

بررسی پراکنش مکانی عنصر روی و تعیین حد بحرانی آن برای سویا در شرق استان مازندران

قباد جلالی^{۱*}، محمدجعفر ملکوتی، محمدمهدی طهرانی و وحیدرضا قاسمی دهکردی

دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس؛ ghubad.jalali@yahoo.com

استاد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی؛ mjmjalakouti@hotmail.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ mtehrani2000@yahoo.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ v_gh@yahoo.com

چکیده

در کشاورزی دقیق تعیین تغییرپذیری ویژگی‌های خاک از اهمیت والایی برخوردار می‌باشد. به‌منظور دستیابی به عملکرد بیشتر با مدیریت بهتر، دانش کاملی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و حد بحرانی عناصر غذایی در مزارع لازم می‌باشد. در همین راستا، زمین آمار یکی از روش‌هایی است که امروزه در جهت بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک بکار می‌رود. در این مطالعه ۱۸۸ نمونه خاک سطحی از مزارع شرق استان مازندران در سال ۱۳۸۷ جمع‌آوری شد. مقادیر pH، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، عناصر ریزمغذی (آهن، منگنز، روی و مس) قابل عصاره‌گیری با DTPA و بافت خاک نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. همبستگی مکانی متغیر روی و بهترین مدل برازش داده شده (مدل گوسی) بوسیله واریوگرام مشخص و دامنه موثر برای این متغیر ۴۰ کیلومتر بدست آمد. به‌منظور تعیین نقشه پراکنش این متغیر، روش‌های درون‌یابی کریجینگ، عکس فاصله وزنی و اسپلاین مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین دقت این روش‌ها از طریق معیارهای آماری دقت (MAE)، انحراف (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. جهت تعیین حد بحرانی روی در خاک برای گیاه سویا (*Glycine max L.*)، یک آزمایش گلدانی با نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از ۲۹ مزرعه (از بین ۱۸۸ مزرعه مورد مطالعه) که حاوی غلظت‌های متفاوتی از این عنصر بودند، اجراء شد. این آزمایش در مرکز تحقیقات کشاورزی استان مازندران به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار (۱۷۴ گلدان ۵ کیلوگرمی) انجام شد. فاکتور اول شامل ۲۹ نوع خاک و فاکتور دوم شامل دو سطح روی (۰ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود. پس از برداشت و تعیین عملکرد نسبی، حد بحرانی روی در خاک برای دست‌یابی به ۹۵ درصد حداکثر عملکرد نسبی با استفاده از روش تصویری کیت - نلسون برابر ۱/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بدست آمد. با تعیین حد بحرانی این عنصر در خاک‌های زراعی منطقه و استفاده از نقشه احتمال آن با روش کریجینگ شاخص مشخص شد که حدود ۸۰ درصد از اراضی منطقه دچار کمبود روی هستند.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری خاک، روی، زمین آمار، کریجینگ شاخص، حد بحرانی، سویا

^۱ نویسنده مسئول، آدرس: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی، صندوق پستی ۳۳۶-۱۴۱۱۵

مقدمه

برای تولید غذای یک جمعیت در حال رشد، بدون آسیب و تخریب محیط زیست، دانش عمیق‌تر از عوامل موثر در سیستم تولید مورد نیاز است. کشاورزی دقیق، روشی است که تولید پایدار محصولات کشاورزی را فراهم می‌نماید. کمبود روی یکی از مهمترین و گسترده‌ترین کمبودهای عناصر غذایی کم‌مصرف در دنیا می‌باشد که سبب کاهش در تولیدات محصولات زراعی می‌گردد (ککمک، ۲۰۰۸). این کمبود در خاک‌های زراعی دنیا خصوصاً آهکی عمومیت دارد (ملکوتی، ۲۰۰۸). نتایج تجزیه خاک‌های زراعی ایران و همچنین گیاهان موید آن است که کمبود روی در این خاک‌ها و گیاهان به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن خاک‌های زراعی، pH بالا، حضور بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری، شوری خاک، پایین بودن مواد آلی خاک، مصرف فراوان و بیش از نیاز کودهای فسفاتی و نهایتاً عدم رواج مصرف کودهای محتوی روی شایع است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

سویا یکی از گیاهان حساس به کمبود روی می‌باشد (ملکوتی و سپهر، ۱۳۸۲). اطلاع از روشی که بتواند وضعیت این عنصر را قبل از کشت ارزیابی کند و مقدار روی مورد نیاز گیاه را تعیین کند ضروری است. از میان روش‌های مختلف ارزیابی حاصلخیزی خاک، آزمون خاک روشی متداول است که برای توصیه کودی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما انجام این امر به دلیل کمبود امکانات، زمان و هزینه‌های زیاد عملاً در سطوح محدودی صورت می‌گیرد. بنابراین مصرف کودهای شیمیایی در بسیاری موارد با دقت کمی انجام می‌شود که این امر باعث کاهش عملکرد (کمی و کیفی) محصولات، هدررفت سرمایه، آلودگی محیط زیست و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی می‌گردد (طهرانی و همکاران، ۱۳۸۶، ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

