

مقایسه روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه پراکنش مکانی برخی عناصر غذایی در شرق استان مازندران

قباد جلالی^{1*}، محمدمهدی طهرانی، ناصر برومند و صالح سنجری

دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد؛ ghad.jalali@yahoo.com

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب کشور؛ mtehrani2000@yahoo.com

استادیار دانشگاه جیرفت؛ nbroomand@yahoo.com

مریی دانشگاه جیرفت؛ slsanjari@yahoo.com

چکیده

اساس توسعه کشاورزی دقیق آگاهی از ویژگی‌های خاک در هر نقطه و اعمال مدیریت ویژه می‌باشد. بنابراین، آگاهی از ساختار وابستگی مکانی ویژگی‌های مختلف خاک در مزارع برای دستیابی به تولید بیشتر و مدیریت بهتر حائز اهمیت می‌باشد. زمین‌آمار یکی از روش‌هایی است که امروزه برای بررسی وضعیت پارامترهای خاک به‌کار می‌رود. در این تحقیق 188 نمونه خاک سطحی از شرق استان مازندران جمع‌آوری و متغیرهای کربن آلی (OC)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، منگنز (Mn) و مس (Cu) اندازه‌گیری گردید. همبستگی مکانی هر متغیر با نیم‌تغییرنا مشخص و بهترین مدل برازش داده شده برای هر متغیر انتخاب شد. بهترین مدل‌های برازش داده شده بر نیم‌تغییرنا برای متغیرهای OC, P, K, Fe, Mn, Cu، به ترتیب گوسی، گوسی، نمای، گوسی و کروی بودند. همچنین دامنه مؤثر برای همین متغیرها به ترتیب 58, 26, 58, 5, 58 و 3 کیلومتر به‌دست آمد. با استفاده از روش‌های درون‌یابی، کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس‌فاصله (IDW) و اسپلاین (RBF) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS درون‌یابی انجام و میزان دقت نقشه پراکنش این متغیرها به کمک معیارهای آماری دقت (MAE)، انحراف (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. نتایج نشان داد برای متغیرهای OC, P, K, Fe, Mn, Cu، به ترتیب OK, OK, OK, OK, RBF, OK, IDW به‌عنوان بهترین روش‌های درون‌یابی شناخته شدند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد برای اکثر متغیرها روش OK در مقایسه با دو روش دیگر، روش بهتری در تخمین متغیرها در نقاط نمونه‌برداری نشده بود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات خاک، روش‌های درون‌یابی، کریجینگ، وزن‌دهی عکس‌فاصله

مقدمه

بعلاوه تغییرات آن پیچیده است زیرا از برهم‌کنش فرآیندهای زیادی که در مقیاس‌های متفاوت مکانی عمل می‌کنند، حاصل می‌آید (ویرا و گنزالز، 2003). همچنین خصوصیات خاک هم دارای پیوستگی مکانی بوده و هم همبستگی متقابل بین آن‌ها وجود دارد که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (فاکتورهای تشکیل خاک مانند مواد

یکی از ویژگی‌های کلیدی خاک تغییرپذیری زمانی و مکانی آن است. در فرآیند تشکیل خاک عوامل و فرآیندهای مختلفی دخیل هستند که در طول زمان و مکان متغیرند که خواص خاک تحت تأثیر آن‌ها شکل می‌گیرد. به‌همین دلیل ویژگی‌های خاک در زمان و مکان تغییر می‌کنند.

¹ نویسنده مسئول، آدرس: جیرفت - دانشگاه جیرفت - دانشکده کشاورزی - گروه خاک‌شناسی - صندوق پستی: 364

* دریافت: 90/12/25 و پذیرش: 91/12/9

دست آوردن ویژگی‌های خاک در مناطق نمونه‌برداری نشده و کاربرد مناسب روش‌ها با در نظر گرفتن ماهیت و خواص داده‌ها بستگی دارد. رایج‌ترین روش‌های درون‌یابی استفاده شده در کشاورزی، روش وزن عکس فاصله و کریجینگ است (کراوچنکو و بولاک، 1997).

گاتوی و همکاران در سال 1996، ارزیابی دقت روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله به‌منظور تهیه نقشه خاک و مواد آلی برای استفاده متغیر کودها را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که انتخاب روش درون‌یابی مناسب برای تعیین قابلیت تغییرات مکانی متغیر خاک، بر دقت نقشه‌های حاصله می‌افزاید. تخمین‌های روش کریجینگ به مقادیر بالای ضریب تغییرات حساس نمی‌باشد و روش مناسبی است. ولنهاپت و همکاران در سال 1994 دو روش وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ را برای تهیه نقشه فسفر و پتاسیم در دو مزرعه مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که دقت نسبی روش کریجینگ بیشتر از روش وزن‌دهی عکس فاصله بود.

