DOI: http://dx.doi.org/10.22092/aj.2016.109332

نشریه زراعت شماره ۱۱۰، بهار ۱۳۹۵

(پژوهش و سازندگی)

ارزیابی تغییرات مکانی عناصر غذایی پرمصرف در اراضی دانشگاه زنجان

- حدیثه شعبانی، دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول)
- محمد امیر دلاور، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: تیر ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۹۳

پست الکترونیک نویسنده مسئول: hadis_shabani@znu.ac.ir

چکیده

یک سیستم کشاورزی زمانی پایدار است، که عناصر غذایی از دست رفته در آن به نحوی جایگزین شود. کودهای شیمیایی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده عناصر غذایی برای گیاه است که استفاده بهینه از آن‌ها در دستیابی به نتیجه مورد نظر، نقش اساسی دارند. از جمله ابزارهای مناسب در این زمینه نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر غذایی است. از طرف دیگر نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر غذایی می‌تواند راه‌گشای استفاده مناسب و صحیح از کودهای شیمیایی باشد. در این پژوهش، تغییرات مکانی و نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ۹۶ نمونه خاک از لایه سطحی (صفر تا ۲۵ سانتی‌متر) و عمقی (۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر) به روش شبکه‌بندی منظم با فواصل ۲۵۰ متری، در اراضی دانشگاه زنجان جمع‌آوری شد. تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که عنصر نیتروژن، کم‌ترین ضریب تغییرات را در بین سایر ویژگی‌ها داشت. نتایج تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری، گویای تناسب مدل نمایی برای توصیف ساختار تغییرات مکانی عناصر غذایی پرمصرف بود. در اعماق مورد مطالعه کم‌ترین دامنه تأثیر برای عنصر پتاسیم با مقادیر ۳۲۸/۱ و ۵۵۳/۷ متر برآورد شد. نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر پرمصرف نشان داد پراکنش این عناصر در منطقه تصادفی نبوده و از یک الگوی مکانی تبعیت می‌کند.

کلمات کلیدی: تغییرات مکانی، زمین‌آمار، کریجینگ معمولی، نقشه حاصلخیزی، عناصر غذایی

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No:110 pp: 75-82

Evaluation of macronutrients spatial variability in university of Zanjan

By:

- *H. Shaabani , (Corresponding Author), University of Zanjan*
- *M. A. Delavar , University of Zanjan*

Received: June 2012 **Accepted: May 2014**

An agricultural system will be sustainable while the lost nutrients are substituted in some ways. Chemical fertilizers is one of the main resources to nutrients supply for plant that optimum use of them, have an important role in field of ecologically sustainability and the agricultural products safety. One of the suitable tools that make it possible to manage the soil fertility is the use of soil nutrients elements maps. On the other hand zoning maps of nutrients can be guideline for proper application of chemical fertilizer. In this research, it was assessed the spatial variations and zoning of macronutrients included nitrogen, phosphorus and potassium. Based on these, 96 soil samples collected from surface (0-25 cm) and sub surface (25-50 cm depths) in campus of University of Zanjan, Iran. The sampling method was based on regular network and the distance between two adjacent samples was selected 250 m. Statistical analysis presented that nitrogen has the lowest variation coefficient among the studied elements. Results of geostatistical analysis revealed that exponential model describes spatial variations of the three elements properly. In the studied depths, minimum effective range of potassium were estimated between 328.1 and 553.7 m. Zoning maps of the macronutrients showed that distribution of them is not random and is following a spatial pattern.

Keywords: Spatial variation, Geostatistics, Ordinary kriging, Fertility maps, Nutrients

مقدمه

خاک از جمله سرمایه‌های ارزشمندی است که در عرصه‌های تولید محصولات کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست نقش اساسی ایفا می‌کند. خاک جایگاه مناسبی برای رشد و نمو گیاه و ایجاد پوشش گیاهی است و در صورتی که این سرمایه ارزشمند حفظ نگردد، کمبود مواد غذایی، فرسایش خاک و تخریب منابع طبیعی را به دنبال خواهد داشت (Kavianpoor et al., 2012). خصوصیات خاک و عناصر غذایی موجود در خاک اغلب از نقطه‌ای به نقطه دیگر متغیر بوده و بنابراین مدیریت‌های زراعی، نظیر پخش یکنواخت کود در سطح مزرعه، ممکن است به ایجاد نقاطی در مزرعه که بیش از حد نیاز و یا کم‌تر از احتیاج، کود دریافت نموده‌اند منجر شود. چنین عدم توازن و تخصیص بهینه نهاده‌ها که بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام گرفته است، نه‌تنها موجب اثرات منفی بر مقدار عملکرد و تولید محصول می‌شود بلکه عواقب نامناسب زیست‌محیطی مانند آلودگی منابع زیرزمینی را نیز به‌دنبال خواهد داشت (Yamagishi et al., 2003). بنابراین شناخت الگوهای مکانی خصوصیات خاک دانشی است که برای بهبود مدیریت منابع طبیعی (Liu et al., 2004; Boruvka et al., 2007; Wang et al., 2009)، تخمین خصوصیات خاک در مکان‌های نمونه‌برداری نشده (Wei et al., 2008; Liu et al., 2007) و اصلاح الگوهای نمونه‌برداری در مطالعات اکولوژیکی کشاورزی (Yan and Cai, 2008; Rossi et al., 2009) حائز اهمیت است. از سوی دیگر اطلاع از الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک می‌تواند راه‌گشای بشر در انجام مدیریت صحیح و پیشرفته اراضی در راستای بهره‌برداری اصولی از خاک به‌عنوان یکی از منابع مهم انرژی باشد (Miao et al., 2006; santra et al., 2008). برای مطالعه تغییرپذیری خاک باید از ابزار آماری استفاده نمود.