از سوی دیگر اعمال نهاده‌ها به سیستم خاک در قالب مدیریتی دقیق و مبتنی بر رفتار پویا و تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های مختلف خاک، نیازمند رعایت اصل ضرورت‌ها و نیازهای هر موقعیت جغرافیایی برای نهاده‌های مورد نظر است. این نوع مدیریت را اصطلاحاً مدیریت ویژه مکانی می‌نامند. این مدیریت پایه و اساس کشاورزی دقیق است (محمدی، ۱۳۸۵). فهم تغییرات مکانی مزرعه و ارتباط آن با عملکرد محصول، مبنایی برای بهبود استفاده از نهاده‌ها، افزایش عملکرد محصول و مزایای اقتصادی و زیست محیطی را فراهم می‌کند (ویرگیلیو و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین مدیریت مزرعه بر اساس مجموعه‌ای از نقاط گسسته نمونه‌برداری، امکان‌پذیر نمی‌باشد و باید این داده‌ها

در قالبی پیوسته از اطلاعات تبدیل‌گردنده بدین منظور *ArcGIS* و کارگیری 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. این شاخه از علم آمار قادر به توصیف و مدل‌سازی ساختار مکانی متغیر مورد نظر توسط واریوگرام، میان‌یابی و تخمین الگوی پراکنش مکانی متغیرها و تهیه نقشه‌های هم‌میزان از متغیرها است (محمدی، ۱۳۸۵).

تغییرات مکانی خاک، به‌عنوان یکی از متغیرهای محیطی، عبارت از تغییر در یک ویژگی خاک به‌عنوان تابعی از موقعیت جغرافیایی است (حسینی‌پاک، ۱۳۸۶). اطلاعات در مورد ویژگی‌های خاک، برای مدیریت اراضی زراعی و تصمیم‌گیری جهت انتخاب استراتژی‌های خاص برای مطالعه تفاوت ویژگی‌های خاک در مناطق گسترده‌تر کمک می‌نماید (فرانزن و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین هدف اصلی این پژوهش تعیین حد بحرانی روی برای سویا در شرق استان مازندران بود که برای بررسی دقیق‌تر پراکنش مکانی و احتمال کمبود و بیش‌بود آن نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۸۸-۱۳۸۷ در مزارع شرق استان مازندران انجام شد. بدین‌منظور ابتدا پایگاه داده‌ای مکانی و توصیفی در محدوده مورد مطالعه ایجاد و با استفاده از نرم-افزار ArcGIS لایه‌های اطلاعات مکانی (نقشه) و اطلاعات توصیفی (جداول) مانند محدوده اراضی، پستی و بلندی و غیره تهیه گردید. سپس شبکه‌بندی جهت تعیین موقعیت نمونه‌برداری در سیستم تصویر UTM ایجاد شد. با ورود مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری به دستگاه GPS حضور در موقعیت یاد شده، ۱۸۸ نمونه خاک سطحی جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برای انجام آزمایش به آزمایشگاه منتقل شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل (CaCO₃) به روش راول (۱۹۹۶)، کربن آلی (OC) به روش اصلاح شده والکی و بلاک، اسیدیته (pH) در گل اشباع، فسفر (P) قابل جذب به روش اولسن و سامر، پتاسیم (K) قابل جذب به روش استات آمونیوم یک نرمال (احیایی، ۱۳۷۶) و عناصر ریزمغذی (آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn) و مس (Cu)) به روش DTPA اندازه‌گیری شدند (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸).

کشت سویا به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار (۱۷۴ گلدان ۵ کیلوگرمی) در تابستان ۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی استان مازندران اجرا شد. فاکتور اول شامل ۲۹ نوع خاک و فاکتور دوم شامل دو سطح روی (۰ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود (طهرانی و همکاران، ۱۳۸۶).

تعیین نقشه احتمال

پس از تعیین حد بحرانی و استفاده از این حد به عنوان شاخص، با استفاده از سه روش کریجینگ گسسته^۹، کریجینگ شاخص^{۱۰} و کریجینگ احتمال^{۱۱} نقشه احتمال روی تهیه و با استفاده از آماره‌های MAE، MBE و RMSE مناسب‌ترین آن انتخاب شد (محمدی، ۱۳۸۵).

نتایج و بحث

آمار توصیفی

برخی از خصوصیات آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده در جدول ۱ ارائه شده است (آهک، کربن آلی، رس، سیلت و شن برحسب درصد و فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم). بستر خاک‌های منطقه مورد مطالعه آهکی (با میانگین ۲۰ درصد) بودند. یکی از دلایل بالا بودن میانگین فسفر و پتاسیم، مصرف بیش از نیاز این عناصر در مزارع منطقه است. همچنین در اکثر مزارع غلظت آهن و منگنز بالا بوده که از مهمترین دلایل آن می‌توان به وجود شرایط احیاء در برخی فصول که باعث افزایش حلالیت این عناصر در خاک می‌شود اشاره کرد. غلظت روی در اکثر مزارع کمتر از یک میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. از دلایل آن می‌توان به عدم مصرف این عنصر، وجود شرایط آهکی و شرایط غرقاب در برخی فصول اشاره کرد.

برای بررسی تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، از آزمون معنی‌داری چولگی استفاده شد. روی دارای توزیع نرمال نبود، لذا با روش چهار برابر انحراف معیار به علاوه و منهای میانگین وجود عدد پرت مورد بررسی قرار گرفت (چان و همکاران، ۱۹۹۴). اما با این روش عدد پرتی وجود نداشت، بنابراین از تبدیل لگاریتمی جهت نرمال نمودن داده‌ها استفاده گردید (شکل ۱).

