

تغییرات مکانی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اراضی

شرکت کشت و صنعت شریف آباد قزوین

الهه خزائی، عبدالامیر بستانی¹ و ناصر دواتگر

کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه شاهد؛ khazaie200el@gmail.com

استادیار دانشگاه شاهد تهران؛ Bostani@shahed.ac.ir

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ n_davatgar@yahoo.com

دریافت: 95/3/1 و پذیرش: 95/12/2

چکیده

خاک نقش مهمی را در چرخه بیوژئوشیمیایی به عنوان یک منبع مهم ذخیره عناصر ایفا می‌کند. از عوامل مهمی که در کشاورزی حائز اهمیت است نوع ویژگی‌های خاک، پراکنش و میزان تغییرات آن می‌باشد. در این مطالعه 600 نمونه خاک با فواصل تقریبی 100 متر در 100 متر از عمق 0-30 سانتی‌متری در 800 هکتار از اراضی شرکت کشت و صنعت شریف آباد قزوین جمع‌آوری شد. آنالیز آمار توصیفی و زمین آماری داده‌های جمع‌آوری شده، انجام شد. نتایج نشان داد دامنه تغییرات نیتروژن کل خاک در محدوده 0/82-0/02% با میانگین 0/26 درصد، فسفر قابل استخراج با اولسن در محدوده 9/58-93/07 mg/kg با میانگین 36/21 میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در محدوده 180-1740 با میانگین 552/87 میلی‌گرم بر کیلوگرم و ظرفیت تبادل کاتیونی در محدوده 11/44-50/16 با میانگین 28/20 میلی‌اکی‌والان در 100 گرم خاک بود. بهترین مدل نیم‌تغییرنا برای تمام ویژگی‌های مورد مطالعه مدل نمائی بود. دامنه مؤثر برای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب 510، 798، 567، 1476 متر بدست آمد. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی صفات مورد مطالعه از تخمین‌گر کریجینگ استفاده شد. نتایج نشان داد وسعت نسبی مناطق برای عنصر نیتروژن کل در محدوده کمتر از 0/1% (صفر درصد مساحت)، برای 0/2-0/1 N=%3/5 (مساحت)، 0/3-0/2 N=%74/3 و بیشتر از 0/3 درصد (22/2%) بود. در مورد عنصر فسفر بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در محدوده کمتر از 12 (صفر درصد مساحت)، برای 12-24 (7/8% مساحت)، 36-24 (48/4% مساحت) و بیشتر از 36 میلی‌گرم در کیلوگرم (43/8% مساحت) به دست آمد. عنصر پتاسیم در محدوده کمتر از 250 (صفر درصد مساحت)، 250-400 (4/6%)، 400-600 (72%) و بیشتر از 600 میلی‌گرم بر کیلوگرم (23/4%)، در مورد ظرفیت تبادل کاتیونی کمتر از 10 (صفر درصد)، 10-20 (13/1%)، 20-30 (44/6%) و بیشتر از 30 میلی‌اکی‌والان در 100 گرم (42/3%) بود.

واژه‌های کلیدی: عناصر پرمصرف، زمین‌آمار، مدل نمائی، پهنه‌بندی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: تهران، دانشگاه شاهد تهران، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

خاک نقش مهمی را در چرخه بیوژئوشیمیایی به عنوان یک منبع مهم ذخیره عناصر ایفا می‌کند. ویژگی‌های خاک درجه پیچیده‌ای از تغییرات مکانی و زمانی را به نمایش می‌گذارد. ویژگی‌های خاک نتیجه تعامل ترکیبی از فرآیندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی در مقیاس‌های مختلف است (استیوتر و همکاران، 2004). درک کافی از تغییرات عناصر غذایی خاک به عنوان تابعی از مکان مهم است به این دلیل که می‌تواند به عنوان راهنمایی برای مدیریت عناصر خاک و کاربرد منطقی کود استفاده شود. در بین عوامل مربوط به خاک نقش عناصر غذایی از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا این عوامل به راحتی قابل تغییرند و می‌توان با تغییر آن‌ها، تغییرات قابل توجهی را در کمیت و کیفیت گیاهان ایجاد نمود (فرانزن و همکاران، 1996). از جمله خصوصیات شیمیایی خاک میزان عناصر غذایی پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف می‌باشد. عناصر غذایی پرمصرف خاک مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای گیاهان ضروری هستند. دانستن میزان این عناصر و ویژگی‌ها برای مدیریت بهتر اراضی کشاورزی اهمیت دارد. نیتروژن عمدتاً اولین عنصر غذایی است که در مناطق خشک و نیمه خشک کمبود آن مشاهده می‌شود.

این بدان دلیل است که مقدار مواد آلی که عمده‌ترین منبع ذخیره نیتروژن محسوب می‌شود، در این مناطق ناچیز است (کافی و همکاران، 1381). فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی محدودکننده تولیدات کشاورزی در بسیاری از مناطق جهان است (هولفورد، 1997). از فاکتورهای مهمی که در کشاورزی حائز اهمیت است نوع ویژگی‌های خاک، پراکنش و میزان تغییرات آن می‌باشد. دانش توزیع مکانی ویژگی‌های خاک اطلاعاتی در مورد مراحل نمونه برداری، شیوه‌های خاص برداشت و ارتباط بین ویژگی‌های خاک و الگوهای توزیع پارامترهای دیگر را فراهم می‌کند. روش‌های آمار کلاسیک نمی‌تواند برای آنالیز توزیع مکانی مورد استفاده قرار گیرد زیرا فرض بر این است که داده‌ها مستقل و توزیع پارامترها یکسان بوده، همچنین آمار کلاسیک به موقعیت جغرافیایی متغیرها نمی‌پردازد (روسی و همکاران، 1992). در نتیجه با شروع فرض این‌که ارزش هر نقطه از ارزش نقطه همسایه مستقل نیست وابستگی مکانی وجود دارد که اجازه می‌دهد از تکنیک‌های آنالیز زمین آماری استفاده شود (واگنر، 2003). تغییرات مکانی خاک در گذشته توسط دانشمندان خاک بطور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. در چند دهه گذشته روش‌های زمین

آماری به عنوان ابزار اولیه در آنالیز مکانی برای توصیف و تعیین کمیت الگوهای مکانی ویژگی‌های خاک با کاربرد بالقوه برای مدیریت زمین‌های کشاورزی ارائه شده است (روت و همکاران، 2008). اولین مرحله در روش‌های زمین آماری ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها است که معمولاً با استفاده از یک تغییرنمای تجربی توصیف می‌شود. که در واقع یک نمودار نیم تغییرنما بین نقاط و فاصله آن‌ها در یک فضای جغرافیایی است. کیو و همکاران (2014) نشان دادند که قابلیت دسترسی عناصر پرمصرف به‌طور مکانی تغییر یافته و ممکن نیست همیشه الگوی مکانی یکسان و هم‌بستگی بین غلظت کل و قابلیت دسترسی وجود داشته باشد. روگر و همکاران (2014) همبستگی مکانی بین متغیرهای محیطی برای تخمین توزیع فسفر از مدل رگرسیون را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که برخی از متغیرهای محیطی همبستگی مثبتی با فسفر دارند. محققان بسیاری به بررسی تغییرات مکانی کربن آلی و نیتروژن کل در مقیاس بزرگ پرداخته‌اند (وانگ و همکاران، 2010؛ زانگ و همکاران، 2009) نتایج نشان می‌دهد که از جمله عوامل مؤثر بر تغییرات مکانی ماده آلی و نیتروژن خاک، آب و هوا، توپوگرافی و انواع کاربری‌ها می‌باشد. در مقیاس بزرگ عامل آب و هوا اثر بیشتری بر تجمع ماده آلی خاک داشته در حالی که در مقیاس کوچک و متوسط عامل بافت خاک اثر بیشتری بر تجمع ماده آلی خاک داشته است (وانگ و همکاران، 2010). در مطالعه‌ای در رودخانه چین غلظت کل فسفر و توزیع مکانی آن تحت تأثیر انواع کاربری‌ها، ارتفاع، شیب و جهت شیب در سه عمق بررسی شد. نتایج نشان داد که کریجینگ در درون‌یابی غلظت کل فسفر خاک موفق بوده است و با افزایش عمق غلظت فسفر خاک کاهش یافته و تغییرات مکانی فسفر در هر سه عمق متوسط بود. غلظت کل فسفر خاک تفاوت معناداری در بین کاربری‌های مختلف داشت و در اراضی جنگلی بیشتر از اراضی کشاورزی و مرتع بود. عوامل مثل توپوگرافی، ارتفاع و جهت شیب بیشترین اثر را در غلظت کل فسفر داشته و با کاهش ارتفاع غلظت افزایش یافت (چنگ و همکاران، 2015). در مطالعه‌ای 535 نمونه خاک از عمق 0-25 سانتی‌متر بصورت شبکه‌ای از منطقه دهلی هند انجام شد. آنالیز زمین‌آماری با روش کریجینگ و معکوس فاصله وزنی انجام شد تمام پارامترهای شیمیایی خاک وابستگی مکانی قوی داشتند پتاسیم قابل دسترس کوتاه‌ترین وابستگی مکانی (6/9 کیلومتر) در حالی که pH طولانی‌ترین وابستگی مکانی (23/7 کیلومتر) داشت. نتایج نشان داد که پیش‌بینی تغییرات مکانی با روش کریجینگ

استخراج با استات آمونیوم (کارتز، 1993)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (باور، 1952)، بافت خاک به روش هیدرومتری (جی، 1986)، pH خاک در عصاره گل اشباع بوسیله دستگاه پ-هاش متر (رودز، 1982)، کربنات کلسیم معادل با روش کلسیمتر فشاری (نلسون، 1982) و ماده آلی به روش والکی و بلک (نلسون و سامرز، 1982) انجام شد. شکل (1) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری نشان می‌دهد.

