

## تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم آبی در یک نقشه تناسب کمی (مطالعه‌ی موردی: منطقه شهرکیان، استان چهارمحال و بختیاری)

حمید افشار<sup>۱</sup> - محمد حسن صالحی<sup>۲\*</sup> - جهانگرد محمدی<sup>۳</sup> - عبدالمحمد محنت‌کش<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۲۱

### چکیده

کیفیت نقشه‌های خاک به توانایی آن‌ها برای نشان دادن تغییرپذیری خاک‌ها وابسته است. بنابراین، دقت نقشه‌هایی که برای توصیه کشت محصول استفاده می‌شوند به دقت نقشه خاک بستگی دارد. این تحقیق به منظور بررسی میزان تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم آبی در دو واحد اراضی با کلاس تناسب  $S_2$  و  $S_3$  از یک نقشه نیمه‌تفصیلی تناسب کمی (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) واقع در منطقه شهرکیان استان چهارمحال و بختیاری، انجام شد. برای نیل به اهداف مطالعه، از هر یک از واحدهای مذکور، ۸۰ نمونه خاک و گندم جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری خاک از هر یک از واحدها به روش چندمقیاسی در پلاتی به ابعاد  $۱۱۲ \times ۴۸$  متر و از عمق صفر تا  $۳۰$  سانتی‌متری خاک و نمونه‌برداری از گندم در پلات‌های  $۵ \times ۵ \times ۰/۵$  متر با مرکزیت  $۱۶۰$  نقطه نمونه‌برداری شده از خاک، انجام پذیرفت. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک، pH، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، ازت کل، پتاسیم و فسفر قابل جذب و ویژگی‌های عملکرد گندم شامل بیوماس کل بالای سطح زمین، وزن هزاردانه و شاخص برداشت، با استفاده از کریجینگ بلوکی، اقدام به پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک و گندم گردید. نتایج آماری بیانگر این است که از میان متغیرها pH، کمترین ضریب تغییرات ( $۱/۰۷$  درصد در واحد  $S_2$  و  $۰/۹۲۵$  درصد در واحد  $S_3$ ) و پتاسیم قابل استفاده، بیشترین ضریب تغییرات ( $۴۷/۴۳$  درصد در واحد  $S_2$  و  $۴۶/۴۶$  درصد در واحد  $S_3$ ) را نشان دادند. تجزیه تغییرنماها نشان داد که تمامی متغیرهای بررسی شده در هر دو واحد دارای ساختار مکانی می‌باشند. دامنه تاثیر تغییرنماها از  $۱۷/۷۵$  متر برای ازت تا  $۶۱/۰۶$  متر برای هدایت الکتریکی در واحد  $S_2$  و از  $۱۷/۴۷$  متر برای فسفر تا  $۶۲/۹۳$  متر برای وزن هزار دانه در واحد  $S_3$  در نوسان بود. نقشه‌های کریجینگ نشان می‌دهند که الگو و پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک و گیاه درون واحدهای اراضی نقشه تناسب کمی و حتی درون یک مزرعه، بسیار متفاوت است. به همین دلیل، این نقشه‌ها در کشاورزی دقیق از قابلیت اعتماد کافی برخوردار نیست. استفاده از اطلاعات کلیه نمرخ‌ها علاوه بر پروفیل شاهد واحدهای اراضی و ترکیب اطلاعات نقشه‌های تناسب اراضی با اطلاعات زمین‌آمار می‌تواند راهی برای افزایش دقت و کیفیت نقشه‌های تناسب اراضی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرپذیری مکانی، تغییرنما، کریجینگ بلوکی، نقشه تناسب کمی، شهرکیان

### مقدمه

فیزیکی و شیمیایی خاک بر میزان عملکرد وجود دارد ( $۲۰$ ،  $۱۰$ ،  $۵$  و  $۱۶$ ). بنابراین، آگاهی از نحوه پراکنش تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و عملکرد در مزارع برای دستیابی به تولید بیشتر و مدیریت بهتر و پایدار، ضروری می‌نماید.

خلوص واحدهای نقشه تناسب اراضی از جمله فاکتورهایی است که در کیفیت این نقشه‌ها موثر خواهد بود. یکی از اهداف نقشه‌برداری خاک، تهیه نقشه‌هایی است که ناهمگونی درون واحدی کمتری داشته باشند ( $۳$ ). از مشکلات اساسی نقشه‌برداری مرسوم خاک، تعمیم نتایج حاصل از نیمرخ شاهد به کل واحد نقشه بدون در نظر گرفتن تغییرپذیری مکانی خاک است ( $۲۵$ ). مطالعات نشان داده است که تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول داخل واحدهای

خاک به عنوان جزئی از طبیعت هم دارای تغییرپذیری ذاتی است که در نتیجه برهم‌کنش فاکتورهای تشکیل‌دهنده آن است و هم دارای تغییرپذیری غیر ذاتی است که حاصل مدیریت کشت و کار، استفاده از اراضی و فرسایش است ( $۲۹$ ). تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، یکی از مهم‌ترین دلایل تغییرپذیری عملکرد محصول به شمار می‌رود ( $۱۶$ ). گزارشات زیادی در رابطه با تاثیر قابل توجه ویژگی‌های

<sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> - به ترتیب، دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

\* - نویسنده مسئول: (Email: mehsalehi@yahoo.com)

<sup>۴</sup> - عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری

۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد است. مطابق با رده‌بندی آمریکایی، خاک‌های واحد  $S_2$  در فامیل Fine, mixed, mesic, calcic Haploxeralfs و خاک‌های واحد  $S_3$  در فامیل Fine, active, mesic, Aquic Haploxeralfs طبقه‌بندی می‌شوند (۷).

برای انجام این تحقیق، قطعه‌ای به ابعاد ۵۰ در ۱۲۰ متر در هر یک از واحدهای  $S_2$  و  $S_3$  در نقشه تناسب کمی گندم آبی (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) تحت مدیریت زارعین محلی انتخاب شد (۷). در هر یک از واحدهای  $S_2$  و  $S_3$ ، ۸۰ نمونه خاک و گندم در تیر ماه سال ۱۳۸۶ جمع‌آوری گردید. نمونه‌برداری خاک از هر یک از واحدها به روش چند مقیاسی<sup>۱</sup> در پلاتی به ابعاد ۱۱۲×۴۸ متر و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. در واقع این روش، نمونه‌گیری نامنظم از درون یک شبکه منظم نمونه‌برداری است. در این روش، برای دستیابی به تعداد جفت نمونه‌های زیادت در چند فاصله (lag) اول که نقش تعیین‌کننده‌ای در رسم واریوگرام و تعیین پارامترهای آن دارند و در نهایت سبب تخمین دقیق‌تر کربجینگ می‌شوند، پس از نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم، از بین خطوط شبکه‌ها نمونه‌های نامنظمی گرفته می‌شود تا هم تعداد نمونه، زیادت‌تر شود و هم سبب بهبود تخمین گردد. برای نمونه‌برداری از هر واحد، ۶۳ نمونه از محل تقاطع شبکه‌های منظم ۱۴×۸ متر و ۱۷ نمونه در فواصل ۵، ۷ و ۹ متری از بین خطوط طولی این شبکه‌ها (۸۰ نمونه از هر واحد و مجموعاً ۱۶۰ نقطه از دو واحد) جمع‌آوری شد (شکل ۱).