امروزه روش‌های زمین‌آماری و در صدر آن‌ها، تکنیک‌های مختلف کریجینگ توجه پژوهش‌گران علوم خاک را به خود جلب کرده است (Lark, 2002; Yasrebi et al., 2008; Zhu and lin, 2010; Sun et al., 2012). نجفیان و همکاران (۲۰۱۲)، به‌منظور بررسی اهمیت الگوهای مکانی ویژگی‌های حاصلخیزی خاک و سایر عوامل بیرونی برای توسعه فعالیت‌های کشاورزی، مطالعه‌ای را در ۱۳۲ هکتار از اراضی مرودشت در مرکز ایران انجام دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده توسط این محققین، نیتروژن و پتاسیم همبستگی مکانی متوسط داشتند. دامنه ساختار مکانی برای فسفر قابل دسترس بیش‌ترین مقدار و برابر ۴۸۰ متر و برای نیتروژن کل ۴۲۹ متر بود. این محققین با توجه به نتایج پژوهش خود اعلام کردند الگوهای نمونه‌برداری برای تخمین تغییرپذیری بایستی با خصوصیات مختلف خاک و مدیریت مزرعه مطابقت داده شود. بنابراین تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های شیمیایی خاک با همبستگی مکانی قوی، می‌تواند به‌راحتی مدیریت شود و برای توصیه‌های حاصلخیزی در یک مکان خاص توسعه یابد. نتایج پژوهش کیو و همکاران (۲۰۱۱)، نشان داد با وجود مدیریت یکنواخت و مسطح بودن منطقه از لحاظ توپوگرافی، سطوح مواد مغذی طی سال‌های متمادی، تغییرات قابل توجهی داشتند. برای نمونه مقادیر فسفر کل در منطقه از ۱۴ تا ۵۳ میکروگرم در گرم متغیر بود. همچنین دامنه همبستگی مکانی برای خصوصیات مختلف، متفاوت بود (از ۲۶۸ متر برای نیتروژن تا ۷۰۰ متر برای فسفر). جایور و همکاران (۲۰۱۱)، به‌منظور ارزیابی تأثیر خصوصیات شیمیایی خاک بر روی عملکرد محصول ذرت در راستای توصیه‌های مدیریتی و حاصلخیزی در مکان‌های خاص، تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های شیمیایی خاک (از جمله نیتروژن، پتاسیم و فسفر) را در منطقه‌ای از کشور کلمبیا مورد مطالعه قرار دادند. تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از

مطالعه این متغیرها توسط تکنیک زمین‌آمار نشان داد که توزیع مکانی و همبستگی این ویژگی‌ها با عملکرد محصول رابطه مستقیم دارد. این تحقیق، با هدف بررسی تغییرات مکانی عناصر حاصلخیزی خاک شامل ازت، فسفر و پتاسیم، و تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی این عناصر انجام شد. علت انتخاب عوامل مورد بررسی، اهمیت آن‌ها در حاصلخیزی خاک و مدیریت کوددهی بوده است که کمبود آن‌ها اغلب رشد و کیفیت گیاه رادر این منطقه محدود می‌سازند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دانشگاه زنجان در پنج کیلومتری جاده زنجان به تبریز با وسعتی بالغ بر ۴۱۰ هکتار در عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین ارتفاع این منطقه ۱۶۵۱ متر از سطح دریا است. رژیم رطوبتی و حرارتی بر اساس اطلاعات نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی کشور به‌ترتیب زریک و مزیک است عمده واحد های فیزیوگرافی در منطقه مورد مطالعه شامل واحد های دشت دامنه‌ای آبرفتی و فلات ها هستند. مواد مادری زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل پادگانه‌های جوان آبرفتی است (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳). خاک‌های منطقه مورد مطالعه شامل دو رده اینسپتی‌سول (Inceptisols) و انتی‌سول (Entisols)، و تحت رده های زرپت (Xerepts)، زروفلونت (Xerofluvents) و زراورتنت (Xerorthents) است. تحت گروه های غالب منطقه شامل خاک های تیپیک کلسی‌زرپت (Typic Calcixerepts)، تیپیک زروفلونت (Typic Xerfluvents) و تیپیک زراورتنت (Typic Xerorthents) است. در منطقه مورد نظر ۱۲ فامیل خاک شناسایی شده بود. (Keys to soil taxonomy, 2014).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

طراحی مناسب سیستم نمونه‌برداری یکی از بخش‌های مهم برای بررسی تغییرات مکانی و ارزیابی خصوصیات منطقه مورد مطالعه است. با توجه به هدف مطالعه حاضر که تهیه نقشه‌های پراکنش ویژگی‌های مورد بررسی بود، روش شبکه بندی منظم انتخاب گردید. برای این منظور ابتدا یک شبکه نظام‌دار با فواصل ۲۵۰×۲۵۰ متر بر روی نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه، مطابق با مقیاس مطالعات نیمه‌تفصیلی، طراحی و در سال ۱۳۹۱، ۴۷ نیم‌رخ خاک، حفر و در آن‌ها از خاک سطحی (عمق‌های صفر تا ۲۵ سانتی‌متر) و خاک عمقی (عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری شد.