آنالیز آمار توصیفی و زمین آماری

در ابتدا مقادیر آماره‌های پایه نظیر مقدار حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف معیار، مد، میانه و ضریب تغییرات محاسبه شد. از آزمون چولگی و کشیدگی برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید. برای رسیدن به یک تفسیر درست از درون‌یابی مکانی مطلوب است که داده‌ها توزیع نرمال داشته یا نزدیک به توزیع نرمال باشند (گوارتز و همکاران، 2005). آنالیز آمار توصیفی و بررسی نرمال بودن داده‌ها با نرم افزار SPSS 16 انجام شد. برای ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متغیرهای مورد مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نرمال کردن متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از تبدیل لگاریتمی داده‌ها انجام شد (GS⁺ 5.1).

ارزیابی ساختار مکانی و پهنه‌بندی

برای بررسی ساختار مکانی در شرایط صدق فرضیات پایایی، از ابزار نیم‌تغییرنما استفاده می‌شود. تغییرنما برای تشریح ارتباط فضایی بین متغیر ناحیه‌ای نقاط مختلف یک منطقه به کار می‌رود (گوارتز، 1997). با توجه به این‌که تغییرنما برای همه جامعه مورد مطالعه امکان‌پذیر نمی‌باشد، نیم‌تغییرنما در یک فاصله تفکیک مشخص به وسیله تابع زیر تخمین زده شد (بورگس و همکاران، 1980).

(1)

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

در آن $\gamma(h)$ مقدار نیم‌تغییرنمای تجربی، تعداد جفت نمونه‌های جدا شده توسط فاصله گام (h) و $z(x_i)$ و $z(x_i + h)$ به ترتیب مقادیر متغیر مورد نظر در محل‌های (x_i) و $(x_i + h)$ هستند. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار (GS⁺ 5.1) مدل‌های تغییرنمای کروی، خطی، نمائی، گوسی و اثرقطعه‌ای بر نیم‌تغییرنمای تجربی متغیرهای مورد مطالعه برازش داده و برای ارزیابی بهترین مدل نیم‌تغییرنما از آماره‌های مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد، به این صورت مدلی که

معمولی بهتر از روش معکوس فاصله وزنی است (رضا، 2010). لیو و همکاران (2013) در مطالعه تغییرات مکانی عناصر خاک در ارتباط با فاکتورهای محیطی در شرق چین مدل نمائی را به عنوان بهترین مدل گزارش کردند. سمک و همکاران (2007) در مطالعه خود تغییرات مکانی EC، ESP، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و هدایت هیدرولیکی (K_s) را در زمین‌های کشاورزی که با آب نامطلوب آبیاری می‌شد، بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشانگر همبستگی مکانی متوسط تا قوی متغیرهای مورد مطالعه بود. فاتحی و همکاران (1391) در یک شبکه 50×50 متر از روش کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه پراکنش فسفر قابل جذب، پتاسیم و کربن آلی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب در استان کرمانشاه استفاده کردند. نتایج نشان داد که بهترین مدل برازش یافته برای پتاسیم و فسفر قابل جذب مدل نمائی بود.

این مطالعه با هدف بررسی تغییرات مکانی عناصر پرمصرف و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های اراضی کشاورزی شرکت کشت و صنعت شریف آباد قزوین، مطالعه همبستگی آن‌ها با برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، تعیین مناطق کمبود، کفایت و زیاد عناصر مورد بررسی و در نهایت پهنه‌بندی عناصر مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مطالعه منطقه، نمونه برداری خاک و آنالیز

منطقه مورد مطالعه در حدود 800 هکتار از اراضی شرکت کشت و صنعت شریف آباد قزوین بود. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی دارای مختصات 36 درجه و 10 دقیقه و 47 ثانیه شمالی و 50 درجه و 9 دقیقه و 52 ثانیه شرقی می‌باشد. فرآورده‌های کشاورزی شامل گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای می‌باشد. نمونه برداری از اراضی این شرکت به صورت شبکه‌ای حدود 600 نمونه خاک با فاصله 100 متر در 100 متر با عمق 0-30 سانتی‌متری جمع‌آوری و موقعیت تمام نقاط با دستگاه GPS¹ ثبت شد. در مجموع تعداد 275 نمونه خاک برای آنالیز آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از هوا خشک شدن کوبیده و از الک 2 میلی‌متر برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی عبور داده شد. اندازه‌گیری فسفر قابل استخراج از خاک با اولسن (اولسن و سومر، 1986)، نیتروژن کل خاک با کج‌لدال (برمنز و ملوانی، 1986)، پتاسیم قابل

¹ Global Positioning System

به منظور ارزیابی صحت پیش‌بینی روش درون‌یاب کریجینگ با استفاده روش اعتبار سنجی جک‌نایف از معیارهای ارزیابی میانگین خطا (رابطه 4) و جذر میانگین مربعات خطا (رابطه 5) استفاده شد (هنگل، 2007).

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\} \quad (4)$$

(5)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2}$$

که $Z(X_i)$ مقدار مشاهده شده، $\hat{Z}(X_i)$ مقدار پیش‌بینی شده و N تعداد نمونه‌ها است. در شرایطی که مقادیر این دو پارامتر حداقل مقدار را داشته باشد، پیش‌بینی ویژگی‌های خاک توسط روش‌های درون‌یاب از صحت بیش‌تر برخوردار است (هنگل، 2007). کم‌ترین مقدار $RMSE$ برابر صفر است و مقدار $RMSE$ نشان‌دهنده بیش‌برآورد¹ یا کم‌برآورد² است. آماره ME نشان‌دهنده وجود اریبی است. هر اندازه آماره ME کوچک‌تر باشد پیش‌بینی روش درون‌یابی از اریبی کمتری برخوردار است (محمدی، 1385).

نتایج و بحث

توصیف آماری

مقادیر آماره‌های پایه نظیر مقدار حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف معیار، مد، میانه و درصد ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی محاسبه گردید (جدول 1). نتایج این ویژگی‌های مورد مطالعه و هیستوگرام توزیع فراوانی (شکل 2) نشان داد که ویژگی‌های مورد مطالعه دارای چولگی معنادار و توزیع غیرنرمال است. چولگی دلالت بر غیرنرمال بودن توزیع فراوانی داده دارد و چولگی بالا نشان‌دهنده غیر یکنواخت بودن واریانس، وجود جوامع فرعی و یا حضور داده‌های پرت می‌باشد (یونگ و همکاران، 1999). بر اساس نتایج جدول (1) نیتروژن کل در محدوده 0/02-0/82 درصد، فسفر قابل استخراج با اولسن در محدوده 93/07-9/58 میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در

دارای کمترین RSS و بیش‌ترین R^2 بود، جهت برازش انتخاب شد. قدرت ساختار مکانی متغیرها با استفاده از نسبت همبستگی مکانی متغیرها ارزیابی شد. همبستگی مکانی با نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه محاسبه گردید. اگر این نسبت کمتر از 25% باشد وابستگی مکانی قوی، اگر بین 25% و 75% باشد وابستگی مکانی متوسط و اگر بیشتر از 75% داشته باشد وابستگی مکانی ضعیف را شامل می‌شود (چین و همکاران، 1997). به طور معمول وابستگی مکانی قوی به عوامل ذاتی و وابستگی مکانی ضعیف به عوامل بیرونی نسبت داده شده است (کامباردلا و همکاران، 1994). روش‌های درون‌یابی به عنوان یک عامل کلیدی در دقت و صحت درون‌یابی به رسمیت شناخته شده است. مقایسه و دقت روش‌های درون‌یابی در مطالعات مختلفی انجام شده است. قابلیت اطمینان درون‌یابی ارزیابی بهتری از توزیع مکانی متغیرها می‌دهد (روبینسون و مترنیچت، 2006؛ ویو و همکاران، 2011). برای رسم نقشه‌های پهنه‌بندی از نرم‌افزار ARC GIS 9.3 استفاده شد. متغیرهای مورد مطالعه دارای ساختار مکانی بودند بنابراین از روش کریجینگ برای پهنه‌بندی در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده شد. کریجینگ تخمین‌زنی است که مقادیر یک متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده را به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. مهم‌ترین قسمت کریجینگ تعیین وزن‌های آماری می‌باشد. جهت ناریب بودن تخمین‌ها، این اوزان بایستی به نحوی تعیین گردند که مجموع آن‌ها برابر یک باشد و برای دقیق بودن تخمین‌ها بایستی واریانس تخمین حداقل باشد (واسیولا و همکاران، 2010). معادله اصلی برای درون‌یابی به روش کریجینگ در یک محل نمونه‌برداری نشده (X_0) بصورت رابطه (2) است.

$$Z_K(X_0) = \sum_{i=1}^{n(h)} \lambda_i Z(X_i)$$

در معادله بالا $Z_K(X_0)$ تخمین مقدار متغیر Z در نقطه (X_0) ، n تعداد نقاط همسایه و λ_i فاکتور وزنی برای هر $Z(X_i)$. فاکتور وزنی برای نقاط همسایه اندازه‌گیری شده باید مجموع اوزان‌ها برابر یک شود. در واقع شرط ناریب بودن این است که مجموع اوزان برابر یک باشد (رابطه (3)) (واسیولا و همکاران، 2010).