نمونه‌برداری گندم از یک مزرعه موجود در واحد  $S_2$  و یک مزرعه دیگر در واحد  $S_3$  که از لحاظ کود، میزان و دوره آبیاری و واریته گندم (واریته الوند در  $S_2$  و واریته امید در  $S_3$ ) دارای مدیریت متفاوت بودند از پلات‌های ۰/۵×۰/۵ متری با مرکزیت ۱۶۰ نقطه نمونه‌برداری شده از خاک، انجام شد. بدین منظور، ابتدا نقاط نمونه‌برداری مشخص و پس از انداختن پلات در نقطه مورد نظر و چیدن گندم آن، از وسط پلات تا عمق ۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌های خاک جمع‌آوری شدند. نمونه‌های خاک جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی و نمونه‌های گندم جهت تعیین ویژگی‌های عملکرد گندم، به آزمایشگاه منتقل شد. ابتدا نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و بعد از کوبیده شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس، بافت خاک با روش هیدرومتری تعیین گردید (۱۳). pH خاک‌ها در عصاره ۱:۵ خاک به آب توسط دستگاه دستگاه pH متر الکتروود شیشه‌ای مدل ۲۲۰ CORNING، هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۵ خاک به آب توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی با مدل ۵۱۰-CC، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۱۹)، ماده آلی به روش سوزاندن تر با بی‌کربنات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ (۲۱)، ازت کل با استفاده از روش اکسیداسیون تر توسط دستگاه

نقشه خاک همانند تغییرپذیری بین واحدهای نقشه و حتی در مقیاس مزرعه زیاد است (۳ و ۱۷). بنابراین، دقت روش‌هایی که برای توصیه کشت گیاه، کاربری اراضی و طرح‌های مطالعاتی به کار می‌روند حائز اهمیت است (۲۰). نقشه‌های تناسب اراضی که بر مبنای نقشه‌های خاک تهیه می‌شوند یکی از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی در این زمینه هستند که در سال‌های اخیر در کشور تهیه شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعات اندکی در ایران بر روی تغییرپذیری خاک و عملکرد گیاه انجام شده است (۲، ۵ و ۸) ولی هیچ‌یک از آنها تغییرات ویژگی‌های خاک و عملکرد را در واحدهای نقشه‌های تناسب اراضی مدنظر قرار ندادند.

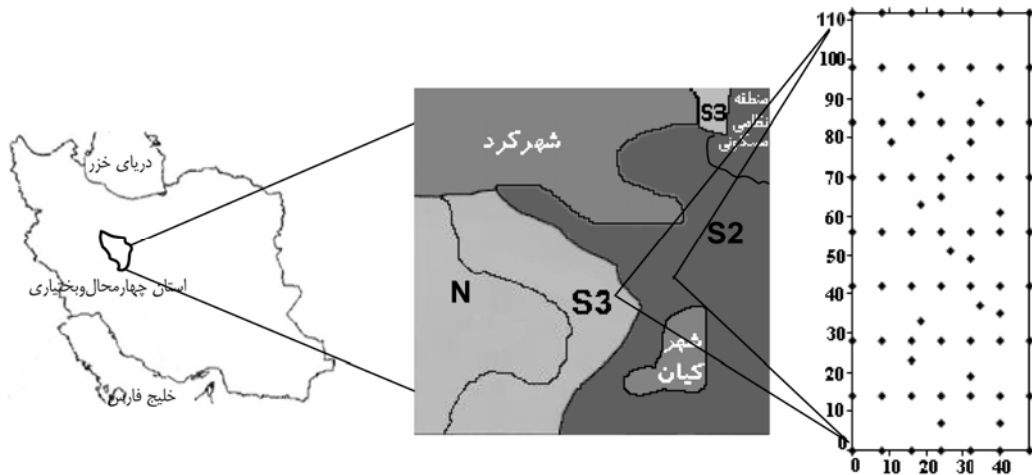
برای مطالعه تغییرپذیری خاک باید از ابزار آماری استفاده نمود. امروزه بیش از هشتاد درصد داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده مدیران و متخصصان علوم مختلف، از جمله علوم محیطی و علوم خاک، به گونه‌ای با موقعیت مکانی و چگونگی قرار گرفتن آن‌ها در گستره‌های مکانی مرتبط است. بنابراین، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌بایستی با در نظر گرفتن موقعیت مکانی آن‌ها نسبت به یکدیگر انجام گیرد. آمار کلاسیک، با توجه به فرضیات اساسی‌اش (مانند استقلال نمونه‌ها از یکدیگر) فاقد کارایی لازم برای پردازش مناسب داده‌های مکانی است (۶، ۲۰ و ۲۹). طی دو تا سه دهه اخیر جهت تجزیه و تحلیل این گونه داده‌های مکانی از مجموعه ابزارهای تجزیه و تحلیل و پردازش ریاضی و آماری که توانایی به‌کارگیری هم‌زمان اطلاعات کمی و عددی متغیر مورد نظر و اطلاعات مربوط به موقعیت نسبی جغرافیایی داده‌ها را دارند، استفاده می‌شود. این مجموعه آماری را آمار مکانی می‌نامند که وظیفه توصیف، تخمین و پیش‌بینی، تفسیر و کنترل فرایندها و متغیرهای مکانی را به عهده دارد (۶ و ۳۰). اهداف این تحقیق، ۱- تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در دو واحد نقشه تناسب کمی گندم آبی و ۲- بررسی میزان تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم در دو واحد نقشه مذکور در منطقه شهرکیان استان چهارمحال و بختیاری است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، بخشی از اراضی کشاورزی جنوب و جنوب غربی شهرکیان واقع در استان چهارمحال و بختیاری و دو واحد اراضی با کلاس تناسب  $S_2$  و  $S_3$  از نقشه تناسب کمی گندم آبی این منطقه را تشکیل می‌دهد و مساحتی حدود چهار هزار هکتار را در بر می‌گیرد. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۵۰° ۵۰' تا ۵۰° ۵۵' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۱۳' ۱۶" تا ۳۲° ۲۰' شمالی واقع شده است. متوسط ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۲۰۶۰ متر و میانگین بارندگی سالیانه آن حدود ۳۲۰ میلی‌متر و متوسط دمای هوا در آن،

سطح زمین، وزن هزاردانه و شاخص برداشت به عنوان ویژگی‌های عملکرد گندم تعیین گردید. شاخص برداشت از رابطه زیر محاسبه شد:

کجدال (۱۸)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (۲۲) و پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر در عصاره به دست آمده با استات آمونیوم یک نرمال (۹)، اندازه‌گیری شدند. بیوماس کل بالای



(شکل ۱) - نمایی از نقشه تناسب کمی و نقاط نمونه برداری شده از دو واحد S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub> واقع در استان چهارمحال و بختیاری

واریانس مؤلفه غیرساختاری (تصادفی)، آستانه بیانگر تقریبی از واریانس کل و دامنه تعیین کننده فاصله‌ای است که در فراتر از آن هیچ همبستگی مکانی بین مشاهدات یا نمونه‌ها وجود ندارد. درجه وابستگی مکانی متغیرها یا ویژگی‌ها از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) ضرب در ۱۰۰ به دست می‌آید. اگر این نسبت کمتر از ۲۵٪ باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی قوی است، اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵٪ باشد، متغیر وابستگی مکانی متوسط دارد و اگر نسبت بیش از ۷۵٪ باشد، متغیر وابستگی مکانی ضعیفی دارد (۱۰).

در کنترل اعتبار پارامترهای کریجینگ، با استفاده از روش جک‌نایف می‌توان مناسب‌ترین شعاع جستجو و تعداد نقاط همسایه برای به حداقل رساندن خطای تخمین کریجینگ را بدست آورد. با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، اریب (ME)<sup>۱</sup> و دقت (RMSE)<sup>۲</sup> در هر روش از روابط زیر محاسبه شد:

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Z^*(x_i) - Z(x_i))^2]} \quad (4)$$

که در آنها Z\* مقدار برآورد شده در نقطه X<sub>i</sub>، مقدار مشاهده در نقطه X<sub>i</sub> و n تعداد نقاط می‌باشد. خطای تخمین کریجینگ بایستی

(۱) ۱۰۰ \* [بیوماس کل / وزن دانه] = شاخص برداشت  
 بعضی از پارامترهای آماری شامل میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم افزار GEOEAS (۱۲) مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی آزمون نرمال بودن متغیرها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> استفاده شد (۱۱).  
 قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل زمین آماری، ناهمسان گردی هر متغیر با استفاده از تغییرنمای رویه‌ای<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفت (۶).  
 برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آنها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس، برای تمام موقعیت‌ها توان دوم این اختلاف تحت عنوان تغییرنما به صورت معادله (۲) محاسبه گردید:

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

که در آن، N(h) تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام (h)، Z(x<sub>i</sub>) مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه i و Z(x<sub>i</sub> + h) مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی i + h است. تغییرنمای تمام متغیرها توسط برنامه رایانه‌ای VARIOWIN2.2 محاسبه و ترسیم شد (۲۵).