در این پژوهش از تحلیل همبستگی برای تشخیص ارتباط بین روی و متغیرهای خاک استفاده گردید (جدول ۲). همچنین لیو و همکاران (۲۰۰۴) برای درک اثر

تجزیه و تحلیل‌های آماری

آمار توصیفی و نرمال بودن داده‌ها از طریق آماره‌های چولگی و کشیدگی و رسم هیستوگرام‌ها با نرم‌افزار SAS (version 9.1) صورت گرفت. بهترین مدل تئوری با استفاده از نیم‌تغییرنما^۱ به داده‌ها برازش داده شد. نیم-تغییرنما نموداری است که واریانس بین نقاط جدا از هم را به عنوان تابعی از فاصله جدا کننده آن‌ها رسم می‌کند (یانگ و همکاران، ۲۰۰۵). از نرم افزار GS+ (version 5.1) برای رسم نیم‌تغییرنما استفاده گردید. مدلی که دارای کمترین مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و بیشترین ضریب تبیین (R^2) بود انتخاب شد (رابرتسون، ۲۰۰۸).

تهیه نقشه پراکنش

به منظور برآورد مقادیر متغیرهای خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده از روش‌های عکس فاصله وزنی^۲ (IDW)، اسپلاین^۳ (RBF) و کریجینگ^۴ استفاده گردید (وو و همکاران، ۲۰۰۹؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۴) نوع کریجینگ مورد استفاده در این مطالعه کریجینگ معمولی^۵ بود. بدین ترتیب که پس از تبدیل داده‌ها، از ۱۶ نقطه نمونه‌برداری در نزدیک‌ترین فاصله به نقطه تخمین استفاده و شعاع جستجو نیز مشابه با دامنه متغیر در نظر گرفته شد. داده‌هایی که توزیع نرمال نداشتند، تبدیل لگاریتمی شدند، بنابراین از توزیع لاگ نرمال کریجینگ تبعیت کردند. به علاوه از روش IDW با پارامترهای نمایی یک تا دو نیز برای تعیین درجه تغییرپذیری مکانی استفاده شد (فرانزن و پک، ۱۹۹۵). برای تعیین اینکه کدام روش درون‌یابی توانسته تخمین دقیق‌تری ایجاد نماید، با استفاده از داده‌های نرمال شده و به کمک آماره‌های میانگین انحراف خطا^۶ (MBE)، میانگین قدرمطلق خطا^۷ (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا^۸ (RMSE) همچنین مقایسه نقشه‌های بدست آمده اقدام به مقایسه ترجیحی روش‌های درون‌یابی شد (محمدی، ۱۳۷۷). برای تهیه نقشه‌ها از نرم افزار ArcGIS (version 9.3) استفاده شد.

تعیین حد بحرانی

به منظور تعیین حد بحرانی روی در خاک برای گیاه سویا، از ۲۹ مزرعه (از بین ۱۸۸ مزرعه مورد مطالعه) که حاوی غلظت‌های متفاوت روی بودند، نمونه خاک تهیه و

1. Semivariogram

2. Inverse Distance Weighting

3. Radial Basis Functions

4. Kriging

5. Ordinary Kriging

6. Mean Bias Error

7. Mean Absolute Error

8. Root Mean Square Error

9. Disjunctive Kriging

10. Indicator Kriging

11. Probability Kriging

فاصله نمونه برداری انتخاب شده (۱۰ کیلومتر) و جوی *Archive of SID* توانست ساختار مکانی و تغییرپذیری مکانی این متغیر را نشان دهد، (حتی برای صرفه جویی در نمونه برداری می توان از فاصله ۴ کیلومتر استفاده کرد). شی و همکاران (۲۰۰۸) نیز از فاصله نمونه برداری دو کیلومتر در بررسی پراکنش مکانی عناصر کم مصرف در منطقه ای در چین، استفاده نمودند. لیو و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تغییرپذیری مکانی دو عنصر مس و روی، از فاصله نمونه برداری پنج کیلومتر استفاده نمودند.

توزیع مکانی

در جدول ۴ مناسب ترین تخمین گر جهت برآورد مقدار روی در نقاط نمونه برداری نشده آورده شده است. مقایسه مقدار آماره ها در سه روش نشان داد، که روش OK نسبت به دو روش دیگر دقت بهتری دارد، همچنین مقایسه نقشه های بدست آمده با هر سه روش این مورد را تصدیق کرد. در شکل ۵ نقشه پراکنش مکانی و خطای تخمین آن، با روش OK گنجانده شده است. غلظت روی در بیشتر مناطق شمال، مرکز و شرق (مناطق کم رنگ نقشه) کمتر از یک میلی گرم بر کیلوگرم خاک بود. به غیر از مناطق حاشیه ای که تعداد نمونه در آن مناطق کم بوده، دقت نقشه خطای تخمین خوب بود.

حد بحرانی

پس از برداشت گیاه و آماده سازی نمونه ها، غلظت عناصر فسفر، آهن، منگنز، روی و مس در گیاه و عملکرد (وزن خشک گیاه) اندازه گیری شد. نتایج تجزیه واریانس این متغیرها (جدول ۵) نشان داد که بین ۲۹ نوع خاک انتخاب شده، در جذب این عناصر توسط گیاه و عملکرد تفاوت معنی دار وجود داشت که مویید انتخاب صحیح این نمونه خاکها بود. بین دو سطح روی خاک (صفر و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم) فقط در غلظت روی در گیاه و عملکرد اثر معنی دار وجود داشت. اثر متقابل خاک و سطوح روی برای روی و آهن گیاه معنی دار بود.

