



دانشگاه گوار، دانش‌پژوهی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

پهنه‌بندی پارامترهای مؤثر در کیفیت حاصلخیزی خاک شالیزار برای مدیریت بهینه مصرف کود

حامد رضایی^۱، لیلیا اسمعیل‌نژاد^۲، سعید سعادت^۱ و پریسا ملکی^۳

^۱عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران،

^۲دانش آموخته دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشگاه تهران، ^۳دانش آموخته دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: گیاهان از جمله برنج برای تأمین نیاز عناصر غذایی خود به مصرف کود احتیاج دارند تا تولید بیش‌تر در واحد سطح فراهم شود. برای این منظور شناسایی مقادیر عناصر پرمصرف در خاک و تهیه نقشه مناسب آن‌ها ضروری است. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC^1) خاک به‌عنوان شاخص مهمی از کیفیت حاصل‌خیزی و ظرفیت توفیق آلاینده‌های خاک و ویژگی‌های ازت، فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر پرمصرف تغذیه گیاه محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف برآورد و پهنه‌بندی خصوصیات موردنظر انجام شد تا نتایج و نقشه‌های به‌دست آمده بتواند در مدیریت بهینه مصرف کودها و کنترل آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۴۰۰۰۰ هکتار، جزء نواحی مرکزی استان گیلان می‌باشد. تعداد ۲۴۷ نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. مقادیر ویژگی‌های CEC ، ازت کل، فسفر و پتاسیم نمونه‌های خاک مشخص و آماره‌های توصیفی آن‌ها تعیین شد. بررسی توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف صورت گرفت. داده‌هایی که دارای توزیع نرمال نبود، با تبدیل‌های مناسب، نرمال شدند. قبل از استفاده از روش درون‌یابی، آزمون روند و ناهمسانگردی انجام شد. نیم‌تغییرنما با روش کریجینگ معمولی محاسبه و نقشه‌ها ترسیم گردید.

یافته‌ها: مقدار پتاسیم از ۷۸ تا ۲۶۹/۵ با میانگین ۱۹۲/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، فسفر از ۲/۳ تا ۵۶ با میانگین ۱۶/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقدار ازت کل از ۰/۰۲ تا ۰/۸ با میانگین ۰/۲۶ درصد و CEC از ۱۰/۶ تا ۴۷/۱ با میانگین ۲۶/۷۲ سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم متغیر بود. مدل برازش شده بر نیم‌تغییرنمای ازت کل نمایی و ویژگی‌های فسفر، پتاسیم و CEC کروی بود. ضریب تبیین (R^2) مدل‌ها دارای ارزش زیاد و نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه کم‌تر از ۲۵ درصد است. این مشخصات نشان می‌دهد که نیم‌تغییرنمای ویژگی‌ها دارای ساختار مکانی قوی است. پس از تعیین نیم‌تغییرنمای تجربی ویژگی‌ها، نقشه برآورد مقادیر آن‌ها با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه شد. مقادیر

* مسئول مکاتبه: esmaeelnejad.leila@gmail.com

معیارهای ارزیابی R^2 ، RMSE و MAE برای پتاسیم ۰/۷۹، ۲۷/۸۴ و ۰/۱۰۶، فسفر ۰/۷۳، ۸/۱۷ و ۴/۶۳، ازت کل ۰/۷۲، ۰/۰۵۹ و ۰/۰۲۵ و ظرفیت تبادل کاتیونی ۰/۷۶، ۴/۰۶ و ۳/۰۹ به دست آمد. دقت نقشه‌های تهیه شده با توجه به مقادیر R^2 ، RMSE و MAE قابل قبول بود. با دقت در نقشه‌های پهنه‌بندی، پراکنش مکانی مقدار پتاسیم در نواحی شمال‌غرب، غرب و مرکزی منطقه مورد مطالعه خوب بوده و بیش‌تر در شمال‌شرق و جنوب دارای کمبود می‌باشد. مقادیر فسفر و ازت در نواحی مرکزی تا شمال مناسب بوده و در جنوب منطقه دارای کمبود هستند. با توجه به نقشه ازت و فسفر خاک، مصرف بیش از حد بهینه کودهای نیترا ته و فسفره باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. همچنین مصرف کودهای پتاسه در اراضی با مقادیر زیاد CEC، باعث تثبیت آن می‌شود که دقت در نقشه CEC و مصرف در موقع نیاز گیاه، این مشکل را مرتفع می‌سازد. بنابراین توجه دقیق به مقادیر این پارامترها در نقشه‌ها و حدود بحرانی و بهینه آن‌ها، می‌تواند، مصرف کودها را به‌طور قابل ملاحظه‌ای مدیریت بهینه کرده، از تحمیل هزینه‌های اضافی به کشاورز و آلودگی منابع آب زیرزمینی جلوگیری نماید.

نتیجه‌گیری: بررسی عناصر اصلی ازت، فسفر، پتاسیم و CEC در شناخت کیفیت حاصلخیزی خاک دارای اهمیت است. برای این منظور نقشه‌های پراکنش مکانی پارامترهای ذکر شده با تعیین نیم‌تغییرنمای تجربی با ساختار مکانی قوی، با استفاده از روش کریجینگ تهیه شد. معیارهای R^2 ، RMSE و MAE نشان داد که دقت نقشه‌های پهنه‌بندی قابل قبول است. پراکنش مکانی مقدار پتاسیم در نواحی شمال‌غرب، غرب و مرکزی منطقه مورد مطالعه مناسب بوده و غالباً در شمال‌شرق و جنوب دارای کمبود می‌باشد. همچنین مقادیر فسفر و ازت در نواحی مرکزی تا شمال خوب بوده و در جنوب منطقه دارای کمبود هستند.

واژه‌های کلیدی: خاک شالیزار، کریجینگ، گیلان، CEC، NPK

مقدمه

نیاز به تولید بیش‌تر مواد غذایی با توجه به افزایش سریع جمعیت کشور ضرورت دارد. افزایش تولید در واحد سطح مناسب‌ترین روش برای تحقق این موضوع مهم است. تأمین بیش‌تر غذا، ضمن حفاظت منابع زیست‌محیطی برای آیندگان تنها در سایه بهره‌برداری مناسب از خاک امکان‌پذیر خواهد بود. در بین فاکتورهای مؤثر در کشاورزی، اضافه کردن متعادل کودها بیش‌تر از فاکتورهای دیگر در افزایش تولید محصولات کشاورزی مؤثر است. با توجه به این مسأله، تعیین درجه حاصلخیزی خاک برای برنامه‌ریزی بهتر جهت استفاده بهینه از کودها و بهره‌برداری مناسب از خاک ضروری است (۷ و ۲۱).