برای تغییرنمای ایده‌آل، سه پارامتر را می‌توان به صورت، اثر قطعه‌ای<sup>۳</sup>، حد آستانه (سقف)<sup>۴</sup> و دامنه تاثیر<sup>۵</sup> بیان کرد. اثر قطعه‌ای

5 - Range  
 6 - Mean Error  
 7 - Root Mean Square Error

1 - Kolmogrov-Smirnov  
 2 - Surface variogram  
 3 - Nugget effect  
 4 - Sill

توجه به ساختارهای مکانی (واریوگرام) مناسب برای تمام متغیرها برحسب داده‌های اصلی، کلیه آنالیزهای زمین‌آماري برحسب داده‌های اصلی صورت گرفت. بسیاری از محققین نیز پس از مشاهده تفاوت کم بین واریوگرام داده‌های تبدیل شده (نرمال شده یا نرمال نشده) و واریوگرام داده‌های اصلی، از داده‌های اصلی استفاده کرده‌اند (۴، ۱۰ و ۱۶).

با بررسی واریوگرام‌های رویه‌ای<sup>۱</sup>، ناهمسانگردی مشخصی مشاهده نگردید (اشکال به دلیل حجم زیاد آورده نشده‌اند) و با توجه به همسان گرد بودن تمام متغیرهای مورد بررسی، تغییرنماهای تجربی همه جهت<sup>۲</sup> آنها تهیه و مدل مناسب بر آنها برازش داده شد. (اشکال ۲ و ۳). شایان ذکر است که تمامی این متغیرها دارای ساختار مکانی همراه با مدل‌های سقف‌دار می‌باشند. همچنین، در مورد اکثر متغیرها، آستانه تخمین خوبی از واریانس متغیرها ارائه می‌دهند که نمایانگر تحقق فرضیات پایایی در داده‌هاست.

پارامترهای تغییرنماهای مربوط به برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم در جداول ۳ و ۴ درج گردیده است. قابل توجه است که از میان متغیرهای مورد مطالعه، به جز شاخص برداشت در واحد  $S_2$  که از مدل نمایی تبعیت می‌کرد، بقیه متغیرها از مدل کروی تبعیت نموده‌اند. این دو مدل از معمول‌ترین مدل‌ها برای بررسی و مطالعه تغییرپذیری خاک و محصول و تخمین کریجینگ در مطالعات علوم خاک هستند (۱۰، ۲۰ و ۲۹).

دامنه تاثیر فاصله‌ای است که در ماواری آن نمونه‌ها بر هم تاثیری نداشته و آنها را می‌توان مستقل از یکدیگر محسوب نمود. چنین فاصله‌ای حد همبستگی خصوصیت مورد نظر را مشخص نموده و اطلاعاتی در رابطه با حداقل فاصله نمونه‌برداری ارائه می‌کند. نتایج حاصل از تغییرنماها نشان می‌دهد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین دامنه‌های متغیرهای اندازه‌گیری شده در هر دو واحد وجود دارد.

دامنه تاثیر واریوگرام‌ها از  $17/75$  متر برای ازت تا  $62/05$  متر برای هدایت الکتریکی در واحد  $S_2$  و  $17/47$  متر برای فسفر تا  $62/93$  متر برای فاکتور وزن هزار دانه در واحد  $S_3$  در نوسان است. در بین عناصر غذایی خاک شامل ازت، فسفر و پتاسیم، در واحد  $S_2$  ازت خاک دامنه تاثیر کوچک‌تر ( $17/75$  متر) و فسفر دامنه تاثیر بزرگ‌تر ( $61/06$  متر) و در واحد  $S_3$ ، فسفر خاک دامنه تاثیر کوچک‌تر ( $17/47$  متر) و پتاسیم دامنه تاثیر بزرگ‌تر ( $49/7$  متر) را نشان می‌دهند.

دامنه تاثیر کوچک‌تر ازت خاک در واحد  $S_2$ ، احتمالاً به دلیل تحرک بیشتر این یون نسبت به یون‌های فسفر و پتاسیم است. محمد زمانی و همکاران (۵) نیز پس از مقایسه دامنه تاثیر این سه عنصر نتایج مشابهی را گزارش نمودند. در واحد  $S_3$ ، دامنه تاثیر کوچک‌تر فسفر قابل دسترس را شاید بتوان به عملیات کوددهی و به زیر خاک نمودن کود حیوانی و بهم خوردگی خاک در این واحد نسبت داد.

دارای میانگین صفر بوده و ریشه میانگین مجذور خطای تخمین بایستی حتی الامکان کوچک باشد. معمولاً هر چه مقدار این دو شاخص کمتر باشد دقت روش بیشتر است. بعد از کنترل اعتبار پارامترهای کریجینگ و به دست آوردن مناسب‌ترین پارامترها جهت میان‌یابی متغیرها، اقدام به پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های کریجینگ شد. بدین منظور، میان‌یابی به روش کریجینگ بلوکی با استفاده از SURFER8 (۱۴) صورت گرفت. به منظور بررسی اختلاف مقادیر متغیرهای مورد مطالعه بین واحدهای نقشه از آزمون مقایسه میانگین‌ها (t-test) و برای بررسی میزان همبستگی متغیرهای مورد مطالعه، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد (۱۱).

## نتایج و بحث

توصیف آماری ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم مربوط به دو واحد نقشه مورد نظر در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود از میان ویژگی‌های خاک در هر دو واحد، پتاسیم قابل جذب با  $47/3$  درصد در واحد  $S_2$  و  $46/5$  درصد در واحد  $S_3$  دارای بیشترین ضریب تغییرات است. از میان ویژگی‌های تولید محصول در هر دو واحد، بیوماس کل بالای سطح خاک با  $30/16$  درصد در واحد  $S_2$  و  $36/73$  درصد در واحد  $S_3$  دارای بیشترین ضریب تغییرات می‌باشند.

نتایج آزمون نرمال نشان داد که در هر دو واحد نقشه برخی از متغیرها مثل هدایت الکتریکی، فسفر و پتاسیم و در واحد  $S_2$ ، سیلت، رس، کربنات کلسیم معادل و شاخص برداشت و در واحد  $S_3$ ، شن و بیوماس کل بالای سطح زمین، از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند (داده‌ها آورده نشده است). اگرچه توزیع نرمال داده‌ها، شرط لازم و ضروری پردازش‌های زمین‌آماري نمی‌باشد، لیکن در صورت نرمال بودن داده‌ها تخمین‌های زمین‌آماري می‌توانند از دقت بالاتری برخوردار باشند (۶ و ۳۰). به همین دلیل، سعی بر نرمال کردن داده‌ها گردید. رویکردهای مختلفی برای این منظور استفاده شد ولی توزیع آنها نرمال نگردید. به عنوان مثال، یکی از رویکردهای تبدیل داده‌ها استفاده از Ln داده‌های اصلی است. با مقایسه واریوگرام‌های متغیرها در دو حالت لگاریتمی و بدون تبدیل (داده‌های اصلی) مشخص شد که ساختار مکانی واریوگرام‌ها و پارامترهای آن‌ها در حالتی که از داده‌های اصلی استفاده شود بهتر است به طوری که میزان خطا بر اساس نسبت اثر قطعه‌ای به واریانس کل (Nugget effect/Sill)، برای داده‌های تبدیل شده افزایش یافت. در هر حال، با توجه به نزدیک بودن مقادیر میانگین و میانه در اکثر متغیرها که می‌تواند نمایانگر توزیع نسبتاً نرمال متغیرها باشد و نیز مقادیر پایین چولگی (بین صفر تا ۱) برای اکثر متغیرها هر دو واحد (جداول ۱ و ۲) که می‌تواند بیانگر انحراف کم این متغیرها از توزیع نرمال باشد (۶) و با

1-Surface variogram

2-Omnidirectional

(جدول ۱) - خلاصه آماری ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در واحد S<sub>2</sub>

متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
pH	۷/۳	۷/۳	۷/۰۷	۷/۵	۱/۶	۰/۱۲	-۰/۰۱	۲/۱
EC(dSm <sup>-1</sup> )	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۴۵	۲۱/۴	۰/۰۴	۲/۸۵	۱۶/۷
شن (%)	۱۳/۸	۱۳/۸	۷/۶	۲۵/۱	۲۲/۵	۳/۱	۰/۵۳	۴/۳
سیلت (%)	۵۲/۲	۵۳/۵	۴۳/۱۲	۵۸/۵	۷/۵	۳/۹	-۰/۸۱	۴
رس (%)	۳۳/۹	۳۲/۹	۲۴/۶۴	۴۵/۲	۱۲/۱	۴/۱	۰/۶۵	۳/۳
فسفر قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۴۱/۷	۴۱/۶	۱۹/۰۱	۱۲۸/۷	۳۶/۱	۱۵/۱	۲/۴۶	۱۵/۲
پتاسیم قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۴۶۹/۱	۳۷۲/۱	۱۹۵/۱	۱۳۱۳/۱	۴۷/۳	۲۲۱/۹	۱/۷۰	۵/۵
ماده آلی (%)	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶	۱/۴	۱۴/۲	۰/۱۴	۰/۴۸	۴/۷
ازت کل (%)	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۲۳	۱۲/۶	۰/۰۲	-۰/۰۳	۳
کربنات کلسیم (%)	۳۳/۱	۳۲/۷	۲۴	۴۲	۶/۵	۲/۲	-۰/۷۳	۱۱/۷
بیوماس کل (g/m <sup>2</sup> )	۱۹۷۶/۱	۱۹۰۰/۲	۱۰۵۶	۳۷۳۳/۴	۳۰/۲	۵۹۵/۹	۰/۸۱	۳/۳
وزن هزاردانه (gr)	۴۰/۷	۴۱/۵	۲۷	۵۲	۱۵/۵	۶/۳	۰/۳۵	۲/۳
شاخص برداشت (%)	۵۲/۸	۵۳/۸	۲۷/۷۰	۶۳/۸	۱۱/۲	۵/۹	-۱/۳۵	۶

(جدول ۲) - خلاصه آماری ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در واحد S<sub>3</sub>

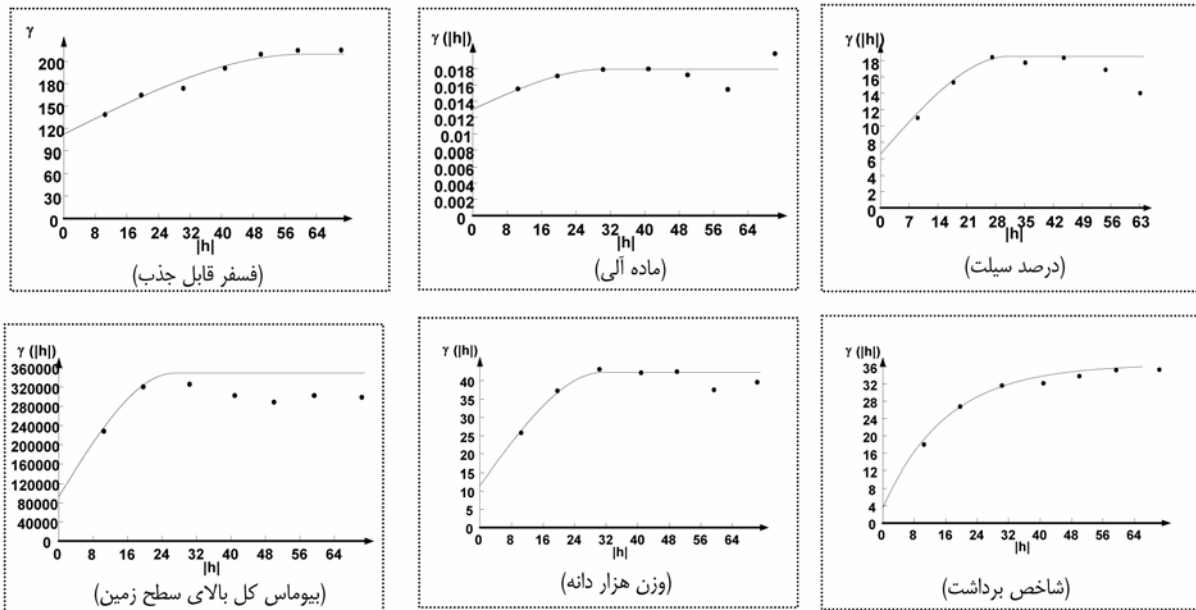
متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
pH	۷/۳	۷/۲۹	۷/۱۵	۷/۴۵	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۱۵	۲/۴
EC(dSm <sup>-1</sup> )	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۹	۱۸/۷	۰/۰۴	۱/۰۵	۳/۹
شن (%)	۱۵/۹	۱۵/۸	۷/۶	۲۶/۱	۲۳/۷	۳/۸	۰/۷۳	۳/۶
سیلت (%)	۴۸/۲	۴۸/۳	۴۱/۱	۵۴/۴	۶/۵	۳/۲	-۰/۱۷	۲/۳
رس (%)	۳۵/۹	۳۵/۹	۲۲/۶	۴۸/۳	۱۳/۶	۴/۹	۰/۰۸	۳
فسفر قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۴۴/۷	۳۹/۹	۲۰/۸	۱۲۸/۷	۳۲/۶	۱۴/۵	۲/۷۴	۱۵/۵
پتاسیم قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۲۲۶/۵	۱۹۴/۳	۱۰۵	۷۴۰/۹	۴۶/۵	۱۰۵/۲	۲/۳	۱۰/۳
ماده آلی (%)	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۶۸	۱/۶	۱۹/۶	۰/۱۹	۱/۱۲	۴/۹
ازت کل (%)	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۲۱	۹/۵	۰/۰۲	۰/۵	۴
کربنات کلسیم (%)	۳۶/۵	۳۶/۵	۳۱/۳	۳۹/۷	۴/۱	۱/۵	-۰/۳۶	۳/۸
بیوماس کل (g/m <sup>2</sup> )	۱۵۳۵/۱	۱۵۰۱/۸	۶۶۸	۳۵۷۹/۶	۳۶/۷	۵۶۳/۹	۱/۰۳	۴/۶
وزن هزاردانه (gr)	۴۷	۴۸	۲۸/۵	۵۷	۱۰/۵	۴/۷	-۱/۳۲	۵/۷
شاخص برداشت (%)	۴۴/۹	۴۵/۵	۲۸/۵	۶۳/۷	۱۴/۱	۶/۳	۰/۲۵	۳/۳

(۲۶/۷۳ متر) با مدل کروی، نزدیک به دامنه تاثیر ماده آلی (۳۰/۷۶ متر) و سیلت (۳۱/۳۲ متر) با مدل کروی است. همچنین، دامنه تاثیر وزن هزاردانه (۳۱/۱۹ متر) در این واحد با دامنه تاثیر ماده آلی (۳۰/۷۶ متر)، سیلت (۳۱/۳۲ متر) و شن (۳۴/۳ متر) نزدیک است. دامنه تاثیر شاخص برداشت (۴۹/۶۱ متر) با مدل نمایی به دامنه تاثیر پتاسیم (۴۴/۵۶ متر) و رس (۴۴/۲۸ متر) با مدل‌های کروی نزدیک است. برای واحد S<sub>3</sub> دامنه تاثیر بیوماس کل (۵۵/۸۸ متر) با مدل کروی به دامنه تاثیر کربنات کلسیم معادل (۵۳/۷۸ متر)، ماده آلی (۵۸/۶۷ متر) و EC (۵۸/۹ متر) با مدل‌های کروی، نزدیک می‌باشد. همچنین، دامنه تاثیر شاخص برداشت (۵۱/۷۴ متر) با مدل کروی در این واحد به دامنه تاثیر پتاسیم (۴۹/۷ متر)، کربنات کلسیم معادل (۵۳/۷۸ متر)