پس از برداشت و تعیین عملکرد نسبی، حد بحرانی این عنصر برای عملکرد نسبی ۹۵ درصد با روش تصویری کیت- نلسون برابر ۱/۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل ۶). بدیهی است این حد بحرانی بدست آمده در منطقه به عوامل متعددی از جمله عوامل محیطی، درصد رس، درصد مواد آلی، نوع رس، درصد کربنات کلسیم و عملکرد مورد انتظار بستگی دارد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج این پژوهش با نتایج کنگرشاهی و ملکوتی (۱۳۸۲) مطابقت داشت. آنان حد بحرانی روی را در شرق استان مازندران با همین روش ۱/۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بدست آوردند.

متغیرهای خاک بر عناصر کم مصرف قابل دسترس از تحلیل همبستگی استفاده نمودند.

این ماتریس رابطه مثبت و معنی داری در سطح احتمال یک درصد بین روی با متغیرهای پتاسیم، فسفر و کربن آلی خاک نشان داد. همچنین نتایج لیو و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که روی با مواد آلی در سطح احتمال پنج درصد همبستگی مثبت و معنی دار دارد.

زمین آمار

به منظور بررسی وجود همسان گردی و ناهمسان گردی از دو روش رسم نیم تغییرنا در چهار جهت اصلی و رسم نیم تغییرنا رویه ای^۱ استفاده گردید. در حالت همسان-گردی، تغییرات در جهت های مختلف مشابه و نسبت ناهمسان گردی برابر یک است (ترانگمار و همکاران، ۱۹۸۵). روی در تمام جهت ها همسان گرد بود (شکل ۲ و ۳). محمدزمانی و همکاران (۱۳۸۶) و رفیع الحسینی و محمدی (۱۳۸۰) نیز در مطالعه های خود همسان گردی ویژگی های خاک را گزارش نموده اند.

محاسبه و برازش مدل به نیم تغییرنا

با توجه به همسان گرد بودن متغیر روی، نیم تغییرنا تجربی همه جهته آن تهیه و مدل مناسب برازش داده شد (شکل ۴). شایان ذکر است که این متغیر دارای ساختار مکانی همراه با مدل سقف دار بود. همچنین آستانه، تخمین خوبی از واریانس متغیر ارائه داد که نمایان گر تحقق فرضیه پایایی در این متغیر است. احتمالاً علاوه بر توزیع مکانی مناسب داده ها دلیل دیگر این است که اندازه نمونه انتخابی از مجموعه داده اصلی به اندازه کافی بزرگ بوده است که بتواند ویژگی های کل داده های اصلی را آشکار سازد. عدم وضوح یا دشواری در تبیین ساختار و الگوی پیوستگی مکانی، گاهی اوقات ناشی از کافی نبودن تعداد داده ها، خطاهای نمونه برداری و مقادیر مشکوک و پرت است (محمدی، ۱۳۸۵).

در این مطالعه بهترین مدل برازش داده شده بر نیم-تغییرنا مدل گوسی بود. همچنین دامنه موثر برای این متغیر ۴۰ کیلومتر بدست آمد. جدول ۳ پارامترهای مدل برازش شده بر نیم تغییرنا را نشان می دهد. شکل مدل تحت تأثیر فرآیندهای اثرگذار بر رفتار متغیر است (وو و همکاران، ۲۰۰۸). روی دارای وابستگی مکانی قوی در منطقه مورد مطالعه بود. این حالت بیان گر این است که عوامل ذاتی چون مواد مادری، تأثیر بیشتری بر تغییرپذیری این ویژگی در منطقه مورد مطالعه دارند (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸).

¹ Surface variogram

نمونه‌برداری در این مناطق اشاره کرد که *Archive of SID* تأثیر منفی می‌گذارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که برای مجموعه داده‌های با تعداد مناسب و کافی، کریجینگ نسبت به روش‌های IDW و RBF تخمین بهتری داشت. انتخاب فاصله نمونه‌برداری دو کیلومتر برای عنصر روی مناسب بود. در نهایت با تعیین حد بحرانی روی در خاک‌های زراعی منطقه و استفاده از نقشه احتمال آن با روش کریجینگ شاخص مشخص شد که حدود ۸۰ درصد از اراضی منطقه دچار کمبود این عنصر بودند. بنابراین، برای افزایش عملکرد کمی و کیفی سویا در خاک‌های زراعی منطقه، نیاز مبرم به مصرف کودهای محتوی روی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از آقای دکتر علی چراتی عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران و همکاران محترم ایشان و نیز از کارکنان آزمایشگاه شیمی و حاصلخیزی موسسه تحقیقات خاک و آب کمال تشکر را داریم.

