

## بررسی روش‌های درونیابی برای تعیین پراکنش مکانی کربن آلی و نیتروژن خاک در اراضی منطقه لنجان استان اصفهان

مهرداد رضایی فرد<sup>1</sup>، حسین شریعتمداری، نورایر تومانیان، جواد عسکری مارنانی و علی اکبر زارع

دانش آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان; Mehrdadrezaifard@yahoo.com

استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان; Shariat@cc.iut.ac.ir

دانشیار خاکشناسی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اصفهان، ایران; Norairtoomanian@gmail.com

دانشیار گروه کنترل دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان; J-askaari@cc.iut.ac.ir

دانش آموخته دکتری خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان; Aliakbarzare65@yahoo.com

دریافت: 97/11/17 و پذیرش: 98/8/1

### چکیده

این پژوهش در سطح 50 هزار هکتار از اراضی منطقه لنجان استان اصفهان به منظور بررسی روش‌های تعیین نقشه پراکنش مکانی کربن آلی و نیتروژن خاک انجام شد. توزیع مکانی عناصر با روش‌های درونیابی کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپیلین کششی بررسی شد. نتایج حاصله بیانگر وجود ساختار مکانی متوسط متغیرها بود. تغییرنماهای تجربی نشان داد روند ناهمسانگردی خاصی در مورد متغیرها وجود ندارد. به منظور تعیین دقت و صحت تخمین روش‌های درونیابی از داده‌های معیار (برای هر متغیر 150 داده) و معیارهای آماری شامل میانگین خطای تخمین (MEE)، میانگین مربعات خطای تخمین (MSEE)، مجذور میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE)، خطای نسبی (Er) و ضریب همبستگی پیرسون (r) استفاده شد. علی‌رغم تغییرپذیری مکانی زیاد متغیرها، نتایج حاکی از دقت خوب مقادیر تخمین‌زده شده به کمک روش‌های درونیابی است. برای کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی روش‌های درونیابی کریجینگ معمولی و اسپیلین کششی با خطای پایین‌تر ( $MEE=0/007$ ،  $MSEE=0/09$ ،  $RMSE=0/3$ ) از دقت تخمین مناسب‌تری در مقایسه با روش درونیابی وزن‌دهی عکس فاصله ( $Er=0/32$  و  $r=0/73$ )، از دقت تخمین مناسب‌تری در مقایسه با روش درونیابی کریجینگ معمولی و اسپیلین کششی ( $Er=0/34$  و  $r=0/71$ ) برخوردار بودند. همچنین، برای نیتروژن خاک در منطقه، روش‌های درونیابی کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس فاصله با خطای کمتر ( $MEE=0/003$ ،  $MSEE=0/0006$ ،  $RMSE=0/025$ ،  $Er=0/296$  و  $r=0/8$ ) نسبت به روش درونیابی اسپیلین کششی ( $MEE=0/0017$ ،  $MSEE=0/0007$ ،  $RMSE=0/026$ ،  $Er=0/301$  و  $r=0/78$ ) دقت تخمین بیشتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، تغییرپذیری مکانی، حاصلخیزی خاک، زمین‌آمار

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: لرستان، پلدختر، خیابان لاله، کدپستی 6851949777

## مقدمه

خاک سرمایه 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 بوده و در صورتی که این سرمایه ارزشمند حفظ نشود، کمبود مواد غذایی، فرسایش خاک و تخریب منابع طبیعی را به دنبال خواهد داشت (کاوینپور و همکاران، 2012). یکی از مهم‌ترین ابزارهای حفظ خاک‌ها، تقویت بنیه غذایی آن‌ها از طریق مصرف بهینه و متعادل کودها است. این در حالی است که امروزه از کودها برای نیل به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده می‌شود. لیکن مصرف کود باید بتواند علاوه بر افزایش عملکرد، کیفیت محصولات کشاورزی را ارتقاء داده و ضمن آلوده نکردن محیط‌زیست، تجمع مواد آلاینده را در اندام‌های مصرفی تولیدات کشاورزی به حداقل مقدار ممکن تنزل دهد تا سلامتی انسان نیز به مخاطره نیفتد (ملکوتی و همکاران، 2013).

حاصلخیزی خاک‌ها متأثر از عوامل ذاتی (نظیر مواد مادری) و غیرذاتی (نظیر مدیریت، کوددهی و تناوب زراعی) آن‌ها است که سبب می‌شود در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای خاک‌ها دارای تغییرات مکانی و زمانی باشند (یمفک و همکاران، 2005). داشتن اطلاعات از تغییرات ساختاری و غیرساختاری خاک‌ها برای مدیریت بهتر و امنیت غذایی بسیار اهمیت داشته و در کاهش خسارت به محیط‌زیست نیز مؤثر است (فروغی‌فر و همکاران، 1390). یکی از مهم‌ترین متغیرهای خاک مقدار عناصر غذایی است که از نقطه‌ای به نقطه دیگر متغیر بوده و مدیریت زراعی نظیر پخش یکنواخت کود در سطح مزرعه را با عدم توازن روبه‌رو می‌کند. بنابراین، مصرف نهاده‌ها بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی خصوصیات خاک نه تنها موجب اثرات منفی بر مقدار عملکرد و تولید محصول می‌شود، بلکه عواقب نامناسب زیست‌محیطی همچون آلودگی منابع خاک و آب‌های زیرزمینی را نیز به دنبال خواهد داشت (یاماگیشی و همکاران، 2003). لذا تعیین الگوهای مکانی خصوصیات خاک برای بهبود مدیریت منابع طبیعی (وانگ و همکاران، 2009؛ بروکا و همکاران، 2007)، تخمین خصوصیات خاک در مکان‌های نمونه‌برداری نشده (وی و همکاران، 2008) و اصلاح الگوهای نمونه‌برداری در مطالعات اکولوژیکی کشاورزی (روسی و همکاران، 2009) حائز اهمیت است. از سویی، اطلاع از الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک می‌تواند راه‌گشای بشر در انجام مدیریت صحیح و پیشرفته اراضی در راستای بهره‌برداری اصولی از خاک به عنوان یکی از

منابع مهم انرژی باشد (سانترا و همکاران، 2008). همچنین، ارزیابی تغییرپذیری مکانی و ناهمگونی خصوصیات خاک نیز درک مناسبی از روابط خاک در درازمدت ایجاد می‌کند (کومنی‌ساز و همکاران، 2010). همبستگی و تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک توسط محققین مختلفی گزارش شده است. جایور و همکاران (2011) به منظور ارزیابی تأثیر عناصر غذایی خاک بر عملکرد محصول ذرت در راستای توصیه‌های مدیریتی و حاصلخیزی در مکان‌های خاص، تغییرپذیری مکانی عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر را در منطقه‌ای از کشور کلمبیا به کمک روش‌های زمین آمار بررسی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که توزیع مکانی و همبستگی این عناصر با عملکرد محصول ذرت رابطه مستقیم دارد.