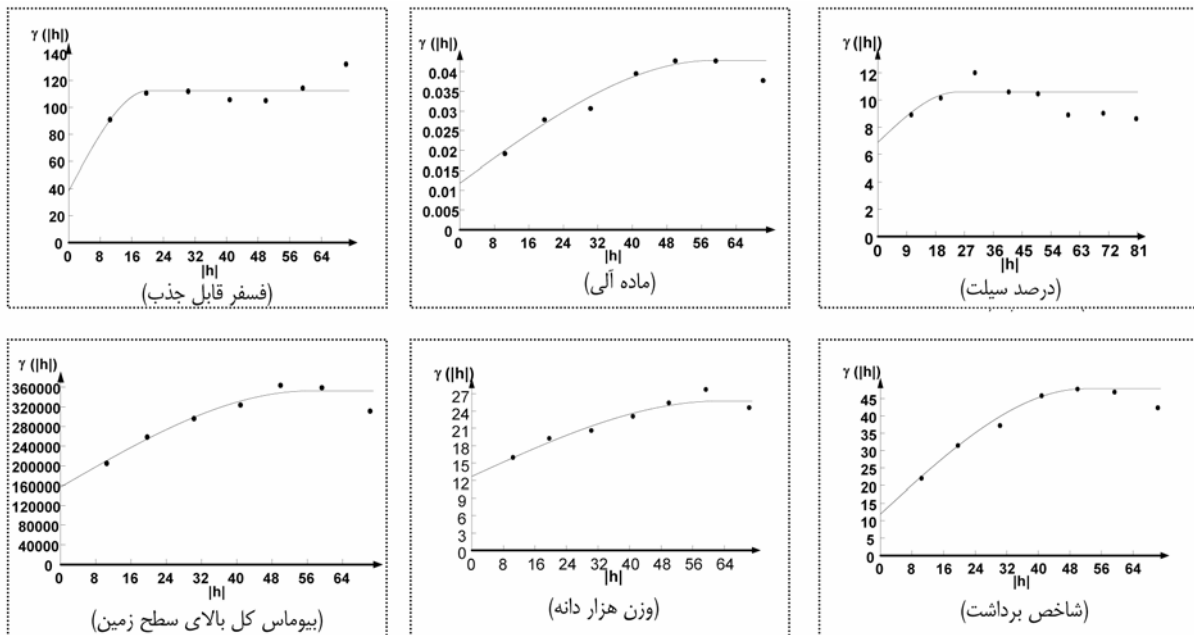
دامنه تاثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری و موقعیت سیمای اراضی می‌باشد (۱۰). در این مطالعه، اختلاف قابل توجه بین ویژگی‌های خاک دو واحد و به‌خصوص برای فسفر می‌تواند ناشی از تفاوت در مدیریت کوددهی و آبیاری واحدها باشد (۶). بدیهی است که دامنه تاثیر بزرگتر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر، پراکنش پیرایشی‌تر (رونددار) و در حقیقت پیوستگی مکانی بیش‌تر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد. هر چه دامنه گسترده‌تر باشد به تعداد نمونه کمتری جهت تعیین نقاط نمونه‌برداری نشده نیاز است (۱). ویژگی‌های عملکرد محصول با برخی از ویژگی‌های خاک، ارتباط مکانی نزدیک‌تری دارند. در واحد S<sub>2</sub>، دامنه تاثیر بیوماس کل

دسته از ویژگی‌های خاک می‌دانند که دامنه تاثیر مشابهی دارند. یکی از پارامترهای دیگر تغییرنا، اثر قطعه‌ای است. اثر قطعه‌ای یک 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 غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد (۶ و ۱۶).

و ازت کل (۴۷/۰۷ متر) با مدل‌های کروی، مشابه است. ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ویژگی‌های عملکرد و خاک ( $\alpha=0/05$ ) در مطالعه حاضر، دلیل دیگری بر این تاثیر است (داده‌ها آورده نشده است). بنابراین، می‌توان اظهار داشت که تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک مذکور، ویژگی‌های عملکرد محصول را بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهند. در این زمینه، ویرا و پازگزالز (۲۹) و محمدزمانی و همکاران (۵) نیز تولید محصول را بیشتر در ارتباط با آن



(شکل ۲) - برخی از تغییرنماهای تجربی (دوایر سیاه رنگ) به همراه مدل نظری (خط ممتد) برازش داده شده بر آن‌ها در واحد نقشه  $S_2$



(شکل ۳) - برخی از تغییرنماهای تجربی (دوایر سیاه رنگ) به همراه مدل نظری (خط ممتد) برازش داده شده بر آن‌ها در واحد نقشه  $S_3$

(جدول ۳) - پارامترهای تغییرنما و معیارهای کنترل اعتبار کریجینگ برای ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در واحد  $S_2$

متغیر	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تاثیر (متر)	نسبت همبستگی <sup>۱</sup> (%)	کلاس همبستگی مکانی	میانگین خطا (ME)	ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)
pH	۰/۰۰۹۴۷	۰/۰۵۳۱	۴۴/۳۲	۱۷/۸۴	قوی	-۰/۰۰۱	۰/۱۱۳
EC(dSm <sup>-1</sup> )	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۹	۶۲/۰۵	۴۵/۵۱	متوسط	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۶
شن (%)	۷/۱۴۸	۹/۹۴۵	۳۴/۸۳	۷۱/۸۸	متوسط	-۰/۰۰۱	۳/۲۲۱
سیلت (%)	۶/۵۷۶	۱۸/۵۴۹	۳۱/۳۲	۳۵/۴۵	متوسط	۰/۱	۳/۴۰۱
رس (%)	۷/۴۸	۱۹/۳۲۱	۴۴/۲۸	۳۸/۷۱	متوسط	-۰/۰۰۷	۳/۵۹۵
فسفر قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۱۱۲/۵۶	۲۱۹/۹۱	۶۱/۰۶	۵۱/۱۸	متوسط	-۰/۰۳۲۱	۱۴/۶۶۲
پتاسیم قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۲۷۷۷۹/۷	۵۲۲۸۹	۴۴/۵۷	۵۳/۱۳	متوسط	۰/۰۲۷	۲۳۴/۵۵۰
ماده آلی (%)	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷۹	۳۰/۷۶	۷۲/۵۰	متوسط	۰/۰۰۲	۰/۱۲۷
ازت کل (%)	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۵	۱۷/۷۵	۷۰/۹۳	متوسط	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۵
کربنات کلسیم (%)	۱/۴۳۶	۴/۳۳۴	۳۵/۵۰	۳۳/۱۳	متوسط	-۰/۰۱۸	۲/۰۷۶
بیوماس کل (g/m <sup>2</sup> )	۹۳۰۸۴	۳۴۹۰۵۶	۲۶/۷۳	۲۶/۶۷	متوسط	۷/۶۸	۵۲۷/۷۴۱
وزن هزاردانه (g)	۱۱/۵۵	۴۲/۳۹۴	۳۱/۱۹	۲۷/۲۶	متوسط	۰/۱۶	۵/۰۲۲
شاخص برداشت (%)	۳/۴۹۸	۳۶/۵۶	۴۸/۶۱	۹/۵۷	قوی	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱

واریانس کل / اثر قطعه‌ای ، واریانس کل = آستانه

(جدول ۴) - پارامترهای تغییرنما و معیارهای کنترل اعتبار کریجینگ برای ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در واحد  $S_3$

