



ارزیابی دقت برخی از روش‌های زمین‌آماری در برآورد تغییرات مکانی سرعت نفوذ نهایی

عباس یکزیبان^۱، *محمود شعبانپور^۲، ناصر دوات‌گر^۳ و نادر پیرمردیان^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه گیلان،

^۳استادیار پژوهشی گروه آب و خاک، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، گیلان، ^۴استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: خصوصیات خاک به‌طور پیوسته در مکان و زمان در حال تغییر می‌باشند. ناهمگنی در مقیاس بزرگ و کوچک، حتی در گونه خاک یکسان یا محیط یکسان رخ می‌دهد. تغییرات مکانی خصوصیات خاک می‌تواند ناشی از عوامل اثرگذار طبیعی زمین‌شناسی و تشکیل خاک باشند، اما برخی از این تغییرات ناشی از عوامل مدیریتی می‌باشند. سرعت نفوذ آب در خاک یکی از فرآیندهای اساسی کنترل‌کننده چرخه هیدرولوژی می‌باشد. تخمین قابل‌قبولی از این فرآیند، به‌خصوص هنگامی که تغییرات شدیدی دارد، از اهمیت بالای برخوردار می‌باشد. آگاهی از چگونگی این تغییرات به‌منظور مدیریت صحیح کشاورزی و افزایش بازدهی ضروری می‌باشد. در این پژوهش از تکنیک زمین‌آمار برای تشریح ساختار فضایی سرعت نفوذ نهایی و انتخاب روش بهینه در برآورد آن، استفاده شد.

مواد و روش‌ها: تعداد ۷۵ نمونه طی یک شبکه به فواصل تقریبی ۱۰ متر، از خاک سطحی برداشت شد. سرعت نفوذ در مزرعه با استفاده از استوانه‌های مضاعف تا رسیدن به حالت پایدار اندازه‌گیری شد. از سه روش وزن‌دهی معکوس فاصله با توان ۱ تا ۳، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ با متغیر کمکی سیلت و ماده آلی در درون‌یابی سرعت نفوذ نهایی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، ضریب تغییرات خصوصیات، دارای دامنه‌ای از ۷/۲۶ درصد (مقدار سیلت) تا ۸۸/۴۹ درصد (سرعت نفوذ نهایی) در مزرعه می‌باشد. نتایج نیم‌تغییرنا نشان داد که سرعت نفوذ نهایی، دارای دامنه تأثیر ۲۴ متر می‌باشد. ضریب هم‌بستگی بین سرعت نفوذ نهایی و میزان سیلت و ماده آلی، مثبت و بزرگ‌تر از ۰/۲ می‌باشد که با ماده آلی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد و از آن‌ها می‌توان در تخمین سرعت نفوذ نهایی در نقاط نمونه‌برداری نشده کمک گرفت.

نتیجه‌گیری: آماره‌های میانگین مطلق و اریب خطا، تخمین صحیح‌تر هر دو روش کریجینگ و کوکریجینگ، نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله در برآورد سرعت نفوذ نهایی را نشان داد. اگرچه استفاده از متغیر کمکی سیلت در روش کوکریجینگ، توانست خطای تخمین را ۱۴ درصد نسبت به روش کریجینگ کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، کریجینگ، کوکریجینگ، نیم‌تغییرنا