کرمی و بصیرت (1394)، در سطح 5000 هکتار از اراضی دشت ارسنجان به ارزیابی زمین آماری تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های خاک سطحی نظیر شوری، pH، درصد اندازه ذرات، پتاسیم و کربن آلی پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد بهترین مدل تغییرنا برای متغیرهای شوری، pH و درصد رس مدل نمایی، برای درصد سیلت و شن مدل گوسی و برای کربن آلی مدل کروی بوده، ضمناً بهترین روش میان‌یابی برای درصد سیلت روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)<sup>1</sup> و برای سایر متغیرها روش کریجینگ معمولی بود. همچنین آن‌ها گزارش کردند در هیچ موردی برای میان‌یابی متغیرها، روش کوکریجینگ نسبت به دو روش دیگر ارجحیت نداشته است. بانوا و همکاران (2014)، با استفاده از روش‌های زمین آمار به تهیه نقشه پراکنش مکانی کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم پرداختند و گزارش کردند بهترین روش میان‌یابی برای این متغیرها روش کریجینگ معمولی است. از آنجایی که مطالعات صورت گرفته در زمینه پهنه‌بندی عناصر در مناطق مختلف نتایج یکسانی ندارد، نمی‌توان این نتایج را به سایر مناطق تعمیم داد، بنابراین نیاز است که الگوی پراکنش مکانی متغیرهای خاک در مزارع مورد مطالعه بررسی شود و روش‌های مختلف زمین آماری با هم مقایسه تا بهترین روش برای هر متغیر در آن مزارع به‌دست آید. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، بررسی روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپلاین کششی<sup>2</sup> در تهیه نقشه پراکنش مکانی کربن آلی و نیتروژن خاک در اراضی منطقه لنجان اصفهان است. علت انتخاب این متغیرها اهمیت آن‌ها در

<sup>1</sup> Inverse Distance Weighting

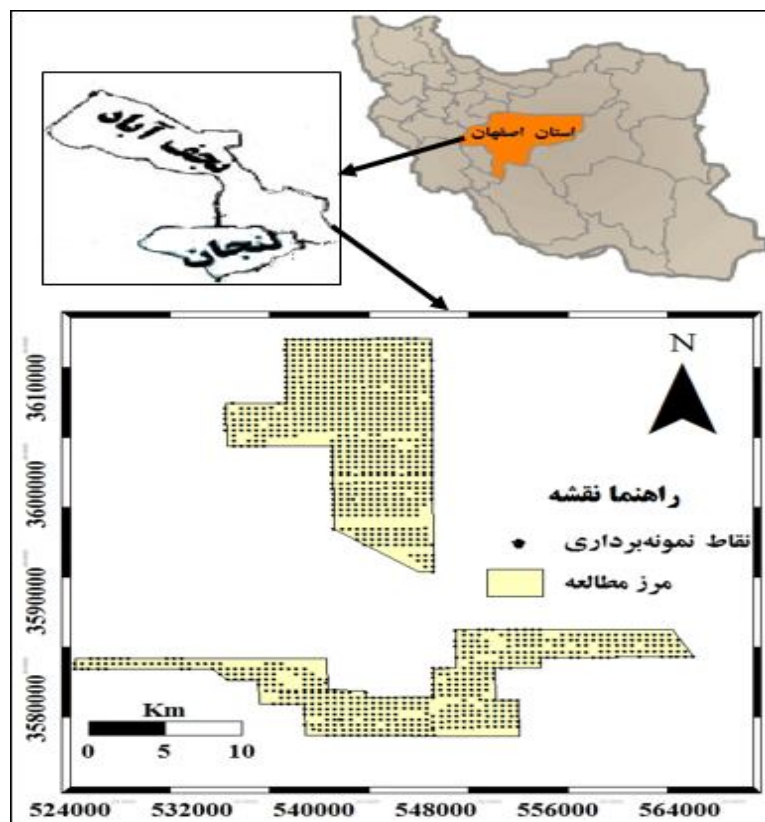
<sup>2</sup> Spline Tension

مارن، سنگ‌های رسی و شیل است. بر اساس طبقه‌بندی آمریکایی خاک‌های این منطقه در فلات‌های پست، میانی و بلند در کلاس Typic Calciorthids، در تراس‌های بالایی در کلاس Typic Camborthids و در تراس‌های پایینی در کلاس Typic Torriorthents قرار دارند (صمدی، 1384). خاک‌های منطقه دارای pH با دامنه حدود 7/5-8، هدایت الکتریکی 0/5-1 دسی‌زیمنس بر متر، آهک 20-45 درصد بوده و مقدار گچ در افق‌های سطحی کمتر از یک درصد است. کشت غالب منطقه برنج است و شیدر در تناوب با برنج کشت می‌شود. غلظت نیتروژن به روش کجدال (برمنز و ملوانی، 1986) و مقدار کربن آلی به روش والکی و بلاک (1934) اندازه‌گیری شد.

مدیریت حاصلخیزی خاک منطقه که بیشتر زیر کشت برنج قرار دارد است.

### مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه با وسعت بیش از 50 هزار هکتار شامل دو حوضه نجف‌آباد و لنجان است که در جنوب غربی استان اصفهان و بین طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ} 15'$  تا  $51^{\circ} 45'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $32^{\circ}$  تا  $32^{\circ} 15'$  دقیقه شمالی و در ارتفاع 1692 متری از سطح دریا واقع شده است (شکل 1). این منطقه بر اساس نقشه بیوکلیماتیک ایران جزو مناطق خشک و سرد محسوب می‌شود. منطقه از نظر زمین‌شناسی دارای سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک و کرتاسه و شامل آهک،



شکل 1- موقعیت جغرافیایی و پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری

### نمونه‌برداری خاک

5 سال در فاصله زمانی سال‌های 1369 الی 1374 در مناطق مختلف به اجرا درآمده است. این محققین به منظور نمونه‌برداری، ابتدا نقشه 1:50000 خاک منطقه را به عنوان نقشه پایه انتخاب و نمونه‌برداری از 1180 نقطه که هر

داده‌های استفاده شده در این پژوهش، خروجی طرح تحقیقاتی به شماره 103-15-23 است که توسط محققان بخش خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان به صورت پیوسته و مستمر به مدت

الگوی پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری شده در شکل 1) از کل داده‌های دو منطقه (نصف‌آباد و لنجانات) استفاده شد، سپس تمام آنالیزها و درون‌یابی‌ها برای کل منطقه انجام و بر اساس باندی محدودده‌ها بریده شد و نقشه‌های درون‌یابی طبق الگوی محدوده مطالعاتی بدست آمد. تجزیه و تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزار SPSS24 و محاسبات و تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری به وسیله نرم‌افزار arcGIS 10.4.1 انجام شد.