متغیر	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تاثیر (متر)	نسبت همبستگی (%)	کلاس همبستگی مکانی	میانگین خطا (IME)	ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)
pH	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴۷	۲۷/۶۱	۴۲/۳۵	متوسط	-۰/۰۰۱	۰/۰۶۰
EC(dSm <sup>-1</sup> )	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۴	۵۸/۹۰	۲۵/۹۰	متوسط	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۵
شن (%)	۴/۹۲۸	۱۴/۴۱۸	۲۸/۹۵	۳۴/۱۸	متوسط	-۰/۰۰۴	۳/۰۷۲
سیلت (%)	۶/۸۸۱	۱۰/۵۸۶	۲۴/۶۶	۶۵	متوسط	۰/۰۰۵	۲/۸۹۳
رس (%)	۹/۷۱۷	۲۵/۴۱۴	۲۲/۵۹	۳۸/۲۳	متوسط	۰/۰۲۹	۴/۰۵۲
فسفر قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۰/۰۳۹۶	۰/۰۶۲۶	۱۷/۴۷	۶۳/۲۶	متوسط	۰/۰۴۴	۱۶/۴۸۱
پتاسیم قابل جذب (mg kg <sup>-1</sup> )	۲۰۵۶/۲۷	۱۱۵۳۶	۴۹/۷۰	۱۷/۸۲	قوی	۰/۲۶۱	۷۷/۹۶۶
ماده آلی (%)	۰/۰۱۱۸	۰/۰۴۲۸	۵۸/۶۷	۲۷/۵۷	متوسط	-۰/۰۰۰۱	۰/۱۵۲
ازت کل (%)	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۴۷/۰۷	۵۸/۱۷	متوسط	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۴
کربنات کلسیم (%)	۰/۸۲۷	۱/۸۶۴	۵۲/۷۹	۴۴/۳۷	متوسط	۰/۰۲۶	۱/۳۰۸
بیوماس کل (g/m <sup>2</sup> )	۱۵۶۹۹۲	۳۵۲۹۰۷	۵۵/۸۸	۴۴/۴۹	متوسط	-۱۷/۶۳	۵۲۵/۷۱۲
وزن هزاردانه (g)	۱۲/۷۲	۲۵/۷۶	۶۲/۹۲	۴۹/۳۸	متوسط	۰/۰۱۷	۴/۹۲۸
شاخص برداشت (%)	۱۱/۹۷	۴۷/۸۱	۵۱/۷۴	۲۵/۰۵	قوی	۰/۰۲۹	۵/۷۸۹

در مطالعه حاضر مقدار اثر قطعه‌ای در هر دو واحد برای اکثر متغیرها مقدار متوسطی می‌باشد.

در واحد  $S_2$ ، pH و شاخص برداشت دارای کلاس همبستگی قوی بوده و بقیه متغیرها دارای کلاس همبستگی متوسط می‌باشند.

کیفی اراضی (روش پارامتریک) در کشاورزی دقیق و در سطح بالاتر از فاز سری توصیه نمی‌شود.

اوالز و کالینز (۲۳) پس از آنالیز واریانس نشان دادند که فاکتورهای شن، رس و مقدار کربن تغییرپذیری زیادی در بین سری‌های خاک و همچنین در داخل سری‌ها دارند. کارلن و همکاران (۱۷) نیز نشان دادند که تنوع عملکرد محصول درون واحدهای نقشه به بزرگی تنوع بین واحدهای نقشه خاک می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که اکثر متغیرها شامل شن، سیلت، رس، کربنات کلسیم معادل، پتاسیم قابل جذب و هر سه پارامتر عملکرد محصول، اختلاف معنی‌داری ( $\alpha=0/05$ ) بین دو واحد نقشه نشان می‌دهند (جدول تجزیه واریانس آورده نشده است). انجام چنین مطالعاتی در مزارع تحقیقاتی که دارای مدیریت و ارقام یکسان باشند می‌تواند به نحو مؤثرتری تأثیر تغییرپذیری خاک را بر روی تغییرات محصول نشان دهد. در مطالعه حاضر، در واحد  $S_2$  کشت گندم برای اولین بار توسط زارع در اوایل پاییز انجام شده و عملیات داشت شامل آبیاری به روش کرتی با دوره هشت‌روزه بوده است. بعد از سبز شدن بذر و پنجه‌زنی، در اوایل بهار پس از سم‌پاشی، حدود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به خاک اضافه شده است. در واحد  $S_3$ ، زارع پس از چندین سال کشت یونجه و یک سال آیش، حدود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و حدود ۲۲ هزار کیلوگرم در هکتار کود حیوانی به خاک اضافه نموده و پس از زیر خاک کردن آن، اقدام به کشت خطی گندم پاییزه نموده است. عملیات داشت این قطعه شامل آبیاری به روش کرتی با دوره دوازده روزه بوده و بعد از سبز شدن بذر و پنجه‌زنی، در اوایل بهار پس از سم‌پاشی، حدود ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره اضافه نموده است. به نظر می‌رسد که یکی از عوامل اصلی تفاوت تغییرپذیری خاک و محصول بین و درون واحدهای اراضی، مدیریت زارعین و عدم یکنواختی در بذرپاشی و کودپاشی است. بنابراین، مدیریت بایستی به گونه‌ای اعمال شود که سبب کاهش تغییرپذیری خاک و در نهایت، افزایش یکنواختی عملکرد محصول در مزارع گردد.

اگر چه تفاوت معنی‌دار هر سه پارامتر عملکرد محصول بین واحدهای نقشه علاوه بر تأثیر ویژگی‌های خاک می‌تواند در نتیجه تفاوت در وارته گندم و مدیریت زارعین باشد، تغییرپذیری زیاد خاک و محصول در درون هر یک از واحدها حاکی از آن است که کاربرد کلاس تناسب  $S_2$  و  $S_3$  و به طور کلی یکنواختی در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم در واحدهای اراضی نقشه‌های تناسب کمی، خوش‌بینانه است و واقعیت این واحدها را نشان نمی‌دهد. به همین دلیل، استفاده از این نقشه‌ها در کشاورزی دقیق از قابلیت اعتماد کافی برخوردار نیست. استفاده از نتایج سایر نیمرخ‌ها علاوه بر نیمرخ شاهد تا عمق مناسب بسته به مشخصات گیاه مورد نظر و ترکیب نتایج ارزیابی تناسب اراضی با اطلاعات زمین‌آمار می‌تواند راهی برای افزایش دقت نقشه‌ها و بالا بردن کیفیت آنها باشد.

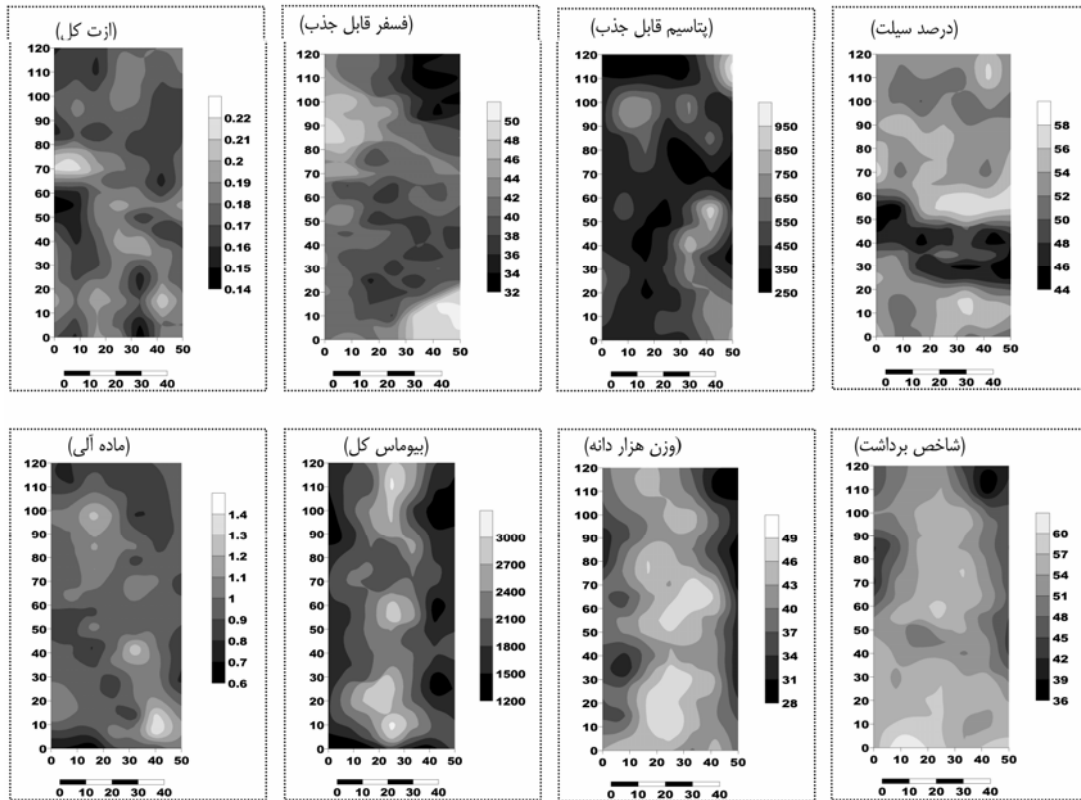
برای واحد  $S_3$ ، پتاسیم قابل جذب و شاخص برداشت با مقادیر نسبت همبستگی کمتر از ۲۵٪ در کلاس همبستگی قوی قرار گرفته‌اند و بقیه متغیرها با نسبت همبستگی بین ۲۵ تا ۷۵٪ در کلاس همبستگی متوسط قرار دارند. کلاس همبستگی نسبتاً قوی هر سه پارامتر عملکرد محصول در واحد  $S_2$  می‌تواند نمایانگر وجود تغییرات مکانی قابل توجه محصول در این واحد باشد. در این زمینه محمدزمانی و همکاران (۵) به نتایج مشابهی رسیدند. وابستگی مکانی قوی ممکن است به‌وسیله تغییرات ذاتی ویژگی‌های خاک مثل بافت خاک و کانی‌شناسی و وابستگی مکانی ضعیف‌تر ممکن است توسط تغییرات غیرذاتی مانند کاربرد کود و شخم، کنترل شود (۱۰).

