

## بر آورد مقدار ازت کل خاک به کمک مقدار ماده آلی و با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون در بخشی از اراضی زراعی سرخنگلاته استان گلستان

\*شمس‌ا. ایوبی<sup>۱</sup>، سارا محمد زمانی<sup>۲</sup> و فرهاد خرمالی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، <sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۳</sup>استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۴/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۰/۲

### چکیده

وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک امری طبیعی می‌باشد، ولی شناخت این تغییرات به‌ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری اجتناب‌ناپذیر است. آگاهی از این امر برای بهبود در سودآوری و نیل به بهره‌بری پایدار ضروری می‌باشد. شاخه‌ای از علم آمار کاربردی به نام زمین آمار قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت موردنظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. روش‌های میان‌یابی و تخمین مختلف به کمک این تکنیک وجود دارد که از مهمترین آنها می‌توان به روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون اشاره کرد. این تحقیق جهت تخمین مکانی ازت کل خاک به کمک متغیر ماده آلی و مقایسه روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون در بخشی از اراضی زراعی سرخنگلاته استان گلستان صورت گرفته است. نمونه‌برداری خاک در ۱۰۱ نقطه به‌صورت آشیانه‌ای سیستماتیک در پلاتی به ابعاد ۱۸۰×۱۰۰ متر صورت گرفت. ازت کل برای ۷۰ نقطه و ماده آلی برای ۱۰۱ نقطه اندازه‌گیری شد. بعد از آنالیزهای زمین آماری و تعیین تغییرنماهای متغیرهای ازت کل و ماده آلی و همچنین تعیین تغییرنمای عرضی دو متغیر و مشخص کردن رابطه رگرسیونی بین آن دو، برای تخمین ازت کل روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به حداقل بودن مقادیر خطای تخمین و میانگین مجذور خطاها در روش رگرسیون - کریجینگ نسبت به دو روش دیگر، و بالاتر بودن مقدار ضریب تشخیص این روش حداکثر دقت را برای تخمین ازت کل به کمک داده‌های ماده آلی حاصل می‌کند. از نظر معیارهای مزبور روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ بهتر عمل کرده است. این نتیجه به آن علت است که متغیر ثانویه (ماده آلی) با متغیر اصلی (ازت کل) دارای همبستگی مکانی بالایی بوده که این امر منجر به کاهش واریانس تخمین شده است. از بین دو روش کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون، روش دوم از دقت بهتری برخوردار بوده و با توجه به ساده بودن محاسبات و کم هزینه بودن جهت تخمین ازت کل خاک در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ازت کل، ماده آلی، کریجینگ، کوکریجینگ، رگرسیون، سرخنگلاته

## مقدمه

که با به کارگیری خصوصیات ساختاری تغییرنا و مقادیر داده‌های اولیه تخمین‌های بهینه و ناریب از متغیرهای ناحیه‌ای در مکان‌های نمونه‌برداری نشده ارائه می‌نماید (ایساک و سریواستاو، ۱۹۸۹). یکی از مشکلات اساسی در برآورد تغییرنا و میان‌یابی به روش کریجینگ تعداد زیاد نمونه‌های خاک می‌باشد. این مشکل زمانی حادث می‌گردد که متغیر مورد نظر مستلزم هزینه زیادی باشد. از جمله مهمترین این ویژگی‌های خاک در کشاورزی دقیق ازت خاک می‌باشد. لذا استفاده از سایر روش‌های میان‌یابی و استفاده از متغیرهای کمکی که با پارامتر مورد نظر دارای همبستگی هستند، ضروری به نظر می‌رسد. از جمله مهمترین این روش‌ها می‌توان به روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون اشاره کرد (نوترز و همکاران، ۱۹۹۵).

استفاده از متغیرهای کمکی جهت میان‌یابی تحت عنوان کوکریجینگ اولین بار توسط مک براتنی و وبستر (۱۹۸۳) ارائه شد. آنها در یک مثال موردی در ارزیابی مقدار سیلت افق سطحی خاک به کمک مقدار سیلت در افق‌های تحتانی به نتایج بهتری توسط تخمینگر کوکریجینگ دست یافتند. استفاده از متغیرهای توپوگرافی به عنوان متغیرهای کمکی برای برآورد خصوصیات خاک توسط محققین مختلف مورد توجه قرار گرفته است (هنگل و همکاران، ۲۰۰۳؛ بورنان و همکاران، ۲۰۰۰). نوترز و همکاران (۱۹۹۵) در مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی نشان دادند که روش کریجینگ - رگرسیون نسبت به دو روش دیگر تخمین‌های دقیق‌تری ارائه کرده است. امینی (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای جهت بررسی خاک‌های شور منطقه رودشت اصفهان نشان داد که استفاده از تخمین‌گر کوکریجینگ با توجه به همبستگی بالای کلر و EC، تخمین‌های بهتری را نسبت به دو روش دیگر ارائه کرده است ولی عدم رابطه معنی‌دار بین نترات و EC، باعث شده تا تخمین‌گرهای کرجینگ - رگرسیون و کوکریجینگ بهبودی در تخمین ایجاد نمایند.

وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک امری طبیعی می‌باشد، ولی شناخت این تغییرات به‌ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری اجتناب‌ناپذیر است. آگاهی از این امر برای بهبود در سودآوری و نیل به بهره‌بری پایدار ضروری می‌باشد. خصوصیات خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی از مقیاس‌های کوچک تا مقیاس‌های بزرگ می‌باشد که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (فاکتورهای تشکیل خاک مانند مواد مادری خاک) و خصوصیات غیرذاتی (مانند عملیات مدیریتی خاک، کود دهی و تناوب زراعی) قرار می‌گیرد (کوئین و زانگ، ۲۰۰۲؛ گادوین و میلر، ۲۰۰۳). لذا به منظور درک بهتر تأثیر فاکتورهایی مثل مدیریت و آلودگی و نهایتاً دستیابی به عملیات زراعی مناسب مشخص کردن و کمی کردن غیریکنواختی و تغییرپذیری خصوصیات خاک می‌باشیم (بوسان و اگیو، ۲۰۰۳).

تغییرپذیری خصوصیات خاک در مزارع اغلب به‌وسیله روش‌های آمار کلاسیک بیان می‌شوند که در آن فرض بر توزیع تصادفی تغییرات درون واحدهای نقشه<sup>۱</sup> می‌باشد (کمبردلا و همکاران، ۱۹۹۴). شاخه‌ای از علم آمار کاربردی به نام زمین آمار<sup>۲</sup> قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمینگرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد (برگس و وبستر، ۱۹۸۰؛ حسنی پاک، ۱۹۹۸).

تغییرنا<sup>۳</sup> یکی از مهمترین ابزارهای اساسی زمین آمار جهت بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک است. پارامترهای تغییرنا مشتمل بر دامنه تأثیر<sup>۴</sup>، سقف<sup>۵</sup> و اثر قطعه‌ای<sup>۶</sup> می‌باشد. این پارامترها نقش کلیدی را در تکنیک میان‌یابی کریجینگ ایفا می‌کنند. کریجینگ، تکنیکی است

- 1- Mapping units
- 2- Geostatistics
- 3- Variogram
- 4- Range
- 5- Sill
- 6- Nugget effect

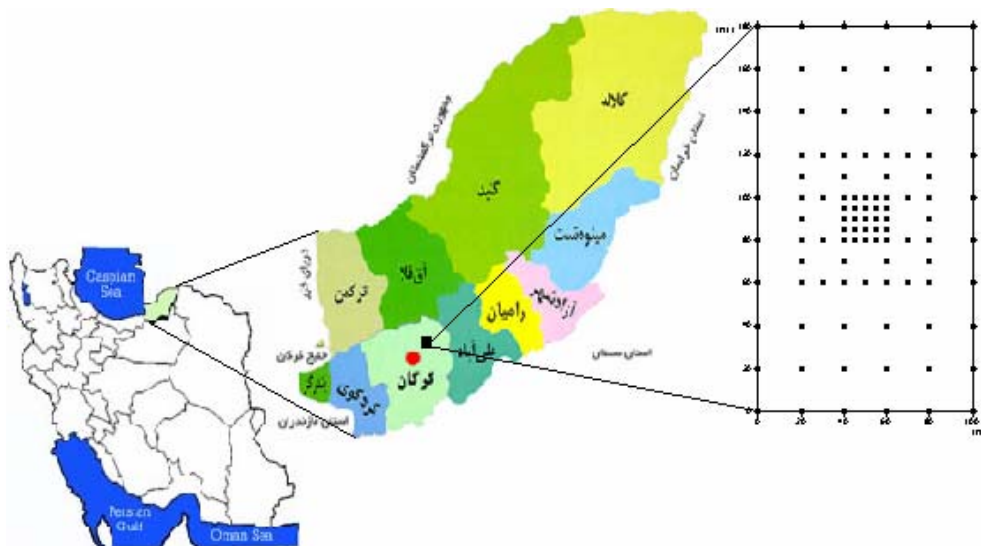
مواد مادری آن دارای منشأ لسی می‌باشد. طبق طبقه‌بندی آمریکایی، خاک منطقه مورد مطالعه به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود (USDA، ۲۰۰۳).