نمونه ها، بعد از هوا خشک شدن، کوبیده شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس بر روی نمونه‌های عبور داده شده از الک دو میلی‌متری تجزیه‌های آزمایشگاهی انجام شد. اندازه‌گیری فسفر به‌روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم به‌روش فلیم فتومتری با عصاره‌گیر استات آمونیوم (Thom-as, 1982) و نیتروژن کل به‌روش کجلدال توسط دستگاه WELP مدل UDK 129 (Bremner and Mulvaney, 1982) انجام گرفت.

تجزیه‌های آماری و زمین‌آماری

برای بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری، آمار کلاسیک به‌کار گرفته‌شده و ویژگی‌های آماری نظیر میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از محیط نرم‌افزاری اس‌پی‌اس‌اس نسخه ۲۱ استفاده شد. همچنین برای بررسی نرمال بودن توزیع آن‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل ساختار مکانی متغیر مورد بررسی، پس از ارزیابی وضعیت همسان‌گردی بر اساس تغییرنمای رویه‌ای، اقدام به محاسبه تغییرنماهای تجربی و برازش مدل بر تابع تغییرنما گردید. بدین منظور از محیط نرم‌افزاری وریووین نسخه ۲/۲ استفاده شد. تابع تغییرنما عبارت است از متوسط مجذور اختلافات بین دو مشاهده در دو موقعیت مکانی واقع در فضای نمونه‌برداری که توسط آرایه h از هم جدا شده اند. معادله زیر یک تابع تغییرنما را نشان می‌دهد:

معادله ۱-

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

در این معادله $N(h)$ تعداد زوج نمونه‌های به‌کاررفته در محاسبه تغییرنما در فاصله و جهت تفکیک h، $Z(\mathrm{xi})$ و $Z(\mathrm{xi}+\mathrm{h})$ به‌ترتیب مقادیر متغیر Z در نقاط xi و $\mathrm{xi}+\mathrm{h}$ هستند.

برای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل توصیف‌کننده ساختار تغییرات مکانی از معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای تخمین استفاده شد.

معادله ۲-

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[(z(xi)-z^*(\mathrm{xi}))^2\right]}$$

معادله ۳

$$MAE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[z(xi)-z^*(xi)]$$

در این معادلات $z(xi)$ و $z^*(xi)$ به‌ترتیب مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده متغیر مورد بررسی و n تعداد مشاهده‌ها است. یک تخمین‌گر خوب باید دارای میانگین خطای تخمین صفر یا نزدیک به صفر باشد و جذر میانگین مربع خطا، تا حد ممکن، کم‌ترین مقدار عددی را داشته باشد. به‌عبارت دیگر، هر چه مقادیر این دو شاخص کوچک‌تر باشند، دقت روش مورد استفاده برای تخمین بیش‌تر است (محمدی، ۱۳۸۵). برای انتخاب بهترین مدل توصیف‌کننده ساختار تغییرات مکانی هر سه عنصر مورد مطالعه، مدل‌های کروی، نمایی و گوسی بر تغییرنمای تجربی به‌دست آمده برازش داده شد و شاخص‌های اعتبارسنجی مذکور برای تمامی مدل‌ها محاسبه شد. مدلی که کم‌ترین مقدار شاخص‌های میانگین خطای تخمین و جذر میانگین مربع خطا را داشت به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. پس از انتخاب مناسب‌ترین مدل بیان‌کننده ساختار تغییرات مکانی برای هر سه خصوصیت مورد مطالعه، از روش کریجینگ معمولی و نرم‌افزار آرک جی آی اس نسخه ۱۰ به‌منظور ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد.