در واحد  $S_2$ ، سه متغیر ازت کل (۷۰/۳۹٪)، ماده آلی (۷۲/۵۰٪) و شن (۷۱/۸۸٪) نسبت به سایر متغیرها از وابستگی مکانی ضعیف‌تری برخوردار هستند. در این رابطه می‌توان گفت که این متغیرها ممکن است در مقیاس‌های کوچکتر از مقیاس به کار رفته در این تحقیق، وابستگی مکانی داشته باشند. در این زمینه، محمدزمانی و همکاران (۵) در رابطه با متغیر فسفر و کمبردلا و همکاران (۱۰) در نیترات به نتایج مشابهی دست یافتند. کمبردلا و همکاران (۱۰) در مورد متغیرهای پتاسیم کل، pH و کربن آلی وابستگی مکانی قوی و در مورد وزن چگالی و وابستگی مکانی متوسط را گزارش کردند.

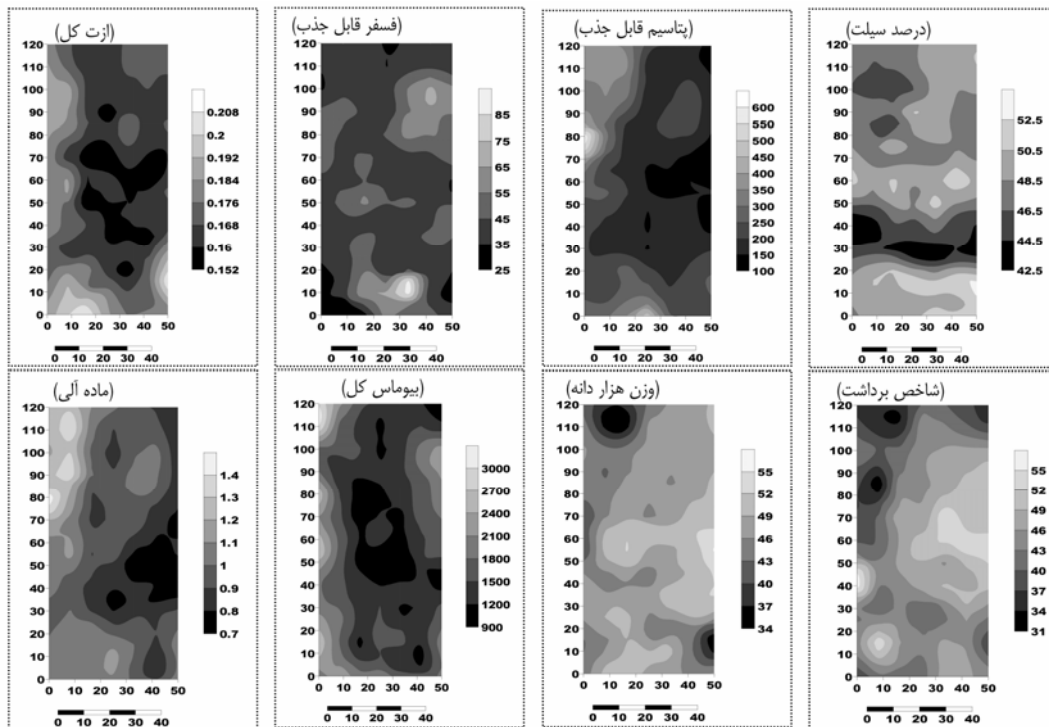
مقادیر میانگین خطای تخمین (ME) نزدیک به صفر بوده و بیانگر ناریب بودن تخمین‌ها در روش کریجینگ است (جدول ۳ و ۴). پایین بودن مقادیر ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) نیز می‌تواند نمایانگر دقت قابل قبول تخمین می‌باشد. لذا، می‌توان اظهار داشت که نتایج کنترل اعتبار کریجینگ بیانگر متناسب بودن پارامترهای مربوط به آن می‌باشد که سبب کاهش در خطای تخمین می‌شوند.

نقشه‌های کریجینگ (اشکال ۴ و ۵) نشان می‌دهند که ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در هر دو واحد مورد مطالعه الگوی تصادفی نداشته و دارای پراکنش مکانی می‌باشند. یکی از ویژگی‌های مهم دیگری که نقشه‌های مزبور نشان می‌دهند شباهت در الگوی توزیع مکانی برخی متغیرهاست. در این مطالعه الگوی پراکنش مکانی ماده آلی در واحد  $S_3$ ، نسبتاً مشابه با الگوی پراکنش مکانی ازت در این واحد می‌باشد که با نتایج محمدزمانی و همکاران (۵) هم‌خوانی دارد. مقایسه نقشه‌های کریجینگ ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در هر دو واحد نقشه تناسب اراضی بیانگر این است که نه تنها تغییرپذیری عملکرد محصول و ویژگی‌های خاک بین واحدهای نقشه تناسب کمی این اراضی زیاد است، بلکه میزان تغییرپذیری آنها در درون هر یک از واحدها نیز قابل توجه است. صالحی و همکاران (۳) با مطالعه تغییرپذیری تناسب کیفی اراضی حاصل از یک واحد نقشه خاک تفصیلی به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش سایز و همکاران (۲۶، ۲۷ و ۲۸) برای ارزیابی تناسب





(شکل ۴) - نقشه‌های کریجینگ برخی از ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در واحد  $S_2$



(شکل ۵) - نقشه‌های کریجینگ برخی از ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در واحد  $S_3$

## نتیجه گیری

با توجه به اینکه تهیه نقشه‌های تناسب اراضی بر اساس نتایج نیمرخ شاهد و تعمیم نتایج آن به کل واحد نقشه بدون در نظر گرفتن تغییرپذیری مکانی خاک و عملکرد محصول صورت می‌گیرد بهتر است علاوه بر پروفیل شاهد از اطلاعات کلیه پروفیل‌ها تا عمق مناسب بسته به مشخصات گیاه در تهیه نقشه‌های تناسب اراضی استفاده شود. در هر حال، با توجه به هزینه زیاد روش‌های زمین‌آماری در تهیه نقشه‌های خاک، ترکیب نتایج زمین‌آماری با اطلاعات ارزیابی تناسب اراضی راه مناسبی برای بالا بردن دقت و کیفیت این نقشه‌ها خواهد بود.

به طور کلی تمام متغیرها در هر دو واحد نقشه مورد مطالعه دارای ساختار مکانی می‌باشند ولی دامنه تاثیر آنها متفاوت است. علیرغم تغییرپذیری زیاد متغیرها، تخمین گر کریجینگ توانسته تخمین‌های مناسبی ارائه نماید. نقشه‌های کریجینگ نشان می‌دهند که الگو و پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک و گیاه می‌تواند بین و درون واحدهای نقشه‌های تناسب کمی و حتی درون یک مزرعه بسیار متفاوت باشد. بنابراین، نقشه‌های تناسب کمی نیز به خوبی نمی‌تواند گویای تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و عملکرد باشد و کاربرد آنها در کشاورزی دقیق، مناسب به نظر نمی‌رسد.