**Fine, mixed, mesic, Fluventic Haploxerept**  
برای انجام تحقیق پلاتی به ابعاد ۱۰۰ در ۱۸۰ متر در یک مزرعه گندم تحت مدیریت زارع انتخاب شد. جهت نمونه‌برداری از خاک در پلات مورد نظر شبکه‌بندی به صورت سیستماتیک - آشیانه‌ای به ابعاد ۲۰ در ۲۰ متر (۶۰ نقطه)، ۱۰ در ۱۰ متر (۲۴ نقطه) و ۵ در ۵ متر (۱۷ نقطه) و جمعاً در ۱۰۱ نقطه به وسیله دوربین و متر انجام شد. شکل ۱ نمایی از الگوی نمونه‌برداری را نمایش می‌دهد. نمونه‌برداری از خاک اندکی بعد از کاشت به وسیله مته (اوگر) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر از روی نقاط با مختصات معلوم صورت گرفت. نمونه‌ها هوا خشک گردیده و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (پیچ، ۱۹۸۶) روی تمام ۱۰۱ نمونه و ازت کل با استفاده از روش میکروکجلدال روی ۷۰ نمونه از خاک‌ها، به روش هضم تر اندازه‌گیری شد (پیچ، ۱۹۸۶).

با توجه به مشکلات موجود در میان‌یابی و تخمین متغیر ازت خاک که نیاز به هزینه و زمان زیادتری نسبت به متغیری نظیر ماده آلی دارد، این تحقیق جهت تخمین مکانی ازت کل خاک به کمک متغیر ماده آلی و مقایسه روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون در بخشی از اراضی زراعی سرخنکلاته استان گلستان صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در مجاورت شهر سرخنکلاته در حدود ۲۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان گرگان واقع شده است (شکل ۱). از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی  $53^{\circ} 36'$  قرار دارد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۳۰ متر، متوسط بارندگی ۵۷۰ میلی‌متر می‌باشد. متوسط حداکثر و حداقل درجه حرارت سالانه به ترتیب ۳۷ و  $3/1$  درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه طبق روش طبقه‌بندی دو مارتن و کوپن مدیترانه‌ای و براساس روش آمبروزه نیمه مرطوب معتدل محسوب می‌شود. از لحاظ واحد فیزیوگرافی منطقه سرخنکلاته، جزء دشت‌های دامنه‌ای محسوب می‌شود و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نمایی از شبکه نمونه‌برداری.

## روش‌های آماری مورد استفاده

توصیف آماری داده‌ها: به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری هر خصوصیت، توزیع فراوانی با کمک ویژگی‌های آن شامل میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی آزمون نرمال بودن توزیع متغیرها، آزمون کولموگروف - اسمیرونوف استفاده شد.

**آنالیزهای زمین آماری:** آنالیز همبستگی مکانی و ابزار تحقیق در شرایط صدق فرضیات پایایی، تغییرناپذیری است. تغییرناپذیری به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آنرا بیان می‌کند. اگر تغییرناپذیری به سقف معینی برسد و در نتیجه دامنه تأثیر مشخصی داشته باشد، ساختار فضایی و شرایط صدق فرضیه ذاتی می‌تواند وجود داشته باشد. با توجه به این که محاسبه سمی واریانس برای همه جامعه مورد مطالعه امکان‌پذیر نمی‌باشد، سمی واریانس در یک فاصله تفکیک مشخص به وسیله تابع زیر تخمین زده می‌شود (برگس و ویستر، ۱۹۸۰).

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

$N(h)$  تعداد زوج نمونه‌های به کار رفته در محاسبه سمی واریانس در فاصله و جهت تفکیک  $h$ ،  $Z(x_i)$  و  $Z(x_i+h)$  مقادیر متغیر  $Z$  در نقاط  $x_i$  و  $x_i+h$  می‌باشد. تغییرناپذیری برای یک جهت خاص با ترسیم مقادیر سمی واریانس در مقابل فاصله تفکیک افزایش یافته و به صورت ایده‌آل در فاصله مشخصی ثابت می‌شود. پارامترهای تغییرناپذیری شامل اثر قطعه‌ای، دامنه یا شعاع تأثیر و آستانه یا سقف می‌باشند (یوتست و همکاران، ۲۰۰۰).

مدل‌های برازش شده به مقادیر سمی واریانس در این مطالعه مدل کرووی (معادله ۲) و گوسی (معادله ۳) بوده است (ستین و کیردا، ۲۰۰۳):

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [3h/2a - \frac{1}{2}(h/a)^2], h \leq a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 (1 - e^{-3(h/a)^2}), h > a \quad (3)$$

در معادلات مزبور،  $a$  شعاع تأثیر یا دامنه،  $h$  فاصله تفکیک،  $C_0$  اثر قطعه‌ای و  $C_1$  آستانه تغییرناپذیری می‌باشد.