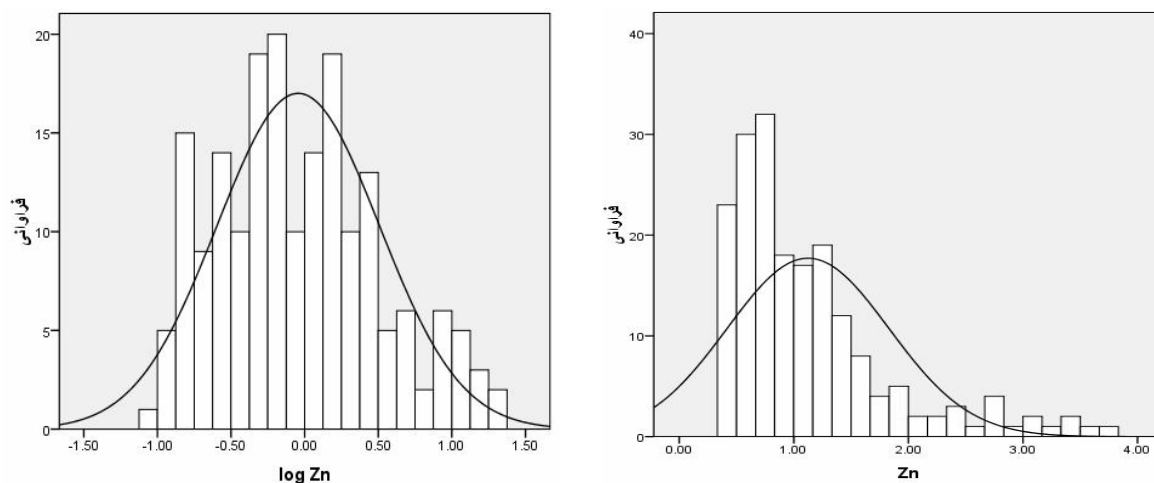
تعیین نقشه احتمال روی

نتایج نشان داد که نقشه احتمال بدست آمده با روش کریجینگ شاخص دارای دقت بیشتر و خطای تخمین کمتر بود (جدول ۶). همچنین این نقشه نشان داد که محدوده شرقی منطقه مورد مطالعه (به سمت مناطق غربی شهرستان‌های نکاء و بهشهر) بیشترین احتمال کمبود را دارا است (شکل ۷). به طور کلی یکی از مزایای نقشه احتمال این است که به آسانی می‌توان مشخص نمود که هر محدوده با چه احتمالی از حد مورد نظر (حد بحرانی ۱/۴۰) کمتر یا بیشتر است، که با نقشه پراکنش نمی‌توان آن را مشخص کرد. در واقع نقشه پراکنش روند تغییرپذیری متغیر مورد نظر را نشان می‌دهد. به همین دلیل در این پژوهش برای کاربردی‌تر شدن نقشه‌های تولیدی و در نظر گرفتن نیاز گیاه و همچنین بدست آوردن نقشه احتمال، حد بحرانی برای گیاه سویا بدست آمد. باید توجه داشت که برای استفاده از این نقشه مناطق حاشیه آن از دقت کافی برخوردار نیستند، لذا باید در آنجا احتیاط بیشتری کرد. از دلایل آن می‌توان به تعداد کم نقاط

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده

متغیر	تعداد	دامنه	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار
pH	۱۸۸	۱/۲۴	۶/۷۴	۷/۹۸	۷/۴۳	۰/۲۳
CaCO ₃	۱۸۸	۴۲/۸۶	۰/۵۹	۴۳/۴۵	۲۰/۷۷	۹/۸۴
OC	۱۸۸	۲/۵۰	۰/۴۴	۲/۹۴	۱/۶۷	۰/۴۹
clay	۱۸۸	۵۸/۰۰	۸	۶۶/۰۰	۴۰/۵۳	۱۰/۵۳
silt	۱۸۸	۵۶/۰۰	۱۶	۷۲/۰۰	۴۵/۰۳	۹/۴۵
sand	۱۸۸	۶۰	۴	۶۴	۱۴/۴۵	۹/۴۴
P	۱۸۸	۸۹/۲۰	۲/۴	۹۱/۶	۲۳/۴۳	۱۸/۸۹
K	۱۸۸	۶۶۴/۹۵	۳۵/۳۵	۷۰۰/۳۰	۳۲۸/۲۸	۱۴۰/۱۴
Fe	۱۸۸	۱۴۶/۴۶	۲/۸۴	۱۴۹/۳۰	۳۱/۷۸	۳۰/۳۴
Mn	۱۸۸	۵۷/۷۰	۱/۸	۵۹/۵۰	۱۳/۱۱	۱۲/۲۷
Cu	۱۸۸	۸/۵۴	۰/۶۲	۹/۱۶	۳/۱۴	۱/۷۳
Zn	۱۸۸	۳/۳۳	۰/۳۷	۳/۷	۱/۱۲	۰/۷۰

Archive of SID

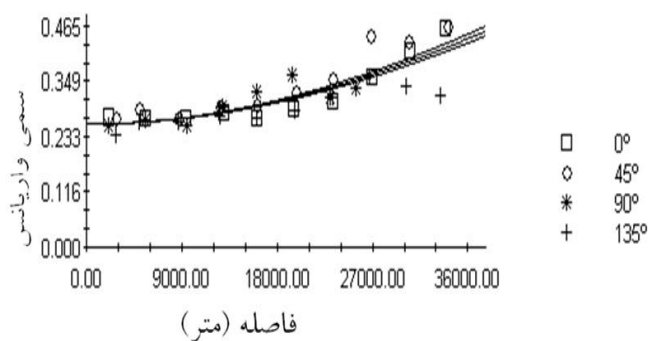


شکل ۱- نمودار توزیع فراوانی روی، قبل و بعد از تبدیل لگاریتمی (به ترتیب از راست به چپ)