#### اعتبارسنجی

برای کنترل اعتبار تغییرنماها از معیارهای آماری میانگین خطای تخمین ( $MEE^1$ ) (رابطه 1) و مجذور میانگین مربعات خطای تخمین ( $RMSE^2$ ) (رابطه 2) استفاده شد. تخمین مناسب باید دارای مقدار  $MEE$  نزدیک به صفر و  $RMSE$  کمترین مقدار یا برابر با واریانس کریجینگ باشد.

$$MEE = \frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad (1)$$

$$RMSE = \quad (2)$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Z(x_i) - Z^*(x_i))^2]}$$

که در آن‌ها،  $Z^*(x_i)$  مقدار تخمین زده شده  $x_i$ ،  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده شده  $x_i$ ،  $n$ : تعداد داده‌ها است (محمدی، 1385).

برای ارزیابی و اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی از 150 داده معیار در منطقه مطالعاتی برای هر متغیر استفاده شد. برای انتخاب این داده‌ها ابتدا تعداد کل نقاط نمونه‌برداری شده (1180 نقطه نمونه‌برداری شده که دارای طول و عرض جغرافیایی مشخص بودند) بر روی نقشه 1:50000 منطقه مطالعاتی در محیط نرم‌افزار arcGIS10.4.1 وارد شد. سپس، با توجه به الگوی فرارگیری نقاط، تعداد 150 داده برای هر یک از متغیرها به نحوی که تمام سطح منطقه را برای آن متغیر پوشش دهد و به نوعی نمایان‌گر کل سطح منطقه مطالعاتی باشد، انتخاب شد. سپس این داده‌ها از مجموع کل داده‌ها (1180 داده) حذف تا اعتبارسنجی نقشه‌های تولیدی به وسیله روش‌های درون‌یابی و با کمک الگوی تغییرنما و معیارهای آماری تخمین زده شوند تا دقت و صحت این نقشه‌ها ارزیابی شود. به همین منظور از معیارهای آماری  $MEE$ ،  $RMSE$  میانگین مربعات خطای تخمین

نقطه حداقل شامل 9 نمونه مرکب ساده بود، انجام دادند. سپس، با استفاده از نقشه خاک منطقه و شبکه‌بندی 500 متری در دو بعد نقشه و با نام‌گذاری سطرها و ستون‌ها یک ارائه ماتریسی از تمام بلوک‌های مورد نمونه‌برداری بوجود آوردند. سپس با در دست داشتن نقشه برای هر بلوک به محل بلوک مربوطه در مزارع مراجعه و از محدوده 500 در 500 متری نمونه مرکب خاک‌ها تا عمق 25 سانتی‌متر برداشت کردند. در محدوده مرکز هر بلوک، یک نمونه برداشت و علامت‌گذاری شد. از محل نقطه علامت‌گذاری شده (نقطه نمونه‌برداری اول)، دو نمونه به فاصله یک متر به سمت راست و دو نمونه به فاصله یک متر به سمت چپ برداشت کردند. دوباره از محل علامت‌گذاری شده، دو نمونه به فاصله یک متر به طرف بالا و دو نمونه به فاصله یک متر به طرف پایین برداشت سپس با مخلوط کردن تمام نمونه‌ها مقدار حدود 2/5 کیلوگرم خاک به عنوان نمونه مرکب از هر بلوک به آزمایشگاه انتقال دادند.

#### آنالیزهای آماری و زمین آماری

وضعیت توزیع فراوانی داده‌ها از لحاظ تأثیر بر روش‌های درون‌یابی از اهمیت بالایی برخوردار است لذا به منظور بررسی آن از آماره‌های میانگین، میانه و مد (معیارهای مرکزیت)، واریانس، انحراف معیار و ضریب تغییرات (معیارهای پراکنش) و ضریب چولگی و کشیدگی (معیارهای شکل) و از نمودار جعبه‌ای برای شناسایی داده‌های پرت استفاده شد. همچنین، برای تشخیص خطاهای عرضی (مقادیر خیلی بالا یا خیلی پایین)، توزیع دو منشأیی و وضعیت تقارن منحنی توزیع از جدول فراوانی و منحنی احتمال نرمال استفاده شد. در خصوص تجزیه و تحلیل زمین آماری، الگوهای تغییرنما برای متغیرهای مورد نظر ترسیم و اجزای آن (نظیر اثر قطعه‌ای، حد آستانه و دامنه تأثیر) توصیف شد. همچنین به منظور تعیین کلاس‌های مختلف وابستگی مکانی متغیرها از نسبت همبستگی (نسبت بین واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل) استفاده شد. اگر این نسبت کمتر از 25 درصد باشد متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی، در صورتی که بین 25-75 درصد باشد، دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط و اگر بیش از 75 درصد باشد، کلاس وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (روبینسون و میترنیچت، 2006). به منظور بررسی تغییرات مکانی متغیرها از روش‌های کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس‌فاصله و اسپلاین کششی تخمین داده‌ها در فواصل نقاط نمونه‌برداری شده قبلی به صورت پیوسته انجام شد. همچنین، برای تعیین محدوده مطالعاتی منطقه

<sup>1</sup> Mean Estimation Error

<sup>2</sup> Root Mean Square Error

شکل (2) ارائه شده است. پراکنش متغیرها از تابع توزیع نرمال پیروی کرده که چولگی مثبت و p-Value بیش از 0/05 نیز آن را تأیید می‌کند. همچنین، منحنی احتمال نرمال متغیرها دارای توزیع نرمال بوده و نمودار جعبه‌ای نیز بیانگر عدم داده پرت در بین داده‌های متغیرهای مربوطه است.

#### محاسبه و الگوسازی تغییرنا

نتایج تغییرنماهای تجربی نشان دادند که روند ناهمسانگردی خاصی در متغیرها وجود ندارد (شکل 3). از تخمین گر کریجینگ معمولی بر اساس تغییرنماهای همسانگرد برای تخمین مقادیر هر یک از متغیرهای مورد مطالعه در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده گردید که مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده برای متغیرها بود.

(MSEE<sup>1</sup>) (رابطه 3)، خطای نسبی (Er<sup>2</sup>) (رابطه 4) و ضریب همبستگی پیرسون (رابطه 5) استفاده شد. یک تخمین‌گر مناسب باید دارای مقادیر خطای MEE، RMSE، MSEE و Er صفر یا نزدیک به صفر باشد.

$$MSEE = \frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2 \quad (3)$$

$$Er = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (Z^*(xi) - Z(xi))^2}{\sum_{i=0}^n Z(xi)^2}} \quad (4)$$

که در آن‌ها، پارامترها همانند روابط 1 و 2 است.

$$r(x,y) = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \times \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (5)$$

که در آن، n: حجم نمونه برای متغیرهای تصادفی x و y است.