نتایج

نتایج خلاصه آماری خصوصیات مورد مطالعه در جدول ۱ گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر به‌دست آمده برای آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و همچنین اختلاف کم مقادیر میانگین و میانه داده‌ها حاکی از توزیع نرمال داده‌ها برای هر سه خصوصیت نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم است. طبق طبقه‌بندی (Wilding, 1985) اگر ضریب تغییرات کم‌تر از ۱۵ درصد باشد تغییرپذیری کم، بین ۱۵ تا ۳۵ درصد تغییرپذیری متوسط و در صورتی که بیش از ۳۵ درصد باشد تغییرپذیری زیاد است. در میان سه عنصر مورد مطالعه، نیتروژن کم‌ترین ضریب تغییرات را دارا بود و تغییرپذیری آن نسبت به دو عنصر دیگر کم‌تر بود. برازش مدل‌های مختلف بر واریوگرام‌های تجربی به‌دست آمده برای هر سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم سازگاری بیش‌تر مدل نمایی را با تغییرنماهای ترسیم‌شده نشان داد. در واقع مدل نمایی توصیف بهتری از ساختار تغییرات مکانی این ویژگی‌ها ارائه می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات مکانی تمامی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، از مدل نمایی تبعیت می‌کنند. کاظمی پشت مساری و همکاران (۱۳۹۱) مدل بهینه برای متغیر نیتروژن کل را نمایی گزارش نمودند. فاتحی (۱۳۹۱) نیز در مطالعه‌ای در استان کرمانشاه مدل نمایی را به‌عنوان بهترین مدل برازش داده شده بر تغییرنمای تجربی فسفر خاک و کلاس همبستگی مکانی این متغیر را قوی گزارش نمود. در مورد عنصر پتاسیم نیز ویندورف و ژو (۲۰۱۰) و دالچیاوون و همکاران (۲۰۱۲) مدل نمایی را برای توصیف تغییرات مکانی پتاسیم مناسب دانستند. دامنه تأثیر نیتروژن کل طبق نتایج گزارش شده در جدول ۲ در دو عمق مورد بررسی متفاوت و در عمق اول و دوم به‌ترتیب ۱۲۸۷ و ۱۱۹۶ متر برآورد شد. درحالی‌که التیب و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی تغییرات مکانی نیتروژن کل در دو عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در ۲۳۰۰ هکتار از اراضی منطقه‌ای در مالزی فاصله نمونه‌برداری در مورد نیتروژن کل بین ۴۳۴ متر و ۴۷۵ متر برای خاک سطحی و عمقی گزارش کردند. اختلاف بین دامنه تأثیر خصوصیات خاک در مطالعات مختلفی گزارش شده است. نکته قابل‌توجه این است که دامنه تأثیر ویژگی‌های خاک مانند سایر ویژگی‌های خاک تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری است (Doberman, 1994). شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی نیتروژن کل را در دو عمق مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در نقشه مرتبط با عمق سطحی فقط در قسمت‌هایی از شمال و جنوب منطقه نیتروژن کل بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ است که همین مقدار نیز طبق دسته‌بندی بروس و ریمونت (۱۹۸۲) در شمار خاک‌های با نیتروژن کم جای می‌گیرند. بررسی‌ها نشان داد در مناطقی که مقادیر کربن آلی بالا بود، نیتروژن کل نیز افزایش نشان داد. مقادیر نیتروژن کل در لایه زیرین به‌مراتب کاهش یافت. بررسی‌های صحرایی نشان داد در شمال و جنوب منطقه که بیش‌ترین مقدار نیتروژن کل را به خود اختصاص داده‌اند، کاربری‌های باغی و زراعی وجود دارد. کاربری باغی در شمال و قسمت کوچکی از غرب منطقه باعث اضافه شدن بقایای گیاهی به خاک شده و افزایش کربن آلی و متعاقب آن نیتروژن کل را در این نواحی باعث می‌شود. در جنوب منطقه نیز عملیات کشاورزی مداوم و اضافه نمودن کودهای حاوی نیتروژن می‌تواند دلیل بالا رفتن نیتروژن کل باشد. آیشا و همکاران (۲۰۱۰) بالا بودن مقادیر نیتروژن کل در منطقه مورد بررسی خود را، به بالا بودن مقادیر کربن آلی در همان مناطق نسبت داده و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی خاک و نیتروژن کل نشان دادند. نتایج پژوهش پنگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار مقادیر کربن آلی بر درصد نیتروژن خاک بود. این پژوهش‌گران گزارش کردند که فاکتورهای ساختاری نظیر توپوگرافی، پوشش گیاهی و اقلیم از فاکتورهای اصلی در تغییرپذیری مکانی کربن آلی و نیتروژن کل است. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی فسفر در منطقه در خاک سطحی در بیش‌تر مساحت منطقه مقدار فسفر بین ۱۵ تا ۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. در واقع بر این اساس در لایه سطحی مطالعه شده غالب منطقه مطالعاتی، از نظر مقدار فسفر خاک غنی است. در قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه، فسفر خاک در حد غنی و خیلی غنی قرار دارد. این حدود، منطبق بر محدوده‌ای است که عملیات کشاورزی متراکم در بخش جنوبی و کاربری باغی و زراعی در بخش شمالی منطقه انجام می‌شود. اضافه کردن کودهای دامی، بقایای گیاهی و کودهای شیمیایی حاوی فسفر مقادیر این عنصر را در این نواحی افزایش می‌دهد. افزایش فسفر در خاک در اثر کاربرد کودهای حیوانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع ماده آلی به‌همراه کودهای شیمیایی در خاک‌های مختلف گزارش شده است (Reddy et al., 1999). پهنه‌های با فسفر کم که مقادیر آن بین چهار تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است غالباً در مناطقی واقع شده‌اند که از نظر کاربری اراضی مسکونی یا بایر است. سن و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که تغییرپذیری مکانی عناصر غذایی از جمله فسفر در اراضی با کاربری کشاورزی ناشی از مقادیر متنوع کوددهی و الگوی کشت رایج در منطقه است. در تفسیر نقشه‌های پهنه‌بندی عنصر پتاسیم همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود می‌توان اظهار داشت که در مجموع مقادیر این عنصر نسبت به حد بهینه‌ای که برای آن در خاک‌ها در نظر گرفته شده بسیار کم‌تر است و محدوده مطالعاتی حتی در لایه سطحی نیز با کمبود این عنصر مواجه است. علت کمبود این عنصر را می‌توان به آهکی بودن خاک‌های محدوده مورد مطالعه نسبت داد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد ماده مادری خاک‌های منطقه مطالعاتی آهکی است و خاک‌های این محدوده با آهکی بین ۱۰ تا ۴۰ درصد در شمار خاک‌های آهکی تا خیلی آهکی قرار دارند و از آن‌جایی که ذرات آهک فاقد سطح تبادلی برای جذب کاتیون‌ها از جمله پتاسیم است مقدار این عنصر در این خاک‌ها کاهش می‌یابد. همچنین بخش‌های وسیعی از منطقه مورد مطالعه دارای بافت‌های سبک است و از آن جا که شن نیز فاقد سطوح تبادلی است مقادیر کاتیون‌های تبادلی نظیر پتاسیم در این خاک‌ها بسیار کم است. در مجموع بر اساس نتایج این پژوهش پراکنش عناصر غذایی پر مصرف در منطقه تصادفی نبوده و از یک الگوی مکانی تبعیت می‌کنند. نقشه‌های حاصلخیزی تهیه شده نشان داد خاک‌های منطقه از نظر عنصر فسفر در حد متوسط تا غنی قرار دارند در حالی‌که محدوده مورد مطالعه از نظر دو عنصر نیتروژن و پتاسیم دچار کمبود هستند. بنابراین در مناطق با کاربری زراعی یا باغی که با کمبود این عناصر مواجه‌اند برای جلوگیری از کاهش عملکرد و باروری لازم است تا با مصرف کودهای حاوی این عناصر این کمبود جبران شود.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک‌های منطقه مورد مطالعه