جهت محاسبه و ترسیم تغییرناپذیری از برنامه رایانه‌ای

Geoas 2.2 (پنیتز، ۱۹۹۶) و VARIOWIN (انگلوند ۱۹۸۰) استفاده شد جهت بررسی همسانگرد بودن متغیرها از تغییرناپذیری سطحی<sup>۲</sup> استفاده گردید. جهت اعتبارسنجی مدل‌ها از شاخص‌های میانگین خطا<sup>۳</sup> و میانگین مجذور خطا<sup>۴</sup> استفاده شد (برگس و ویستر، ۱۹۸۰):

$$ME = 1/n \sum_{i=1}^n (Z^* - Z) \quad (4)$$

$$MSE = 1/n \sum_{i=1}^n (Z^* - Z)^2 \quad (5)$$

در این روابط  $Z$  مقدار مشاهده شده،  $Z^*$  مقدار تخمین زده شده و  $n$  تعداد نمونه می‌باشد.

**روش‌های مختلف میان‌یابی:** کریجینگ تکنیکی است که با به‌کارگیری خصوصیات ساختاری تغییرناپذیری و مقادیر اولیه تخمین‌های بهینه و ناریب از متغیرهای ناریب در مکان‌های نمونه‌برداری نشده ارائه می‌نماید (ایساک و سرواستاوا، ۱۹۸۹). برتری کریجینگ نسبت به سایر روش‌های میان‌یابی نظیر مجذور عکس فاصله و... این است که خطای تخمین را نیز نشان می‌دهد. کریجینگ فرض می‌کند که در معادله ۶  $Z^*$  تابعی خطای از مقادیر  $Z$  معلوم می‌باشد:

$$Z^*(x_0) = \sum \lambda_i Z(x_i) \quad (6)$$

در این معادله  $Z^*$  تخمین مقدار متغیر  $Z$  در نقطه  $x_0$  و  $\lambda_i$  وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر  $Z$  در نقاط  $x_i$  به کار رفته در کریجینگ می‌باشند.

معیارهای ME, MSE و  $R^2$  استفاده گردید. مقایسه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ - رگرسیون به وسیله محاسبه معیارهای مذکور روی ۲۰ داده معیار که در محاسبات وارد نشده‌اند، صورت گرفت.

## نتایج و بحث

توصیف آماری خصوصیات مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است. مقادیر درصد ضریب تغییرات خصوصیات مورد مطالعه (حدود ۸ درصد) از مقادیر گزارش شده در منابع علمی بررسی شده، کمتر است که می‌تواند به دلیل استفاده طولانی مدت و مدیریت یکنواخت اراضی مورد مطالعه باشد، که منجر به یکنواختی خاک رویی گردیده است. در این زمینه پازگنزالز و همکاران (۲۰۰۰) و مؤمنی (۱۹۹۵) به نتیجه مشابهی دست یافته‌اند. تست نرمالیت داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف - اسمیرنوف نشان داد که هر دو متغیر از توزیع نرمال برخوردار هستند. به علاوه مقادیر چولگی ارائه شده در جدول ۱ نیز نتایج آزمون نرمالیت را تأیید می‌نماید.

برای تشخیص پدیده همسانگردی در تحقیق حاضر از تغییرنمای سطحی استفاده شده است. که نتایج آن برای دو متغیر مورد نظر در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به وجود تقارن تغییرنمای سطحی، هر دو متغیر همسانگرد بوده و این نتیجه مؤید آن است که می‌توان از تغییرنمای همه جهته<sup>۲</sup> برای محاسبات بعدی استفاده کرد. مدل‌های تغییرنمای تجربی به همراه مدل‌های فیت شده به آنها در شکل ۳ و پارامترهای اعتبارسنجی شده آنها همراه با معیارهای اعتبارسنجی در جدول ۲ برای هر دو متغیر ارائه شده است.

تخمینگر کوکریجینگ برای مواردی استفاده می‌شود که دو متغیر دارای تغییرات مکانی بوده و داده‌های کافی از متغیر اصلی در دسترس نیست. در این گونه موارد متغیر ثانویه که باید دارای همبستگی بالایی با متغیر اصلی باشد، دارای همبستگی مکانی عرضی با متغیر اولیه است (ایساک و سریواستاوا، ۱۹۸۹). در کوکریجینگ از تغییرنمای عرضی<sup>۱</sup> استفاده می‌گردد:

$$\gamma_{12} = 1/2 N(h) \sum [Z_1(x_i) - Z(x_i+h)] [Z_2(x_i) - Z_2(x_i+h)] \quad (7)$$