مقدمه

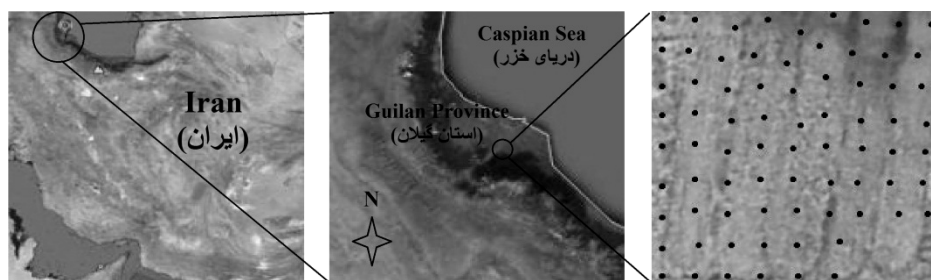
مدیریت منابع آب و خاک، نیازمند اطلاعاتی جامع در خصوص ویژگی‌های خاک در یک منطقه جغرافیایی می‌باشد. دقت اظهار نظر در مورد خصوصیات خاک در هر منطقه، به تغییرات خاک در منطقه نمونه‌برداری شده بستگی دارد. پارامترهای هیدرولیکی خاک از جمله سرعت نفوذ، از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک با تغییرپذیری بالا می‌باشند. این تغییرات شدید، تأثیر به‌سزایی بر هیدروگراف پهنه مورد مطالعه دارد (7). در کشاورزی متداول، بررسی تغییرات خصوصیات خاک، اغلب به‌وسیله روش‌های آمار کلاسیک صورت می‌پذیرد، که به‌دلیل در نظر نگرفتن تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک، کارایی ندارد. در مقایسه با روش‌های آمار کلاسیک، روش‌های زمین‌آمار^۱، ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی نقاط اندازه‌گیری شده، قادر به ارائه ابزاری برای توصیف الگوی تغییرپذیری خصوصیات می‌باشند.

ارسهاین (2003) در برآورد سرعت نفوذ نهایی با استفاده از روش کریجینگ و کوکریجینگ، گزارش نمود که هر دو روش نتایج قابل‌قبولی ارائه دادند و روش کوکریجینگ را در مواقع مواجهه با کمبود داده‌ها، توصیه نمود (4). حسینی و همکاران (1993) با مقایسه چندین روش زمین‌آمار در برآورد هدایت هیدرولیکی، روش کریجینگ معمولی را به‌عنوان روش بهینه، توصیه کردند (8). ایوبی و همکاران (2007) مقدار ازت خاک را با کمک ماده آلی به‌وسیله روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ-رگرسیون برآورد نمودند، که روش کوکریجینگ و کریجینگ-رگرسیون دقت بالاتری نسبت به روش کریجینگ، نشان داد (1). این پژوهش با هدف تشریح

ساختار مکانی سرعت نفوذ نهایی، ارزیابی دقت روش‌های درونیابی (کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله) در برآورد آن، در یک قطعه مزروعی صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، قطعه‌ای مزروعی، واقع در استان گیلان، شهرستان رشت، با موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی می‌باشد (شکل ۱). متوسط حداقل و حداکثر دما به‌ترتیب ۶/۶ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط نزولات آسمانی حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. مساحت این قطعه، حدود یک هکتار می‌باشد که پس از کشت در قسمتی از آن، چندین سال به‌صورت آیش بوده است. تعداد ۷۵ نمونه طی یک شبکه به فواصل تقریبی ۱۰ متر، از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متری برداشت شد (شکل ۱). آنالیز توزیع اندازه ذرات اولیه به روش هیدرومتری (5)، ماده آلی به روش والکی بلک (13)، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر (3)، جرم مخصوص توده خاک به روش پیکنومتر (11) و توزیع اندازه ذرات ثانویه به روش الک تر (3) انجام شد. سرعت نفوذ نهایی در مزرعه به‌وسیله استوانه‌های مضاعف تا رسیدن به حالت پایدار اندازه‌گیری شد (12). تخلخل، از نسبت جرم مخصوص ظاهری به حقیقی به‌دست آمد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت نمونه برداری.

Figure 1. Study area and sampling location.

گوسی، براساس پارامتر مجموع مربعات باقیمانده^۳ (RSS) کمتر و ضریب تبیین (r^2) بیش تر انتخاب گردید (17). یکی از روش های درون یابی، وزن دهی معکوس فاصله است، که در این روش بدون توجه به موقعیت نقاط، برای هر یک از نقاط مشاهده ای، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا نقطه مجهول در نظر گرفته می شود (15):

$$z^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_i^{-a}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-a}} \quad (2)$$

که در آن، $z^*(x_0)$ مقدار متغیر برآورد شده در نقطه x_0 ، $z(x_i)$ مقدار متغیر مشاهده شده در اطراف نقطه مورد نظر، d_i فاصله بین نقاط مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین و a ضریبی که وزن را براساس فاصله مشخص می کند.