از آنجایی که مطالعه‌های صورت گرفته در مناطق مختلف نتایج متفاوتی دارد و نمی‌توان این نتایج را به سایر مناطق تعمیم داد، نیاز است که الگوی پراکنش مکانی متغیرهای خاک در مزارع مورد بررسی قرار گیرد و روش‌های مختلف زمین‌آمار با هم مقایسه شود تا بهترین روش برای هر متغیر در آن منطقه به‌دست آید. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، مقایسه روش‌های درون-یابی کریجینگ، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپالین (Radial Basis Functions (RBF)) در تهیه نقشه پراکنش متغیرهای کربن آلی (OC)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، منگنز (Mn) و مس (Cu) در اراضی شرق استان مازندران و تعیین روش مناسب در تخمین این متغیرها در نقاط نمونه‌برداری نشده بود. علت انتخاب این متغیرها اهمیت آن‌ها در مدیریت حاصل‌خیزی خاک بود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعاتی

اراضی کشاورزی شرق استان مازندران به مساحت تقریبی 80 هزار هکتار در محدوده طول جغرافیایی 53/055 درجه تا 53/332 شرقی و عرض جغرافیایی 36/541 درجه تا 36/839 شمالی، جهت مطالعه انتخاب گردید. رژیم رطوبتی منطقه یودیک و رژیم حرارتی آن ترمیک می‌باشد. منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل جلگه-های آبرفتی رودخانه‌ای است. به‌علاوه اراضی ساحلی، اراضی پست و دشت‌های دامنه‌ای در بخش‌های از منطقه

مادری خاک) و خصوصیات غیرذاتی (مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی، تناوب زراعی و فرسایش) قرار دارند (یمفاک و همکاران، 2005).

هم‌چنین مدیریت مزرعه براساس مجموعه‌ای از نقاط گسسته نمونه‌برداری، امکان پذیر نمی‌باشد و بایستی این داده‌ها در قالبی پیوسته از اطلاعات تبدیل گردند. بدین منظور، به‌کارگیری ابزارهای تجزیه و تحلیل و پردازش ریاضی و آماری، که توانایی به‌کارگیری هم‌زمان اطلاعات کمی و عددی متغیر مورد نظر و اطلاعات مربوط به موقعیت نسبی جغرافیایی داده‌ها را دارند، ضروری است. مجموعه‌ی روش‌های آماری مربوط را آمار مکانی می‌نامند. به‌طور خلاصه آمار مکانی به‌عنوان شاخه-ای از علم آمار قادر به توصیف و مدل‌سازی ساختار مکانی متغیر مورد نظر توسط تغییرنما، میان‌یابی و تخمین الگوی پراکنش مکانی متغیرها و تهیه نقشه‌های هم‌میزان از متغیرها است (محمدی، 1377).

همبستگی و تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک توسط پژوهش‌گران زیادی گزارش شده است. بوسان و همکاران (2003) تغییرات زمانی و مکانی کیفیت خاک را براساس آنالیز زمین آماری در منطقه تپه‌ی نیمه گرمسیری چین بررسی کردند. آنالیز زمین آماری نشان داد که تمام ویژگی‌های خاک (پتاسیم، فسفر، مواد آلی و pH) و تغییرات آن‌ها دارای ساختار مکانی بوده‌اند. میان‌یابی توسط کریجینگ (Kriging) یک ساختار مکانی مشابه‌ی را در میان این متغیرها نشان داد. هم‌چنین ایشان پیشنهاد کردند که پروسه ارزیابی کیفیت خاک با روش‌هایی زمین آمار به‌عنوان یک ابزار بالقوه برای پیش‌بینی تغییرات در مقیاس مزارع است.

لیو و همکاران (2004) وابستگی مکانی عناصر غذایی کم‌مصرف (Fe, Mn, Zn and Cu) در مزارع برنج استان ژیانگ واقع در جنوب غربی چین را با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بررسی کردند. توزیع مکانی هر چهار عنصر قابل دسترس به صورت معنی‌داری با فاکتورهای تشکیل خاک همبستگی داشتند. فعالیت‌های بشر مانند استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها، انتشار گازهای فاضلاب‌ها و آلودگی صنعتی اثر معنی‌داری روی توزیع مکانی این عناصر دارد.

پژوهش‌گران با اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم در خاک 30 مزرعه و ارزیابی روش‌هایی وزن‌دهی عکس فاصله (Distance Weighting (IDW) (Inverse) و کریجینگ را مورد بررسی قرار دادند که نتایج برتری روش کریجینگ را نشان دادند. آن‌ها بیان کردند که بهبود تخمین‌ها به انتخاب روش درون‌یابی مطلوب جهت به-

مورد مطالعه دیده می‌شود. نوع کاربری اراضی کشاورزی می‌باشد.

نمونه‌برداری خاک

ابتدا یک پایگاه داده‌ای مکانی و توصیفی از محدوده مورد مطالعه تهیه شد و با استفاده از نرم افزار ArcGIS لایه‌های اطلاعات مکانی (نقشه) و اطلاعات توصیفی (جداول) مانند محدوده اراضی و توپوگرافی تهیه گردید. کاربری اراضی منطقه کشاورزی بود. شبکه‌بندی با فواصل دو کیلومتری جهت تعیین موقعیت نمونه‌برداری در سیستم تصویر UTM ایجاد شد. سپس در موقعیت یاد شده در صحرا توسط GPS نمونه‌برداری در فصل تابستان سال 1387 صورت گرفت. نمونه‌ها به آزمایشگاه خاکشناسی موسسه تحقیقات خاک و آب منتقل و کربن آلی به روش والکلی و بلاک، فسفر قابل جذب به روش اولسن و و سامر، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم و عناصر کم‌مصرف (Cu, Fe, Mn) قابل جذب در خاک (با عصاره‌گیر DTPA استخراج و با دستگاه جذب اتمی قرائت شدند) اندازه‌گیری شدند (طهرانی و همکاران، 1386). علت انتخاب این متغیرها جهت مطالعه اهمیت آن‌ها در تغذیه گیاه می‌باشد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

الف) آمار توصیفی

مهمترین آماره‌های توصیفی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 محاسبه گردیدند.