در معادله ۸ در میان‌یابی نقاط نامعلوم از وزن‌های محاسبه شده توسط تغییرنمای عرضی و تغییرنمای اولیه دو متغیر استفاده می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (8)$$

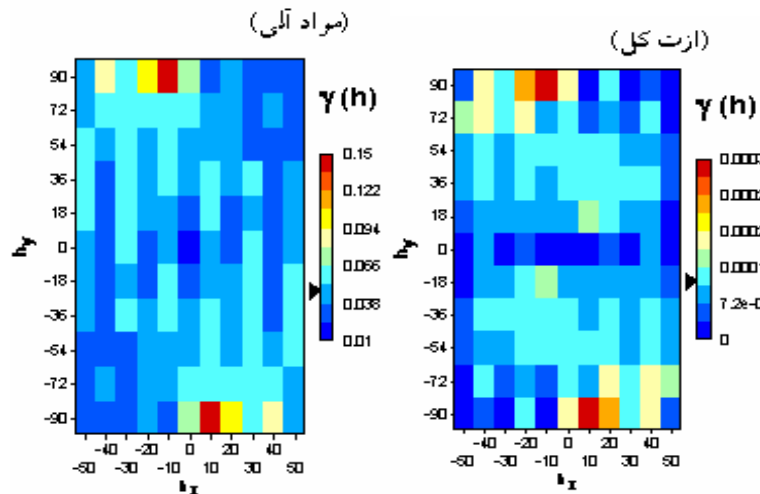
در این معادله  $\lambda_{1i}$  و  $\lambda_{2j}$  وزن‌های آماری مربوط به متغیرهای  $Z_1$  و  $Z_2$  می‌باشند.

روش کریجینگ - رگرسیون روشی ترکیبی از کریجینگ و رگرسیون است که توسط برخی محققین (اوده و همکاران، ۱۹۹۵؛ لارک و بکت، ۱۹۹۸) جهت بررسی تغییرات مکانی متغیرهای پیوسته پیشنهاد شده است. اساس این روش وجود ارتباط رگرسیونی بین دو متغیر است. به عبارتی رابطه بین دو متغیر به صورت یک مدل رگرسیونی بیان شده و سپس مقادیر متغیر اولیه در نقاطی که متغیر ثانویه اندازه‌گیری شده است توسط مدل تخمین زده می‌شود و در نهایت روی داده‌های حاصله مدل تغییرنما به دست می‌آید و سپس عمل میان‌یابی به کمک تکنیک کریجینگ انجام می‌گیرد.

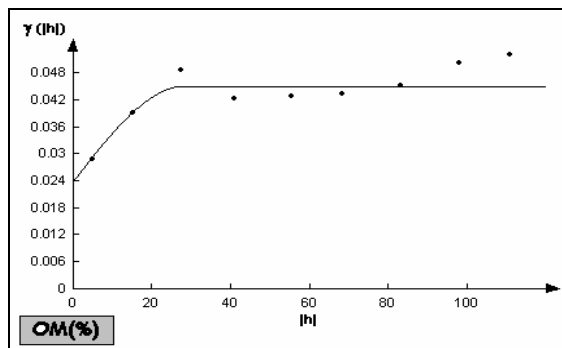
بهترین تخمین در نقاط مشاهده نشده تخمینی است که دارای حداقل خطا و کمترین واریانس باشد و بدین منظور برای مقایسه روش‌های میان‌یابی مزبور از

جدول ۱- توصیف آماری متغیرهای مورد مطالعه.

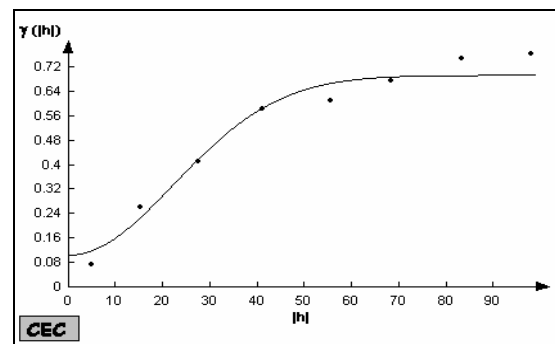
متغیر	واحد متغیر	میانگین	میان	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (درصد)	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
مواد آلی	(درصد)	۲/۵۷	۲/۵۸	۱/۸۲	۳/۰۰	۸/۵۲	۰/۲۱۹	-۰/۴۱۶	۰/۱۰۷
ازت کل	(درصد)	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۹۱	۰/۱۷۸	۸/۴۶	۰/۰۱۱	۰/۳۷۹	۴/۰۱۱



شکل ۲- تغییرنمای سطحی متغیرهای مورد مطالعه.