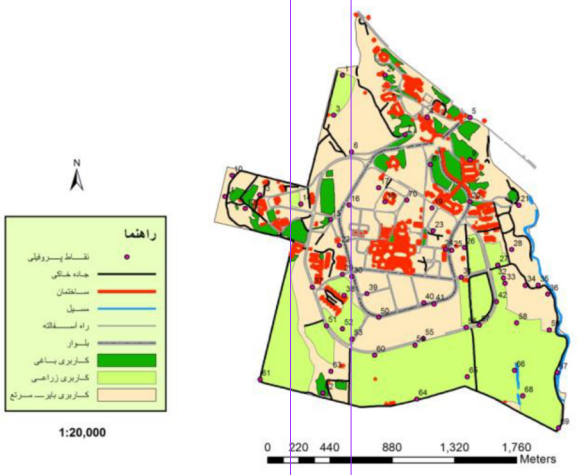
عمق (cm)	وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	واکنش خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)	کربنات کلسیم (٪)	میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)
سطحی (صفر تا ۲۵)	۱/۴۳	۷/۵۴	۱/۹۸	۰/۹۶	۲۸/۶۲	۰/۵۶
عمقی (۲۵ تا ۵۰)	۱/۴۲	۷/۸۲	۲/۵۳	۰/۶۶	۳۲/۹۹	۰/۶

جدول ۱- خلاصه آماری خصوصیات مورد مطالعه

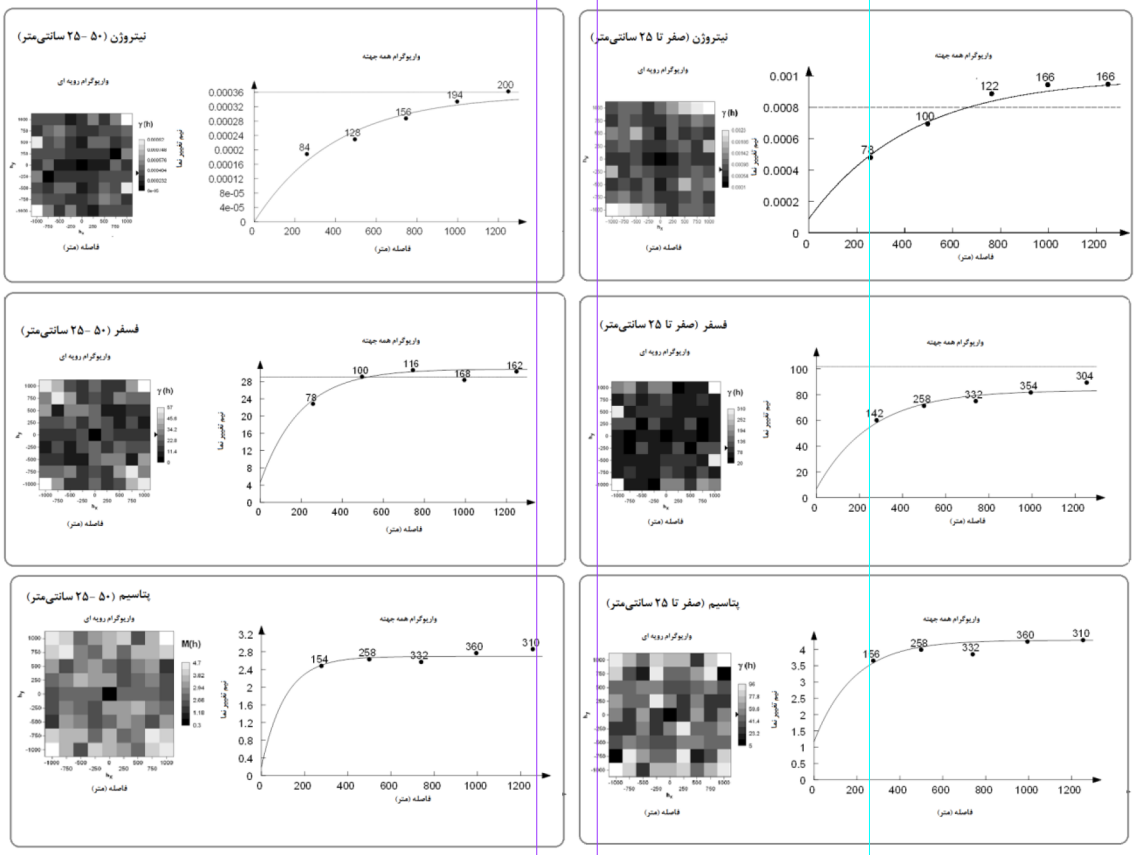
متغیر	عمق (cm)	میانگین	میانه	چولگی	کشیدگی	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (٪)	کلموگروف- اسمیرنوف
نیتروژن کل (٪)	سطحی	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۱۶	۳۵/۵۷	۰/۸۲
	عمقی	۰/۰۵	۰/۰۵	-۰/۵۹	-۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۰۹	۳۲/۸۴	۰/۶۳
فسفر (ppm)	سطحی	۱۸/۱۳	۱۸/۱۰	۱/۴۷	۲/۲۲	۵/۷۲	۵۱/۵۱	۵۶/۲۴	۰/۰۵
	عمقی	۱۱/۶۹	۱۰/۱۳	۱/۸۱	۳/۸۰	۳/۸۲	۲۹/۸	۴۶/۵۷	۰/۰۸
پتاسیم (ppm)	سطحی	۱۸/۴۳	۱۷/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۴	۶/۷۵	۳۹/۲۳	۳۹/۳۹	۰/۹۹
	عمقی	۹/۶۶	۹/۴۰	۲/۲۶	۷/۴۵	۲/۰۶	۳۶/۳۸	۶۵/۱۳	۰/۲۲