در روش کریجینگ، با استفاده از نیم تغییرنا به هر یک از نقاط نمونه برداری وزنی را نسبت می دهد، که علاوه بر ناریب (BLUE)^۴ بودن تخمین، واریانس تخمین نیز حداقل گردد، که رابطه آن به صورت زیر می باشد (14):

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \quad (3)$$

که در آن، λ_i وزن نسبت داده به نقطه x_i می باشد.

آماره های توصیفی و ضرایب هم بستگی با استفاده از نرم افزار SPSS 18 محاسبه شدند. توزیع نرمال داده ها توسط آزمون معنی داری چولگی بررسی شد و از تابع لگاریتم پایه طبیعی، برای تبدیل به توزیع نرمال استفاده شد (2). واریانس خصوصیات بین نقاطی به فاصله مشخص از هم دیگر، می تواند هم بستگی متقابل ویژگی های دو نقطه به فاصله مشخص را بیان نماید. این واریانس وابسته به فاصله را نیم تغییرنا^۱ می نامند. نیم تغییرنا^۲ متغیره و نیم تغییرنا^۳ متقابل^۲ تجربی در یک فاصله جدایی مشخص به صورت زیر تعیین می شود (4):

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{k=1}^{N(h)} \left[\frac{(Z_i(x_k) - Z_j(x_k+h))}{(Z_j(x_k) - Z_j(x_k+h))} \right] \quad (1)$$

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{k=1}^{N(h)} \left[\frac{(Z_i(x_k) - Z_j(x_k+h))}{(Z_j(x_k) - Z_j(x_k+h))} \right]$$

که در آن، γ_{ij} نیم واریانس (وقتی که $i=j$)، $N(h)$ تعداد جفت نمونه ها، $Z_i(x_k)$ و $Z_i(x_k+h)$ مقادیر متغیر اصلی در فاصله h از هم است. وقتی که $i \neq j$ ، γ_{ij} نیم واریانس متقابل، $Z_j(x_k)$ و $Z_j(x_k+h)$ مقادیر متغیر کمکی در فاصله h از هم می باشند.

برازش یک مدل نظری بر نیم تغییرناهای تجربی در جهت کمی کردن تغییرات، ضروری می باشد. بهترین مدل، از بین مدل های کروی، نمایی، خطی و

3- Residual sum of square
4- Best Linear Unbias Estimator

1- Semivariogram
2- Cross-semivariogram

ضریب تغییرات بالا (۸۸/۴ درصد) در سرعت نفوذ نهایی، می‌تواند ناشی از عوامل مدیریتی باشد. تغییرات زیاد سرعت نفوذ در پژوهش (ارساهین، ۲۰۰۳) گزارش شده است (۴). چولگی معنی‌دار، دلالت بر توزیع غیرنرمال در خصوصیات سرعت نفوذ نهایی، ماده آلی، مقادیر شن و رس دارد. توزیع غیرنرمال، می‌تواند به مجموع مختلف عملیات مدیریتی، پوشش گیاهی، کاربری زمین، اثر توپوگرافی و تغییرات فرسایشی مرتبط باشد (۲۰). با توجه به نتایج ضرایب همبستگی خطی (جدول ۱)، سرعت نفوذ نهایی با خصوصیات تخلخل، پایداری خاکدانه، مقادیر رس و شن همبستگی ضعیف و با ماده آلی و سیلت همبستگی قوی‌تری نشان داد، که با ماده آلی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. بنابراین از آن‌ها در تخمین به روش کوکریجینگ استفاده شد. رینولدز و زیباک (۱۹۹۶) علت عدم وجود رابطه معنی‌دار بین خصوصیات بافت، ماده آلی و توپوگرافی با پارامتر هیدرولیکی را به وابستگی این پارامتر با توسعه و پایداری ساختمان خاک نسبت دادند (۱۶).