#### نتایج و بحث

##### توصیف آماری متغیرها

وضعیت آماری متغیرهای کربن آلی و نیتروژن خاک در جدول 1 ارائه شده است. دامنه کربن آلی بین 0/04 تا 2/1 درصد و نیتروژن بین 0/01 تا 0/22 درصد است. ضریب تغییرات برای کربن آلی و نیتروژن خاک به ترتیب 47 و 40 درصد است. یکی از دلایل زیاد بودن ضریب تغییرات می‌تواند ناشی از مقادیر متفاوت کوددهی در سطح مزارع منطقه که بیشتر تحت کشت برنج هستند، باشد. در این زمینه سن و همکاران (2007) و التیب (2007) به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. ضرایب چولگی و کشیدگی (در محدوده +1 تا -1) و همچنین آزمون کلموگروف - اسمیرنوف (OC<sub>p-value</sub>=0.11, N<sub>p-value</sub>=0.06) نشان‌دهنده نرمال بودن داده‌ها بود (جدول 1). وجود چولگی بالا را می‌توان به ویژگی‌های ذاتی متغیرها، شرایط محیطی نظیر فعالیت‌های انسانی و نیز نحوه نمونه‌برداری و تعداد نمونه‌های برداشت شده ارتباط داد.

##### وضعیت توزیع متغیرها

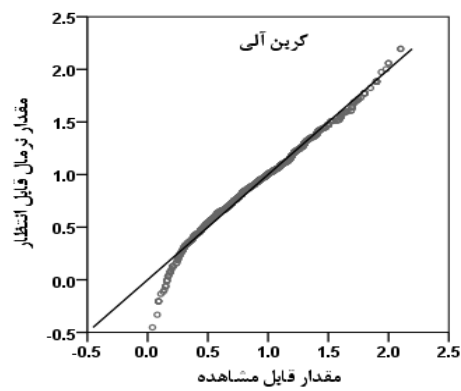
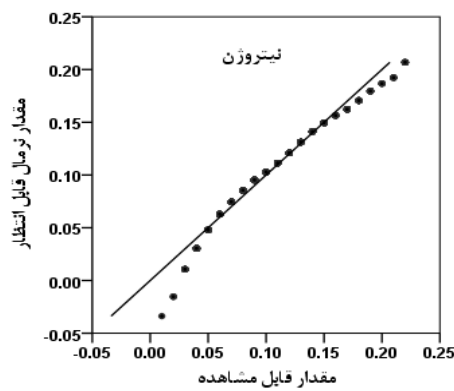
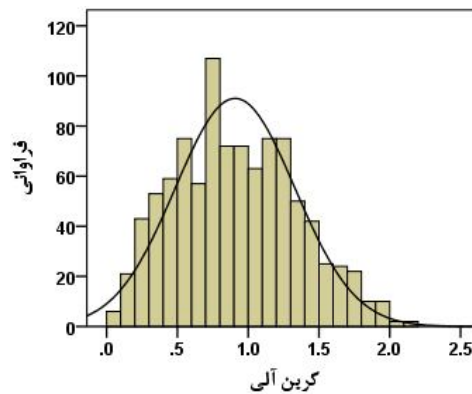
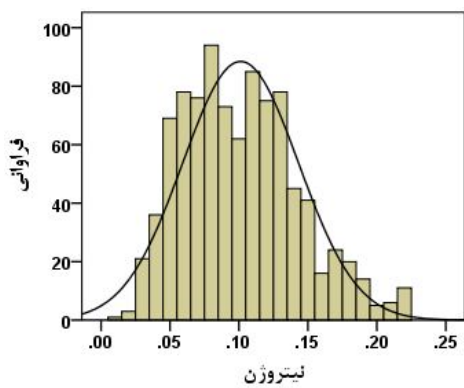
ویژگی‌های توزیع فراوانی، منحنی احتمال نرمال و نمودار جعبه‌ای متغیرهای کربن آلی و نیتروژن خاک در

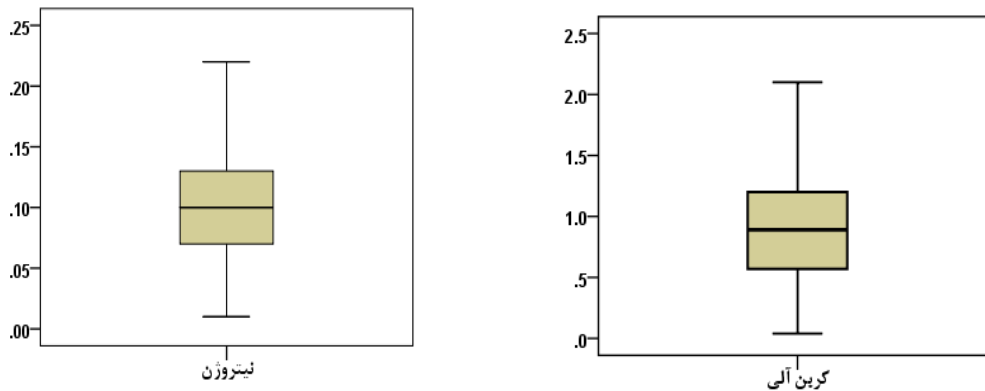
1. Mean Square Estimation Error

2. Relative Error

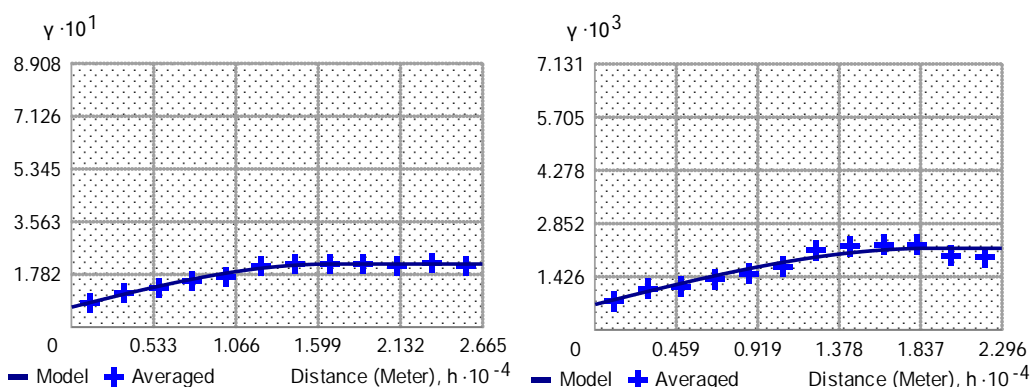
جدول 1- وضعیت آماری متغیرهای مورد مطالعه

نیتروژن	کربن آلی	معیارها
933	965	تعداد نمونه
97	65	تعداد نمونه‌های مفقودشده
0/1	0/91	میانگین
0/1	0/89	میانه
0/08	1/2	نما (مد)
0/04	0/43	انحراف معیار
0/002	0/18	واریانس
0/51	0/25	چولگی
-0/14	-0/56	کشیدگی
0/26	2/36	دامنه
0/01	0/04	حداقل
0/22	2/1	حداکثر
0/40	0/47	ضریب تغییرات
0/06	0/11	P-Value





شکل 2- توزیع فراوانی، منحنی احتمال نرمال و نمودار جعبه‌ای کربن آلی و نیتروژن خاک



شکل 3- تغییرنماهای تجربی و مدل برازش داده شده برای متغیرها: (راست نیتروژن چپ) کربن آلی خاک