(3)

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

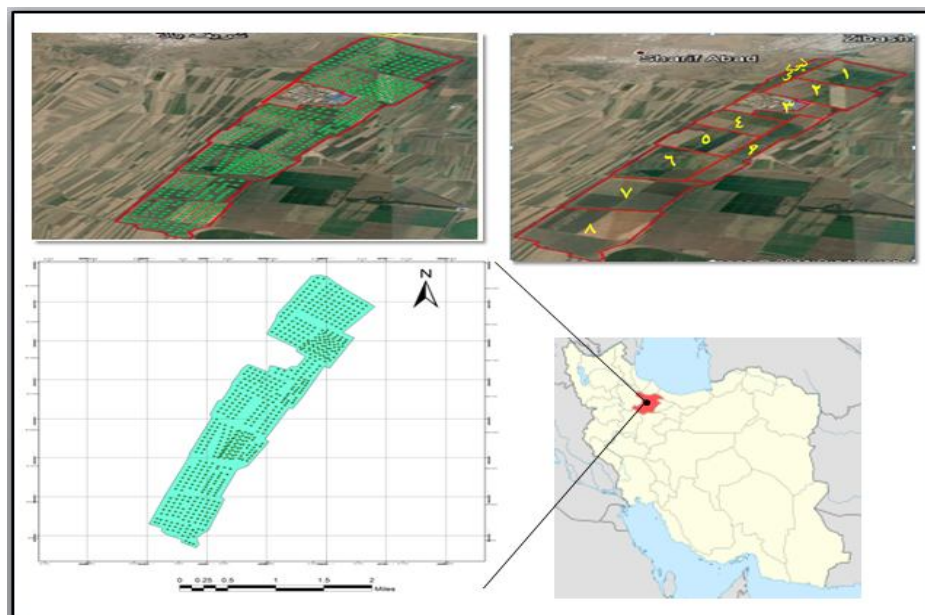
¹ Overestimate

² Underestimate

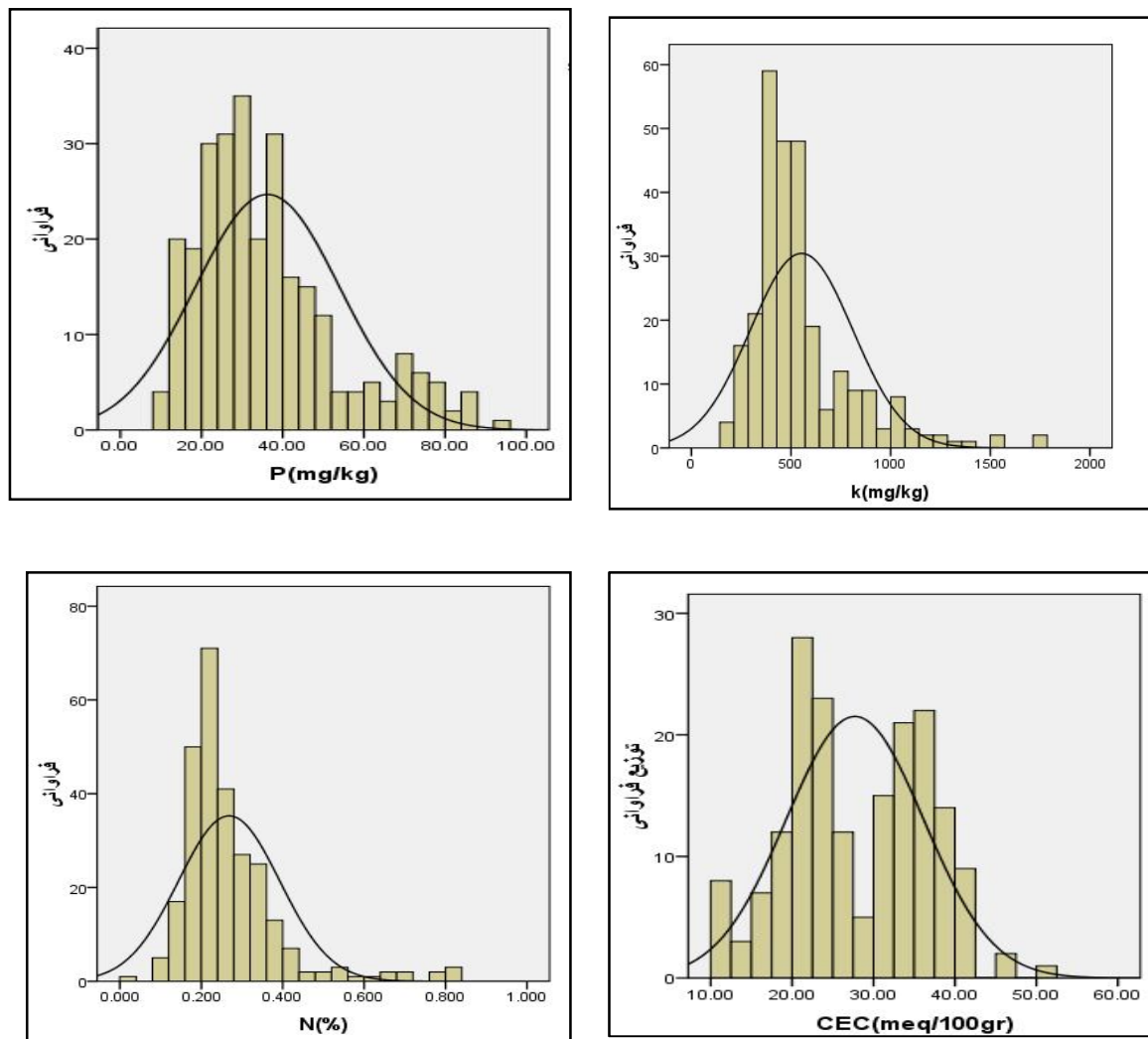
شالیزارهای منطقه شایانگ چین از تبدیل لگاریتمی برای نرمال کردن عناصر مورد مطالعه خود استفاده و اظهار داشتند عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن به ترتیب دارای ضریب تغییرات 21/69، 58/20.79/89، 21/69 بودند. کاظمی پشت مساری و همکاران (1391) در مطالعه ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین و پهنه‌بندی عناصر غذایی پر مصرف در برخی اراضی کشاورزی استان گلستان، اظهار داشتند که فسفر قابل استخراج با اولسن توزیع نرمال نداشته و با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند و ضریب تغییرات برای فسفر در این اراضی مقدار بالایی گزارش شد. میرباقری و همکاران (1390) نشان دادند که توزیع فسفر غیرنرمال بوده که با تبدیل لگاریتمی داده‌ها توزیع نرمال شدند و تغییرپذیری عنصر فسفر را به صورت متوسط گزارش کردند. مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس مربوط به عواملی از جمله نوع کاربری، توپوگرافی، نوع خاک، نوع گیاه و مواد مادری مربوط می‌باشد (لیو و همکاران، 2007). به نظر می‌رسد در منطقه مورد بررسی ضریب تغییرات بالای فسفر قابل جذب و نیتروژن کل می‌تواند ناشی از مقادیر متفاوت کوددهی در سطح مزارع، ویژگی‌های متفاوت خاک منطقه، نوع گیاه کشت شده و... باشد. در این زمینه سن و همکاران (2007) و التایب و همکاران (2007) به نتایج مشابهی نیز دست یافت

محدوده 1740-180 میلی‌گرم بر کیلوگرم و ظرفیت تبادل کاتیونی در محدوده 50/16-11/44 میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک بود. تاج‌گردان و همکاران (1388) اظهار می‌دارند که بر اساس طبقه‌بندی ویلدینگ (1983) خصوصیات خاک با ضریب تغییرات بیش از 35 درصد دارای تغییرپذیری زیاد، بین 35 تا 15 درصد دارای تغییرپذیری متوسط و کمتر از 15 درصد دارای تغییرپذیری کم می‌باشد. براین اساس ضریب تغییرات برای عناصر پرمصرف دارای تغییرپذیری زیاد و برای ظرفیت تبادل کاتیونی تغییرپذیری متوسط می‌باشد. مقدار ضریب تغییرات کمتر از 10% مشخصه تغییرات ضعیف و بیش‌تر از 90% نشان دهنده تغییرات قوی است (زانگ و همکاران، 2007).

ضریب تغییرات که معیاری از تغییرپذیری نسبی است در بررسی برای متغیرهای شن، کربن آلی، پتاسیم محلول در آب، پتاسیم قابل استخراج به وسیله استات آمونیوم و پتاسیم قابل استخراج به وسیله اسید نیتریک جوشان در تمامی نواحی بالاتر از 35 درصد گزارش شد که در گروه متغیرهای با ضریب حداکثر طبقه‌بندی می‌شوند. بالا بودن ضریب تغییرات نشان دهنده آن است که متغیرهای فوق بیشتر تحت تأثیر عملیات مدیریتی قرار گرفته‌اند (دواتگر و همکاران، 1384). کیو و همکاران (2014) در بررسی تغییرات مکانی عناصر پر مصرف در



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری
آنالیز آمار توصیفی و زمین آماری



شکل 2- هیستوگرام توزیع فراوانی فسفر، پتاسیم، نیتروژن و ظرفیت تبادل کاتیونی

جدول 1- توصیف آماری عناصر پرمصرف و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی	تعداد	واحد	میانگین	میانہ	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات(%)
N	275	%	0/268	0/235	0/828	0/028	0/124	2/187	6/113	46/26
P	275	mg kg ⁻¹	36/219	31/590	93/07	9/58	17/77	1/053	0/636	49/06
K	275	mg kg ⁻¹	552/87	500	1740	180	257/34	1/811	4/310	46/54
CaCO ₃	275	%	6/077	6/090	8/53	1/63	1/03	- 0/546	1/202	16/96
pH	275	-	8/137	8/140	9/03	7/36	0/37	0/213	- 0/643	4/55
OM	275	%	2/040	1/960	4/44	0/03	0/78	0/313	0/232	38/23
Clay	275	%	20/95	20	50/54	8	6/30	1/35	3/22	30/07
CEC	182	meq / 100gr	28/207	26/990	50/16	11/44	8/43	0/027	- 0/839	29/89