بر نیم‌تغییرنمای سرعت نفوذ و نیم‌تغییرنمای متقابل سرعت نفوذ نهایی با سیلت و ماده آلی مدل کروی برازش گردید (شکل ۲)، که با نتایج ارساهین (۲۰۰۳) مطابقت دارد (۴). با توجه به نسبت اثر قطعه‌ای به سقف برابر ۳۲/۴ درصد (ساختار مکانی متوسط)، دامنه تأثیر سرعت نفوذ نهایی ۲۴ متر به‌دست آمد. در صورتی که با کاهش مقدار اثر قطعه‌ای در نیم‌تغییرنمای متقابل سرعت نفوذ نهایی با سیلت و ماده آلی به‌ترتیب، دامنه تأثیر ۴۲ و ۳۶ متر به‌دست آمد (جدول ۲).

در روش کوکریجینگ، که یک روش چندمتغیره می‌باشد، متغیر اصلی به کمک متغیر ثانویه‌ای که با آن در ارتباط است، تخمین زده می‌شود. (۱۴). این تخمین‌گر به‌صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \cdot z_p(x_i) + \sum_{i=1}^m \lambda_{si} \cdot z_s(x_i) \quad (۵)$$

که در آن، λ_{pi} و λ_{si} به‌ترتیب وزن نسبت داده به متغیر اصلی و ثانویه در نقطه x_i و z_p و z_s به‌ترتیب مقدار مشاهده‌ای متغیر اصلی و ثانویه در نقطه x_i می‌باشد.

در این پژوهش از تکنیک ارزیابی متقابل، با استفاده از آماره‌های MAE و MBE دقت هر تخمین‌گر بررسی گردید، که MAE معرف دقت و MBE معرف انحراف هر روش می‌باشد (۱۰).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (۵)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i)) \quad (۶)$$

که در آن‌ها، $z(x_i)$ و $z^*(x_i)$ به‌ترتیب، مقدار متغیر برآورد شده و مشاهده شده در نقطه x_i و n تعداد نقاط می‌باشد.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول ۱ ضریب تغییرات خصوصیات خاک دامنه‌ای از مقادیر ۷/۲۶ تا ۸۸/۴ درصد را شامل گردید. تغییرات کم خصوصیات می‌تواند ناشی از عوامل پدوژنیک و ذاتی خاک و تأثیرپذیری کم از عوامل تأثیرگذار بیرونی باشد.

- 1- Cross-Validation
- 2- Mean Absolute Error
- 3- Mean Bias Error

جدول ۱- خلاصه آماری متغیرهای مورد مطالعه.

Table 1. Summary statistics of study variables.

| متغیر | حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف معیار | ضریب تغییرات | چولگی | کشیدگی | ضریب همبستگی خطی با سرعت نفوذ نهایی |
|---------------------------------------------------|-------|--------|---------|-----------------|-----------------|----------|----------|---------------------------------------------------------------|
| Variable | Min | Max | Mean | SD | (%) CV | Skewness | Kurtosis | Liner correlation coefficient With final infiltration rate |
| سرعت نفوذ نهایی (cm/h) Final infiltration rate | 0.33 | 26.28 | 8.10 | 7.06 | 88.49 | 1.07* | 0.07 | 1 |
| رس (%) Clay | 22.00 | 48.00 | 31.23 | 5.29 | 16.91 | 0.61* | 0.47 | -0.153 |
| سیلت (%) Silt | 51.00 | 70.00 | 59.65 | 4.33 | 7.26 | 0.34 | -0.39 | 0.273 |
| شن (%) Sand | 5.00 | 18.00 | 9.12 | 2.86 | 31.10 | 0.74* | 0.15 | 0.054 |
| تخلخل (%) Porosity | 43.24 | 60.00 | 50.32 | 3.77 | 7.50 | 0.36 | -0.20 | 0.174 |
| میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm) MWD | 0.61 | 2.02 | 1.29 | 0.47 | 31.20 | -0.06 | -0.83 | -0.109 |
| ماده آلی (%) Organic matter | 1.34 | 4.29 | 2.38 | 0.66 | 26.86 | 0.69* | 0.28 | 0.305* |

* معنی‌داری آزمون چولگی در سطح احتمال ۵ درصد (significant skewness exam at the 0.05 probability level).

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مدل استفاده شده در نیم‌تغییرنمای تک‌متغیره و متقابل.

