348.
- 9- Hudson G. and Wackernagel H. 1994. Mapping temperature using Kriging with external drift: theory and an example from Scotland. *International Journal of Climatology* 14: 77-91.