N: نیتروژن، P: فسفر، K: پتاسیم، CaCO₃: آهک، OM: ماده آلی، Clay: رس، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

همبستگی بین ویژگی‌های مورد مطالعه

به منظور بررسی همبستگی عناصر مطالعه شده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید (جدول 2). با توجه به متفاوت بودن پارامترهایی از قبیل نوع گیاه کشت شده، مقدار عناصر غذایی مصرف شده، زمان اضافه شدن ماده آلی به خاک و... به نظر می‌رسد نوع مدیریت در قطعات مختلف متفاوت باشد. بر این اساس و به جهت حذف اثر قطعه بر همبستگی بین ویژگی‌ها، علاوه بر همبستگی بین پارامترهای مورد مطالعه در کل قطعات و به صورت یک-جا همبستگی بین این ویژگی‌ها به صورت تفکیک شده برای هر قطعه نیز مورد بررسی قرار گرفت (نتایج همبستگی قطعات اراضی آورده نشده است). نتایج حاکی از وجود رابطه معنادار و مثبت بین نیتروژن و فسفر خاک و در سطح احتمال 1 و 5 درصد در برخی قطعات می‌باشد. به نظر می‌رسد الگوی مدیریتی یکسان در استفاده از کودهای ازته و فسفره می‌تواند دلیلی بر وجود چنین همبستگی باشد.

نتایج نشان داد همبستگی مثبت و معناداری بین درصد نیتروژن، فسفر قابل دسترس و ظرفیت تبادل کاتیونی با ماده آلی خاک وجود دارد. همبستگی مثبت و معناداری بین پتاسیم، فسفر و نیتروژن نیز مشاهده شد که این نتایج مشابه با نتایج مطالعات کیو و همکاران (2014)، بوشان و همکاران (2010) و وانگ و همکاران (2009) می‌باشد. رحمان و همکاران (2011) همبستگی مثبت و معناداری بین نیتروژن کل خاک با مقادیر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و بر مشاهده شد. نتایج وانگ و همکاران (2008) در مطالعه تغییرات کربن آلی تحت کاربری‌های مختلف در شمال شرقی چین نیز مشابه بود. شاریلی و اسمیت (1985) رابطه منفی و معناداری بین قابلیت استفاده فسفر با میزان کربنات کلسیم برای گروهی از خاک‌های آهکی ایالات متحده آمریکا بدست آوردند. رابطه غیر معناداری بین پتاسیم با رس و ظرفیت تبادل کاتیونی مشاهده گردید. توفیقی (1996) در مطالعه خود با توجه به نبودن همبستگی بین ظرفیت تبادل کاتیونی و شکل‌های مختلف پتاسیم به این نتیجه رسید که علاوه بر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی نوع پدیده پخشیدگی بر روی رهاسازی پتاسیم تأثیرگذار است. فرشادی راد (1390) در مطالعه شکل‌های پتاسیم در گلستان نیز به چنین نتیجه‌ای رسیدند بنابراین علاوه بر مقدار رس و سیلت خاک‌ها احتمالاً نوع کانی‌ها و مرحله هوادیدگی کانی‌ها نیز در رهاسازی پتاسیم از خاک‌ها می‌تواند مؤثر باشد. گلستانی-فرد (1375) با بررسی تثبیت پتاسیم در خاک‌های

شالیزاری شمال ایران، همبستگی ضعیفی بین میزان تثبیت پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی مشاهده کرد. وی علت پایین بودن میزان همبستگی را به وجود مقدار زیادی ماده آلی در خاک مربوط دانست. چرا که بخش اعظمی از ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های مورد مطالعه از مواد آلی نشأت گرفته که اصولاً فاقد خصوصیات تثبیت می‌باشند. به نظر می‌رسد متغیر بودن همبستگی‌های گزارش شده بین درصد رس و میزان تثبیت پتاسیم به دلیل متفاوت بودن اندازه و نوع رس در خاک‌های مذکور می‌باشد. زیاد شدن مقدار رس ممکن است سبب افزایش میزان تثبیت پتاسیم شود، ولی از آنجا که تثبیت پتاسیم به ویژگی مینرالوژیکی رس و نه به مقدار آن بستگی دارد، لذا در همه خاک‌ها الزاماً، نایستی بین درصد رس و پتاسیم همبستگی بالایی مشاهده کرد (گلستانی-فرد، 1375).

بررسی زمین آماری ویژگی‌های مورد مطالعه

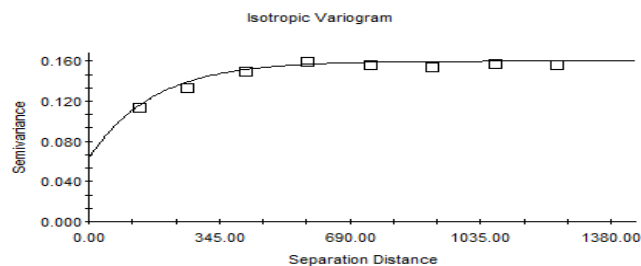
بمنظور بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی مکانی ویژگی‌های مورد مطالعه نیم تغییرنمای ویژگی‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار GS+ محاسبه گردید. در این مطالعه بهترین مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنما برای ویژگی‌های مورد مطالعه مدل نمائی (شکل‌های 3، 4، 5 و 6) به دست آمد.

جدول (3) پارامترهای مدل‌های برازش شده بر نیم تغییرنما را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج دامنه مؤثر برای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب 510، 798، 567 و 1476 متر برآورد شد. مقدار اثر قطعه‌ای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب 0/063، 0/068، 0/049 و 17/70 بود. معمولاً اثر قطعه‌ای در نتیجه پیامدهای تعداد نمونه محدود، واریانس در مقیاس کوچک و حضور داده پرت اتفاق می‌افتد (مک گراث و زانگ، 2003). کری و الیور (2004) گزارش دادند که فاصله بین نقاط نمونه برداری باید کمتر از نصف دامنه نیم تغییرنما باشد. فو و همکاران (2010) فاصله نمونه برداری مناسب 100 متر برای فسفر قابل جذب و برای پتاسیم قابل استخراج 150 متر پیشنهاد کردند. فو و همکاران (2010) دامنه‌های 264، 300، 290 متر به ترتیب برای فسفر، پتاسیم و pH در اراضی مرتعی گزارش دادند. نتایج تجزیه و تحلیل زمین آماری سکوتی اسکوتی (1386) نشان داد در روش کریجینگ مدل مناسب برای فسفر و پتاسیم به ترتیب نمایی و کروی برازش داده شده است.

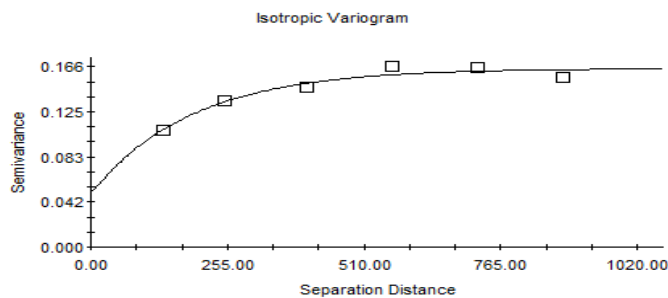
جدول 2- ماتریس همبستگی عناصر و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (کل قطعات)

	pH	OM	Clay	CaCO ₃	CEC	N	P	K
	-	%	%	%	meq/100gr	%	mg/kg	mg/kg
pH	1							
OM	0/257**	1						
Clay	0/274**	0/010	1					
CaCO ₃	-0/135*	0/014	-0/038	1				
CEC	-0/009	0/116	-0/180*	0/041	1			
N	-0/145*	0/020	0/042	-0/046	-0/256*	1		
P	-0/07	0/344**	-0/138*	0/152*	0/135	0/090	1	
K	0/034	0/289**	-0/099	0/082	-0/076	0/342**	0/506**	1

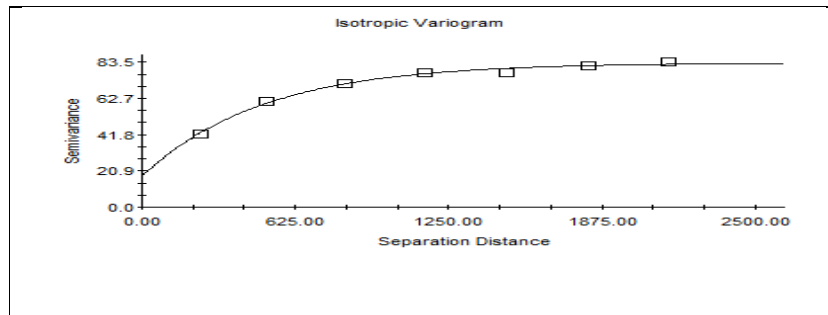
(** و * به ترتیب معناداری در سطح احتمال 1 و 5 درصد)



شکل 3- نیم تغییرنمای تجربی عنصر نیتروژن (%) و مدل برازش داده شده (مدل نمایی)



شکل 4- نیم تغییرنمای تجربی عنصر پتاسیم (mg/kg) و مدل برازش داده شده (مدل نمایی)



شکل 5- نیم تغییرنمای تجربی عنصر فسفر (mg/kg) و مدل برازش داده شده (مدل نمایی)