در تجزیه و تحلیل خاک به منظور تولید محصولات زراعی، کیفیت حاصلخیزی خاک معمولاً بیش‌ترین توجه را به خود معطوف می‌دارد. برای افزایش حاصلخیزی و باروری خاک استفاده از نهاده‌های کشاورزی مانند کود امری مرسوم است. مصرف منطقی کودهای شیمیایی در خاک وابسته به آگاهی از چگونگی وضعیت و عرضه بومی عناصر غذایی در خاک می‌باشد که امکان دارد کشاورزان بدان دسترسی نداشته باشند. توصیه کودی بر مبنای آزمون خاک و تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اگرچه روش علمی، صحیح و متداول در بیش‌تر کشورهای پیشرفته است، اما این روش در کشور ایران از کاربرد و پیشرفت کمی برخوردار بوده است (۲۷).

نیازمند اطلاعاتی در مورد تغییرپذیری ویژگی‌های خاک می‌باشد زیرا نتایج مدل‌های استدلالی، تجربی و نظری خاک به مقدار زیادی از تغییرپذیری مکانی داده‌های ورودی خاک متأثر است (۲۰). تغییرات مکانی خصوصیات خاک یا یکنواخت نبودن ناشی از تفاوت‌های مکانی در خواص مشاهده شده خاک، شامل دو جزء نظام‌دار یا ساختاری و تصادفی یا غیرساختاری می‌باشد. این تغییرات نتیجه هر دو فرآیند ذاتی عوامل تشکیل‌دهنده خاک و مدیریتی مانند مصرف کود، تناوب زراعی و نوع کشت در هر مقیاس مکانی و زمانی است. در همه تجزیه و تحلیل‌ها، روند کلی تغییرات مقادیر مشاهده‌شده در فضای نمونه‌برداری و درجه همبستگی مکانی آن‌ها مهم می‌باشد (۱).

در دهه‌های اخیر، با پیشرفت نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای کامپیوتری و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پردازش و مدل‌سازی داده‌های مکانی افزایش یافته است. زمین‌آمار روشی مناسب برای توصیف متغیرهای منطقه‌ای با ملاحظه پیچیدگی‌های آمار مکانی ارائه می‌کند. در زمین‌آمار می‌توان یک رابطه را بین ارزش‌های کمی در جامعه نمونه، فواصل، و جهت مکانی نمونه‌ها در ارتباط با یکدیگر توسعه داد. زمین‌آمار روشی است که خصوصیات خاک را در نقاط نمونه‌برداری‌نشده، با استفاده از اطلاعات نقاط نمونه‌برداری‌شده مجاور، برآورد می‌کند (۶). بنابراین زمین‌آمار در ترکیب با GIS می‌تواند ابزاری مناسب برای تهیه نقشه‌های حاصلخیزی خاک باشد.

کریجینگ یک تخمین‌گر زمین‌آمار است که به دلیل واریانس ناریب و حداقل، در اغلب موارد به‌عنوان بهترین تخمین‌گر خطی ناریب شناخته شده است. بررسی‌های انجام شده نشان داده‌اند که روش کریجینگ با در نظر گرفتن ساختار و تغییرپذیری مکانی متغیرها از طریق نیم‌تغییرنما، نسبت به

یکی از رهیافت‌ها برای کاهش هزینه تولید محصولات کشاورزی و افزایش عملکرد در واحد سطح، استفاده از کشاورزی دقیق است. پیش‌نیاز استفاده از این تکنولوژی جدید، شناخت جامع و صحیح وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی است. بر این اساس تهیه نقشه تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک مرحله کلیدی در کاربرد کشاورزی دقیق است که براساس آن نهاده‌های کشت به صورت نظام‌دار برنامه‌ریزی، مدیریت و مصرف می‌گردد (۱۴).

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شاخصی مهم در حاصلخیزی خاک و ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و ظرفیت حفاظت آب‌های زیرزمینی از آلاینده‌های فلزی و تثبیت فلزات سنگین و ممانعت از جذب آن‌ها به‌وسیله گیاه است (۱۹). آلودگی خاک ابعاد مختلف تولیدات کشاورزی و در نتیجه سلامتی انسان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. امروزه، فلزات سنگین و ترکیبات آلی سمی دو آلاینده خطرناک خاک مزارع محسوب می‌شوند. دسترسی و غلظت فلزات سنگین و ترکیبات آلی، به‌صورت معنادار، با ویژگی‌های خاک در ارتباط است. بدیهی است ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شاخصی مهم از کیفیت خاک و پتانسیل آلاینده‌ها در محیط زیست است (۳۲). مثلاً، جذب سطحی و دفع فلزات سنگین، مانند مس و روی (۵) و سرب (۳)، به‌طور معنادار با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مرتبط است. در برخی مطالعات همبستگی معناداری بین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و ترکیبات آلی آلاینده، مانند اترازین و فناترون (۱۰) و دی‌کوات و پاراکوات (۲۹) گزارش شده است. بنابراین، توزیع مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در تصمیم‌گیری برای مدیریت مناسب محصولات و جلوگیری از تجمع آلاینده‌ها در خاک اهمیت خاصی دارد.

مدل‌سازی‌های اکولوژیکی، پیش‌گویی‌های محیطی، کشاورزی دقیق و مدیریت مناسب منابع طبیعی

روش‌هایی همانند عکس فاصله وزن‌دار و اسپلین‌ها در اکثر شرایط برتری دارد. همچنین علاوه بر درون‌یابی و تخمین متغیر هدف، مقدار خطا را نیز برآورد می‌کند (۲۶ و ۳۶).

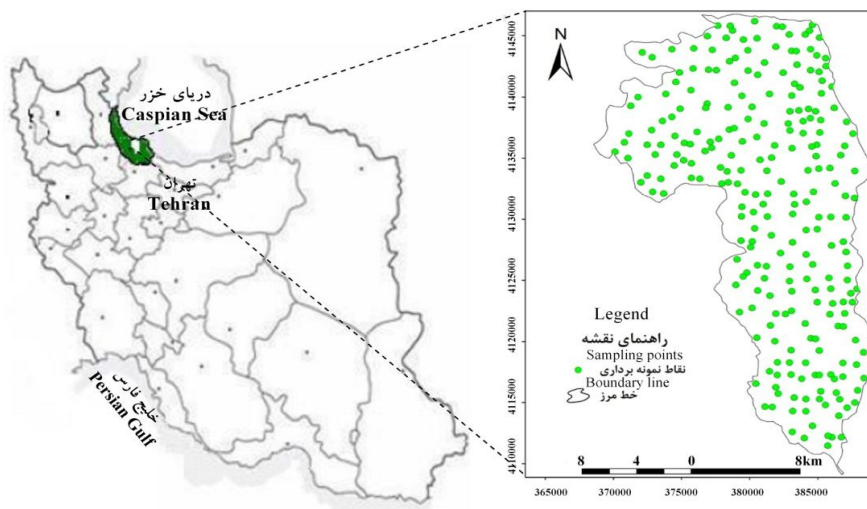
اسمایل و جونوزی (۲۰۰۹) تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در مالزی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری مورد بررسی قرار دادند. نقشه‌های تخمین این خاک‌ها نشان دادند که مناطقی که دارای کمبود نیتروژن می‌باشد در حالی که مقادیر فسفر و پتاسیم در حد کفایت است (۱۶). آی‌شاه و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی خصوصیات شیمیایی خاک شالیزاری در مالزی پرداختند. نقشه‌های حاصل از روش کریجینگ نشان داد که بخش وسیعی از منطقه دارای نیتروژن اضافی است (۲). بوگانویک و همکاران (۲۰۱۷) ویژگی‌های pH، ماده آلی، فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس را در اراضی شرق کرواسی با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی پهنه‌بندی کردند (۸). واسو و همکاران (۲۰۱۷) در منطقه دیکان هندوستان تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های pH، کربن آلی، ازت، پتاسیم، فسفر و سولفور را در جهت مدیریت مقادیر عناصر در مزرعه مورد مطالعه قرار دادند و ضمن تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی این ویژگی‌ها با استفاده از روش کریجینگ معمولی در محیط GIS به کارآیی زمین‌آمار و GIS در ترسیم نقشه‌های با دقت زیاد اشاره کرده‌اند (۳۵). رمضان و وانی (۲۰۱۸) در خاک‌های کشاورزی منطقه سرینگر در جامو و کشمیر، برای مدیریت بهینه استفاده عناصر کم‌مصرف شامل روی، مس، منگنز، آهن، نیکل، کادمیوم و سرب با استفاده از روش کریجینگ معمولی در محیط GIS نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر ذکر شده را تهیه کردند (۲۴). بهیرا و همکاران (۲۰۱۸) برای مدیریت پایدار عناصر خاک، تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های pH، EC، کربن آلی خاک، فسفر و پتاسیم