ب) آمار مکانی

بررسی روند با استفاده از تغییرنا رویه‌ای (Surface variogram)

در این روش واریوگرام‌ها را در جهت‌های مختلف جغرافیایی رسم کرده و از این طریق می‌توان جهت‌های کم یا بدون روند را پیدا کرده و در همان جهت‌ها اقدام به تخمین مقادیر در نقاط نمونه‌برداری نشده نمود. استفاده از رویه واریوگرام در بررسی وجود روند، ابزار مناسبی است. در این حالت جهتی که بیشترین شیب را دارد، دارای وابستگی مکانی کم و جهت دارای شیب کم، دارای وابستگی مکانی زیاد است و این جهتی است که به‌منظور برآورد مقادیر در نقاط نمونه‌برداری نشده مورد استفاده قرار می‌گیرد (محمدی، 1385a).

محاسبه واریوگرام و برازش مدل‌های تئوری بر آن

تابع واریوگرام ابزار کلیدی در نظریه متغیرهای ناحیه‌ای است و براساس این فرض شکل گرفته که سمی-واریانس به‌طور نرمال توزیع یافته و داده‌ها از فرضیات پایایی پیروی می‌کنند. واریوگرام تجربی عبارت است از متوسط مجذور اختلاف بین دو مشاهده $Z(x+h)$ و $Z(x)$

در دو موقعیت مکانی واقع در فضای نمونه‌برداری است که توسط آرایه h از هم جدا شده‌اند. برای رسم واریوگرام باید مقادیر $2\hat{\gamma}$ را به ازای مقادیر مختلف طول گام (h) محاسبه نمود. سپس مقدار واریوگرام به‌ازای فواصل مختلف h در یک نمودار رسم گردد (حسنی‌پاک، 1386). $\hat{\gamma}(h)$: نیم‌تغییرنا برای N جفت داده که با فاصله h از هم جدا شده‌اند.

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

تغییرنا در حقیقت سنجش‌گر میانگین عدم شباهت داده‌ها در دو موقعیت مکانی x و $x+h$ به‌عنوان تابعی از فاصله بین آنها (h) است (یانگ و همکاران، 2005).

در این تحقیق از نرم افزار GS+ (version 5.1) برای رسم واریوگرام‌ها استفاده گردید مدلی که دارای کمترین مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و بیشترین ضریب تبیین R^2 بود، از میان مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و خطی و غیره بر واریوگرام تجربی برازش داده شد (شارما و همکاران، 2004).

روش‌های درونیابی

به منظور برآورد مقادیر متغیرهای خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده از روش‌های وزن‌دهی عکس‌فاصله، اسپلاین و کریجینگ استفاده گردید.

1- وزن‌دهی عکس‌فاصله

در این روش فرض براین است که نسبت همبستگی‌ها و شباهت‌ها بین همسایه‌ها متناسب است با فاصله بین آن‌ها که می‌تواند به‌صورت تابع عکس‌فاصله هر نقطه از نقاط همسایگی‌اش تعریف شود.

2- اسپلاین یا توابع شعاع محور

این روش می‌تواند روی داده‌های که به‌طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند اعمال شده و یک درونیابی چند متغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. (محمدی، 1385a).

3- کریجینگ

تخمین‌های کریجینگ به‌عنوان مجموع وزن‌دار شده غلظت نمونه‌های مجاور محاسبه می‌گردد. کریجینگ یک میانگین متحرک وزن‌دار است و به این صورت تعریف می‌شود:

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

$Z^*(x_0)$: مقدار تخمین زده شده. λ_i : وزنی که به نمونه $Z(x_i)$ تعلق می‌گیرد. $Z(x_i)$: مقدار نمونه i ام

آماره‌های ارزیابی تخمین‌گرها

با استفاده از آماره‌های زیر اقدام به مقایسه ترجیحی روش درونیابی می‌گردد.

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

تغییرنا رویه‌ای استفاده گردید (ترانگمار و همکاران، 1985). سیمای اراضی و عوارض و پدیده‌های طبیعی (مانند بستر رودخانه)، باعث ایجاد ناهمسان‌گردی در ساختار پیوستگی مکانی متغیرهای مورد نظر می‌گردند از آنجایی که منطقه مورد مطالعه عمدتاً شکل یکنواختی داشت (جلگه‌های آبرفتی رودخانه‌ای)، در مورد هیچ یک از متغیرها ناهمسان‌گردی مشاهده نشد. محمدمزمانی و همکاران (1386) و رفیع‌الحسینی و محمدی (1380) نیز همسان‌گردی ویژگی‌های خاک را گزارش نموده‌اند.

محاسبه و برازش مدل به واریوگرام

با توجه به همسان‌گرد بودن متغیرها، واریوگرام تجربی همه‌جته آن‌ها تهیه و از بین مدل‌های کروی، نمایی، خطی و گوسی مدل مناسب به آن‌ها برازش داده شد. (شکل 2). شایان ذکر است که تمامی این متغیرها دارای ساختار مکانی همراه با مدل‌های سقف‌دار می‌باشند. همچنین در مورد اکثر متغیرها، آستانه تخمین خوبی از واریانس متغیرها ارائه می‌دهد که نمایان‌گر تحقق فرضیه پایایی در داده‌هاست. احتمالاً علاوه بر توزیع مکانی مناسب داده‌ها دلیل دیگر این است که اندازه نمونه انتخابی از مجموعه داده اصلی به اندازه کافی بزرگ بوده است که به‌تواند ویژگی‌های کل داده‌های اصلی را آشکار سازد. پارامترهای واریوگرام مربوط به متغیرهای خاک در جدول 2 درج گردیده است. عدم وضوح یا دشواری در تبیین ساختار و الگوی پیوستگی مکانی، گاهی اوقات ناشی از کافی نبودن تعداد داده‌ها، خطاهای نمونه‌برداری و مقادیر مشکوک و پرت است (محمدی، 1385b).