ضریب همبستگی از طریق ارزیابی متقابل<sup>1</sup> استفاده شد. برای محاسبه این معیارهای آماری از 150 داده معیار در منطقه مطالعاتی برای هر متغیر استفاده شد. نتایج بیانگر مناسب بودن تخمین‌های حاصل از روش‌های درون‌یابی علی‌رغم وجود تغییرات مکانی شدید کربن آلی و نیتروژن خاک در منطقه مورد مطالعه است (جدول 2 و 3). نتایج حاکی از دقت مناسب روش‌های تخمین برای درصد کربن آلی خاک است (جدول 2). هر سه روش دارای مقداری اثر پیرایشی بوده که سبب شده انحراف استاندارد آن‌ها نسبت به داده‌های واقعی کربن آلی تقریباً بین 0/05 تا 0/1 واحد کاهش یابد. مثلاً مقدار حداکثر تخمین به روش کریجینگ معمولی به اندازه 0/5 واحد و مقدار حداقل آن به اندازه 0/1 واحد نسبت به داده‌های واقعی کربن آلی تفاوت دارد. با توجه به مقادیر آماره‌های خطا به ترتیب روش کریجینگ معمولی (MEE=0/007، MSEE=0/09، RMSE=0/3 و Er= 0/32)، اسپیلین

دامنه تأثیر برای کربن آلی و نیتروژن به ترتیب 16773 و 19026 متر در نوسان است که نشان از تغییرپذیری مکانی بالای آن‌ها دارد. این دامنه تأثیر نشان می‌دهد که در مطالعات آتی می‌توان برای اندازه‌گیری متغیرهای مورد نظر، در فواصلی بیشتر از 500 متر نمونه‌برداری نمود. از پارامترهای دیگر تغییرنما، اثر قطعه‌ای است که به عنوان آن مقدار از واریانس است که در نتیجه عواملی مانند تغییرات مشخصه مورد بررسی در فواصل کمتر از کوتاه‌ترین فاصله نمونه‌برداری، خطاهای اندازه‌گیری، خطای نمونه‌برداری و آزمایشگاهی و دیگر تغییرات غیرقابل پیش‌بینی است (محمدی، 1385). با بررسی استحکام ساختار مکانی به کمک نسبت همبستگی مشخص شد که خصوصیات مورد مطالعه دارای ساختار مکانی متوسط می‌باشند. وابستگی مکانی متوسط به وسیله تغییرات ذاتی ویژگی‌های خاک مانند بافت خاک و کانی‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد (کامباردلا و همکاران، 1994).

#### اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی

برای ارزیابی و اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی از آماره‌های MEE، MSEE، RMSE، Er و

<sup>1</sup> Cross Validation

اندازه 0/03 واحد و مقدار حداقل آن به اندازه 0/02 واحد نسبت به داده‌های واقعی نیتروژن تفاوت دارد. با توجه به مقادیر آماره‌های خطا به ترتیب روش کریجینگ معمولی ( $RMSE=0/0252$ ,  $MSEE=0/00065$ ,  $MEE=0/0032$ ) و وزن‌دهی عکس فاصله ( $Er=0/296$  و  $RMSE=0/0253$ ,  $MSEE=0/00064$  و  $Er=0/298$ ) و اسپیلین کششی ( $RMSE=0/0265$  و  $Er=0/301$ ) از دقت و ارجحیت بیشتری برای تخمین نیتروژن خاک در منطقه مطالعاتی برخوردار می‌باشند. همچنین، ضریب همبستگی محاسبه‌شده از ارزیابی متقابل مقادیر واقعی داده‌ها و مقادیر تخمینی در هر سه روش کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپیلین کششی برای نیتروژن به ترتیب 0/80، 0/80 و 0/78 در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار است که نشان‌دهنده بالا بودن دقت تخمین به کمک روش‌های درونیابی یادشده است. این همبستگی بالا با توجه به تعداد زیاد داده‌ها قابل توجه است و نشان می‌دهد که مقادیر تخمینی نیتروژن خاک به کمک روش‌های درونیابی به مقادیر واقعی آن نزدیک است. سعدی‌پور و همکاران (1395) و چوکوا و همکاران (2007) نشان دادند روش کریجینگ معمولی نسبت به دو روش وزن‌دهی عکس فاصله و کوکریجینگ تخمین بهتری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مناطق مورد بررسی داشته است، زیرا بالاترین صحت و کمترین خطا را دارا بود.

کششی ( $MEE=-0/013$ ،  $MSEE=0/092$ ،  $RMSE=0/3$ ) و وزن‌دهی عکس فاصله ( $Er=0/32$  و  $MEE=0/009$ ) و  $RMSE=0/31$ ،  $MSEE=0/096$  و  $Er=0/34$ ) از دقت و ارجحیت بیشتری برای تخمین کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی برخوردار می‌باشند. همچنین ضریب همبستگی محاسبه‌شده از ارزیابی متقابل مقادیر واقعی داده‌ها و مقادیر تخمینی در هر سه روش کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپیلین کششی برای کربن آلی به ترتیب 0/73، 0/71 و 0/73 در سطح اطمینان یک درصد معنی‌داری است که نشان‌دهنده بالا بودن دقت تخمین به کمک روش‌های درونیابی یادشده است. این همبستگی با توجه به تعداد زیاد داده‌ها قابل توجه است و بیانگر آن است که در مورد کربن آلی مقادیر تخمین‌زده شده به مقادیر واقعی نزدیک‌تر است. نتایج حاصله از مقایسه روش‌های درونیابی با نتایج زارعیان و همکاران (1393)، شکوری‌کنیگری (1390) و پاناگوپولس و همکاران (2006) که روش کریجینگ را مناسب‌تر و دقیق‌تر از سایر روش‌ها به دلیل خطای پایین‌تر در تخمین کربن آلی خاک اعلام کردند مشابه است. نتایج بدست آمده برای نیتروژن خاک نیز بیانگر دقت مناسب روش‌های درونیابی است (جدول 3). هر سه روش درونیابی دارای مقداری اثر پیرایشی بوده که سبب شده انحراف استاندارد داده‌های تخمین‌زده شده نسبت به داده‌های واقعی نیتروژن، 0/01 واحد کاهش یابد. مثلاً مقدار حداکثر تخمین به روش وزن‌دهی عکس فاصله به

جدول 2- اعتبارسنجی روش‌های درونیابی برای درصد کربن آلی خاک

کربن آلی				معیارها
اسپیلین کششی	وزن‌دهی عکس فاصله	کریجینگ معمولی	داده‌های واقعی	
150	150	150	150	تعداد نمونه
0/87	0/88	0/88	0/89	میانگین
0/38	0/33	0/34	0/43	انحراف استاندارد
-0/02	0/21	0/22	0/12	حداقل
0/62	0/66	0/66	0/57	چارک اول
0/84	0/85	0/84	0/83	میانه
1/15	1/17	1/16	1/18	چارک سوم
1/7	1/6	1/6	2/1	حداکثر
-0/013	0/009	0/007	-	MEE
0/092	0/096	0/090	-	MSEE
0/30	0/31	0/30	-	RMSE
0/32	0/34	0/32	-	Er
0/73**	0/71**	0/73**	-	ضریب همبستگی

\*\* معنی‌داری در سطح یک درصد است.