جدول ۲- پارامترهای درون‌یابی و معیارهای کنترل اعتبار کریجینگ برای خصوصیات مورد مطالعه

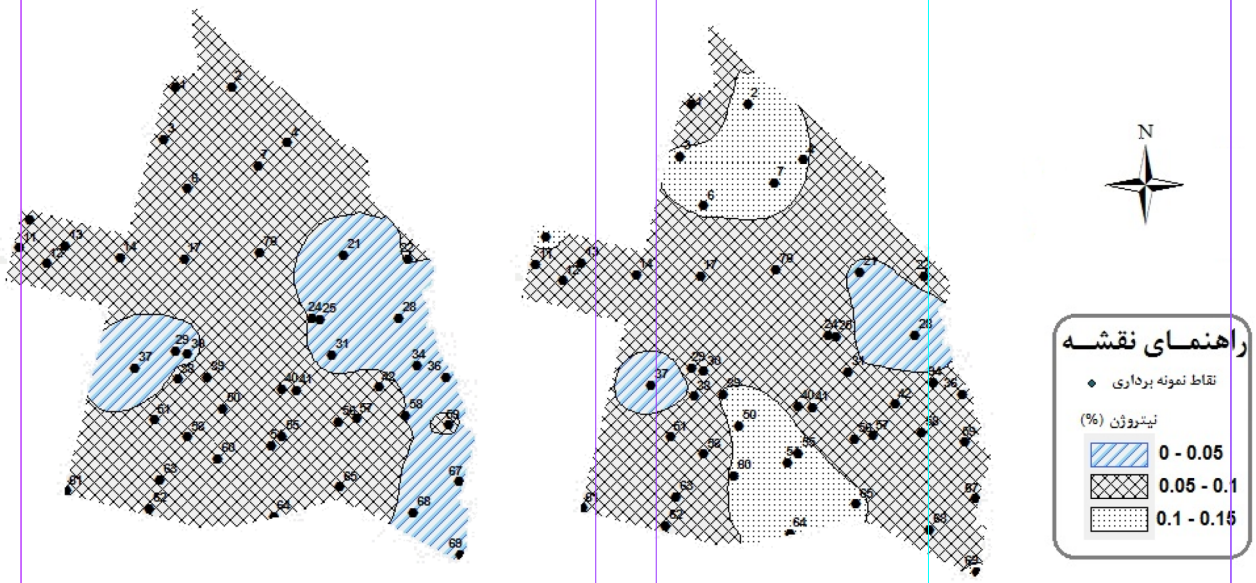
متغیر	عمق (cm)	مدل	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	اثر قطعه‌ای نسبی	دامنه تأثیر (m)	MAE	RMSE
نیتروژن کل (٪)	سطحی	نمایی	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۸۱	۰/۱۱	۱۲۸۷	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۲۳
	عمقی	نمایی	۰	۰/۰۰۰۳۵	۰	۱۱۹۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۴
فسفر (ppm)	سطحی	نمایی	۶/۸۲	۶۹/۷۷	۰/۰۹	۷۵۵/۸	-۰/۴۳۳	۱۰/۶۲۰
	عمقی	نمایی	۴/۶۱	۲۱/۶۹	۰/۲۱	۵۹۱/۳	-۰/۱۸۱	۴/۸۲۹
پتاسیم (ppm)	سطحی	نمایی	۱/۱۷۶	۱/۹۳۲	۰/۶	۵۵۳/۷	-۰/۳۸۹	۶/۶۴۸
	عمقی	نمایی	۰/۱۹۶۱	۲/۲۹۳	۰/۰۸	۳۲۸/۱	-۰/۵۷۳	۶/۳۳۴