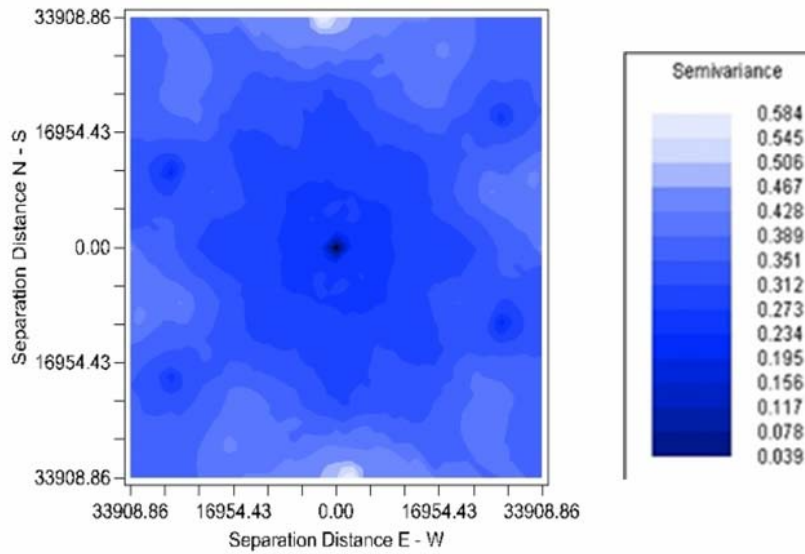
جدول ۲- ماتریس همبستگی روی و متغیرهای خاک

	pH	CaCO ₃	OC	clay	silt	sand	P	K	Fe	Mn	Cu	Zn
pH	۱											
CaCO ₃	.۲۳*	۱										
OC	-.۰۹	-.۳۰**	۱									
clay	.۰۷	-.۲۱	.۲۹*	۱								
silt	-.۱۰	.۱۹	-.۱۳	-.۵۶**	۱							
sand	.۰۲	.۰۵	-.۲۰	-.۵۶**	-.۳۸**	۱						
P	.۰۹	-.۱۹	.۲۹*	-.۰۶	.۰۳	.۰۵	۱					
K	.۰۵	-.۱۱	.۳۳*	.۱۰	-.۰۶	-.۰۵	.۳۵**	۱				
Fe	-.۱۱	-.۰۸	.۲۲*	.۲۱	-.۱۱	-.۱۲	-.۰۵	-.۳۶**	۱			
Mn	-.۴۱**	-.۳۱*	.۲۵*	.۱۴	-.۰۲	-.۱۴	-.۰۲	-.۱۵	.۵۱**	۱		
Cu	-.۰۲	-.۰۷	.۲۶*	.۳۸**	-.۲۱	-.۲۱	.۰۰	-.۱۷	.۸۸**	.۳۶**	۱	
Zn	-.۰۷	-.۱۲	.۴۵**	-.۰۴	.۰۱	.۰۳	.۵۶**	.۴۷**	.۰۴	.۰۱۴	.۰۹	۱

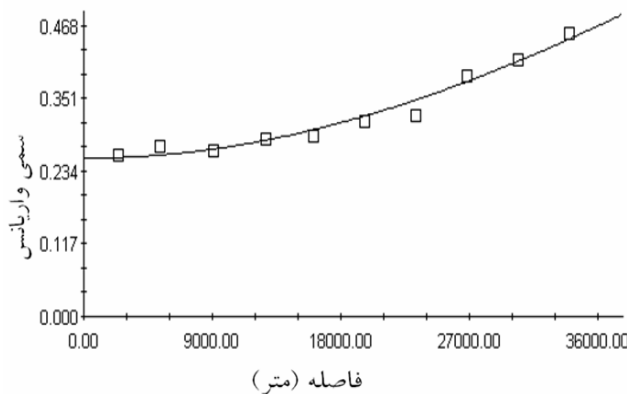
(** و * به ترتیب معنی دار در سطوح ۱ و ۵ درصد)



شکل ۲- نیم تغییرنمای روی در جهت‌های مختلف



شکل ۳- نیم تغییرنمای روبه‌ای روی



شکل ۴- نیم تغییرنمای تجربی به همراه مدل نظری برازش داده شده (مدل گوسی)