جدول 3- اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی برای درصد نیتروژن خاک

نیتروژن				معیارها
اسپلاین کشتی	وزن‌دهی عکس فاصله	کریجینگ معمولی	داده‌های واقعی	
150	150	150	150	تعداد نمونه
0/099	0/100	0/100	0/100	میانگین
0/03	0/03	0/03	0/04	انحراف استاندارد
0/02	0/04	0/04	0/02	حداقل
0/06	0/07	0/07	0/06	چارک اول
0/09	0/10	0/10	0/09	میانه
0/12	0/12	0/12	0/13	چارک سوم
0/2	0/19	0/19	0/22	حداکثر
0/0017	0/0034	0/0032	-	MEE
0/00070	0/00064	0/00065	-	MSEE
0/0265	0/0253	0/0252	-	RMSE
0/301	0/298	0/296	-	Er
0/78**	0/8**	0/8**	-	ضریب همبستگی

\*\* معنی‌داری در سطح یک درصد است.

#### پراکنش مکانی متغیرهای مورد مطالعه

نقشه پراکنش مکانی و پهنه‌بندی متغیرهای کربن آلی و نیتروژن خاک با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپلاین کشتی در شکل (4) نشان داده شده است. نتایج تحقیق ترابی گل‌سفیدی و همکاران (1395) نیز نشان داد که خاک‌های منطقه جنوب تهران دارای تغییرپذیری زیاد مکانی از نظر کربن آلی (محدوده کربن آلی در این خاک‌ها به ترتیب کمتر از 0/9، 1/2- 0/9 و بیش از 1/2 درصد بود) است. در این مطالعه، مدل مناسب برازش داده شده برای کربن آلی مدل کروی بود که جعفری و همکاران (1387) نیز مدل کروی را مدل مناسب برای کمی کردن تغییرات مکانی کربن آلی خاک گزارش دادند. چرا که ماده آلی در منطقه مورد مطالعه تأثیرپذیری زیادی از مدیریت اراضی دارد.

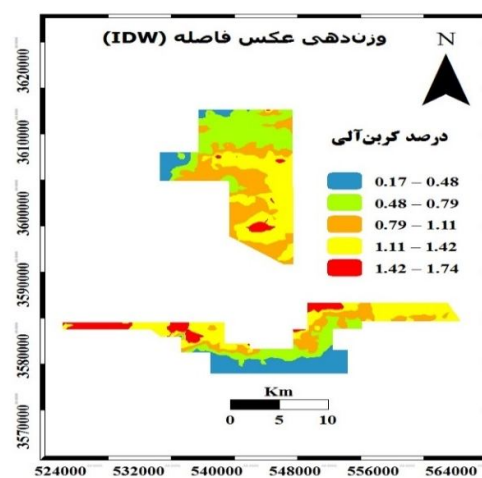
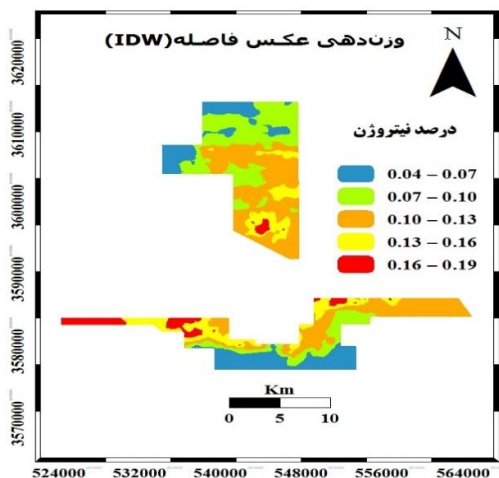
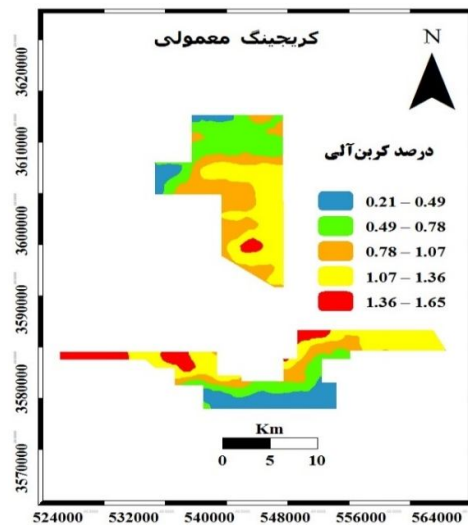
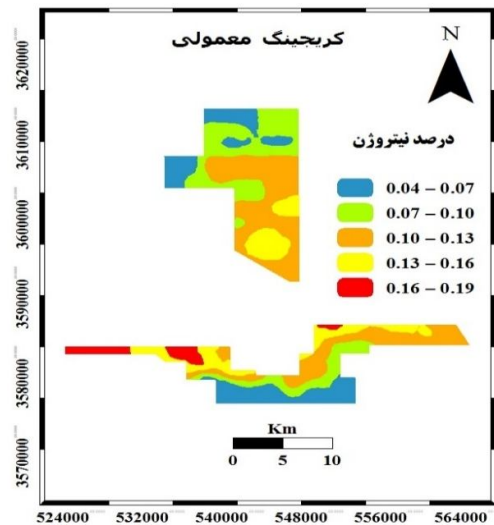
نقشه‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس فاصله و اسپلاین کشتی تقریباً تخمین یکسانی از محدوده کربن آلی خاک در منطقه نشان دادند، به طوری که 11/9 درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه دارای کربن آلی کمتر از 0/48 درصد بود که از جمله دلایل آن عدم افزودن کودهای آلی، سوزاندن بقایای گیاهی به منظور آماده‌سازی سریع زمین برای کشت دوم، مدیریت حاصلخیزی متفاوت، عدم رعایت مصرف بهینه کود را می‌توان مطرح نمود. 80/7 درصد از اراضی نیز دارای کربن آلی 0/48 تا 1/4 درصد و تنها 7/4 درصد دارای