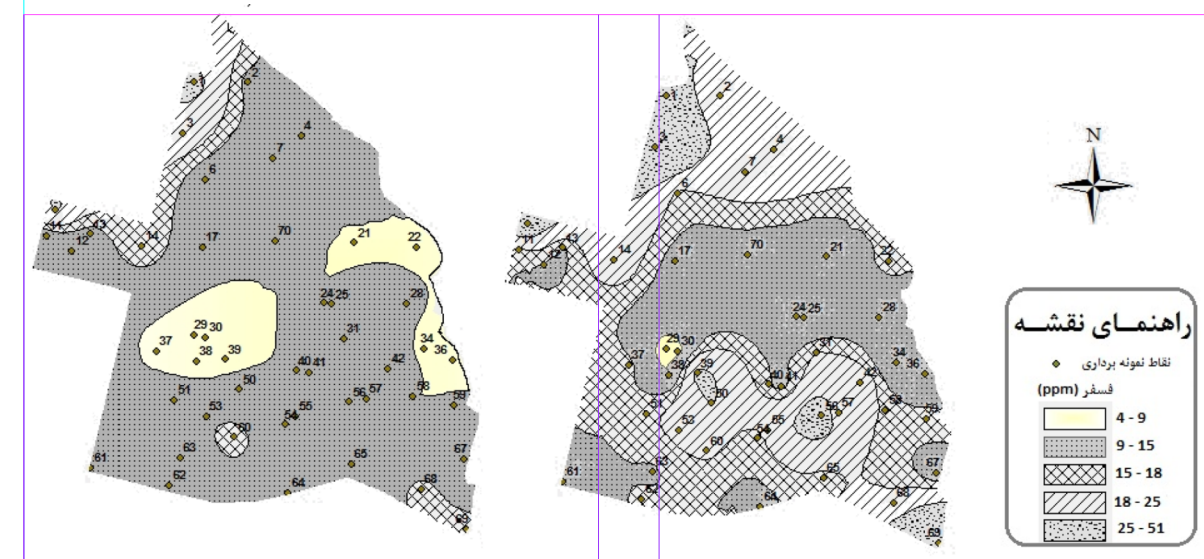
شکل ۱- کاربری منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری



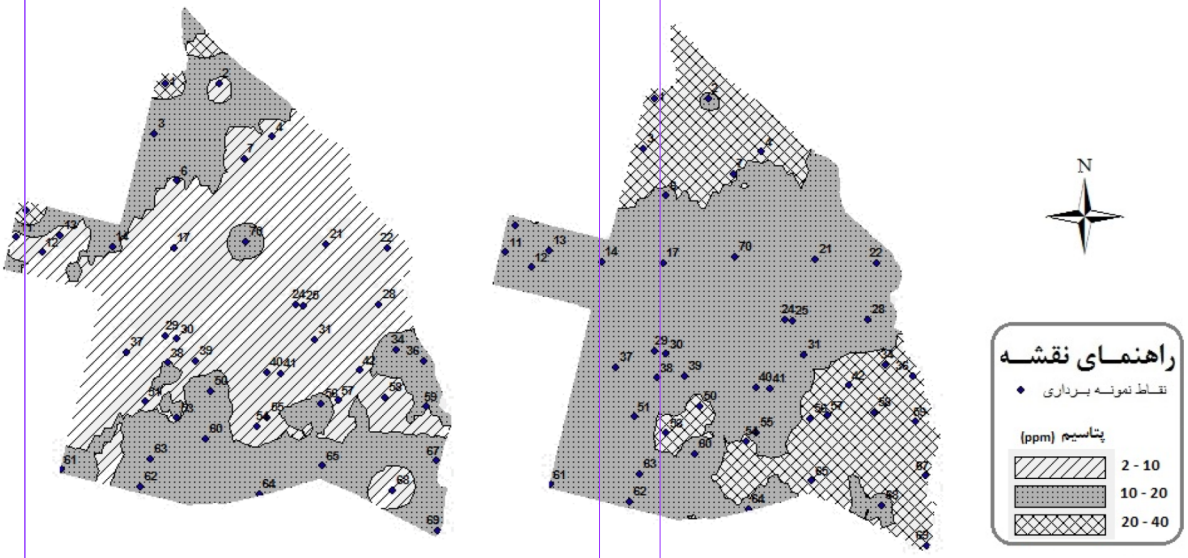
شکل ۲ - واریوگرام‌های رویه‌ای و همه‌جهته نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دو عمق صفر تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری



شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی نیتروژن کل در خاک سطحی (راست) و خاک عمقی (چپ)



شکل ۴- نقشه‌های پهنه‌بندی فسفر در خاک سطحی (راست) و خاک عمقی (چپ)



شکل ۵- نقشه‌های پهنه‌بندی پتاسیم کل در خاک سطحی (راست) و خاک عمقی (چپ)

منابع مورد استفاده

۱. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳ نقشه (۱/۱۰۰۰۰۰) زمین شناسی زنجان. نقشه ۵۶۶۳.

۲. فاتحی، ش. ۱۳۹۱. تغییرپذیری مکانی کربن آلی، پتاسیم و فسفر قابل‌جذب در مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب، استان کرمانشاه. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). شماره ۹۷، ۳۸ – ۲۹.

۳. کاظمی پشت مساری، ح.، طهماسبی سروستانی، ز.، کامکار، ب.، شتابی، ش. و صادقی، س. ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین و پهنه‌بندی عناصر غذایی پرمصرف اولیه در برخی اراضی کشاورزی استان گلستان. نشریه دانش آب و خاک. ۲۲ : ۲۱۸-۲۰۱.

۴. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری(آمار مکانی). انتشارات پلک.

5. Aishah, A. W., Sauyah, S., Anuar, A. R. and Fauziah, C. I. 2010. Spatial variability of selected chemical characreristic of paddy soils in Swah sempadan, Selangor. Malaysia. Malaysia Journal of Soil Science. 14: 27- 39.

6. Borůvka, L., Mládková, L., Penížek, V., Drábek, O. and Vašát, R. 2007. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. Geoderma 14: 374–382.

7. Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. 1982. Total nitrogen.. In: A. L. Page et al (Ed), Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and microbiological properties, 2nd ed., Agronomy Monograph. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI. PP. 595- 624.

8. Bruce, R. C. and Rayment, G. E. 1982. Analytical Methods and interpretation used by the Agricultural Chemistry Branch for soil and land use surveys.