ارزیابی مدل‌ها

در مطالعه حاضر به منظور انتخاب بهترین مدل جهت برازش به واریوگرام از پارامترهای مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد، به این صورت مدلی که دارای کمترین RSS و بیشترین R^2 بود جهت برازش انتخاب شد (ژنگ و همکاران، 2008). در این مطالعه بهترین مدل‌های برازش داده شده بر نیم-تغییرنا برای متغیرهای OC، P، K، Fe، Mn، Cu، به ترتیب گوسی، گوسی، نمایی، گوسی و کروی بودند. همچنین دامنه مؤثر برای همین متغیرها به ترتیب 58، 26، 58، 5، 58 و 3 کیلومتر به دست آمد. جدول 2 پارامترهای مدل‌های برازش شده بر واریوگرام را نشان می‌دهد.

وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک از طریق نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه + اثر قطعه‌ای (sill /nugget+sill)، بیان می‌شود. هرگاه این نسبت کمتر از 25 درصد باشد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف است، هر گاه بین 25

میانگین انحراف خطا¹

مقدار تخمین زده شده. $Z^*(x_i)$: مقدار

اندازه‌گیری شده

یک تخمین‌گر خوب بایستی منجر به خطای تخمین صفر یا نزدیک به صفر گردد. در این حالت اریب سیستماتیک وجود ندارد و یا حداقل است.

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

میانگین قدرمطلق خطا²

هرچقدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقت بیشتر روش است. مقدار این معیار همواره مثبت است.

ریشه میانگین مربعات خطا³

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i))^2}$$

ریشه میانگین مربعات خطا نیز هرچه به صفر نزدیکتر باشد، نشان دهنده دقت بیشتر است (وبستر و الیور، 2001).

نتایج و بحث

آمار توصیفی

در جدول 1 خلاصه آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده آورده شده است. هیچ کدام از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده عدد پرتی نداشتند. با استفاده از آزمون معنی‌داری چولگی نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و مشاهده گردید که چولگی متغیرهای P، K، Fe، Mn، Cu در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده و در نتیجه دارای یک توزیع غیر نرمال بودند، به منظور نرمال کردن آن‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده گردید (یوتست و همکاران، 2000). شمارا و همکاران (2002) بیان کردند که تغییرات در توزیع عناصر کم‌مصرف به فاکتورهای خاکی بستگی دارد. قابل ذکر است که هدف این مطالعه بررسی همبستگی مکانی این متغیرها در فاصله نمونه‌برداری انجام شده و مقایسه روش‌های درون‌یابی در تهیه نقشه پراکنش آن‌ها بوده است لذا کمبود و بیش‌بود این متغیرها برای نیاز گیاه در بحث این مطالعه نیست و به آن پرداخته نمی‌شود.

زمین‌آمار

بررسی همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی

به منظور بررسی وجود همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی از دو روش رسم تغییرنا در چهار جهت اصلی و رسم

1. Mean Bias Error (MBE)

2. Mean Absolute Error (MAE)

3. Root Mean Square Error (RMSE)

نمونه‌برداری نشده بود. همان‌طور که در بررسی منابع ذکر شد روش کریجینگ در اکثر موارد روش بهتری بود که در این پژوهش هم این نتیجه به دست آمد.

در شکل‌های 3 تا 8 نقشه‌های توزیع مکانی این متغیرها با سه روش آورده شده است. نقشه‌های خطای روش کریجینگ بالا بودن خطا را در مناطق حاشیه‌ای نشان می‌دهد، پس در این مناطق باید احتیاط بیشتری کرد. این خطا می‌تواند به دلایلی از جمله کم بودن تعداد نمونه‌های مورد استفاده در درون‌یابی در این مناطق باشد. از آنجایی که آهن و مس در فاصله نمونه‌برداری 2 کیلومتر همبستگی مکانی خوبی نداشتند، خطای تخمین این دو متغیر زیاد است (شکل 7 و 8 نقشه خطای تخمین این دو متغیر). از دامنه موثر 5 و 3 کیلومتر این دو متغیر نیز می‌توان به مناسب نبودن فاصله نمونه‌برداری پی برد، لذا به نقشه پهنه‌بندی غلظت این دو متغیر نمی‌توان اعتماد کرد و در فواصل نمونه‌برداری کمتر این نقشه باید تهیه شود.

نتیجه‌گیری کلی

فاصله نمونه‌برداری انتخاب شده در تحقیق حاضر به غیر از متغیرهای آهن و مس در مورد سایر متغیرها به خوبی توانست ساختار مکانی را نشان دهد، اما بهتر است برای پژوهش‌های دقیق‌تر از فاصله نمونه‌برداری کمتر استفاده کرد تا دقت نقشه‌های تخمین افزایش یابد.

به نظر می‌رسد اگر فاصله نمونه‌برداری درست انتخاب شود و تعداد نمونه کافی باشد روش کریجینگ در مورد متغیرهای خاک روش مناسب‌تری است. همچنین روش اسپلاین در مقایسه با دو روش دیگر نتوانست تخمین بهتری بدهد و به نظر می‌رسد در مورد متغیرهای خاک نتایج خوبی نمی‌دهد.