قابل‌دسترس، کلسیم و منیزیم تبادلی، سولفور و بر را در بخشی از اراضی منطقه اندهرا پرادش هندوستان به کمک روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی بررسی کرده و نقشه‌های پراکنش مکانی این ویژگی‌ها را در محیط GIS به‌دست آوردند (۷).

با توجه به اهمیت ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌عنوان شاخص مهمی از کیفیت حاصلخیزی خاک، ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و حفاظت آب‌های زیرزمینی از آلاینده‌ها و ویژگی‌های ازت، فسفر و پتاسیم، عناصر پرمصرف تغذیه گیاه محسوب می‌شوند. این پژوهش با هدف برآورد و پهنه‌بندی خصوصیات مورد نظر انجام شد تا نتایج و نقشه‌های به‌دست آمده بتواند در مدیریت بهینه مصرف کودها و کنترل آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۴۰۰۰۰ هزار هکتار، جزء نواحی مرکزی استان گیلان بوده و در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای واحدهای فیزیوگرافی دشت آبرفتی، اراضی پست و دشت ساحلی می‌باشد. تغییرات شیب منطقه از صفر تا ۲ درصد است. اقلیم منطقه خیلی مرطوب با میانگین بارندگی سالیانه ۱۲۹۳/۶ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به‌ترتیب اکوئیک، یودیک و ترمیک بوده و مواد مادری آن‌ها عمدتاً رسوبات رودخانه‌ای است. خاک‌های منطقه بر اساس کلید رده‌بندی خاک آمریکا (۳۰) جزء رده‌های انتی‌سولز و اینسپتی‌سولز قرار می‌گیرند.

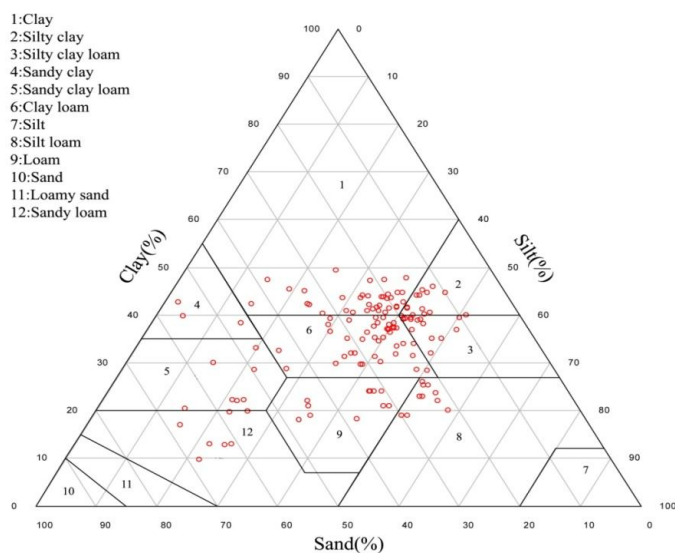


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری.

Figure 1. Study area location and spatial distribution of soil sampling points.

متفاوت قرار گرفت (شکل ۲). موقعیت جغرافیایی مکان نمونه‌ها با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) تعیین شد. مقادیر ویژگی‌های ظرفیت تبادل کاتیونی، ازت کل، فسفر و پتاسیم نمونه‌های خاک بر اساس راهنمای تجزیه آزمایشگاهی سرویس حفاظت خاک آمریکا به ترتیب با روش‌های باور، کج‌جلدال، اولسن و استات آمونیوم نرمال تعیین گردید (۹).

نمونه‌برداری و تجزیه خاک: تعداد ۲۴۷ نمونه خاک به روش تصادفی طبقه‌بندی شده (طبقه‌ها بر اساس واحدهای فیزیوگرافی است) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری سطح خاک به فاصله حداقل ۲۵۰ متر و حداکثر ۱۵۰۰ متر برداشت شد. نمونه‌های خاک تهیه‌شده از منطقه مطالعه‌شده بر اساس سیستم طبقه‌بندی کلاس بافت خاک آمریکا (مثلث بافت خاک) در کلاس‌های بافت



شکل ۲- توزیع بافت نمونه‌های خاک مطالعه‌شده بر اساس طبقه‌بندی USDA.

Figure 2. Textural distribution of soil samples on the USDA soil texture triangle.

فواصل مشخص و گسسته گام‌ها محاسبه می‌کند. با توجه به شبکه نمونه‌برداری، فاصله نمونه‌برداری گام (h) را تغییر می‌دهد و نیم‌تغییرنا را در جهات مختلف محاسبه می‌کند. سپس، با رسم مقادیر نیم‌تغییرنا نسبت به فواصل نمونه‌برداری منحنی نیم‌تغییرنمای تجربی به دست می‌آید (۳۶). نیم‌تغییرنا با رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

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

که در آن، N(h) تعداد زوج مشاهدات که به فاصله h از هم قرار دارند، Z(X_i) و Z(X_i+h) مقدار متغیر در دو موقعیت که به فاصله h از هم قرار دارند، و γ(h) ارزش نیم‌تغییرنمای تجربی است (۳۳).

برای ارزیابی دقت نقشه‌های تهیه‌شده از روش اعتبارسنجی تقاطعی و معیارهای ضریب تبیین (R²)، میانگین ریشه دوم مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد که معادله آن‌ها به صورت روابط زیر است:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right] \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

که در آن، y_i مقدار متغیر مشاهده یا اندازه‌گیری شده، \hat{y}_i مقدار متغیر برآوردشده، \bar{y} مقدار میانگین متغیر اندازه‌گیری شده و n تعداد کل داده‌هاست.

همه محاسبات آماری به کمک نرم‌افزارهای Excel 2007 و SPSS 24 و تهیه نیم‌تغییرنمای تجربی و برازش مدل مناسب بر آن و نقشه برآورد به کمک نرم‌افزارهای GS⁺ 9 و ArcGIS 10.3.1 انجام شد.