نسبت به کاربرد کودهای فسفر پاسخ نشان می‌دهند، بین 12 تا 24 میلی‌گرم بر کیلوگرم، احتمال پاسخ وجود دارد، و در بیشتر از 24 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر پاسخ گیاهی غیر محتمل است. لودویک (1998) خاک‌های دارای کمتر از 18 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر را به عنوان خاک‌های با پاسخ شدید به مصرف فسفر، خاک‌های دارای 18-34 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر را به عنوان خاک‌های با پاسخ محتمل و خاک‌های دارای بیشتر از 34 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر را به عنوان خاک‌های بدون پاسخ معرفی نمود. بر این اساس در نهایت چهار محدوده شامل کمتر از 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم (کمبود)، 12-24 (کمبود خفیف)، 24-36 (بهینه) و بیشتر از 36 (بیش بود) میلی‌گرم بر کیلوگرم برای پهنه‌بندی فسفر قابل استخراج با اولسن در خاک‌های مورد مطالعه استفاده گردید. نتایج نشان داد محدوده کمتر از 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم صفر درصد، 12-24 (7/8%)، 24-36 (48/4%) و بیشتر از 36 میلی‌گرم بر کیلوگرم (43/8%) را از اراضی مورد مطالعه را به خود اختصاص داد. این محدوده‌ها به ترتیب صفر، 56/85، 353 و 318/87 هکتار از اراضی را شامل می‌شوند (جدول 4). یاراحمدی و همکاران (1385) گزارش نمودند که مصرف بی‌رویه کودهای فسفات در زراعت سیب زمینی در شهرستان سراب باعث تجمع این عنصر در خاک شده به طوری که غلظت این عنصر در خاک از 100 میلی‌گرم در کیلوگرم فراتر رفته است. کارزماریک و رنمان (2011) در مطالعه تغییرات مکانی فسفر یک منطقه باتلاقی از روش کریجینگ استفاده کردند. سکوتی اسکوتی و مهدیان (2011) در مطالعه مقدار فسفر در دشت ارومیه روش کریجینگ را مناسب‌ترین روش گزارش کردند.

در مطالعه کاظمی پشت مساری (1391) در اراضی سرخکلاته بهترین مدل برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم مدل نمایی، کروی و نمایی به دست آوردند. همچنین این عناصر دارای وابستگی مکانی قوی بودند. کیو و همکاران (2014) بهترین مدل برازش داده شده برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را به ترتیب مدل نمایی، نمایی و کروی گزارش و اظهار کردند ویژگی‌های مورد مطالعه دارای همبستگی مکانی متوسط بودند. افشار و همکاران (1388) در مطالعه تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم آبی در یک نقشه تناسب کمی در منطقه شهرکیان شهرکرد دامنه تأثیر کوچک‌تر نیتروژن خاک را به دلیل تحرک بیشتر این یون نسبت به یون‌های فسفر و پتاسیم نسبت دادند. نتایج ارزیابی صحت درون-یابی با روش کریجینگ و آماره‌های میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات خطا در جدول (3) نشان داده شدند. آماره ریشه میانگین خطا نزدیک به صفر ویژگی‌های مورد بررسی نشان داد که ویژگی‌ها از صحت تخمین خوبی برخوردار بودند. مقدار RMSE بالای پتاسیم نسبت به دیگر ویژگی‌ها به علت دامنه بالای مقادیر این ویژگی است که منجر به تغییرات غیر یکنواختی شدید شده است.

پهنه‌بندی ویژگی‌های مورد مطالعه

پهنه‌بندی فسفر قابل استخراج با اولسن

شکل هفت نتایج حاصل از پهنه‌بندی فسفر خاک به روش کریجینگ را نشان می‌دهد. نتایج کلی نشان داد فسفر قابل استخراج با عصاره‌گیر اولسن با میانگین 36/21 در دامنه 9/58-93/07 میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار داشت. اولسن و دین (1965) نشان دادند در صورتی که مقدار فسفر کمتر از 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، گیاهان

3- پارامترهای مدل‌های نیم تغییرنمای برازش داده شده برای ویژگی‌های مورد مطالعه

تعداد نمونه	نوع متغیر	مدل-برازش داده شده	اثر قطعه‌ای (C_0)	سقف (C_0+C)	دامنه تأثیر (m)	معیار همبستگی مکانی $C_0/(C_0+C)$	کلاس همبستگی مکانی	R^2	RSS	RMSE	ME
275	N	نمایی	0/063	0/160	510	0/39	متوسط	0/974	0/00012	0/11	0/001
275	P	نمایی	0/068	0/267	798	0/254	قوی	0/994	0/00010	8/96	-0/54
275	K	نمایی	نمایی	0/164	567	0/29	متوسط	0/946	0/00013	228/8	-1/83
182	CEC	نمایی	نمایی	83/15	1476	0/21	قوی	0/993	9/16	5/65	0/054

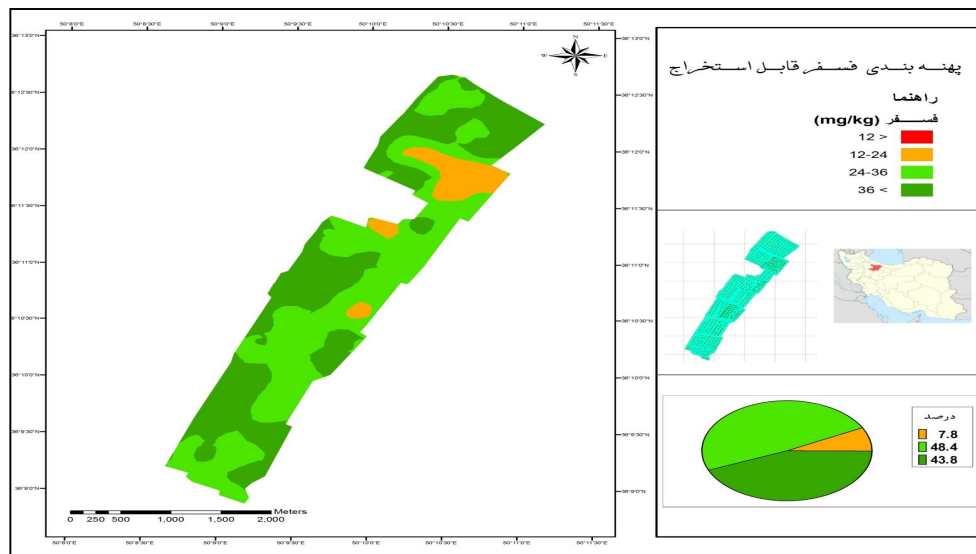
RSS

: مجموع مربعات باقی مانده

R^2 : ضریب تبیین

RMSE: مجذور میانگین مربعات خطای تخمین

ME: میانگین خطا



شکل 7- نقشه پهنه بندی فسفر خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) به روش کریجینگ

جدول 4- مساحت منطقه مورد مطالعه با توجه به محدوده‌های تعیین شده (فسفر)

محدوده‌های نقشه	مساحت (هکتار)	درصد
< 12	0	0
12-24	56/85	7/80
24-36	353	48/4
> 36	318/87	43/8

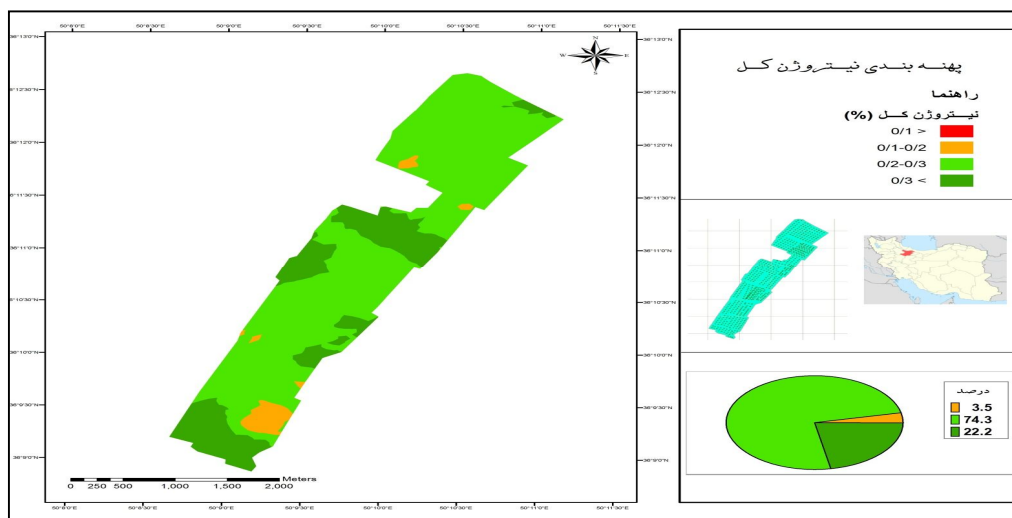
پهنه‌بندی نیتروژن کل خاک

شکل هشت نتایج حاصل از پهنه‌بندی نیتروژن کل خاک به روش کریجینگ را نشان می‌دهد. نتایج کلی

نشان داد نیتروژن کل خاک با میانگین 0/26 در دامنه 0/02-0/82 درصد قرار دارد. ملکوتی و همکاران (1373) و میرنیا و محمدیان (2006) حد بهینه نیتروژن 0/2 درصد

یا یونجه) با برداشت بالا از یک طرف و از طرف دیگر با توجه به این که بخش قابل توجهی از نیتروژن کل در خاک مربوط به نیتروژن آلی می باشد و این فرم از نیتروژن به طور مستقیم برای گیاه قابل استفاده نیست لذا پیشنهاد می شود که سالانه بسته به نوع گیاه مقادیر 100 تا 200 کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت تقسیط به خاک منطقه اضافه شود. چوکوا و همکاران (2007) با استفاده از کریجینگ معمولی اقدام به تهیه نقشه های توزیع مکانی ازت، فسفر و پتاسیم در اراضی تحت کشت سیب زمینی شیرین در جنوب نیجریه نمودند. پاناگوپولس و همکاران (2006) روش کریجینگ را بهترین روش برای عناصر پرمصرف گزارش دادند. کاظمی و همکاران (1391) نشان دادند روش کریجینگ، بهترین الگو برای تخمین نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در این منطقه می باشد زیرا بالاترین صحت و کمترین خطا را دارا بود.