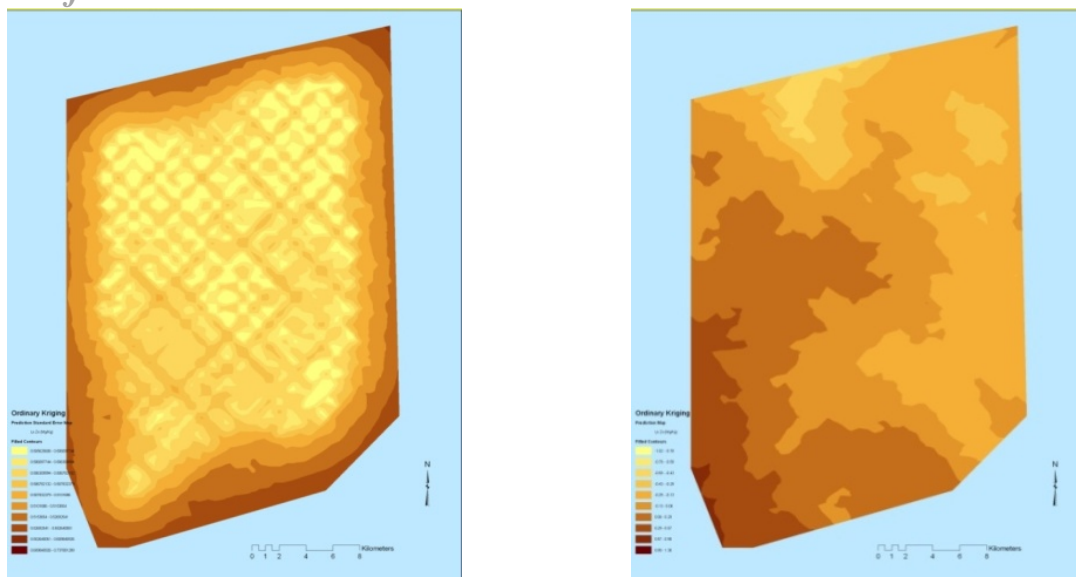
جدول ۳- پارامترهای مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنما

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	آستانه (C)	دامنه موثر (Km)	$C/C+C_0$	R^2	RSS
روی	گوسی	۰/۲۵	۱/۴۴	۴۰	۰/۸۲	۰/۹۷	$۱/۱۶ \times 10^{-3}$

جدول ۴- مناسب‌ترین تخمین گر جهت برآورد مقدار روی در نقاط مختلف نمونه برداری نشده

کریجینگ معمولی (OK)			اسپلاین (RBF)			عکس فاصله وزنی (IDW)		
RMSE	MAE	MBE	RMSE	MAE	MBE	RMSE	MAE	MBE
۰/۵۴	۰/۴۳	۰/۰۰۲	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۰۰۱	۰/۵۴	۰/۴۴	-۰/۰۰۸

Archive of SID

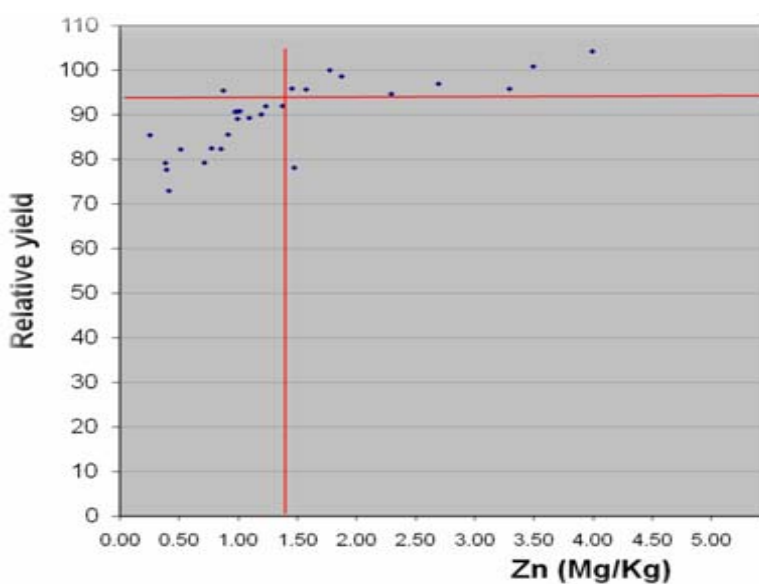


شکل ۵- نقشه پراکنش مکانی و خطای تخمین آن با روش OK (به ترتیب از راست به چپ)

جدول ۵- میانگین مربعات برای فاکتورهای اندازه‌گیری شده در گیاه

متغیر	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	P (%)	عملکرد (g pot ⁻¹)
خاک	۱۵۷/۳۴	۷۴۲۸/۳۸**	۴۹۵۲/۴۹**	۵۹۴۳/۹۵**	۰/۰۱۲۰۵**	۶۵/۴۹**
روی	۰/۴۶۹	۳۲۳۳/۱۱**	۱۳۴/۳۴	۰/۱۷۴	۰/۰۰۰	۱۵۹/۹۰**
اثر متقابل خاک و روی	۹/۹۰	۳۰۴/۰۷**	۳۸۱/۴۵	۱۳۰۹/۶۰**	۰/۰۰۱۲	۳/۱۰

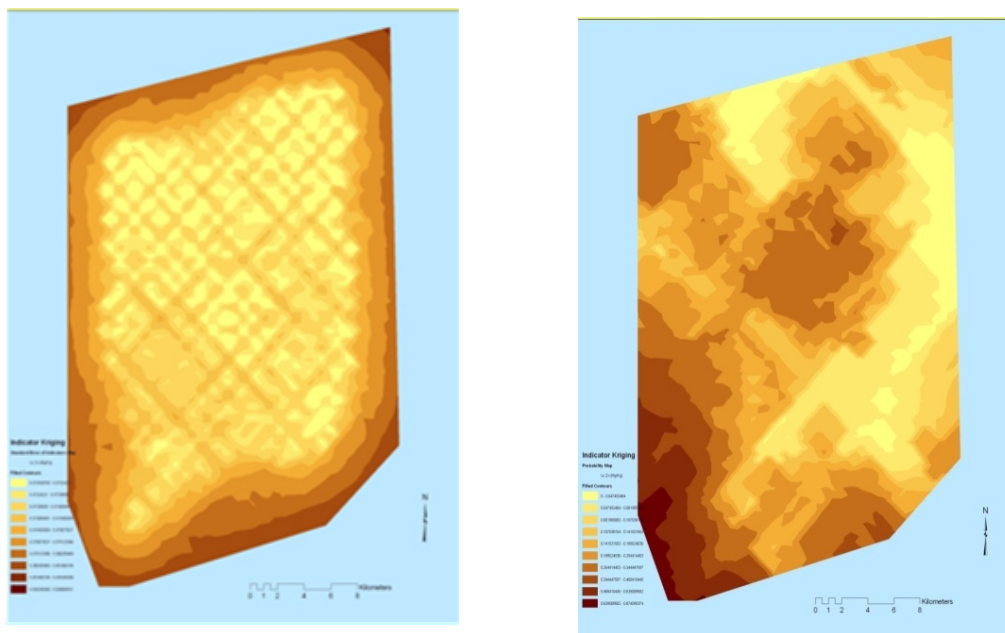
(***) و ** به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد)