نقشه‌های پراکنش مکانی دو متغیر آهن و مس به دلیل خطای زیاد قابل استفاده نیست. همچنین در مورد سایر متغیرها باید در مناطق حاشیه نقشه‌ها که از دقت کافی برخوردار نیست احتیاط بیشتری کرد.

قابل ذکر است که نتایج این پژوهش در منطقه مورد مطالعه قابل استفاده است و قابل تعمیم به سایر مناطق نیست و نیاز است برای هر منطقه پراکنش مکانی متغیرهای خاک مورد مطالعه قرار گیرد.

تا 75 درصد باشد وابستگی مکانی متوسط و هر گاه این نسبت بیش از 75 درصد باشد وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک قوی است (ویو و همکاران، 2008). این نسبت در مورد همه متغیرها بیش از 75 درصد است لذا از وابستگی مکانی قوی برخوردارند. تغییرپذیری ویژگی‌های خاک ممکن است تحت تأثیر فاکتورهای داخلی مانند فاکتورهای تشکیل خاک و فاکتورهای خارجی مانند کوددهی باشد. غالباً وابستگی مکانی قوی در اثر فرایندهای داخلی (ذاتی) و وابستگی‌های مکانی ضعیف در اثر فرایندهای خارجی (مدیریتی) حاصل می‌شود (زانگ و همکاران، 2008). لذا فرایندهای داخلی مانند مواد مادری تأثیر بیشتری روی تغییرپذیری این متغیرها در منطقه داشته است. قابل ذکر است که منطقه مورد مطالعه اراضی کشاورزی تحت کشت بودند. لذا تأثیر فرایندهای مدیریتی مانند کوددهی را باید در نظر داشت که این فرایندها به مرور می‌توانند همبستگی مکانی متغیرهای خاک را تحت تأثیر قرار دهند.

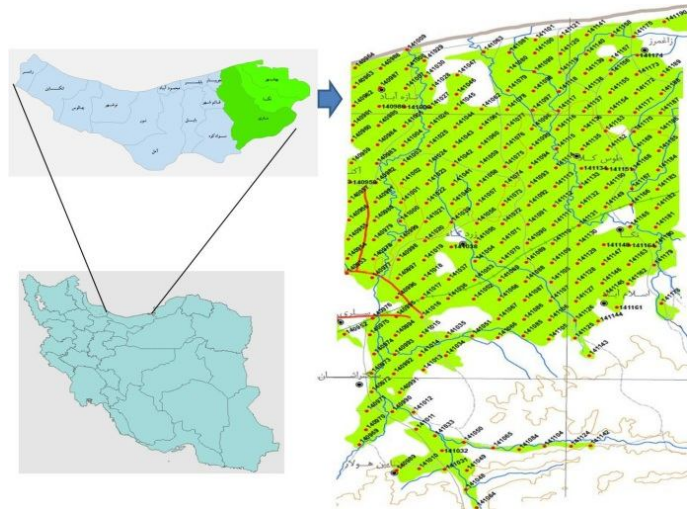
فاصله نمونه‌برداری دو کیلومتر برای متغیرهای Fe, Cu در منطقه مورد مطالعه مناسب نبود، چون حداکثر دامنه موثر برای این دو متغیر 5 و 3 کیلومتر به دست آمد لذا باید در فواصل کمتر تغییرپذیری آن‌ها بررسی شود. اما برای سایر متغیرها دامنه موثر مناسب بود لذا فاصله نمونه‌برداری 2 کیلومتر به خوبی توانسته همبستگی مکانی را نشان دهد. حتی می‌توان برای صرفه‌جویی در نمونه‌برداری این فاصله را بیشتر کرد. شیبی و همکاران (2008) نیز از فاصله نمونه‌برداری دو کیلومتر در بررسی پراکنش مکانی عناصر کم-مصرف در منطقه‌ای در چین، استفاده نمودند. لیو و همکاران (2008) در بررسی تغییرپذیری مکانی عنصر Cu از فاصله نمونه‌برداری 5 کیلومتر استفاده کردند.