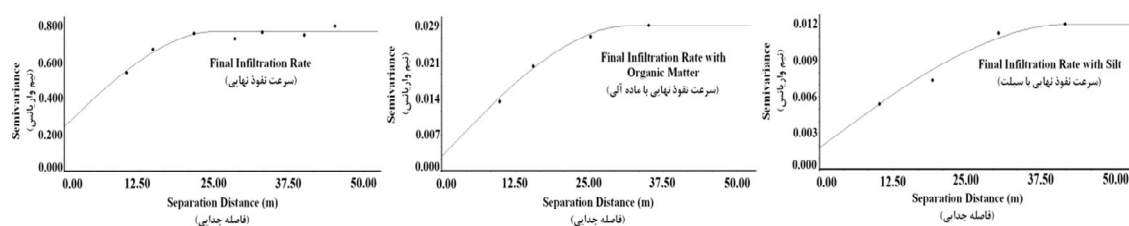
Table 2. Values of model parameters used to semivariogram and Cross-semivariograms.

| متغیر Variable | مدل Models | C ₀ | C ₀ +C | A (meter) | r ² | RSS | C ₀ /C ₀ +C |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------|----------------|-----------------------|-----------------------------------|
| سرعت نفوذ نهایی (cm/h) Final infiltration rate | کروی Spherical | 0.2500 | 0.7700 | 24 | 0.945 | 2.53×10 ⁻³ | 32.46 |
| سرعت نفوذ نهایی با سیلت Final infiltration rate with silt | کروی Spherical | 0.0018 | 0.0119 | 42 | 0.974 | 9.22×10 ⁻⁷ | 15.12 |
| سرعت نفوذ نهایی با ماده آلی Final infiltration rate with Organic matter | کروی Spherical | 0.0060 | 0.0290 | 36 | 0.983 | 3.08×10 ⁻⁶ | 20.68 |

C₀: واریانس قطعه‌ای (Nugget effect), C₀+C: آستانه (Sill), A: دامنه تأثیر (Range), RSS: مجموع مربعات باقیمانده (Residual sum of square), r²: ضریب تبیین (Coefficient of Determination) و C₀/C₀+C: شاخص وابستگی مکانی (Degree of spatial dependence)

ناشی از عملیات شخم سطحی گزارش کردند (6). اقبال و همکاران (2005) فعالیت ریشه گیاهان، در ایجاد منافذ درشت را عامل تغییرات پارامترهای هیدرولیکی گزارش نمود (9).

دامنه تأثیر کوتاه پارامترهای هیدرولیکی و سرعت نفوذ در پژوهش‌ها (سوبراج و همکاران، 2004) گزارش شده است (18). هاس و همکاران (2004) علت تغییرات شدید سرعت نفوذ با دامنه کوتاه را



شکل ۲- نیم‌تغییرنمای تک‌متغیره و متقابل سرعت نفوذ نهایی.

Figure 2. Semivariogram and Cross-semivariograms of final infiltration rate.

کم‌برآوری می‌باشند، که روش کریجینگ براساس این آماره (MBE) دقیق‌ترین تخمین را انجام داده است ولی روش کوکریجینگ با سیلت مقدار خطای مطلق کم‌تری دارد. در برآورد سرعت نفوذ نهایی براساس هر دو آماره روش کریجینگ و کوکریجینگ با متغیر کمکی سیلت دارای تخمین‌های قابل‌قبول‌تری بودند. که با نتایج مطالعات (ارساهین، 2003) مطابقت دارد (4).

نتایج ارزیابی روش‌ها (جدول ۳) نشان داد که روش وزندهی معکوس فاصله دارای میانگین خطای (MAE) بیش‌تری نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. این خطا در توان‌های کم، بزرگ بوده که با افزایش آن تا توان ۳، خطا کاهش یافته و بعد از آن دوباره افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به مقادیر بالای (MBE) روش وزندهی معکوس فاصله تخمین‌های اریبی را انجام داده است. براساس آماره میانگین خطای اریب، همه روش‌ها دارای مقادیری از

جدول ۳- ارزیابی روش‌های تخمین در برآورد سرعت نفوذ نهایی.