پردازش داده‌ها و تشریح روش برآورد: آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شد. بررسی توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف صورت گرفت. داده‌هایی که دارای توزیع نرمال نبود، با تبدیل‌های مناسب به توزیع نرمال تبدیل شد. قبل از استفاده از روش درون‌یابی زمین‌آماری، آزمون روند و ناهمسانگردی در محیط ArcGIS 10.3.1 انجام شد. برای مدل‌سازی دقیق واریوگرام‌های تجربی، که ورودی روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ‌اند، وضعیت جهت‌دار بودن پیوستگی مکانی داده‌ها باید مشخص شود (۱۵). همسان‌گرد بودن واریوگرام بیانگر آن است که تغییرات متغیر مورد نظر در همه جهات یکسان است و نیم‌تغییرنا فقط به فاصله بین نقاط بستگی دارد (۴). تغییرات متفاوت متغیر مورد نظر در جهات مختلف بیانگر شرایط ناهمسان‌گردی است که باید در محاسبه واریوگرام در نظر گرفته شود. رویه واریوگرام (۱۵) و بیضی ناهمسان‌گردی (۲۳) ابزارهایی مناسب برای بررسی ناهمسان‌گردی‌اند. برای رسم بیضی ناهمسان‌گردی، واریوگرام در جهات مختلف رسم می‌شود و مقدار دامنه در همه جهات به دست می‌آید. نسبت ناهمسان‌گردی، که برابر با نسبت بزرگ‌ترین دامنه (قطر بزرگ بیضی) به کوچک‌ترین دامنه (قطر کوچک بیضی) است، می‌تواند معیاری برای بررسی میزان ناهمسان‌گردی باشد. در این پژوهش، مقدار این نسبت تقریباً ۱ به دست آمد که نشان‌دهنده همسان‌گردی است.

نیم‌تغییرنا معیاری معتبر است که استفاده از آن به جای توابع کوواریانس رایج‌تر و راحت‌تر است. بنابراین، می‌توان آن را به مثابه ابزار و هسته اصلی در تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری و کمی‌کردن ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای در نظر گرفت. نیم‌تغییرنا روابط مکانی داده‌ها را خلاصه و واریانس را فقط برای

نتایج و بحث

منحنی نبود، بیانگر عدم وجود روند در داده‌ها است. ولی اگر به صورت منحنی باشد، بیانگر وجود روند است که در صورت زیاد بودن باید حذف شود. برای حذف روند، مقدار آن از معادله نمودار برازش داده شده به دست می‌آید و از داده‌های اصلی کم می‌شود. پس از انجام تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری، روند حذف شده دوباره به داده‌های اولیه اضافه می‌شود (۱۳ و ۳۳). همچنین برای بررسی همسانگردی از نسبت ناهمسانگردی که معادل با نسبت بزرگ‌ترین دامنه (قطر بزرگ بیضی) به کوچک‌ترین دامنه (قطر کوچک بیضی) است استفاده شد. در این پژوهش مقدار این نسبت تقریباً یک به دست آمد که نشان‌دهنده همسانگردی است. درونیابی ویژگی‌ها و تهیه نقشه مناسب با استفاده از روش کریجینگ معمولی انجام شد.

خصوصیات آماری ویژگی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر چولگی فسفر و ازت کل بیش‌تر بود و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز نشان داد که توزیع این ویژگی‌ها نرمال نیست. در صورتی که مقدار چولگی داده‌ها کم‌تر از ۰/۵ باشد، نیازی به تبدیل داده‌ها نیست. اگر بیش‌تر از ۰/۵ باشد، باید تبدیل شوند تا توزیع آن‌ها نرمال شود (۲۵). بنابراین با استفاده از لگاریتم طبیعی داده‌های آن‌ها تبدیل شد و توزیع‌شان نرمال گردید. آزمون روند و ناهمسانگردی روی داده‌ها انجام شد برای این منظور مقادیر داده‌ها با استفاده از ابزار تجزیه و تحلیل روند در نرم‌افزار ArcGIS بر روی صفحات عمودی در امتداد جهت‌های مختلف تصویر شده و یک معادله مناسب بر آن‌ها برازش داده شد. چون معادله برازش داده شده در این پژوهش، خطی مسطح بود به عبارت دیگر

جدول ۱- خصوصیات آماری ویژگی‌های مورد مطالعه.

Table 1. Statistical characteristics of studied soil properties.

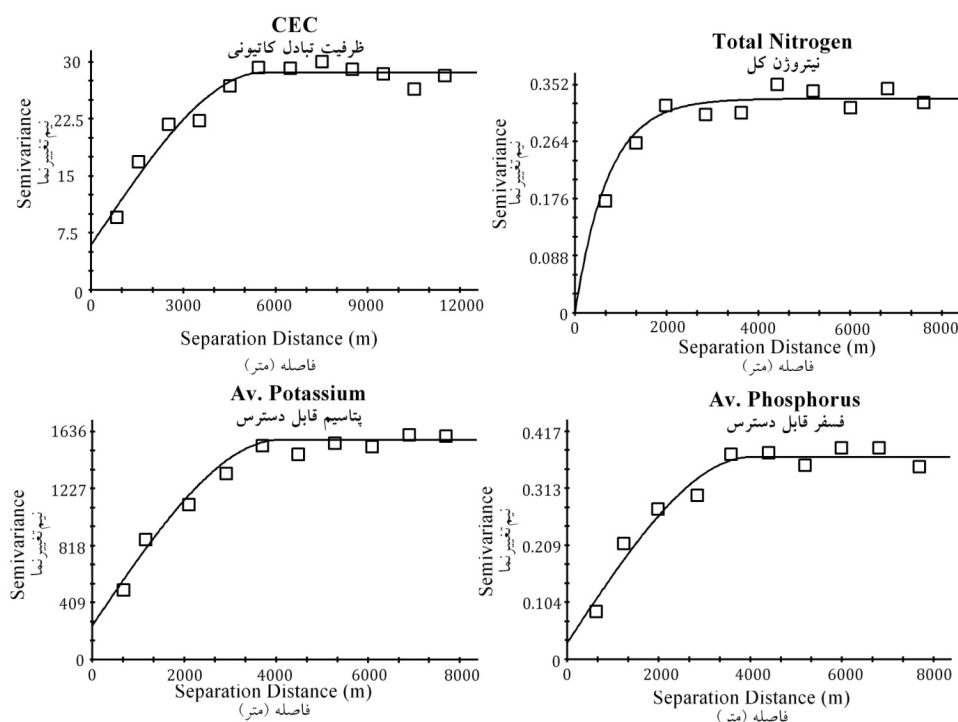
ویژگی Property	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	انحراف معیار Standard dev.	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
پتاسیم قابل دسترس (mgkg ⁻¹) Available potassium	78	269.5	192.03	41.61	21.7	-0.47	0.13
فسفر قابل دسترس (mgkg ⁻¹) Available phosphorus	2.3	56	16.51	11.94	72.3	1.52	1.72
ازت کل (درصد) Total N	0.02	0.8	0.26	0.16	61.5	0.95	0.01
ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol.kg ⁻¹) CEC	10.6	47.1	26.72	7.44	27.8	0.27	-0.03