Queensland Department of primary Industries. Bulletin QB8 2004, Indooroopilly, Queensland.pp:1-14
9. Dalchiavon, F. C., Carvalho, M. P., Andreotti, M. and Montanari, R. 2012. Spatial variability of the fertility attributes of dystropheric red latosol under a no-tillage system. Journal of Revista Ciencia Agronomice. 43: 453- 461.
10. Doberman, A. 1994. Factors causing field variation of direct seeded flooded rice. Geoderma. 62: 125-150.
11. Eltaib, S. M. G., Sooma, M. A. M., Musa, M. H., Shariffa, A. R. M. and Wayayoka, A. 2003. Spatial Variability of Total Nitrogen and Available Phosphorus of Large Rice Field in Sawah Sempadan Malaysia.Science Asia. 29: 7-12.
12. Jaiver, D., Sanchez, T., Gustavo, A., Ligarreto, M. and Fabio, R. L. 2011. Spatial variability of soil chemical properties and its effect on crop yield. a case study in maize (zea mays L.) on the Bogota plateau. Journal of Agronomia colombiana. 29: 265- 274.
13. Kavianpoor, H., Esmali Ouri, A., Jafarian Jeloudar, Z. and Kavian, A. 2012. Spatial variability of some soil chemical and physical soil properties in nesho mountainous rangelands. American Journal of Environmental Engineering. 2: 34- 44.
14. Lark, R. M. 2002. Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood. Geoderma. 105:49-80.
15. Liu, X. M., Xu, J. M., Zhang, M. K. and Yu, X. F. 2004. Application of Geostatistics and Gis Technique to characterize spatial variabilities of bioavailable micronutrient in poddy soils. Journal of Environmental Geology. 46: 189- 194.
16. Liu, X., Xu, J., Zhang, M., Zhou, B., 2007. Effects of land management change on spatial variability of organic matter and nutrients in paddy field: a case study of Pinghu, China. Environmental Management 34: 691–700.
17. Miao, Y., Mulla, D. J. and Robert, P. C. 2006. Spatial variability of soil properties, corn quality and yield in two Illinois, USA fields: implications for precision corn management. Precision Agriculture. 7: 5-20.
18. Najafian, A., Dayani, M., Motaghian, H. and Nadian, H. 2012 Geostatistical assessment of the spatial distribution of some chemical properties in calcareous soils. Journal of Integrative Agriculture. 11: 1729-1737
19. Olsen, S. R. and Sommers, L. E. 1982. Phosphorus. In: A. L. Page et al (Ed), Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and microbiological properties, 2nd ed., Agronomy Monograph. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI. PP. 403- 430.
20. Peng, G., Bing, W., Guangpo, Geng. and Guangcan, Z. 2013. Spatial Distribution of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Based on GIS and Geostatistics in a Small Watershed in a Hilly Area of Northern China. PLoS ONE 8: 1- 9.
21. Qiu, W., Curtin, D. and Beare, M. 2011. Spatial variability of available nutrients and soil carbon under arable cropping in Canterbury. The New Zealand Institute for plant and food research limited. 7 pp.
22. Reddy, D. D., Subba Rao, A., Sammi Reddy K. and Takkar, P. N. 1999. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean–wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. Field Crops Res. 62:181-190.
23. Rossi, J., Govaerts, A., Vos, B. D., Verbist, B., Vervoort, A., Poesen, J., Muys, B. and Deckers, J. 2009. Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests. a case study of Southeastern Tanzania. Catena 77: 19–27.
24. Santra, P., Chopra, U. K. and Chakraborty, D. 2008. Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. Current Science. 95:937-945.
25. Sen, P., Majumdar, K. and Ulewski, G. (2007) Spatial Variability in Available Nutrient Status in an Intensively Cultivated Village. Better Crops., 91: 10-11.
26. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
27. Sun, W., Minasny, B. and McBratney, A. 2012. Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. Geoderma. 171-172: 16-23.
28. Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cations. In: A. L. Page et al (Ed), Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and microbiological properties, 2nd ed., Agronomy Monograph. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI. PP: 159- 165.
29. Wang, Y., Zhang, X. and Huang, C. 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. Geoderma. 150: 141–149.
30. Wei, J. B., Xiao, D. N., Zeng, H. and Fu, Y. K., 2008. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China. Environmental Geology 53: 1663–1672.
31. Weindorf, D. C. and Zhu, Y. 2010. Spatial Variability of Soil Properties at Capulin Volcano, New Mexico. USA. Journal of Soil Science Society of China. 20: 185–197.
32. Wilding, L. 1985. Spatial variability. Its documentation, accommodation and implication to soil surveys. In: D. R. Nielson and J. Bouma (Eds). Soil Variability, Pudo, Wagenigen, the Netherlands. pp: 166-194
33. Yamagishi, J., Nakamoto, T. and Richner, W. 2003. Stability of spatial variability of wheat and maize biomass in a small field managed under two contrasting tillage systems over 3 years. Field Crop Research. 81: 95-108.
34. Yan, X. and Cai, Z. 2008. Number of soil profiles needed to give a reliable overall estimate of soil organic carbon storage using profile carbon density data. Soil Science and Plant Nutrition. 54: 819–825.
35. Yasrebi J., Saffari, M., Fathi, H., Karimian, N., Emadi, M. and Baghernejad, M. 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. Journal of Applied Sciences. 8: 1642-1650.
36. Zhao Xia, L., Chong Fa, C., Zhi Hua, S. and. Tian Wei, W. 2005. Aggregate stability and its relationship with chemical properties of red soils in subtropical China. Pedosphere. 15: 129-136.