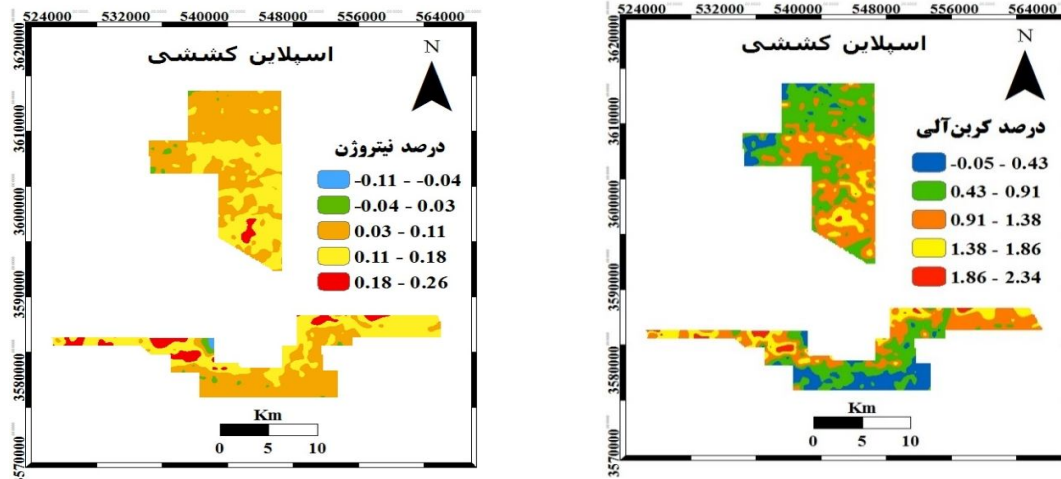
کربن آلی بیش از 1/4 درصد است. به طور کلی، خاک‌های منطقه مورد مطالعه از نظر مصرف کودهای آلی در شرایط ضعیفی قرار دارند و تنها اراضی که در حاشیه رودخانه زاینده‌رود قرار داشته و عمدتاً تحت کشت برنج قرار دارد، بیش از یک درصد ماده آلی دارد، زیرا در اراضی شالیزاری برای رسیدن به عملکرد مطلوب نیاز به شرایط تغذیه‌ای و مدیریت دقیق‌تری از سوی کشاورزان وجود دارد. از این‌رو در این مزارع، مصرف زیاد کودها (حیوانی و شیمیایی) موجب شده شرایط نسبتاً خوبی از نظر تغذیه‌ای برقرار باشد. حد بحرانی کربن آلی در خاک‌های کشور 1/5 درصد گزارش شده است (بلالی و همکاران، 1393)، که غالب منطقه از نظر مدیریت مصرف کودهای آلی در شرایط ضعیفی قرار دارد.

همچنین هر سه روش درون‌یابی استفاده شده تخمین تقریباً یکسانی از پراکنش مکانی نیتروژن خاک نشان دادند. حدود 15/6 درصد اراضی دارای نیتروژن کمتر از 0/07 درصد، 79/2 درصد دارای نیتروژن بین 0/07 تا 0/16 درصد و 5/2 درصد نیز دارای مقدار بیش از 0/16 درصد است. به طور کلی، اراضی منطقه از نظر تغذیه‌ای در شرایط کمبود به لحاظ عنصر غذایی نیتروژن قرار دارد. از جمله دلایلی که باعث تغییرات شدید غلظت نیتروژن در خاک‌های منطقه می‌شود، می‌توان به ماهیت این عنصر غذایی اشاره کرد. در حالی که منابع تأمین نیتروژن در خاک‌ها (بارندگی، مواد آلی، کودهای حیوانی و شیمیایی، بقایای محصول اعم از ریشه و کلش، تثبیت به‌وسیله باکتری‌های همزیست و موجودات غیرهمزیست)

نقش قابل‌توجهی در امنیت غذایی جامعه دارد، بنابراین با توجه به نقشه‌های به دست آمده توصیه می‌شود در مزارعی که مقدار نیتروژن آن‌ها کمتر از حد توصیه‌شده برای گیاهان است، مصرف این کود بیشتر و یا این که به صورت تقسیط و علمی صورت گیرد.

بسیار فراوان است، نیاز بالای گیاه به این عنصر و هدررفت آن از طریق آبخوبی و همچنین کمبود ماده آلی به عنوان اصلی‌ترین منابع تغییرات این عنصر در خاک است. با توجه به نقش مهم نیتروژن در افزایش عملکرد گیاه می‌توان مطرح نمود که مدیریت کودی این عنصر





شکل 4- پراکنش مکانی نیتروژن و کربن آلی حاصل از کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپالین کشتشی در منطقه

### پیشنهادها

از نقشه‌های تولیدی می‌توان به عنوان اطلاعات پایه برای کوددهی، طراحی سیستم‌ها و کاربرد ادوات کشاورزی در مزارع و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی بهره گرفت. همچنین برای ارزیابی و اعتبارسنجی نقشه‌ها علاوه بر استفاده از داده‌های معیار و آماره‌های خطا، با بازدید میدانی از مناطق مورد مطالعه و نمونه‌برداری از چند نقطه و تجزیه نمونه‌ها دقت و صحت این روش‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق بخشی از طرح تحقیقاتی به شماره 103-15-23 است که توسط محققان بخش خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان به اجرا درآمده است، بدین وسیله از مدیریت و اعضای هیئت علمی این مرکز تشکر و قدردانی می‌شود.

### نتیجه‌گیری

با توجه به این که ویژگی‌های خاک تابع مکان و زمان است و مقدار آن در مکان‌ها و مناطق مختلف یکسان نیست، این پژوهش به منظور تعیین پراکنش مکانی کربن آلی و نیتروژن خاک در منطقه لجنانات اصفهان با روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپالین کشتشی انجام شد. نتایج نشان داد با وجود تغییرات مکانی بالای متغیرها، روش‌های درون‌یابی از دقت تخمین خوبی برخوردار بودند. به طوری که برای کربن آلی و نیتروژن خاک روش کریجینگ معمولی از ارجحیت بیشتری نسبت به روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله و اسپالین کشتشی برخوردار بود. همچنین نتایج نشان داد، بخش عمده‌ای از اراضی منطقه از نظر این عناصر مخصوصاً نیتروژن کمبود دارند.

### فهرست منابع

1. بلالی، م. ر.، ح. رضایی و ف. مشیری. 1393. وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشور و ضرورت ارتقا توان آن برای خدمات‌رسانی به تولیدات کشاورزی، در کتاب: خاوازی و همکاران (نویسندگان) برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه (جلد اول). موسسه پژوهشات خاک و آب.
2. ترابی گل‌سفیدی، ح. ن.، دوانگر و ش. قاسمی. 1395. بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی و تأثیرپذیری آن‌ها از مدیریت بهره‌برداری در زمین‌های کشاورزی جنوب تهران، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد 30، شماره 2، صفحات 215-226.