مقایسه روش‌های تخمین

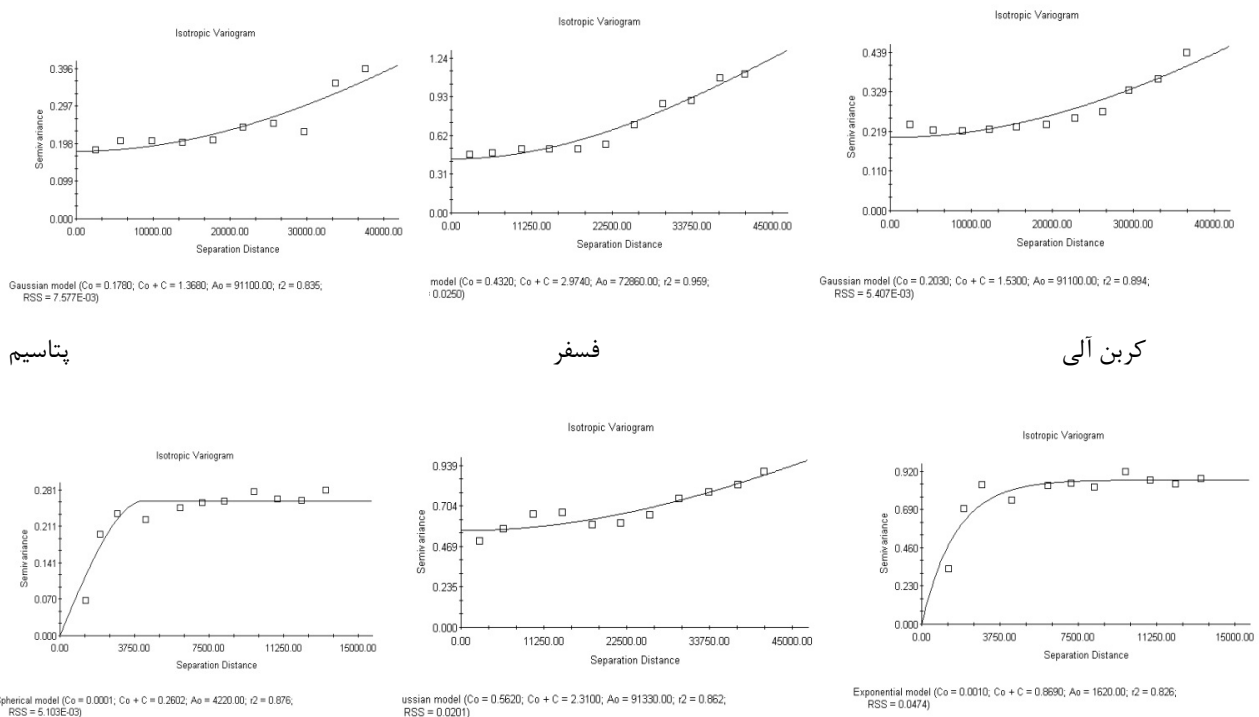
در جدول 3 مناسب‌ترین تخمین‌گر (از 16 نقطه در شعاع همسایگی جهت درون‌یابی استفاده شد) جهت برآورد هر متغیر آورده شده است. با توجه به نتایج این جدول برای متغیرهای Cu, Mn, Fe, K, P, OC. به ترتیب OK, OK, RBF, IDW, OK. به عنوان بهترین روش‌های درون‌یابی شناخته شدند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد برای اکثر متغیرها روش OK در مقایسه با دو روش دیگر، روش بهتری در تخمین متغیرها در نقاط

جدول 1- خلاصه آماری متغیرها قبل از تبدیل لگاریتمی

متغیر	تعداد	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیبگی
کربن آلی	188	2/50	0/44	2/94	1/67	0/49	0/25	-0/09
فسفر	188	89/20	2/4	91/6	23/43	18/89	1/78	2/94
پتاسیم	188	664/95	35/35	700/30	328/28	140/14	0/63	-0/12
آهن	188	146/46	2/84	149/30	31/78	30/34	1/70	2/44
منگنز	188	57/70	1/80	59/50	13/11	12/27	1/89	2/96
مس	188	8/54	0/62	9/16	3/14	1/73	1/42	1/73



شکل 1- منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری



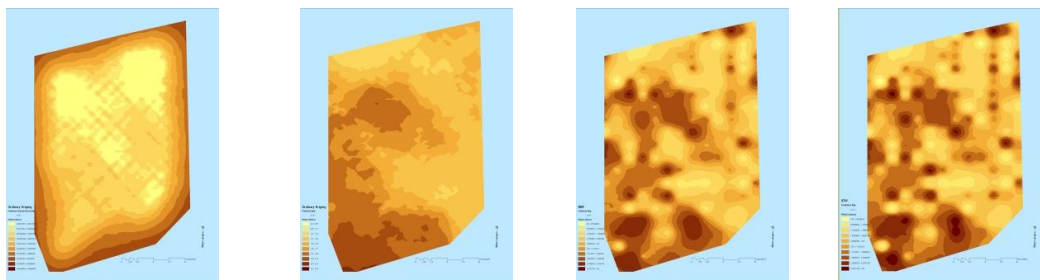
شکل 2- واریوگرام تجربی به همراه مدل نظری برازش داده شده

جدول 2- پارامترهای مدل‌های برازش داده شده بر واریوگرام متغیرها

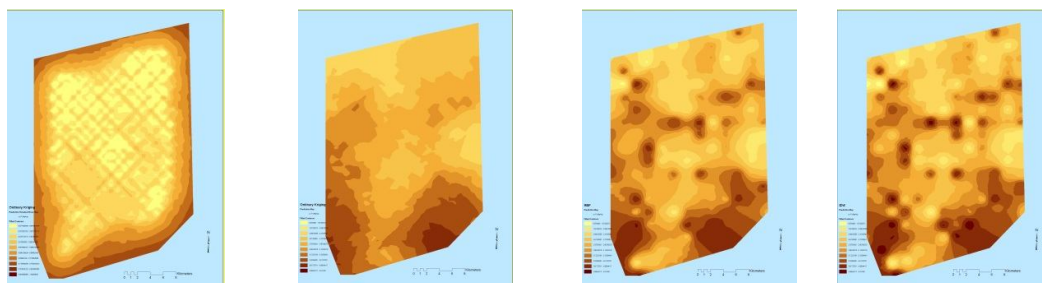
متغیر	مدل	اثرقطعه‌ای (C ₀)	آستانه (C)	دامنه مؤثر	C/C ₀ +C	R ²	RSS
کربن آلی	گوسی	0/20	1/53	58	0/87	0/89	5/41*10 ⁻³
فسفر	گوسی	0/43	2/97	26	0/86	0/96	0/03
پتاسیم	گوسی	0/18	1/37	58	0/87	0/84	7/58*10 ⁻³
آهن	نمایی	0/001	0/87	5	1	0/83	0/05
منگنز	گوسی	0/56	2/31	58	0/76	0/86	0/02
مس	کروی	0/01	0/26	3	1	0/88	5/1*10 ⁻³