شالیزاری در بخشی از چین و واسو و همکاران (۲۰۱۷) تطابق دارد (۱۵ و ۳۵). مدل برازش شده بر نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های فسفر، پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی کروی بوده که خصوصیات آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. ضریب تبیین (R²) مدل‌ها دارای ارزش زیاد و نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه کم‌تر

شکل ۳ نیم‌تغییرنمای تجربی ویژگی‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مدل برازش شده بر نیم‌تغییرنمای ازت کل نمایی بوده که اثر قطعه‌ای آن ۰/۰۱ و شعاع تأثیر ۲۱۶۰ متر می‌باشد. مقدار ضریب تبیین آن ۸۶ درصد و نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه ۳/۰۳ درصد است که با نتایج فو و همکاران (۲۰۱۰) برای اراضی

(۲۰۱۷) و تکودجو وامبو و همکاران (۲۰۱۸) متغیرهایی که نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه در مدل برازش شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی آن‌ها کم‌تر از ۲۵ درصد باشد، دارای ساختار مکانی قوی هستند که نتایج این پژوهش در هر چهار مدل برازش شده دارای نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه کم‌تر از ۲۵ درصد است (۲۶، ۲۸ و ۳۱).

از ۲۵ درصد است که با نتایج فو و همکاران (۲۰۱۰)، تریپاتی و همکاران (۲۰۱۵)، بوگانویک و همکاران (۲۰۱۷)، واسو و همکاران (۲۰۱۷) و بهیرا و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد (۷، ۸، ۱۵، ۳۴ و ۳۵). این مشخصات نشان می‌دهد که نیم‌تغییرنمای همه ویژگی‌ها دارای ساختار مکانی قوی است. بر طبق گزارش شی و همکاران (۲۰۰۷)، رزماری و همکاران



شکل ۳- نیم‌تغییرنمای تجربی ویژگی‌های مؤثر در حاصلخیزی خاک و مدل برازش داده شده بر آن‌ها.

Figure 3. Experimental semivariogram of effective properties on soil fertility (open square) and the fitted models (lines).

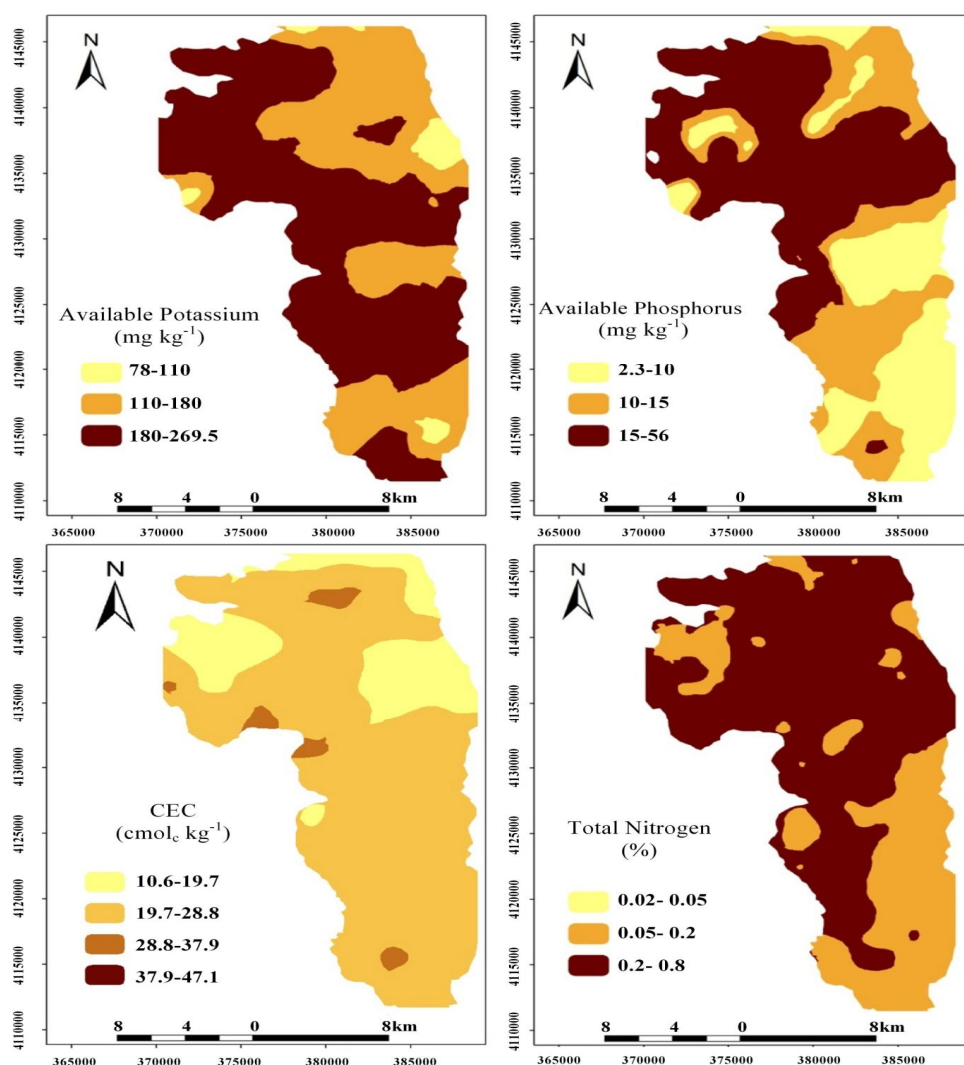
جدول ۲- خصوصیات مدل‌های برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی ویژگی‌ها.

Table 2. Fitted models characteristics on experimental semivariogram of properties.

R^2	شعاع تأثیر (متر) Effective range	اثر قطعه‌ای به آستانه (%) Nugget effect/sill	آستانه Sill	اثر قطعه‌ای Nugget effect	مدل Model	ویژگی Property
0.98	4100	15.48	1576	244	کروی Spherical	پتاسیم قابل دسترس Available potassium
0.90	4020	8.1	0.37	0.03	کروی Spherical	فسفر قابل دسترس Available phosphorus
0.86	2160	3.03	0.33	0.01	نمایی Exponential	ازت کل Total N
0.92	5600	20.6	28.6	5.9	کروی Spherical	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC

تعداد داده‌ها کافی نباشد این شکل‌ها بیشتر فرم دایره‌ای به خود می‌گیرند. ارزیابی روش کریجینگ در برآورد مقادیر ویژگی‌ها با استفاده از معیارهای R^2 ، RMSE و MAE صورت گرفت که مقادیر آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر معیارهای ذکر شده نشان می‌دهد که نقشه‌های برآورد ویژگی‌ها با دقت قابل قبول تهیه شده است که با نتایج پژوهش انجام یافته توسط دواتگر و همکاران (۲۰۱۲) در خاک‌های شالیزار، بوگانوویک و همکاران (۲۰۱۷) و بهیرا و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد (۷، ۸ و ۱۱).