گزارش کردند بر این اساس در نهایت چهار محدوده شامل کمتر از 0/1 (کمبود)، 0/1-0/2 (کمبود خفیف)، 0/2-0/3 (بهینه) و بیشتر از 0/3 (بیش بود) درصد برای پهنه بندی نیتروژن کل در خاک های مورد مطالعه استفاده گردید. نتایج نشان داد محدوده کمتر از 0/1 درصد صفر درصد، محدوده 0/1-0/2، 3/5 درصد (25/3 هکتار)، 0/2-0/3، 74/3 درصد (541/1 هکتار) و محدوده بیشتر از 0/3، 22/2 درصد (162/3 هکتار) از اراضی مورد مطالعه را به خود اختصاص داد (جدول 5). به نظر می رسد یکی از دلایل مناسب بودن وضعیت نیتروژن در منطقه مورد مطالعه علاوه بر استفاده کودهای نیتروژنه به فرم های مختلف مقدار نسبتاً بالای ماده آلی نیز در این روند تأثیر بسزایی دارد. مطالعات زیادی نشان می دهد که ارتباط مثبت و معناداری بین مقدار نیتروژن و مقدار ماده آلی خاک وجود دارد. علی رغم این که نتایج از وضعیت مناسب نیتروژن کل خاک بیان کننده وضعیت نیتروژن کل خاک می باشد اما با توجه به کشت گیاهان پر نیاز (ذرت



شکل 8- نقشه پهنه بندی عنصر نیتروژن (%) به روش کریجینگ

جدول 5- مساحت منطقه مورد مطالعه با توجه به محدوده های تعیین شده (نیتروژن)

محدوده های نقشه	مساحت (هکتار)	درصد
<0/1	0	0
0/1-0/2	25/3	3/5
0/2-0/3	541/1	74/3
>0/3	162/3	22/2

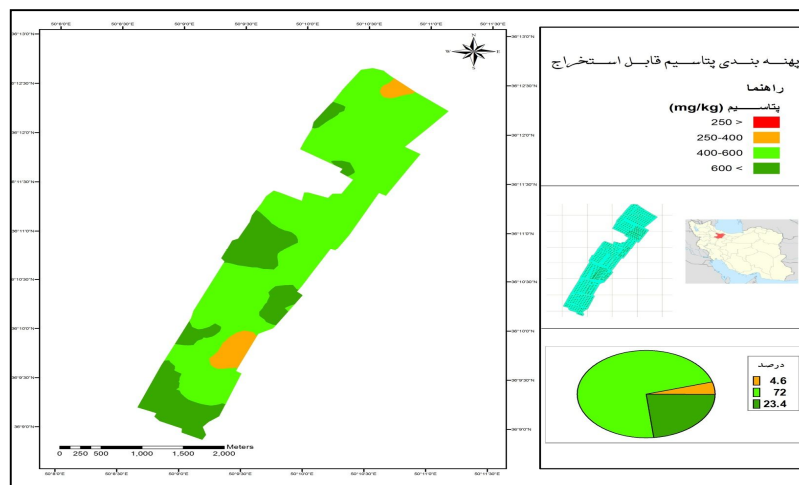
می دهد. نتایج کلی نشان داد که مقدار پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم با میانگین 552/87 در دامنه 1740-180 میلی گرم بر کیلوگرم قرار دارد. در خصوص

نقشه پهنه بندی پتاسیم خاک

شکل نه نتایج حاصل از پهنه بندی پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم به روش کریجینگ را نشان

استفاده گردید. نتایج نشان داد وسعت مناطق محدوده کمتر از 250، 250-400، 400-600 و بیشتر از 600 به ترتیب صفر، 4/6 درصد، 72 و 23/4 درصد بود (جدول 6). به نظر می‌رسد علت بالا بودن پتاسیم بویژه در بخش‌های جنوب و جنوب غربی منطقه مطالعاتی علاوه بر مصرف زیاد کودهای پتاسه، مقدار رس بالای خاک‌های محدوده می‌باشد. رس‌های فیلسیلیکاته 2:1 بویژه رس-های از نوع میکا، ایلات منابع غنی از پتاسیم بوده و در این گونه خاک‌ها پتاسیم قابل دسترس بالقوه بالاست (بستانی، 1381). در مطالعه شهرکی و همکاران (1388) با توجه به این که حد بهینه پتاسیم برای محصول ذرت 300 میلی‌گرم بر کیلوگرم است میزان پتاسیم مزارع مورد مطالعه را کمتر از حد بهینه گزارش کردند. مک براتنی و وبستر (1983) از تکنیک کریجینگ ساده برای تهیه نقشه خصوصیات حاصل‌خیزی خاک (واکنش خاک، فسفر و پتاسیم قابل جذب) خاک‌های ایستگاه تحقیقاتی بارن برومز استفاده کردند.

حد بهینه پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک مقادیر متفاوتی گزارش شده است. بهرام‌پور و همکاران (1394) حد بحرانی پتاسیم برای خاک‌های زیر کشت گندم در اردبیل را 250-280 و برای خاک‌های زیر کشت ذرت 270-300 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش کردند. غیبی (1375) حد بحرانی پتاسیم و فسفر برای گیاه ذرت 260 و 18/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش کردند. فیضی اصل (1382) در مطالعه تعیین حد بحرانی پتاسیم خاک-های گندم در شمال غرب ایران، حد بحرانی این عنصر غذایی در خاک 250 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش دادند. ملکوتی (1373) حد بهینه پتاسیم در کشت‌زارهای اطراف کرج، تهران و دماوند 400 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش کرد. بر این اساس در نهایت چهار محدوده شامل کمتر از 250 میلی‌گرم بر کیلوگرم (کمبود شدید)، 250-400 (کمبود خفیف)، 400-600 (بهینه) و بیشتر از 600 (بیش بود) میلی‌گرم بر کیلوگرم برای پهنه‌بندی پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در خاک‌های مورد مطالعه



شکل 9- نقشه پهنه‌بندی پتاسیم خاک به روش کریجینگ

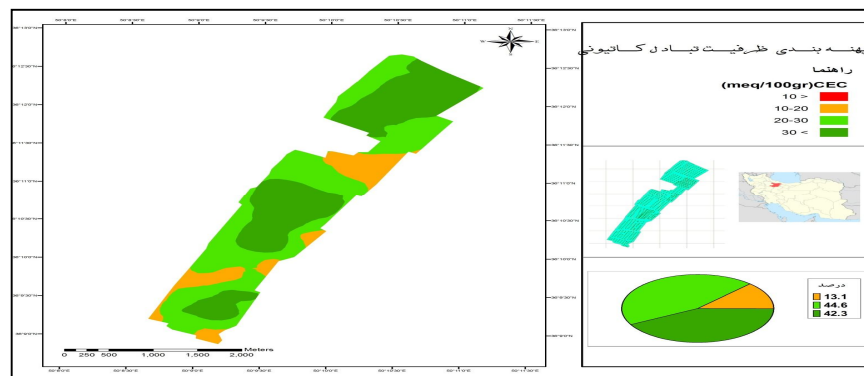
جدول 6- مساحت منطقه مورد مطالعه با توجه به محدوده‌های تعیین شده (پتاسیم)

محدوده‌های نقشه	مساحت (هکتار)	درصد
< 250	0	0
250-400	33/34	4/6
400-600	524/88	72
> 600	170/57	23/4

نقشه پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

شکل (10) نتایج حاصل از پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با روش کریجینگ را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با میانگین 28/20 در دامنه 50/16 - 11/44 میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک قرار دارد. بطور معمول ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های شنی در محدوده 8-1، شن لومی، 12-9؛ لوم شنی یا سیلتی، 20-13؛ لوم، 28-21؛ لوم رسی، 40-29 و خاک‌های رسی بیشتر از 40 میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک قرار دارند (آدهمی، 1393). بر

این اساس در نهایت چهار محدوده شامل کمتر از ده (کمبود)، 20-10 (کمبود خفیف)، 30-20 (پهنه) و بیشتر از 30 (بیش بود) میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک برای پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های مورد مطالعه استفاده گردید. نتایج نشان داد وسعت مناطق محدوده‌های تعیین شده به ترتیب صفر، 13/1، 44/6، 42/3 درصد از اراضی مورد مطالعه را به خود اختصاص داد. نتایج حاصل نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در وضعیت نسبتاً مناسبی قرار دارد.