Table 3. Evaluation of interpolation methods for estimating final infiltration rate.

| کوکریجینگ با ماده آلی Cokriging with Organic matter | کوکریجینگ با سیلت Cokriging with Silt | کریجینگ Kriging | IDW ³ | IDW ² | IDW ¹ | منابع آماری Source Statistical |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|
| 4.850 | 4.182 | 4.874 | -5.521 | 5.364 | 5.658 | MAE |
| -0.246 | -0.235 | -0.155 | -1.868 | -1.950 | -1.984 | MBE |

وزندهی معکوس فاصله (Inverse Distance Method).

استخراج این روابط نمی‌باشند. سای (2006) نتیجه مشابهی گزارش نمود (19). همچنین، از آنجا که توزیع اندازه ذرات تعیین‌کننده ویژگی‌های ساختمانی خاک و به تبع آن سرعت نفوذ آب در خاک می‌باشد، بنابراین استفاده از متغیر ثانویه سیلت که بخش غالبی از کلاس بافتی خاک را به نسبت ذرات رس و شن شامل گردیده است، حتی با تعداد مشاهدات برابر با متغیر اصلی، می‌تواند در بهبود تخمین تغییرات سرعت نفوذ نهایی مؤثر باشد.

اگرچه در بسیاری از منابع شرط استفاده از روش کوکریجینگ را وجود ضریب هم‌بستگی بیش از ۰/۵ بین متغیر اصلی و ثانویه گزارش کرده‌اند (21)، ولی در این پژوهش استفاده از روش کوکریجینگ با متغیر ثانویه سیلت با ضریب هم‌بستگی ۰/۲۰۷ توانست خطای مطلق تخمین (MAE) سرعت نفوذ نهایی را ۱۴ درصد نسبت به روش کریجینگ کاهش دهد، که علت آن را می‌توان به روابط غیرخطی بین ویژگی‌های خصوصیات هیدرولیکی و خصوصیات فیزیکی خاک نسبت داد، زیرا مدل‌های رگرسیون خطی قادر به

نتیجه گیری

همراه خواهد داشت. از طرفی به علت تغییرات شدید و دامنه کوتاه بودن تغییرات سرعت نفوذ، استفاده از روش‌های چندمتغیره توجیه می‌شود. بر همین اساس در این پژوهش روش کوکریجینگ با متغیر کمکی سیلت به واسطه هم‌بستگی با سرعت نفوذ نهایی توانست میزان خطای مطلق تخمین را ۱۴ درصد نسبت روش کریجینگ کاهش دهد.

مشکلات موجود در تخمین خصوصیات مهم خاک، در راستای انجام مدیریت بهینه، به‌خصوص در مورد پارامترهای پرهزینه و زمان‌بر، ما را ناگزیر به استفاده از روش‌های نوین می‌نماید. همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان داد، خصوصیت سرعت نفوذ نهایی دارای تغییرپذیری بسیار بالا در یک محدوده کوچک یک هکتاری بوده و تصمیم‌گیری براساس روش‌های میانگین‌گیری معمول خطای فراوانی را

منابع

1. Ayoubi, Sh., Mohammad-Zamani, S., and Khormali, F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan province. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14: 78-87. (In Persian)
2. Balasundram, S.K., Husni, M.H.A., and Ahmad, O.H. 2008. Application of geostatistical tools to quantify spatial variability of selected soil chemical properties from a cultivated tropical peat. *J. Agron.* 7: 82-87.
3. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk Density. P 363-375, In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1.* 2nd edition. Agron. Mongor. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
4. Ersahin, S. 2003. Comparing ordinary kriging and cokriging to estimate infiltration rate. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 67: 1848-1855.
5. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle Size Analysis. P 383-411, In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1.* 2nd edition. Agron. Mongor. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
6. Haws, N.W., Liu, B., Boast, C.W., Rao, P.S.C., Kladvko, E.J., and Franzmeier, D.P. 2004. Spatial variability and measurement scale of infiltration rate on an agricultural landscape. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 68: 1818-1826.
7. Herbst, M., and Diekkruger, B. 2003. Modelling the spatial variability of soil moisture in a micro scale catchment and comparison with field data using geostatistics. *Physics and Chemistry of the Earth.* 23: 239-245.
8. Hosseini, E., Gallichand, J., and Caren, J. 1993. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in south west Iran. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineers.* 36: 1687-1693.
9. Iqbal, J., Thomasson, J.A., Jenkins, J.N., Owens, P.R., and Whisler, F.D. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 69: 1338-1350.
10. Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. *Applied Geostatistics.* Oxford University Press. New York. 561p.
11. Jacob, H., and Clark, G. 2002. *Method of soil analysis, Part 4, Physical Method,* Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA. 1692p.
12. Klute, A., and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity. P 687-734, In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1.* 2nd edition. Agron. Mongor. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
13. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-579, In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd edition. Agron. Mongor no. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