(ازت کل)



(مواد آلی)

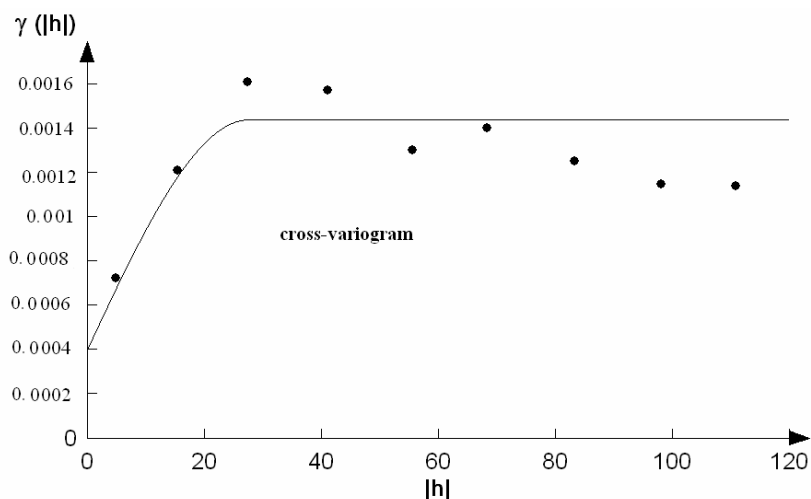
شکل ۳- تغییرنمای تجربی و مدل‌های همه‌جته متغیرهای مورد بررسی.

جدول ۲- پارامترهای تغییرنمای اولیه و تغییر نمای عرضی و معیارهای انتخاب مدل.

متغیر	واحد متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تأثیر	میانگین خطا (ME)	میانگین مجذورخطا (MSE)
ماده آلی	(درصد)	کروی	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۲۹/۲۸	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۳۵
ازت	(درصد)	گوسی	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱	۲۳/۹۹	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۷۶
ماده آلی-ازت	-	کروی	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۱۴	۲۷/۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۱

که علت این تغییرات را ناشی از تحرک یون‌ها و عوامل مدیریتی مانند کوددهی و آبیاری بیان کردند. جهت انجام میان‌یابی و تخمین به روش کوکریجینگ از تغییرنمای عرضی استفاده شد. اولین شرط این آنالیز رابطه همبستگی معنی‌دار بین دو متغیر است. مقدار  $I=0/9$  معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد نشان‌دهنده این است که امکان تخمین به روش کوکریجینگ وجود دارد. نمایی از تغییرنمای عرضی در شکل ۴ ارائه شده است.

وجود ساختار ارتباط مکانی برای اکثر متغیرهای خاک و محصول در مقیاس مزرعه در تحقیقات بسیاری نشان داده شده است و مدل‌های تغییرنمای کروی و گوسی، جهت بررسی تغییرپذیری خاک در مطالعات زیادی به کار گرفته شده است (میلر و همکاران، ۱۹۸۸). دامنه تأثیر نسبتاً کوتاه ازت کل (۲۳/۹۹ متر) به دلیل تحرک یون‌های آن می‌باشد. در این زمینه، نتایج تحقیق کان و همکاران (۱۹۹۴)، نشان داد نیترات کوتاه‌ترین و کربن آلی بزرگترین دامنه را داشتند و متغیرهای دیگر شامل فسفر و پتاسیم و مقدار آب خاک دامنه همبستگی متوسط داشتند



شکل ۴- تغییرنمای عرضی دو متغیر ماده آلی و ازت کل در منطقه مورد مطالعه.

مقدار ماده آلی معلوم بوده، جهت برآورد و تخمین مقدار ازت کل مورد استفاده قرار گرفت. سپس روی داده‌های جدید (در ۱۰۱ نقطه) ساختار مکانی بررسی شده و بعد از تعیین پارامترهای تغییرنما روی داده‌های جدید عمل میان‌یابی صورت گرفته است.

جهت مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی مزبور به‌منظور برآورد ازت کل در مزرعه مورد مطالعه از معیارهای ME، MSE، و  $R^2$  استفاده شده است. محاسبات مزبور روی داده‌های معیار (۲۰ عدد) صورت گرفته است، که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد با توجه به حداقل بودن مقادیر خطای تخمین و میانگین مجذور خطاها در روش رگرسیون - کریجینگ نسبت به دو روش دیگر، و بالاتر بودن مقدار ضریب تشخیص ( $R^2$ ) این روش حداکثر دقت را برای تخمین ازت کل به کمک داده‌های ماده آلی حاصل می‌کند.