جدول 3- مناسب‌ترین تخمین‌گرها جهت برآورد متغیرها در نقاط مختلف نمونه برداری نشده

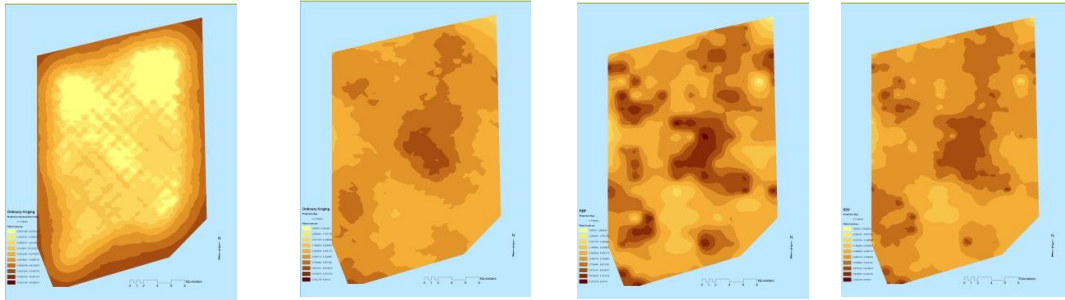
روش درون‌یابی	IDW			RBF			OK		
	RMSE	MAE	MBE	RMSE	MAE	MBE	RMSE	MAE	MBE
آماره	0/505	0/396	0/0017	0/511	0/401	0/0003	0/510	0/393	0/0002
کربن آلی	0/697	0/528	7*10 ⁻⁴	0/702	0/530	-9*10 ⁻⁴	0/690	0/527	2*10 ⁻⁵
فسفر	0/476	0/368	0/016	0/484	0/374	0/006	0/482	0/373	9*10 ⁻⁶
پتاسیم	0/871	0/705	-0/023	0/985	0/702	-0/004	0/888	0/709	-0/011
آهن	0/734	0/585	-0/0003	0/740	0/594	0/003	0/731	0/598	0/003
منگنز	0/480	0/372	0/0006	0/524	0/383	0/0002	0/498	0/370	4*10 ⁻⁶
مس									



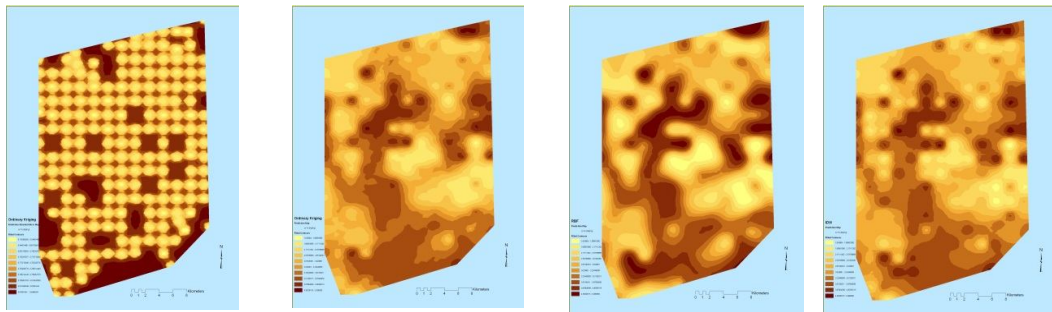
شکل 3- نقشه پراکنش کربن آلی با سه روش IDW، RBF و OK و نقشه خطای آن با روش OK به ترتیب از راست به چپ



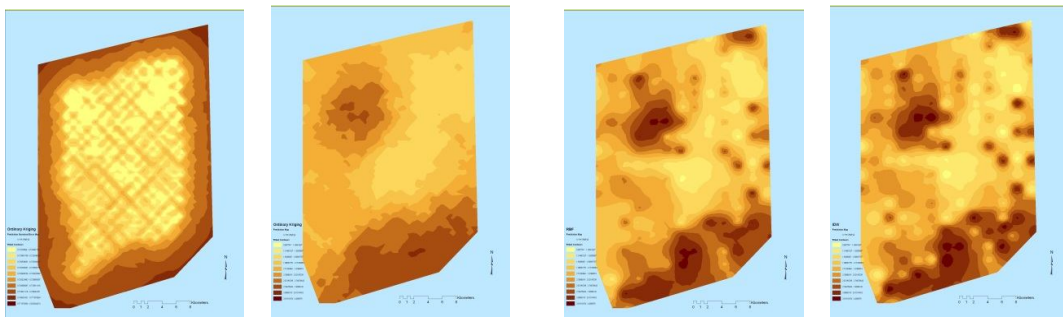
شکل 4- نقشه پراکنش فسفر با سه روش IDW، RBF و OK و نقشه خطای آن با روش OK به ترتیب از راست به چپ



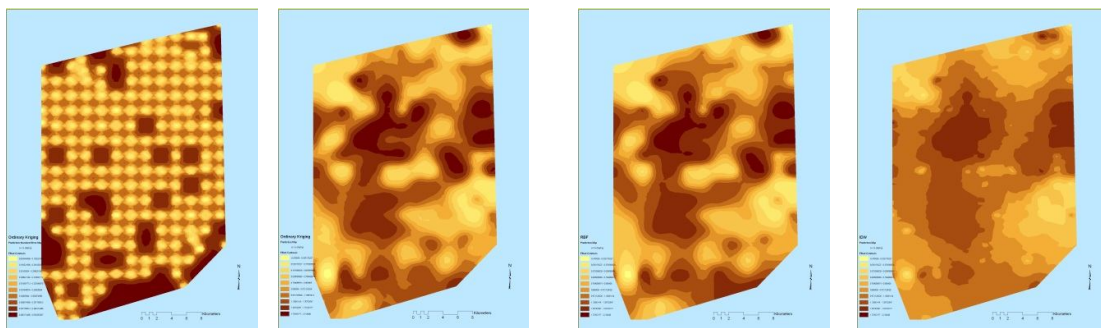
شکل 5- نقشه پراکنش پتاسیم با سه روش IDW، RBF و OK و نقشه خطای آن با روش OK به ترتیب از راست به چپ