14. Pan, G.C., Gaard, D., Moss, K., and Heiner, T. 1993. A comparison between cokriging and ordinary kriging: case study with a polymetallic deposit. *Mathematical Geology*. 25: 377-398.
15. Panagopoulos, T., Jesus, J., Antunes, M.D.C., and Beltrao, J. 2006. Analysis of spatial interpolation for optimizing management of a salinized field cultivated with lettuce. *Europ. J. Agron.* 24: 1-10.
16. Reynolds, W.D., and Zebchuk, W.D. 1996. Hydraulic conductivity in a clay soil: Two measurement techniques and spatial characterization. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 60: 1679-1685.
17. Robinson, T.P., and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computer and Electronics in Agriculture*. 50: 97-108.
18. Sobieraj, J.A., Elsenbeer, H., and Cameron, G. 2004. Scale dependency in spatial patterns of saturated hydraulic conductivity. *Catena*. 55: 49-77.
19. Sy, N.L. 2006. Modeling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrol. Sci. J.* 51: 3-20.
20. Tesfahunegn, G.B., Tamene, L., and Vlek, P.L.G. 2011. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific management in northern Ethiopia. *Soil and Tillage Research*. 117: 124-139.
21. Yates, S.R., and Warrick, A.W. 1987. Estimating soil water content using cokriging. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 51: 23-30.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Short Technical Report

Evaluating accuracy some of geostatistical methods to predict spatial variability of final infiltration rate

A. Yekzaban¹, *M. Shabanpur², N. Davatgar³ and N. Pirmoradian⁴

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Guilan, ³Research Assistant Prof., Dept. of Soil and Water, Rice Research Institute of Iran (IRRI), Guilan, ⁴Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Guilan

Received: 02/05/2013; Accepted: 11/16/2014

Abstract

Background and Objective: Soil properties continuously experience spatial variations in time and space. Heterogeneity may be occurred at large scale or at small scale, even in the same type of soils or in the same community. Spatial variability of soil properties is inherent nature due to geologic and pedologic soil forming factors, but some of the variability may be induced by management practices. Infiltration rate is a dominant process controlling hydrological cycle. Estimation of this process at an acceptable level of accuracy is important, especially in the case when it exhibits high variability. Awareness of how are these changes for increasing profitability and sustainable agriculture management is necessary. In this study geostatistical techniques were used to describe the spatial structure of final infiltration rate and select an effective interpolation method to predict infiltration rate.

Materials and Methods: From the study area 75 soil samples were collected by a systematic sampling strategy on grid spacing nearly 10 meter at surface. Infiltration rate was measured in the field by using double-ring infiltrometers until steady state (IR_s). Three interpolation methods were used to estimate (IR_s), which included inverse distance weight (IDW) with power 1 to 3, kriging and cokriging with Auxiliary variable, that including silt content and organic matter.

Results: Results showed that, the coefficient of variation of soil properties ranged from 7.26% (silt content) to 88.49% (IR_s) at this field. Result semivariogram showed that infiltration rate had range 24 m. The correlation coefficient between IR_s and silt content, organic matter were positive and above than 0.2 that significant at 5 percentage probability level with organic matter, there for help estimation of IR_s values at unobserved location.

Conclusion: According to the statistical parameter (MAE and MBE), both kriging and cokriging provided reasonable estimation as compared IDW. However using silt content as auxiliary data for estimating of IR_s in cokriging method could reduce prediction error by 14% as compared kriging method.

Keywords: Cokriging, Kriging, Semivariogram, Spatial variability

* Corresponding Author; Email: m_shabanpur@yahoo.com