## منابع

- ۱- حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷. کتاب زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ صفحه.
- ۲- رفیع الحسینی، م. و محمدی، ج. ۱۳۸۰. تجزیه و تحلیل پراکنش مکانی حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول برای مدیریت زراعی دقیق. مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد دانشکده کشاورزی، صفحات ۱۷۸-۱۸۰.
- ۳- صالحی، م. ج.، خادمی، ح. گیوی، ج. و کریمیان اقبال. م. ۱۳۸۳. تغییرپذیری تناسب کیفی اراضی (روش پارامتریک) در یک واحد نقشه خاک تفصیلی در منطقه فرخ شهر استان چهارمحال بختیاری. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۲، صفحات ۱۱۵-۱۲۶.
- ۴- عنایت ضمیر، خ. ق. ۱۳۸۳. تغییرات مکانی غلظت سرب در خاکهای مزرعه دانشکده کشاورزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۲۱ صفحه.
- ۵- محمدزمانی، س.، ایوبی، و ش. خرما، ف. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخندکلاته. استان گلستان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره چهارم (الف)، صفحات ۷۹-۹۱.
- ۶- محمدی، ع. ۱۳۸۵. پدومتری (آمار مکانی)، انتشارات پلک. ۴۳۶ صفحه.
- ۷- محنت‌کش، ع. ۱۳۷۷. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی منطقه شهرکرد برای محصولات زراعی مهم منطقه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۰۱ صفحه.
- ۸- مؤمنی، ع. ۱۳۷۴. مدل‌سازی ساختار مکانی متغیرهای حاصلخیزی و مواد آلی خاک به عنوان مبنای برای اعمال کشاورزی دقیق در دشت مرودشت ایران، مجله علوم خاک و آب، ویژه‌نامه خاکشناسی و ارزیابی اراضی، صفحات ۱-۱۲.
- 9- Black, C. A., Evans, D. D. Ensminger, L. E. White J. L. and Clark. F. E. 1965. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological analysis. Published in American Society of Agronomy. Vol. 9. ASA, SSSA, Madison, WI, pp 545-566.
- 10- Cambardella, C.A., Moorman, T. B. Parkin, T. B. Karlen, D.L. Turco. R. F. and Konopka. A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1501-1511.
- 11- Dixon, W. J. and Massey. S. J. 1985. Introduction to statistical analysis. 4th edition. Mc Graw Hill book Company.
- 12- Englund, A., GEOEAS. USEPA. 600/4-88/033, 1980.
- 13- Gee, G. W. and Bauder. W. G. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy, Vol. 9. ASA, SSSA, Madison, WI, pp. 383-411.
- 14- Golden Software. 2002. Surfer for Windows. Version 8, Golden Software Inc., Golden Co., USA.
- 15- Jiang, P. and Telen. K. D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north- central corn soybean cropping system. Agron. J. 96: 252-258.
- 16- Johnson, R. M., Downer, R. G. Bradow, J. M. Bauer P. J. and Sadler. E. J. 2002. Variability in Cotton Fiber Yield, Fiber Quality, and Soil Properties in a Southeastern Coastal Plain, Agron. J. 94:1305-1316.
- 17- Karlen, D. L., Sadler E. J. and Busschaer. W. J. 1990. Crop yield variation associated with coastal plain soil map units. Soil Sci. Soc. Am. J. 54, 859-865.
- 18- Kriek, P. L. 1950. Kjeldahl method for total nitrogen, Anal., Chem. 22: pp.354-358.

- 19- Loeppert, R. H. and Suarez. D. L. 1996. Carbonate and Gypsum, pp. 437-474. In: Sparks, D. L. (ed.), Methods of soil analysis, Part 3, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI. USA.
- 20- Miller, M. P., Singer M. J. and Nielson. D. R. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:1133-1141.
- 21- Nelson, D. W. and Sommers. L. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter, In: Sparks, D.L. (ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI. USA. pp: 961-1010.
- 22- Olsen, S. R. and Summer. L. E., 1982. Phosphorus. In: A. L. Page (ed.), Methods of Soil Analysis, Agron, No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties. 2<sup>nd</sup> ed., p: 403-430. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- 23- Ovals, F. A. and Collins. M. E., 1988. Variability of northwest Florida soils by principle component analysis. Soil Sci.Soc.Am.J.52: 143-1435.
- 24- Pannatier, Y. 1996. VARIOWIN: software for spatial data analysis in 2D. Statistics and computing series, Springer-Verlag, New York.
- 25- Rogowski, A. S. and Wolf. J. K. 1994. Incorporating variability into soil map unit delineations. Soil Sci.Soc.Am.J.58: 163-174.
- 26- Sys, C., E. Van Ranst and J. Debaveye. 1991a. Land evaluation, part I: Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 247p.
- 27- Sys, C., E. Van Ranst and J. Debaveye. 1991b. Land evaluation, part II: Methods in land evaluation. General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 274p.
- 28- Sys, C., E. Van Ranst, J. Debaveye and F. Beernaert. 1993. Land evaluation, part III: Crop requirements. General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 199p.
- 29- Vieira, S. R. and Paz Gonzalez. A. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. Bragantia, Campinas 62: 127-138.
- 30- Webster, R. and Oliver. M. A. 2001. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, UK. 271p.
- 31- Spatial Variability of Soil Properties and Irrigated Wheat Yield in a Quantitative Suitability Map, A Case Study: Shahr-e-Kian Area, Chaharmahal-va-Bakhtiari Province

## Spatial Variability of Soil Properties and Irrigated Wheat Yield in a Quantitative Suitability Map, A Case Study: Shahr-e-Kian Area, Chaharmahal-va-Bakhtiari Province

H. Afshar<sup>1</sup> - M. H. Salehi<sup>2\*</sup> - J. Mohammadi<sup>3</sup> - A. Mehnatkesh<sup>4</sup>

### Abstract

The quality of soil maps depends upon their ability to show the soils variability. Thus, the accuracy of the maps used for crop recommendations is due to the accuracy of soil maps. This study was performed to investigate the amount of soil properties and crop yield spatial variability in S<sub>2</sub> and S<sub>3</sub> units of a semi-detailed quantitative suitability map (1:50000 scale) for irrigated wheat in Shahr-e-Kian area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. Eighty soil samples were collected in each land unit at 0-30 cm depth using multi-scale sampling method to determine available P, K, total N, %O.M., %CaCO<sub>3</sub> equivalent, soil texture and particle size distribution, EC and pH. A 0.5×0.5 m plot of wheat was harvested at each of 160 sites previously sampled to determine crop biomass, 1000 seeds weight and harvest index. The highest CV was related to available potassium (47.43 for S<sub>2</sub> and 46.46 for S<sub>3</sub> units, respectively) and the lowest one was related to pH (1.07 for S<sub>2</sub> and 0.925 for S<sub>3</sub> units, respectively). Variography showed a good spatial structure for all variables in both land units. Ranges for variograms were from 17.75 for N to 61.06 m for EC in S<sub>2</sub> unit and from 17.47 for P to 62.93 m for 1000 seeds weight in S<sub>3</sub> unit. Kriging maps showed high spatial variability of soil properties as well as biomass, wheat yield and harvest index within two land units. This indicates that suitability maps have not enough credibility for precision agriculture. Using information of all pedons as well as representative pedons in land units and combining the information of suitability maps with geostatistical data can be a choice way to improve the accuracy and quality of land suitability maps.

**Keywords:** Kriging, Precision agriculture, Soil properties, Spatial variability, Suitability map, Wheat yield

1 -M.S Student of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2-Assistant Prof., Soil Science Dept., Shahrekord University, Shahrekord, Iran

(\* - Corresponding author Email: mehsalehi@yahoo.com)

3 -Associate Prof., Soil Science Dept., Shahrekord University, Shahrekord, Iran

4 -Scientific Member of Agricultural and Natural Resources Research Center, Shahrekord, Iran