نوع مدل‌های فیت شده و پارامترهای مدل‌های تغییرنمای اولیه متغیرها و تغییرنمای عرضی به همراه شاخص‌های خطا در جدول ۲ ارائه شده است. جهت میان‌یابی ازت کل در نقاطی که اندازه‌گیری صورت نگرفته است به کمک مدل‌های تغییرنمای اولیه متغیرها و تغییرنمای عرضی، وزن‌های هر نقطه جهت میان‌یابی تعیین شده و سپس به کمک وزن‌های محاسبه شده و استفاده از معادله (۸) مقدار ازت کل در نقاط اندازه‌گیری نشده به کمک مقادیر ماده آلی برآورد گردید.

جهت انجام میان‌یابی به روش کریجینگ - رگرسیون، ابتدا رگرسیون خطی بین دو متغیر در نقاطی که هر دو متغیر اندازه‌گیری شده‌اند، برقرار گردید که معادله ۶ به شکل زیر می‌باشد:

$$\text{Total N(\%)} = 0.001 + 0.049 (\% \text{ OM}) \quad (9)$$

$$r = 0.93^{**}$$

معادله رگرسیون حاصله در ۷۰ نقطه در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. این معادله در نقاطی که

جدول ۳- معیارهای لازم برای مقایسه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و رگرسیون برای برآورد ازت کل.

معیار آماری	کریجینگ	کوکریجینگ	کریجینگ - رگرسیون
ME	۰/۰۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۳۱
MSE	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۱۱
$R^2$	۰/۷۹**	۰/۸۱**	۰/۸۵**

مقدار هدایت الکتریکی خاک، روش کوکریجینگ را توصیه کرده است.

### نتیجه گیری

مشکلات موجود در تخمین خصوصیات مهم خاک در راستای انجام مدیریت تحقیق، مخصوصاً در مورد پارامترهای پرهزینه ما را ناگزیر به استفاده از متغیرهای کمکی می‌نماید. همانطور که نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از متغیر کمکی نظیر ماده آلی برای تخمین ازت کل خاک به واسطه همبستگی بالای این دو، منجر به تخمین‌های بهتری نسبت به روش کوریجینگ معمولی شده است. از بین دو روش کوکریجینگ و کوریجینگ - رگرسیون نتایج این مطالعه نشان داد که روش دوم از دقت بهتری برخوردار بوده است. علاوه بر این در روش کوریجینگ - رگرسیون تنها الگوی تغییرات مکانی متغیر اولیه مورد نیاز است در حالیکه در روش کوکریجینگ تغییرنمای‌های اولیه و ثانویه و یک تغییرنمای عرضی در مورد دو متغیر بایستی محاسبه گردد. لذا استفاده از روش کوریجینگ - رگرسیون با توجه به ساده بودن محاسبات و کم هزینه بودن جهت تخمین ازت کل خاک در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

از نظر معیارهای مزبور روش کوکریجینگ نسبت به روش کوریجینگ بهتر عمل کرده است. این نتیجه به آن علت است که متغیر ثانویه (ماده آلی) با متغیر اصلی (ازت کل) دارای همبستگی مکانی بالایی بوده که این امر منجر به کاهش واریانس تخمین شده است. این نتیجه‌گیری با یافته‌های سایر محققین (نوترز و همکاران، ۱۹۹۵؛ ایساک و سریواستاو، ۱۹۸۹ و امینی، ۱۹۹۹) همخوانی نشان می‌دهد. هر چند روش کوریجینگ نیز دارای حداقل دقت از بین سه روش مورد مطالعه بوده است ولی در عین حال توانسته با توجه به مقادیر کم  $ME$  و  $MSE$  و ضریب تشخیص معنی‌دار، برای تخمین ازت کل در نقاط اندازه‌گیری نشده دارای اعتبار می‌باشد. این نتیجه بیانگر آن است که پارامترهای مدل تغییرنمای ازت کل به‌خوبی انتخاب شده‌اند. مقایسه سه روش میان‌یابی در این تحقیق با نتایج برخی محققین مطابق بوده و با نتایج برخی دیگر مطابقت ندارد. نوترز و همکاران (۱۹۹۵) در مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی برای ضخامت افق‌های خاک به کمک یک متغیر کمکی، به نتایج مشابهی نظیر این تحقیق دست یافتند. آنها نشان دادند که روش رگرسیون - کوریجینگ بهترین تخمین را حاصل کرده است. اوده و همکاران (۱۹۹۵) نیز به نتیجه مشابهی نظیر این تحقیق رسیدند ولی امینی (۱۳۹۹) در برآورد میزان کلر به کمک

### منابع

1. Amini, M. 1999. Assessment of soil salinity and alkalinity using geostatistic technique in a part of Rudasht district (Isfahan province). MS.C thesis. Isfahan University of Technology, College of Agriculture, Isfahan, Iran. 120p.
2. Bosun, S.Z., and Qiguo, Z. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical, china. Geoderma. 115:85-99.
3. Bourennane, H., King, D., and Couturier, A. 2000. Comparison of kriging with external drift and simple linear regression for predicting soil horizon thickness with different sample densities. Geoderma. 97: 255-271.
4. Burgess, T.M., and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and Isarithmic mapping of soil properties. I- The Semi- Variogram and Punctual Kriging. Soil Science Journal. 31: 315-331.
5. Cahn, M.D., Hummel, J.W., and Brouer, B.H., 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 1240-1248.
6. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1501- 1511.
7. Cetin, M., and Kirda, C. 2003. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water. Journal of Hydrology. 272, 238-249.