شکل ۶- حد بحرانی روی با روش کیت-نلسون

جدول ۶- آماره‌های ارزیابی جهت انتخاب مناسب‌ترین تخمین‌گر برای تهیه نقشه احتمال

روش	MBE	MAE	RMSE
کریجینگ شاخص	۰/۰۰۰۱	۰/۲۸۷	۰/۴۰۰
کریجینگ گسسته	۰/۰۰۶	۰/۵۲۴	۰/۷۰۵
کریجینگ احتمال	۰/۰۰۲	۰/۲۹۰	۰/۳۹۰



شکل ۷- نقشه احتمال و خطای آن با روش کریجینگ شاخص (به ترتیب از راست به چپ)

فهرست منابع:

۱. احيایى، م. ۱۳۷۶. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. جلد ۲ نشریه شماره ۱۰۲۴. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران، ایران.
۲. اسدی کنگرشاهی، ع. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۲. کالیبراسیون روی در شرایط مزرعه‌ای و تأثیر آن در عملکرد سویا. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۷ شماره ۲. صفحه ۱۱۷-۱۲۴.
۳. حسنی‌پاک، ع.ا. ۱۳۸۶. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ صفحه.
۴. رفیع‌الحسینی، م. و ج. محمدی. ۱۳۸۰. 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 ۱۸۰-۱۷۸.
۵. طهرانی، م.م.، م.ح. داودی و ف. مشیری. ۱۳۸۶. طرح تعیین پراکنش و توصیه عناصر کم‌مصرف در اراضی زراعی تحت کشت آبی کشور (فاز اول). موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران، ایران.
۶. محمد زمانی، س.، ش.ا. ایوبی و ف. خرمالی. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخنگلاته. استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱ شماره ۴۰. الف. صفحه ۹۱-۷۱.

۷. محمدی، ج. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتیسیتیکی. ۱- کربجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۲، شماره ۴. صفحه ۴۹-۶۳.
۸. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری ۲ (آمار مکانی)، انتشارات پلک. ۴۵۳ صفحه. تهران، ایران.
۹. ملکوتی، م.ج.، پ. کشاورز و ن. کریمیان. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات مرکز نشر دانشگاه تربیت مدرس، شماره ۱۰۲. ۷۵۵ صفحه. تهران، ایران.
۱۰. ملکوتی، م.ج. و ا. سپهر. ۱۳۸۲. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی. انتشارات خانیان. ۴۵۲ صفحه. تهران، ایران.
11. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil*, 302: 1-17.
12. Chan, M.D., J.W. Hummel and H.H. Brouer. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1240- 1248.
13. Franzen, D.W., and T.R. Peck. 1995. Field soil sampling density for variable rate fertilization. *J. Prod. Agric.* 8: 568-574.
14. Franzen, D.W., T. Nanna and W.A. Norvell. 2006. A survey of soil attributes in landscape position. *Agronomy*. 98: 1015-1022.
15. Lindsay, L.W., and W.A. Norvel. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am.* 42: 421-428.
16. Liu, X., J. Xu, M. Zhang and B. Zhou. 2004. Effects of land management change on spatial variability of organic matter and nutrients in paddy field, a case study of Pinhu, China. *J. Environ. Manage.* 34(5): 691-700
17. 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. Environ. Geolog.* 55: 1569-1576
18. 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. Environ. Geolog.* 46: 189-194
19. Malakouti, M.J. 2008. The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. *Turk J. Agric.* 32: 215-220.
20. Robertson, G.P. 2008. Geostatistics for the environmental science (GS+) Gamma design software. Plainwell, MI, pp 256.
21. 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.
22. Trangmar, B.B., R.S. Yost and G. Uehara. 1985. Application of Geostatistics to spatial studies of soil properties. *J. Adva. Agron.* 38: 45-94.
23. Virgilio, N.D., A. Monti and G. Venturi. 2007. Spatial variability of switch grass (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field Crops Res.* 101: 232-239.
24. Wu, C., and L. Zhang. 2009. Heavy metal concentrations and their possible source in paddy soils of a modern agricultural zone, southeastern China. *J. Environ. Earth Sci.* 79 (2): 80-91.
25. 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.* 157 (1): 63-71.
26. 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. *Sci. in China Ser. C. life Sci.* 48: 82-91.
27. 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 delta of China. *J. Environ. Moint. Assess.* 4: 48-56.