شکل 6- نقشه پراکنش آهن با سه روش IDW، RBF و OK و نقشه خطای آن با روش OK به ترتیب از راست به چپ



شکل 7- نقشه پراکنش منگنز با سه روش IDW، RBF و OK و نقشه خطای آن با روش OK به ترتیب از راست به چپ



شکل 8- نقشه پراکنش مس با سه روش IDW، RBF و OK و نقشه خطای آن با روش OK به ترتیب از راست به چپ

فهرست منابع:

1. حسنی پاک، ع.ا. 1386. زمین آمار (ژئو استاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. 314 صفحه.
2. رفیع الحسینی، م و ج. محمدی. 1380. تجزیه و تحلیل پراکنش مکانی حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول برای مدیریت زراعی دقیق. مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد دانشکده کشاورزی، صفحه 178-180.
3. طهرانی، م.م.، م.ح. داودی و ف. مشیری. 1386. طرح تعیین پراکنش و توصیه عناصر کم مصرف در اراضی زراعی تحت کشت آبی کشور (فاز اول). موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران، ایران.
4. محمد زمانی، س، ایوبی. ش.ا. و ف. خرمالی. 1386. بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخندکلاته. استان گلستان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره چهارم (الف)، صفحه 79-91.
5. محمدی، ج. 1377. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک 1- کریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد دوم، شماره چهارم، صفحه 49-63.
6. محمدی، ج. 1385a. پدومتری 2 (آمار مکانی)، انتشارات پلک. 453 صفحه. تهران، ایران
7. محمدی، ج. 1385b. مروری بر منابع ژئواستاتستیک و کاربرد آن در خاکشناسی. مجله علوم خاک و آب. جلد 15. شماره 1. صفحه 109 تا 99.
8. Bosun, S. Z. and Z. Qiguo. 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.
9. Gotway, C. A., R. B. Ferguson, G. W. Herget and T. A. Peterson. 1996. Comparison of kriging and Inverse- Distance methods for mapping soil parameters. *J. Soil science.Soc. Am* 60: 1237-1247.
10. Kravchenko, A. and D. G. Bullock. 1997. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *J. Agron.* 91: 3930-400.
11. Liu, X. M., J. M. Xu, M. k. Zhang, and X. F. Yu. 2004. Application of Geostatistics and Gis Technique to characterize spatial variabilities of bioavailable micronutrients in paddy soils. *J. Environmental geology.* 46: 189-194.
12. Liu, X., J. Xu, M. Zhang, B. Si and K. Zhao. 2008. Spatial variability of soil available Zn and Cu in paddy rice fields of China. *J. Environmental Geology* 55: 1569-1576
13. Sharma, B. D., H. Arora, R. Kumar and V. K. Nayyar. 2004. Relationships between soil characteristics and total and DTPA extractable micronutrients in inceptisols of Punjab. *J. Communications in soil science and plant analysis.* 35. 799-818.
14. Sharma, B. D., V. K. Aggarwal, S. S. Mukhopadhyay and H. Arora. 2002. Micronutrient distribution and their association whit soil properties in Entisol of Punjab, India. *J. Agricultural.*7: 315-322.
15. Shi, J., J. Xu and P. Huang. 2008. Spatial variability of status of micronutrients in selected soils around Taihu Lake, China. *J. Soil sediments.* 8: 415- 423.
16. Trangmar, B. B., R. S. Yost and G. Uehara. 1985. Application of Geostatistics to spatial studies of soil properties. *J. Advances in Agronomy.* 38: 45-94.
17. Utset, A., T. Lopez and M. Diaz. 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.

18. Vieira, S. R. and A. Paz Gonzalez. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia*, Campinas 62: 127-138.
19. Webster, R. and M. A. Oliver. 2001. *Geostatistics for environmental science*. John Wiley and sons. LTD. Toronto, Canada. PP: 271.
20. Wollenhaupt, N. C., R. P. Wolkowski and M. K. Clayton. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.* 7: 441-448.
21. Wu, W., D. T. Xiu and H. B. Liu. 2008. Spatial variability of soil heavy metals in the three gorges area, Multivariate and Geostatistical analysis. *J. Environ Moint Assess.*
22. Yemefack, M., D. G. Rossiter and R. Njomgang. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma* 125: 117-143.
23. Yong, J., L. Wenju, W. wen and Z. Yuge. 2005. Spatial heterogeneity of DTPA-extractable zinc in cultivated soils induced by city pollution and land use. *Science in China Ser. C life Science.* 48: 82-91.
24. Zhang, X., F. Lin, Y. Jiang, K. Wang and X. L. Feng. 2008. Variability of total and available copper concentrations in relation to land use and soil properties in Yangtz river deltabof China. *J. Environ Moint Assess.*
25. Zheng, Y. M., T. B. Chen and J. Z. He. 2008. Multivariate Geostatistical analysis of heavy metals in top soils from Beijing, China. *J. Soil Sediments.* 8 (1): 51-58.