شکل 10 - نقشه پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش کریجینگ

جدول 7 - مساحت منطقه مورد مطالعه با توجه به محدوده‌های تعیین شده (ظرفیت تبادل کاتیونی)

محدوده‌های نقشه	مساحت (هکتار)	درصد
< 10	0	0
10-20	95/7	13/1
20-30	324/8	44/6
>30	308/2	42/3

نتیجه‌گیری

نرمال بوده که به وسیله‌ی تبدیل لگاریتمی توزیع آن‌ها تا حدودی نرمال گردید. نتایج وابستگی مکانی نشان داد که عناصر نیتروژن و پتاسیم وابستگی مکانی متوسط و فسفر و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک وابستگی مکانی قوی داشتند. در بررسی مورد مطالعه روش کریجینگ به عنوان بهترین تخمین‌گر انتخاب شد. نقشه پهنه‌بندی این عناصر نشان داد که بخش بزرگی از اراضی مورد مطالعه از نظر عنصر نیتروژن در حد مناسب بودند. عنصر فسفر و پتاسیم نیز مقادیر مناسبی داشته بنابراین می‌توان از افزودن کود در اراضی این منطقه تا حدودی خودداری کرد.

تحقیق انجام شده بر روی 275 نمونه خاک از 600 نمونه خاک جمع‌آوری شده از اراضی شرکت کشت و صنعت شریف آباد قزوین انجام شد که حداقل مقدار برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم 0/028، 9/58، 180 و حداکثر مقدار به ترتیب 0/82 درصد، 93/07، 1740 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. غلظت عناصر مورد مطالعه به طور میانگین به ترتیب نیتروژن، فسفر، پتاسیم 0/26 درصد، 36/21، 552/87 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج تجزیه و تحلیل آماری متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی کمترین و فسفر دارای بیشترین ضریب تغییرات بودند. از طرف دیگر نتایج آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که توزیع داده‌ها غیر

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، مسئولین دانشکده و کارشناسان آزمایشگاه خاکشناسی به دلیل همکاری در انجام آزمایشات تشکر می‌گردد.

فهرست منابع:

1. ادهمی، ا.، مفتون، م.، مولوی، ر. (مترجمان). (1393). راهنمای آزمایشگاهی آزمون‌های خاک و تجزیه گیاه. انتشارات دانشگاه یاسوج. چاپ اول. 425 ص.
2. افشار، ح.، صالحی، م.، ح.، محمدی، ج.، محنت‌کش، ع. (1388). تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم آبی در یک نقشه تناسب کمی (مطالعه موردی: منطقه شهرکیان، استان چهارمحال و بختیاری). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 23، شماره 1. 172-161.
3. بستانی، ع.ا. (1381). تأثیر کود پتاسیمی بر قابلیت جذب و تثبیت پتاسیم در خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی. دانشگاه تهران. 125 ص.
4. بهرام‌پور، ت.، اخوان، ک. (1394). نحوه نمونه‌برداری خاک، آب و گیاه و توصیه صحیح کودی. نشریه فنی، شماره 51: 39-1.
5. تاج‌گردان، ت.، ایوبی، ش.، خرمالی، ف. (1388). تهیه نقشه شوری سطحی خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی ETM (مطالعه موردی: شمال آق‌قلا، استان گلستان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، 16(2): 1-18.
6. دواتگر، ن.، کاوسی، م.، علی‌نیا، م.ح.، پیکان، م. (1384). بررسی وضعیت پتاسیم و اثر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بر آن در شالیزارهای استان گیلان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال نهم. شماره چهارم. 71-88.
7. سکوتی اسکوتی، ر.، مهدیان، م.ح.، محمودی، ش.، قهرمانی، ا. (1386). مقایسه کارایی برخی روش‌های زمین‌آماری برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک. مطالعه موردی دشت ارومیه. پژوهش و سازندگی. 74: 90-98.
8. شهرکی، ع.، شیخ‌تبار، م.، کلاته‌عربی، و. (1388). تأثیر نوع بافت خاک مزارع ذرت بر میزان مصرف آب کشاورزی (مطالعه موردی شهرستان خاش). همایش ملی مدیریت بحران آب. 13 ص.
9. غیبی، م.ن. (1375). تعیین حد بحرانی فسفر و پتاسیم در شرایط گلخانه‌ای در خاک‌های آهکی منطقه فارس برای ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. 1-58.
10. فاتحی، ش. (1391). تغییرپذیری مکانی کربن آلی، پتاسیم و فسفر قابل جذب در مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب، استان کرمانشاه. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)، شماره 97. 29-38.
11. فرشادی‌راد، ا.، دردی‌پور، ا.، خرمالی، ف.، کیانی، ف. (1390). شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک‌های لسی و شبه لسی استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد هجدهم، شماره سوم. 1-16.
12. فیضی‌اصل، و.، ولی‌زاده، غ.، توشیح، و.، اشرف‌طلیعی، ع. (1382). تعیین حد بحرانی عناصر کم مصرف در خاک‌های گندم دیم در شمال غرب ایران. مجله علوم زراعی ایران. جلد پنجم، شماره 4. 239-236.
13. کاظمی‌پشت‌مساری، ح.، طهماسبی‌سروستانی، ز.ا.، کامکار، ب.، شتابی، ش.، صادقی، س. (1391). ارزیابی روشهای زمین‌آمار جهت تخمین و پهنه‌بندی عناصر غذایی پر مصرف اولیه در برخی اراضی کشاورزی استان گلستان. نشریه دانش آب و خاک، 22(1). 201-220.

14. کافی، م.، راشد محصل، م. ح.، کوچکی، ع. ر.، ملا فیلابی، ع. (1381). زعفران، فناوری، تولید و فرآوری، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. 280 ص.
15. گلستانی فرد، ع. 1375. بررسی تثبیت پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
16. محمدی، ج. 1385. آمار مکانی (ژئواستاتستیک). جلد دوم. انتشارات پلک. تهران.
17. ملکوتی، م. ج. (1373). حاصل خیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه حل‌ها) انتشارات دانشگاه تهران. 518 ص.
18. ملکوتی، م. ج. (1373). حاصل خیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه حل‌ها) انتشارات دانشگاه تهران. 518 ص.
19. میرباقری، ا.، عباسپور، ع.، روحانی، ع. (1390). استفاده از تکنیک زمین آمار در تهیه نقشه آلودگی خاک‌های شهر مجن به فسفر. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. 1-10.
20. یاراحمدی، ج.، فرج‌نیا، ا. (1385). بررسی تغییرات مکانی فسفر در مزارع سیب زمینی شهرستان سراب با استفاده از GIS. نهمین همایش ملی بهداشت محیط، 16-18 آبان‌ماه 85. اصفهان. 197.
21. Baoshan, CUI., Hui, Zhao., Xia, Li., Kejiang, Zhang., Huali, Ren & Junhong, Bai. (2010). Temporal and spatial distributions of soil nutrients in Hani terraced paddy fields, Southwestern China. *Procedia Environmental Sciences*. 1032-1042.
22. Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73(4), 251-262.
23. Bremner, JM and Mulvaney CS. (1986). Nitrogen – Total. In: Page AL Miller RH and Keeney DR (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 2 , *Soil science society of America journal*. Madison, WI. Pp. 595-622.
24. Burgess, T. M., and R. Webster. (1980). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I. The variogram and punctual kriging. *Soil science society of America journal*. 31:315-331.
25. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Novak, J. M., Turco, R. F., & Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal*, 58(5), 1501-1511.
26. Carter, M. R. (Ed.). (1993). Soil sampling and methods of analysis. CRC Press. *Society of Soil Science. Soil Lewis Publisher*. pages:1-198.
27. Cemek, B., M. Guler, K. Kilic, Y. Demúr, and H. Arslan. (2007). Assessment of spatial variability in some soil properties as related to soil salinity and alkalinity in Bafra plain in northern Turkey. *Environ. Monitor Assess*. 124: 223-234.
28. Cheng, Y., Li, P., Xu, G., Li, Z., Cheng, S., & Gao, H. (2015). Spatial distribution of soil total phosphorus in Yingwugou watershed of the Dan River, China. *CATENA*. 1-7.
29. Chien, Y.L., Lee, D.Y., Guo, H.Y., Houg, K.H., (1997). Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil Science* 162, 291-297.
30. Chukwu, G. O., Ezenwa, M. I. S., Osunde, A. O., and Asiedu, R. (2007). Spatial distribution of N, P and K in major yam soils of southeastern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 6(24). 2803-2806.
31. Eltaib, K. A. (2007). Effects of land preparation on soil moisture content, weed control and groundnut yield in Gash Delta. 313 pages.
32. Franzen DW, Hofman VL, Halvorson AD, Cihacek LJ. (1996). Sampling for site-specific farming: topography and nutrient considerations. *Better Crop* 80:14-18.
33. Fu, W., Tunney, H., & Zhang, C. (2010). Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil and Tillage Research*, 106(2), 185-193.