8. Englund, E., 1980. GEOEAS. USEPA. 600/4-88/033.
9. Godwin, R.J., and Miller, P.C.H. 2003. A review of the technologies for mapping within- field variability, *Biosyst. Eng.* 84,393-407.
10. Hasani-Pak, A.A., 1998. *Geostatistics*. Tehran University Press. 360p.
11. Hengel, T., Rossiter, D.G., and Stein, A. 2003. Soil sampling strategies for spatial prediction by correlation with auxiliary maps. *Australian Journal of Soil Research*. 41: 1403-1422.
12. Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press. New York. 561p.
13. Knotters, M., Brus, D.J., and Oude Voshaar, J.H. 1995. A comparison of kriging, co-kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. *Geoderma*. 67: 227-246.
14. Lark, R.M., and Beckett, P.H.T. 1998. A geostatistical descriptor of the spatial distribution of soil classes and its use in predicting the purity of possible soil map units. *Geoderma*. 83: 243-267.
15. Mc Brathney, A.B., and Webster, R. 1983. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties V: Co-regionalization and multiple sampling strategy. *Journal of Soil Science*. 34: 137-162.
16. Miller, M.P., Singer, M.J., and Nielson, D.R. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52,1133-1141.
17. Momani, A. 1995. Spatial modeling of organic matter and soil fertility properties as a tool for precision agriculture in Marvdasht plain. *Journal of Soil and Water Sciences*. Special Issue: Pedology and land evaluation. Pp: 1-12.
18. Odeh, I.O.A., Mc Bratney, A.B., and Chittleborough, D.J. 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes. Hetrotopic co-kriging and regression-kriging. *Geoderma*. 67: 215-226.
19. Page, A. 1986. *Methods of Soil Analysis*. Part:2, Chemical Methods. 2<sup>nd</sup> Edition. Soil Sci. Soc. Am. Inc. 1188 p.
20. Panattier, Y. 1996. *VARIOWIN: Software for spatial Data Analysis in 2D*, Springer-Verlag. New York, NY.
21. Paz-Gonzalez, A., Viera, S.R., and Tobaoda castro, M.T. 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*. 97: 273-292.
22. Quine, T.A., and Zhang, Y. 2002. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon, U.K. *Journal of soil and water conservation*. 57: 50-60.
23. USDA. Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil Taxonomy*, USDA, NRCS, Washington DC.
24. Utset, A., Lopez, T., and Diaz, M. 2000. A comparison of soil maps, kriging and a combined method for spatially prediction bulk density and field capacity of Ferralsols in the Havana-Matanaz Plain. *Geoderma*. 96: 199-213

## **Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province**

**Sh. Ayoubi<sup>1</sup>, S. Mohammad Zamani<sup>2</sup> and F. Khormali<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof. of Soil Science, Isfahan University of Technology, Iran, <sup>2</sup>Science farmer MS.c. Student of Soil science, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, Iran, <sup>3</sup>Assistant Prof. of Soil Science, College of Agricultural, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran

---

---

### **Abstract**

This study was conducted to predict total N using auxiliary variable (organic matter) by kriging, co-kriging and kriging-regression techniques at the field scale in Sorkhankalateh district, Golestan province. Soil sampling performed on the nested-systematic pattern in 101 points in a plot with 100×180 m area, under the farmer's management. Through the laboratory analyses, total N and organic matter were measured for 70 and 101 soil samples, respectively. Geostatistical analyses were performed on original data and simple variograms and cross-variogram for two variables were calculated. After validation of models and development of a linear regression model between two variables, three mentioned methods were compared according to predict total N throughout the given field. The results of this study showed that kriging-regression method had the lowest ME and MSE and the most determination coefficient compared to the other methods, indicating that this technique was able to predict total-N more accurately using auxiliary variable (organic matter) data. On the other hand co-kriging has been produced more precise predictions compared to kriging due to using auxiliary variable. Overall results of this study revealed that among the studied methods, kriging-regression technique by using cheap- to- measure auxiliary variable like organic matter and less complexity in calculation suggested to evaluate spatial variability of total N in the study area for precise management.

**Keywords:** *Total N; Organic matter; Kriging; Co-kriging; Regression; Sorkhankalateh*