پس از تعیین نیم‌تغییرنمای تجربی ویژگی‌ها، نقشه برآورد مقادیر آن‌ها با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه شد که در شکل ۴ ارائه شده است. نقشه‌ها در شکل ۴ دارای شکل‌های بسته و به فرم محدب و مقعر هستند. این مورد بیانگر تراکم خوب و ایده‌آل نمونه‌های خاک از سطح منطقه مورد مطالعه برای برآورد با جزئیات بیشتر است (۳۶) و نشان می‌دهد که نمونه‌برداری با تعداد نمونه کافی صورت گرفته است و محدوده‌ها با مقادیر متفاوت متغیر مورد نظر به خوبی از هم تفکیک شده است در صورتی که



شکل ۴- نقشه‌های برآورد ویژگی‌های مؤثر در حاصلخیزی خاک با روش کریجینگ معمولی.

Figure 4. Prediction maps of soil properties using ordinary kriging method.

جدول ۳- ارزیابی دقت روش کریجینگ در برآورد ویژگی‌های مورد مطالعه.

Table 3. Accuracy evaluation of kriging method in variables prediction.

MAE	RMSE	R ²	ویژگی Property
0.106	27.84	0.79	پتاسیم قابل دسترس Available potassium
4.63	8.17	0.73	فسفر قابل دسترس Available phosphorus
0.025	0.059	0.72	ازت کل Total N
3.09	4.06	0.76	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC

سال‌های اخیر با استفاده از ارقام اصلاح شده و پرمحصول برنج که نیاز بیشتری به عناصر غذایی دارند که درصد قابل ملاحظه‌ای از اراضی شالیزاری از نظر تأمین عناصر مورد نیاز گیاه دچار کمبود شده‌اند بنابراین نیاز به کاربرد صحیح کودها و مدیریت بهینه مصرف کود بیشتر احساس می‌گردد (۱۸).

بازنمایی غلظت فسفر خاک برای ارزیابی خطر وارد شدن آن در روان‌آب و پدیده اوتروفیکاسیون ضروری است. پدیده اوتروفیکاسیون با ورود بیش از اندازه فسفر به دریاچه و تالاب‌ها ایجاد و باعث رشد بیش از اندازه جلبک‌ها می‌شود. از سوی دیگر این بازنمایی برای مدیریت بهینه مصرف کود فسفات مهم است (۲۲). با آنکه میانگین غلظت فسفر قابل استفاده در سطح منطقه مورد مطالعه ۱۶/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده (جدول ۱) و از حد بهینه بیشتر است ولی نواحی وسیعی از سطح منطقه (شکل ۴) دارای کمبود فسفر هستند و پاسخ نسبی به مصرف کود فسفره در آن‌ها زیاد خواهد بود. در مناطق ساحلی به دلیل سبک بودن بافت خاک‌ها و در نواحی هم‌مرز با تالاب انزلی (شمال و شمال‌غرب منطقه) در توزیع کودهای فسفره باید دقت لازم صورت گیرد.

با توجه به این‌که در کشاورزی پیشرفته مدیریت مصرف کود یکی از مهم‌ترین پارامترها به‌شمار می‌رود و همچنین با ملاحظه این‌که سالانه هزینه‌های بسیار زیادی صرف واردات کود به ایران می‌شود و این کودها بدون مدیریت صحیح و بدون انجام آزمون خاک به صورت بی‌رویه در سطح مزارع کشور استفاده می‌شود انجام این مطالعه و تهیه نقشه‌های حاصلخیزی خاک می‌تواند از نظر اقتصادی، مسایل زیست‌محیطی و جلوگیری از آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و از نظر مسائل حفاظت خاک و نیز از نظر عملکرد محصولات در واحد سطح و سلامت و کیفیت محصول تولید شده از طریق مصرف مقدار مورد نیاز مواد مغذی یا اصلاحی خاک دارای اهمیت باشد.

در گذشته ارقام برنج کم محصول به صورت سنتی کشت می‌گردید، مقدار عملکرد آن پایین بوده و در نتیجه نیاز به عناصر غذایی نیز کم‌تر بوده است. از طرف دیگر بسیاری از شالیزارها در حوضه رودخانه‌ها یا دشت‌های آبرفتی قرار داشته و بنابراین دارای خاک‌های نسبتاً جوان با بافت سنگین و غنی از کانی‌های حاوی عناصر ضروری بوده‌اند که برای نیاز برنج کافی بوده است. آب آبیاری نیز بخشی از نیازهای عنصری این گیاه را تأمین می‌کرده است. در

پارامترها بیش‌تر از حدود بهینه است نباید کود مصرف شود چون در افزایش عملکرد تأثیری نخواهد داشت و از طرف دیگر هزینه اضافی به کشاورز تحمیل می‌شود. همچنین اگر کودهای ازته در اراضی که مقادیر پارامترها بیش‌تر از حدود بهینه است مصرف شود مقادیر آنیون‌های حاصله از کودهای نیترا ته در خاک افزایش یافته، علاوه بر آلودگی خاک و محصول، به‌علت غرقاب‌شدن این خاک‌ها در مراحل از رشد برنج به آب‌های زیرزمینی انتقال یافته و باعث آلودگی آن‌ها می‌شوند.

میانگین ازت کل در سطح منطقه ۰/۲۶ درصد و پتاسیم قابل دسترس ۱۹۲/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده (جدول ۱) که از حد بهینه بیش‌تر است با این وجود با توجه به شکل ۴ اراضی قابل ملاحظه‌ای از سطح منطقه دارای کمبود ازت و پتاسیم هستند. با توجه به مقادیر حدود بحرانی و بهینه ازت، فسفر و پتاسیم در جدول ۴ (۱۲، ۱۷ و ۱۸)، اراضی که در نقشه (شکل ۴) دارای مقادیر ویژگی‌های ذکر شده کم‌تر از حد بحرانی هستند حتماً برای کوددهی باید اقدام شود و در اراضی کم‌تر از حدود بهینه برای افزایش عملکرد نیاز به مصرف کود می‌باشد ولی در اراضی که مقادیر

جدول ۴- مقادیر حدود بحرانی و بهینه ویژگی‌های مؤثر در حاصلخیزی خاک برای برنج.

Table 4. Critical and optimum levels of effective variables in soil fertility for rice plant.

حد بهینه Optimum limit	حد بحرانی Critical limit	ویژگی Property
0.2	0.05	ازت کل (درصد) Total N
15	10	فسفر قابل دسترس (mgkg^{-1}) Available phosphorus
180	110	پتاسیم قابل دسترس (mgkg^{-1}) Available potassium

ادعا کرد که تهیه نقشه مناسب از ویژگی‌های مؤثر در کیفیت حاصلخیزی خاک، می‌تواند در مدیریت بهینه مصرف کودها و کنترل آلاینده‌ها در خاک‌های شالیزار کمک قابل ملاحظه‌ای بنماید.