34. Gee, G. W., Bauder, J. W., & Klute, A. (1986). Particle-size analysis. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods, 383-411
35. Goovaerts, P., (1997). Geostatistics for Natural Resources Evaluation. *Oxford University Press, New York*.
36. Goovaerts, P., AvRuskin, G., Meliker, J., Slotnick, M., Jacquez, G., & Nriagu, J. (2005). Geostatistical modeling of the spatial variability of arsenic in groundwater of southeast Michigan. *Water Resources Research*, 41(7).
37. Hengl, T. (2007). A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables Vol. 140, No. 4, pp. 417-427.
38. Holfold, I. C.R., 1997. Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Aust.J. Soil.Res.* 35:277-239.
39. Karczmarczyk, A., & Renman, G. (2011). Phosphorus Accumulation pattern in a subsurface constructed wetland treating residential wastewater. *Water*, 3(1), 146-156.
40. Kerry, R., & Oliver, M. A. (2004). Average variograms to guide soil sampling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 307-325.
41. Liu, X.M., Xu, J.M., Zhang, M., Si, B., and Zhao, K. (2007). Spatial variability of soil available Zn and Cu in paddy rice fields of China. *Environ. Geoderma*. 55: 1569-1576.
42. Liu, Y., Lv, J., Zhang, B., & Bi, J. (2013). Spatial multi-scale variability of soil nutrients in relation to environmental factors in a typical agricultural region, Eastern China. *Science of the Total Environment*, 450, 108-119.
43. Ludwick, A.E., Ed. (1998). *Western Fertilizer Handbook*, 2 nd ed., Interstate Publishers. Danville, IL.
44. McBratney, A. B., & Webster, R. (1983). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. *Journal of Soil Science*, 34(1), 137-162.
45. McGrath, D., & Zhang, C. (2003). Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. *Applied Geochemistry*, 18(10), 1629-1639.
46. Mirnia, K.H., & Mohamadian, M. (2006). *Rice Nutrient Disorders and Nutrient Management*. Mazandran University. Press, 450p. (In Persian) 17.Mohamadi, J. 2006. *Pedometrics 1 Classical Statistics*. Pelk Press, 531p. (In Persian).
47. Nelson, D. W., & Sommers L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A. L. Page et al. (ed.). *Methods of soil analysis, part 2*, 2nd ed. ASA, SSSA, Madison, WI. p. 539-579.
48. Olsen, S.R., & Dean., L.A. (1965). Phosphorus, in C.A. Black, Ed., *Methods of Soil Analysis*, Agronomy Number 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1044-1046.
49. Olsen, S.R., & Sommers L.E. (1986). Phosphorus. *Methods of Soil Analysis. Part 2*, Soil Sci Soc of Am. Madison, WI. Pp. 403-427. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (Eds).
50. Panagopoulos, T., Jesus, J., Antunes, M. D. C., & Beltrao, J. (2006). Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy*, 24(1), 1-10.
51. Qu, M., Li, W., & Zhang, C. (2014). County-Scale Spatial Variability of Macronutrient Availability Ratios in Paddy Soils. *Applied and Environmental Soil Science*, 2014. 1-10.
52. Rahman, M. H., Holmes, A. W., McCurran, A. G., & Saunders, S. J. (2011). Impact of management systems on soil properties and their relationships to kiwifruit quality. *Communications in soil science and plant analysis*, 42(3), 332-357.
53. Reza, S. K., Sarkar, D., Baruah, U., & Das, T. H. (2010). Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some chemical parameters of Dhalai district, Tripura. *Agropedology*, 2(1), 38-48.

54. Rhoades, J. D. (1982). Soluble salts. p 167-179. *Methods of soil analysis, Part, 2*. Chemical and microbiological Properties. Agronomy monograph no. 9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison, WI
55. Robinson, T. P., & Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and electronics in agriculture*, 50(2), 97-108.
56. Roger, A., Libohova, Z., Rossier, N., Joost, S., Maltas, A., Frossard, E., & Sinaj, S. (2014). Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma*, 217, 26-36.
57. Rossi, R.E., Mula, D.J., Journel, A.G., Franz, E.H., (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 2, 277–314.
58. Ruth, B., & Lennarts B. (2008). Spatial variability of soil properties and rice yield along two catenas in southeast China. *Pedosphere*, 18(4), 409-420
59. Sen, P., Majumdar, K., & Sulewski, G. (2007). Spatial variability in available nutrient status in an intensively cultivated village. *Better Crops*, 10.1-32.
60. Sharpley, A. N., & Smith, S. J. (1985). Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 49(1), 127-130.
61. Sokouti, R., & Mahdian, M. H. (2011). Spatial variability of macronutrient for soil fertilization management: A case study on Urmia plain. *International Journal of Soil Science*, 6(1), 49-59.
62. Stutter MI, Deeks LK, Billett MF (2004). Spatial variability in soil ion exchange chemistry in a granitic upland catchment. *Soil science society of America journal* 68:1304–1314.
63. Towfighi, H. (1996). Kinetics of potassium release from paddy soils of north of Iran. 1- Comparison and evaluation of first-order, zero-order and parabolic diffusion rate equations. *Iranian Journal of Agricultural Sciences (Iran Islamic Republic)*.
64. Wagner, H.H., (2003). Spatial covariance in plant communities: integrating ordination, geostatistics, and variance testing. *Ecology* 84, 1045–1057.
65. Wang, D.D., Shi, X.Z., Lu, X.X., Wang, H.J., Yu, D.S., Sun, W.X., Zhao, Y.C., (2010). Response of soil organic carbon spatial variability to the expansion of scale in the uplands of Northeast China. *Geoderma*. 154, 302–310.
66. Wang, D.D., Shi, X.Z., Wang, H.J., Weindorf, D.C., Yu, D.S., Sun, W.X., Ren, H.Y., Zhao, Y.C., (2010)b. Scale effect of climate and soil texture on soil organic carbon in the uplands of Northeast China. *Pedosphere*. 20, 525–535.
67. Wang, Z. M., Zhang, B., Song, K. S., Liu, D. W., Li, F., Guo, Z. X., & Zhang, S. M. (2008). Soil organic carbon under different landscape attributes in croplands of Northeast China. *Plant Soil Environ*, 54, 420-427.
68. Wang, Z. M., Zhang, B., Song, K. S., Liu, D. W., Li, F., Guo, Z. X., & Zhang, S. M. (2008). Soil organic carbon under different landscape attributes in croplands of Northeast China. *Plant Soil Environ*, 54, 420-427.
69. Wasiullah, A.u., Bhatti, F., Khan & Akmal, M. (2010). Spatial variability and geo-statistics application for mapping of soil properties and nutrients in semi arid district Kohat of Khyber Pakhtunkhwa (Pakistan). *Soil & Environ*. 29(2): 159-166.
70. Wilding, L. P., and L. R. Dress. (1983). Spatial variability and pedology. pp. 83-116. In: L. P. Wilding, N. E. Smeck and G. F. Hall (Eds.), pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interactions. *Elsevier Sci., Pub.*, North Hollan

71. Wu, C., Wu, J., Luo, Y., Zhang, H., Teng, Y., DeGloria, S.D., (2011). Spatial interpolation of severely skewed data with several peak values by the approach integrating kriging and triangular irregular network interpolation. *Environ. Earth Sci.* 63 (5), 1093–1103.
72. Young, M. D. B., Gowing, J.W., Hatibu, N., Mahoo, H.M.F. and R.W Payton. (1999). Assessment and development of pedotransfer functions for Semi-Arid Sub-Saharan Africa. *Physics and Chemistry of the Earth –European Geophysical Soc.* 24: 845-849
73. Zhang, J.J., Li, F.Z., Hu, K.L., Zhang, Q., Guo, C.X., Huang, Y.F. (2009). Spatial characteristics and impact factors of soil total nitrogen and soil organic matter in Taiyuan. *Acta Ecol. Sin.* 29, 3163–3172. (in Chinese with English abstract).
74. Zhang, X. Y., Yue-Yu, S. U. I., Zhang, X. D., Kai, M. E. N. G., & Herbert, S. J. (2007). Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere*, 17(1), 19-29.

Geostatic and GIS Evaluation of Spatial Variability of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, and Cation Exchange Capacity in Agro-Industrial Land of Sharif Abad in Qazvin

E. Khazaie, A. A. Bostani¹, and N. Davatgar

Shahed University, MSc. in Soil; E-mail: Khazaie200el@gmail.com

Assistant Professor., Shahed University, Tehran; E-mail: Bostani@shahed.ac.ir

Assistant professor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: n_davatgar@yahoo.com

Received: May, 2016 & Accepted: February, 2017

Abstract

Soil plays a crucial role in biogeochemical cycles as an important source and sink of nutrients. Soil properties, distribution, and changes are important factors in agriculture. In this study, 600 samples were collected at 100 x 100 m intervals from 0-30 cm depth in 800 hectares of agro-industrial land of Sharif Abad, in Qazvin. Analysis of classical statistics and geostatistical analysis were performed on the collected data. The results showed that changes in soil total nitrogen varied within a range of 0.02% to 0.82% with an average of 0.26%, while Olsen extractable phosphorus varied within a range of 9.58 to 93.07 mg/kg, with an average of 36.21 mg/kg. Changes in ammonium acetate extractable potassium varied within a range of 180 to 1740 mg/kg, with an average of 552.87 mg/kg. Also, cation exchange capacity varied within a range of 11.44 to 50.16 with an average of 28.20 meq/100 g soil. Exponential model was the best semivariogram model for all studied parameters. Effective ranges for N, P, K and cation exchange capacity were, respectively, 510 m, 798 m, 567 m and 1476 m. Kriging estimator was used to prepare zoning map of the studied traits. The results showed that the relative area of zones with less than 0.1% total nitrogen element was zero percent (0% of the total area), between 0.1-0.2% (3.5%); between 0.2-0.3% (74.3%), and for more than 0.3%, it was 22.2%. In addition, for elemental P, the extent of zones for less than 12 mg/kg was zero percent, between 12-24 mg/kg was 7.8%, between 24-36 mg/kg was 48.4%, and for values more than 36 mg/kg, the extent was 43.8%. In the case of elemental K, the extent of zones for less than 250 mg/kg was zero percent, from 250 to 400 mg/kg it was 4.6%, from 400 to 600 mg/kg the extent was 72%, and for values more than 600 mg/kg, it was 23.4%. Moreover, for cation exchange capacity less than 10 meq per 100 g soil, the extent of zones was zero percent, between 10 and 20 meq per 100 g soil, the extent was 13.1%, between 20 and 30 meq per 100 g soil, it was 44.6%, and for more than 30 meq per 100 g soil, the extent of zones was 42.3%.

Keywords: Macronutrients, Geostatistics, Exponential model, Zoning

¹. Corresponding author: Tehran, Shahed University Tehran, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science