3. جعفری، م.، ح. عسگری، م. معظمی، م. بی‌نیازی و م. طهمورث. 1387. بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات خاک، با کاربرد روش‌های زمین آماری، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره 80، صفحات 177-191.
4. زارعیان، ف.، ح. محمودی و م. ر. جوادی. 1393. پراکنش خصوصیات خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری در دشت دره ویسه کرج، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، 28(3): 520-511.
5. سعدی‌پور، چ.، م. رودپیما، ع. کرمی، ن. دواتگرو و م. صلاح‌الدین. 1395. ارزیابی سه روش زمین آماری در تخمین برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و تأثیر تراکم نمونه‌برداری بر پارامترهای تغییرنا، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، 30(4): 473-457.
6. شکوری‌کنیگری، م.، م. شعبان‌پور و ح. اسدی. 1390. ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی مکانی در پهنه‌بندی کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک‌های شالیزاری گیلان، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی). 21(2): 195-211.
7. صمدی، ن. 1384. تهیه نقشه حاصلخیزی خاک‌های مناطق نجف‌آباد - زرین‌شهر - طالخنچه با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک، نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.
8. فروغی‌فر، ح.، ع. ا. جعفرزاده، ح. ترابی گل‌سفیدی، ن. علی اصغرزاده، ن. تومانیان و ن. دواتگر. 1390. تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در شکل‌های اراضی مختلف دشت تبریز، نشریه دانش آب و خاک، 21(3): 1-21.
9. کرمی، ع و س. بصیرت. 1394. ارزیابی زمین آماری تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های خاک سطحی دشت ارسنجان، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد 29، شماره 1، صفحات 69-59.
10. محمدی، ج.، 1385. پدومتری (آمار مکانی)، جلد دوم، انتشارات پلک تهران.
11. Baoa, Z., W. Wu., H. Liu., S. Yin., and H. Chen. 2014. Geostatistical analyses of spatial distribution and origin of soil nutrients in long-term wastewater-irrigated area in Beijing, China. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*, 64: 235–243.
12. Bremner, J. M and C. S Mulvaney. 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.*
13. Boruvka, L., L. Mládková, V. Penížek, O. Drábek, and R. Vašát. 2007. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. *Geoderma*, 14: 374–382.
14. Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen R. F. Yurco, and A. E. Koropaka. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
15. Chukwu, G. O., M. I. S. Ezenwa, A. O. Osunde, and R. Asiedu. 2007. Spatial distribution of N, P and K in major yam soils of southeastern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 6(24): 2803-2806.
16. Eltaib, K.A. 2007. Effects of land preparation on soil moisture content, weed control and groundnut yield in Gash Delta. 313pages.
17. Jaiver, D., T. Sanchez, A. Gustavo, M. Ligarreto, and R. L. Fabi. 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.
18. Kavianpoor, H., A. Esmali Ouri, Z. Jafarian Jeloudar, and A. Kavian. 2012. Spatial variability of some soil chemical and physical properties in nesho mountainous rangelands. *American Journal of Environmental Engineering*, 2: 34- 44.

19. Komnitsas, K., X. Guo, and D. Li. 2010. Mapping of soil nutrients in an abandoned Chinese coal mine and waste disposal site. *Minerals Eng.*, 23: 627–635.
20. Malakouti M. J, Sh. Ladan, and S. J. Tabatabaee. 2013. Nitrate content in the edible parts of vegetables: Origin, safety, toxicity limits and the prevalence of cancer in Iran. 93-122 p. In: Sh. Umar, N. A. Anjum and N. A. Khan (Eds.). *Nitrate in leafy vegetables: Toxicity and safety measures*. I. K. International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, India. 208 p.
21. Panagopoulos, T., J. Jesus., M. D. C. Antunes, and J. Beltrao. 2006. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy*, 24(1): 1-10.
22. Robinson, T. P., and G. Metternicht. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computer and Electronics in Agriculture*, 50: 97-108.
23. Rossi, J., A. Govaerts, B. D. Vos, B. Verbist, A. Vervoort, J. Poesen, B. Muys, and J. Deckers. 2009. Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests. A case study of Southeastern Tanzania. *Catena*, 77: 19–27.
24. Santra, P., U. K. Chopra, and D. Chakraborty. 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., K. Majumdar, and G. Sulewski. 2007. Spatial variability in available nutrient status in an intensively cultivated village. *Better Crops*, 10.1-32.
26. Walkey, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37: 29-38.
27. Wang, Y., X. Zhang, and C. Huang. 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.
28. Wei, J. B., D. N. Xiao, H. Zeng, and Y. K. Fu. 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.
29. Yamagishi, J., T. Nakamoto, and W. Richner. 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.
30. Yemefack, M., D. G. Rossiter, and R. N. yomgang. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*, 125: 117-143.

## Investigation of Interpolation Methods for Determination of Organic Carbon and Nitrogen Spatial Distribution in Lanjanat Region in Isfahan Province

M. Rezaeifard<sup>1</sup>, H. Shariatmadari, N. Toomanian, J. Askari Marnani,  
and A. A. Zare

Master Science, department of soil science college of Agriculture, Isfahan University of Technology;  
E-mail: Mehrdadrezaifard@yahoo.com

Professor department of soil Science College of Agriculture, Isfahan University of Technology;  
E-mail: Shariat@cc.iut.ac.ir

Associate professor of Soil Science, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and  
Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran;  
E-mail: Norairtoomanian@gmail.com

Associate Professor of Control department college of electrical and Computer engineering, Isfahan  
University of Technology; E-mail: J-askaari@cc.iut.ac.ir

Ph.D. graduated, department of soil science college of Agriculture, Isfahan University Technology;  
E-mail: Aliakbarzare65@yahoo.com

Received: February, 2019 and Accepted: October, 2018

### Abstract

This research was carried out to compare the methods of determining the spatial distribution of soil organic carbon and nitrogen on 50,000 hectares of Lenjanat area in Isfahan province, central Iran. The spatial distribution of elements was determined by Ordinary Kriging, Inverse Distance Weighting, and Spline Tension interpolation methods. The results indicated that there was an average spatial structure in the variables. Empirical variograms showed that there was no specific anisotropy process for variables. In order to determine the accuracy of the estimation of interpolation methods, the standard data (150 data for each variable) and statistical criteria including Mean Estimation Error (MEE), Mean Square Estimation Error (MSEE), Root Mean Square Error (RMSE), relative Error (Er) and Pearson correlation coefficient (r) were used. Despite the high spatial variability of the parameters, the results indicate the accuracy of the estimated values by means of interpolation methods. For soil organic carbon in the study area, Ordinary Kriging and Spline Tension interpolation methods with lower error (MEE= 0.007, MSEE= 0.09, RMSE= 0.3, Er= 0.32 and r= 0.73) were more accurate compared with the Inverse Distance Weighting interpolation method (MEE= 0.009, MSEE= 0.096, RMSE= 0.31, Er= 0.31 and r= 0.71). Also, Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting interpolation methods with a lower error (MEE= 0.003, MSEE= 0.0006, RMSE= 0.025, Er= 0.296 and r= 0.8), compared with Spline Tension interpolation method (MEE= 0.0017, MSEE= 0.0007, RMSE= 0.026, Er= 0.301 and r= 0.78) had more accurate estimation of soil nitrogen in the region.

**Keywords:** Geostatistics, Soil fertility, Spatial variability, Zoning

<sup>1</sup> Corresponding author: Lorestan, Poldokhtar, Laleh Street, Postal code 6851949777