نتیجه‌گیری

حفاظت از منابع خاک و آب در جهت استفاده پایدار از آن‌ها بسیار دارای اهمیت است. کیفیت حاصلخیزی خاک از جنبه‌های مهم تجزیه و تحلیل خاک می‌باشد. بررسی عناصر اصلی ازت، فسفر، پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی در شناخت کیفیت

دقت در نقشه ظرفیت تبادل کاتیونی با توجه به تثبیت شدن عنصر پتاسیم در خاک ضروری می‌باشد تا به‌ویژه در اراضی که مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد ولی مقدار پتاسیم کم‌تر است کود این عنصر بی‌محابا در خاک وارد نشود و بهتر است با برنامه‌ریزی در زمان نیاز گیاه، کوددهی صورت گیرد تا از تثبیت آن در خاک جلوگیری گردد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی ۱۵ ساله در چین، یکی عوامل مهم تثبیت پتاسیم در خاک را استفاده بی‌موقع کودهای پتاسه در خاک‌های با ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد دانسته‌اند (۳۷). بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان

قابل‌دسترس و ازت در نواحی مرکزی تا شمال مناسب بوده و در جنوب منطقه دارای کمبود هستند. این نقشه‌ها با توجه به مقادیر حدود بحرانی و بهینه عناصر مورد بررسی برای مدیریت بهینه مصرف کودها و جلوگیری از آلاینده‌گی آب‌های زیرزمینی، تحمیل هزینه بیش‌تر به کشاورز و تثبیت پتاسیم و فسفر در خاک دارای اهمیت فراوانی هستند. همچنین نسبت به نقشه‌های سنتی، تهیه آن‌ها هزینه‌بر نبوده و با توجه به معیارهای ارزیابی دارای دقت قابل‌قبولی هستند. این نقشه‌ها می‌توانند به‌وسیله کارشناسان امور کشاورزی و توصیه کودی برای راهنمایی زارعین محلی جهت تعیین مکان‌های ویژه توزیع عناصر غذایی و تغییرات آن‌ها در موقعیت‌های مختلف اراضی مورد استفاده قرار گیرد.

حاصلخیزی خاک یک منطقه دارای اهمیت است. برای این منظور نقشه‌های پارامترهای ذکرشده با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه شد. مقدار پتاسیم قابل‌دسترس از ۷۸ تا ۲۶۹/۵ با میانگین ۱۹۲/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، فسفر قابل‌دسترس از ۲/۳ تا ۵۶ با میانگین ۱۶/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقدار ازت کل از ۰/۰۲ تا ۰/۸ با میانگین ۰/۲۶ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی از ۱۰/۶ تا ۴۷/۱ با میانگین ۲۶/۷۲ سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم در سطح منطقه مورد مطالعه متغیر بود. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی، پراکنش مکانی مقدار پتاسیم قابل‌دسترس خاک در نواحی شمال‌غرب، غرب و مرکزی منطقه مورد مطالعه خوب بوده و بیش‌تر در شمال‌شرق و جنوب دارای کمبود می‌باشد. همچنین مقادیر فسفر

منابع

1. Adriana, L.D. 2007. On the use of soil hydraulic conductivity functions in the field. *Soil Science*. 93: 1. 162-170.
2. Aishah, A.W., Zauyah, S., Anuar, A.R., and Fauziah, C.I. 2010. Spatial variability of selected chemical characteristics of paddy soils in Sawash Sempadon, Selangor, Malaysia. *Malaysi. J. Soil Sci.* 14: 1. 27-39.
3. Altin, A., and Degirmenci, M. 2005. Lead (II) removal from natural soils by enhanced electrokinetic remediation. *Science of the Total Environment*. 337: 1-3. 1-10.
4. Andronikov, S.V., Davidson, D.A., and Spiers, R.B. 2000. Variability in contamination by heavy metals: sampling implications. *Water, Air and Soil Pollution*. 120: 1-2. 29-45.
5. Arias, M., Perez-Novo, C., Osorio, F., Lopez, E., and Soto, B. 2005. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. *J. Coll. Inter. Sci.* 288: 1. 21-29.
6. Asadzadeh, F., Akbarzadeh, A., Zolfaghari, A.A., Taghizadeh Mehrjardi, R., Mehrabian, M., Rahimi Lake, H., and Sabeti, M.A. 2012. Study and comparison of some geostatistical methods for mapping cation exchange capacity in soils of northern Iran. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*. 1: 1. 59-66.
7. Behera, S.K., Mathur, R.K., Shukla, A.K., Suresh, K., and Prakash, C. 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. *Catena*. 165: 251-259.
8. Bogunovic, I., Trevisani, S., Seput, M., Juzbasic, D., and Durdevic, B. 2017. Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. *Catena*. 154: 50-62.
9. Burt, R. 2014. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigations report No. 42, Version 5. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.
10. Chung, N., and Alexander, M. 2002. Effect of soil properties on bioavailability and extractability of phenanthrene and atrazine sequestered in soil. *Chemosphere*. 48: 1. 109-115.

11. Davatgar, N., Neishabouri, M.R., and Sepaskhah, A.R. 2012. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*. 173-174: 111-118.
12. Doberman, A., and Fairhurst, T.H. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. International Rice Research Institute, Philippines.
13. Dou, F., Yu, X., Ping, C., Michaelson, G., Guo, L., and Jorgenson, T. 2010. Spatial variation of tundra soil organic carbon along the coastline of northern Alaska. *Geoderma*. 154: 3-4. 328-335.
14. Fu, Q., Wang, Z., and Jiang, Q. 2010. Delineating soil nutrient management zones based on fuzzy clustering optimized by PSO. *Mathematical and Computer Modelling*. 51: 11-12. 1299-1305.
15. Fu, W., Tunney, H., and Zhang, C. 2010. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil & Tillage Research*. 106: 2. 185-193.
16. Isimail, M.H., and Junusi, R. 2009. Determining and mapping soil nutrient content using geostatistical technique in a Durian orchard in Malaysia. *J. Agric. Sci.* 1: 1. 86-91.
17. Karimi Amirkiasar, M., Ardalan, M., Kavooosi, M., and Shokri Vahed, H. 2011. Determination of Phosphorus Critical Level in Some of Paddy Soils in Guilan. *J. Water Soil*. 25: 4. 814-822. (In Persian)
18. Kavooosi, M., and Malakoti, M.J. 2006. Determination of available potassium critical level with ammonium acetate extractor in Guilan paddy soils. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.* 10: 3. 113-123. (In Persian)
19. Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Rahmani, A., Ahmadi, A., Labbafi, R., and Iqbal, M.A. 2012. Fuzzy clustering analysis for modeling of soil cation exchange capacity. *Austr. J. Agric. Engin.* 3: 1. 27-33.
20. Lin, H., Wheeler, D., Bell, J., and Wilding, L. 2004. Assessment of soil spatial variability at multiple scales. *Ecological Modelling*. 182: 3-4. 271-290.
21. Lotfi Arpachaei, Z., Esmali Ouri, A., Hashemimajd, K., and Najafi, N. 2013. Soil fertility evaluation of Ardabil plain for wheat and potato based on some soil chemical properties by AHP and GIS techniques. *J. Water Soil*. 27: 1. 45-53. (In Persian)
22. Meng, Y., Cave, M., and Zhang, C. 2018. Spatial distribution patterns of phosphorus in top-soils of Greater London Authority area and their natural and anthropogenic factors. *Applied Geochemistry*. 88: 213-220.
23. Moral, F.J., Terrón, J.M., and Rebollo, F.J. 2011. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*. 75: 2. 223-230.
24. Ramzan, Sh., and Wani, M.A. 2018. Geographic information system and geostatistical techniques to characterize spatial variability of soil micronutrients including toxic metals in an agricultural farm. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 49: 4. 463-477.
25. Robinson, T.P., and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 50: 2. 97-108.
26. Rosemary, F., Vitharana, U.W.A., Indraratne, S.P., Weerasooriya, R., and Mishra, U. 2017. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. *Catena*. 150: 53-61.
27. Sarmadian, F., and Keshavarzi, A. 2014. The use of a hybrid fuzzy-AHP system on the evaluation and mapping of soil fertility. *Soil and Water Resources Conservation*. 3: 2. 45-56. (In Persian)
28. Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Liu, X., Zhu, H., and Yu, C. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: A case study of Changxing, China. *Environ. Geol. J.* 52: 1. 1-10.
29. Site, A.D. 2001. Factors affecting sorption of organic compounds in natural sorbent/water systems and sorption coefficients for selected pollutants. A review. *J. Physic. Chem. Ref. Data*. 30: 1. 187-439.

30. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition, United State Department of Agriculture, National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service.
31. Takodjou Wambo, J.D., Ganno, S., Djonthu Lahe, Y.S., Kouankap Nono, G.D., Fossi, D.H., Tchouatcha, M.S., and Nzenti, J.P. 2018. Geostatistical and GIS analysis of the spatial variability of alluvial gold content in Ngoura-Colomines area, Eastern Cameroon: Implications for the exploration of primary gold deposit. *J. Afric. Earth Sci.* 142: 138-157.
32. Tang, L., Zeng, G.M., Nourbakhsh, F., and Shen, G.L. 2009. Artificial neural network approach for predicting cation exchange capacity in soil based on physico-chemical properties. *Environmental Engineering Science.* 26: 1. 137-146.
33. Tesfahunegn, G.B., Tamene, L., and Vlek, P.L.G. 2011. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. *Soil & Tillage Research.* 117: 124-139.
34. Tripathi, R., Nayaka, A.K., Shahid, M., Lal, B., Gautama, P., Raja, R., Mohanty, S., Kumar, A, Panda, B.B., and Sahoob, R.N. 2015. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. *Catena.* 133: 128-136.
35. Vasu, D., Singh, S.K., Sahu, N., Tiwary, P., Duraisami, V.P., Ramamurthy, V., Lalitha, M., and Kalaiselvi, B. 2017. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. *Soil & Tillage Research.* 169: 25-34.
36. Webster, R., and Oliver, M. 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists.* 2nd edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester UK.
37. Zhang, H., Xu, M.G., Zhang, W., and He, X.H. 2009. Factors affecting potassium fixation in seven soils under 15-year long-term fertilization. *Chinese Science Bulletin, Articles/Geography.* 54: 10. 1773-1780.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(4), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

Mapping of effective parameters on paddy soils fertility quality for optimum management of fertilizer application

H. Rezaei¹, *L. Esmaeelnejad², S. Saadat¹ and P. Malaki³

¹Faculty Member of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, ²Ph.D. Graduate of Soil Physics and Conservation, University of Tehran, ³Ph.D. Graduate of Soil Physics and Conservation, University of Tarbiat Modarres

Received: 02.03.2018; Accepted: 12.15.2018

Abstract

Background and Objectives: Plants such as rice need to provide their nutrient elements by using fertilizers to have more production per unit area. For this purpose, it is essential to recognize macro-elements amount in soils and prepare their ideal maps. Soil CEC is a vital indicator of soil fertility quality and pollutant sequestration capacity and the properties of nitrogen, phosphorus and potassium as macro-elements for plants. This research was conducted with the aim of estimating and mapping the desired properties in order to obtain the results and maps that could be used in optimum management of fertilizer use and control of groundwater contaminants.

Materials and Methods: The study area with an area of about 40,000 hectares is one of the central areas of Guilan province. 247 soil samples were collected from depth 0-30 cm. The values of CEC, total nitrogen, phosphorus and potassium in soil samples and their descriptive statistics were determined. The normal distribution of data was analyzed using Kolmogorov-Smirnov test. Data that did not have normal distribution was normalized with appropriate transformations. Before the use of interpolation method, trend and anisotropy analysis were performed. Semi-variograms were calculated using ordinary Kriging and maps were plotted.

Results: The amount of K and P varied from 78 to 269.5 mgkg⁻¹ and from 2.3 to 56 mgkg⁻¹, respectively. The average contents of K and P were 192.03 and 16.51 mgkg⁻¹, respectively. The amount of total N changed from 0.02% to 0.8%, which its average was 0.26%. Also, the content of CEC varied from 10.6 to 47.1 cmol_ckg⁻¹ and its average was 26.72 cmol_ckg⁻¹. The fitted model was based on semi-variograms of total nitrogen was exponential and those of phosphorus, potassium and CEC were spherical. Determination coefficient (R²) of models had high value and the nugget effect/threshold is less than 25%. These characteristics showed that semi-variograms of properties had strong spatial structure. After specifying the semi-variograms, a map of their values was prepared using ordinary Kriging. Evaluation criteria values R², RMSE and MAE derived for K 0.79, 27.84 and 0.106, P 0.73, 8.17 and 4.63, total nitrogen 0.72, 0.059 and 0.025 and CEC 0.76, 4.06 and 3.09. Criteria values R², RMSE and MAE showed that accuracy of prepared maps was ideal. With attention to interpolation maps, spatial distribution of K was good in western, north-western and central area of studied region. K deficiency was concentrated in southern and north-eastern areas. The phosphorus and nitrogen content are suitable in the central area to the north and in the south of the region are deficient. According to the nitrogen and phosphorus map of soil, excessive consumption of nitrate and phosphorus fertilizers can lead to groundwater contamination. Also, the use of

* Corresponding Author; Email: esmaeelnejad.leila@gmail.com

potassium fertilizers results its fixation, too. Precise attention to CEC map and on-time fertilizer application can solve this problem. Therefore, paying close attention to the values of these parameters in the maps and their critical and optimal limits can optimize the consumption of fertilizers considerably, prevents additional costs to farmer and pollution of ground water resources.

Conclusion: Since the investigation of N, P, K and CEC is important for determination of soil fertility quality, so, the maps of spatial distribution of mentioned parameters were prepared via determination of experimental semi-variogram with strong spatial structure using kriging. The criteria of R^2 , RMSE and MAE showed that maps accuracy was acceptable. Spatial distribution of K was good in western, north-western and central area of studied region. K deficiency was almost concentrated in southern and north-eastern areas. The contents of P and total N were suitable in central and northern areas which their deficiencies were observed in southern area.

Keywords: CEC, Guilan, Kriging, NPK, Paddy soil