نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۱۷۹-۱۶۳

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 1, Mar.-Apr. 2019, p. 163-179

بررسی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد گل محمدی (مطالعه موردی شهرستان بردسیر، استان کرمان)

مرتضی بهمنی[1*]- جهانگرد محمّدی[2]- عیسی اسفندیارپور بروجنی[3]- حمیدرضا متقیان[4]- کرامت‌اله سعیدی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

چکیده

وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک امری بدیهی به‌شمار می‌رود، با این حال درک از دلایل و منشأ این تغییرات کامل نیست. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گل محمدی در دو مزرعه معروف (مزارع نگار و گلزار) با ویژگی‌های متفاوت اقلیمی و توپوگرافی در شهرستان بردسیر انجام شد. برای نیل به اهداف مطالعه، در هر یک از مزارع تعداد ۱۰۰ نمونه خاک و محصول برداشت شد. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک و ویژگی‌های گیاهی، با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ اقدام به پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک و گل محمدی گردید. تجزیه نیم‌تغییرنماها نشان داد که تمامی متغیرهای بررسی شده در هر دو مزرعه دارای ساختار مکانی قوی و متوسط می‌باشند. دامنه تأثیر تغییرنماها در مزرعه نگار از ۱۲۲/۱۶ متر برای عملکرد گل محمدی تا ۲۱۸/۴۶ متر برای سیلت و در مزرعه گلزار از ۱۱۵/۱ متر برای پتاسیم قابل استفاده تا ۲۲۸ متر برای نیتروژن کل در تغییر است. نتایج نشان دادند که ویژگی‌های عملکرد گیاه و ویژگی‌های خاک حتی در مقیاس‌های کوچک دارای وابستگی مکانی هستند. نقشه‌های کریجینگ نشان می‌دهند که الگو و پراکنش ویژگی‌های خاک حتی درون یک مزرعه‌می‌تواند بسیار متفاوت باشد؛ هرچند که مقایسه الگوی مکانی برخی ویژگی‌های خاک مانند ماده آلی و نیتروژن کل با الگوی مکانی ویژگی‌های گیاه و ابعاد مزارع مطابقت نشان داد. این امر نشان‌دهنده آن است که تغییرپذیری ویژگی‌های مزبور عمدتاً تحت مدیریت زارعین قرار گرفته است و برای رعایت بهینه مصرف عناصر غذایی بایستی میزان مصرف نهاده‌ها توسط مدیران مزرعه مورد بازنگری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری مکانی، تغییرنما، زمین آمار، کریجینگ

مقدمه

از اهداف اصلی در مدیریت پایدار اراضی شناسایی مدیریت‌هایی است که از یک سو باعث ارتقای کمی و کیفی تولید در طولانی مدت شوند و از سوی دیگر باعث حفظ کیفیت خاک گردیده و منجر به تخریب اراضی نشوند (۳۹). خاک به‌عنوان جزئی از طبیعت هم دارای تغییرپذیری ذاتی است که در نتیجه برهمکنش فاکتورهای تشکیل‌دهنده آن است و هم دارای تغییرپذیری غیرذاتی است که حاصل مدیریت کشت و کار، استفاده از اراضی و فرسایش است (۳۹). تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، یکی از مهمترین دلایل تغییرپذیری عملکرد محصول به‌شمار می‌رود و می‌تواند در عملکرد خاک برای جذب عناصر غذایی و رشد گیاه تأثیرگذار باشد (۳۸). گزارش‌های زیادی در رابطه با تأثیر قابل توجه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر میزان عملکرد وجود دارند (۱۰، ۲۳، ۲۷ و ۳۰). لذا به‌منظور درک بهتر تأثیر فاکتورهایی مانند مدیریت و آلودگی و در نهایت، دست‌یابی به عملیات زراعی مناسب، نیازمند مشخص کردن و کمی کردن غیریکنواختی خصوصیات خاک می‌باشیم. بنابراین، آگاهی از نحوه پراکنش تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و عملکرد در مزارع برای دست‌یابی به تولید بیشتر و مدیریت بهتر و پایدار، ضروری می‌نماید (۱۰).

روش‌های متداول آمار کلاسیک، موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت شده از محیط را در نظر نمی‌گیرد و هیچ‌گونه ارتباط ریاضی این تغییرات مکانی داده‌ها به‌عنوان تابعی از فاصله برقرار نمی‌شود. به‌عبارت دیگر آمار کلاسیک، با توجه به فرضیات

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: bahmanimorteza@yahoo.com)
۳- دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان
۵- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهرکرد
DOI: 10.22067/jsw.v33i1.75236

اساسی‌اش (مانند استقلال نمونه‌ها از یکدیگر) فاقد کارایی لازم برای پردازش مناسب داده‌های مکانی است (۲۷، ۲۹ و ۳۹). شاخه ای از علم آمار کاربردی به نام زمین‌آمار[1] قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیات مورد نظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد (۱۷). این روش قادر به تهیه نقشه‌های کمی با دقت معلوم در مورد خواص خاک و تغییرپذیری تولید بوده و لذا می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای انتخاب تیمار مزارع با نرخ متغیر در فاز اجرایی کشاورزی دقیق به‌کار گرفته شود.

علاوه بر تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک، برای برخی زارعین و محققین، شناخت منبع این تغییرات و چگونگی وابستگی مکانی این ویژگی‌ها با همدیگر از اهمیت خاصی برخوردار است. برخی محققین علاقه‌مند به شناخت منشأ تغییرات هستند. اگر فعالیت‌های بشری منجر به نقصان یا سمیت عنصری در بخشی از مزرعه شده باشد، لازم است که زارعین در نحوه مدیریت مزرعه بازنگری و تجدید نظر کنند. هر یک از عناصر غذایی خاک، الگوی پراکنش مکانی منحصر به فرد و کم و بیش متفاوتی با سایر عناصر دارد. با این همه، شناخت الگوهای مشترک و منابع تغییردهنده و یا کنترل‌کننده آنها می‌تواند ما را در مدیریت بهینه کمک نماید.

استفاده از روش‌های زمین‌آماری در علوم خاک توسط محققین مختلفی به‌کار گرفته شده است. مک‌براتنی و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار سیستم اطلاعات جغرافیایی و فناوری سنجش از دور برای مناطق وسیعی از استرالیا، نقشه‌های جامع خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تعیین کرده‌اند (۲۶). نیل و همکاران (۲۰۰۴) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در روش‌های مختلف مدیریتی برای منطقه‌ای در زاگرس را با کاربرد زمین‌آمار و روش‌های آماری درون‌یابی کردند (۳۱). سری و همکاران (۲۰۰۴) نیز از روش‌های زمین‌آمار برای تعیین خصوصیات خاک مناطق مناسب برای احداث چراگاه در حوضه آمازون در کشور برزیل استفاده کرده‌اند (۳۶). بامری و همکاران (۲۰۱۲) نیز در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی شیبدار لسی استان گلستان از روش‌های زمین‌آماری استفاده کرده‌اند (۴). بوچی و همکاران (۲۰۰۰) آنالیز زمین‌آمار چند متغیره را برای بررسی مکانی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در شمال ایتالیا مورد استفاده قرار داده و نتیجه گرفتند که تلفیق دانش متخصصین پدولوژی با تکنیک های زمین‌آماری می‌تواند در راستای بهبود مدیریت در سطح مزرعه مفید باشد (۸).

جیانبینگ و همکاران (۲۰۰۸) درمطالعه‌ای بر روی پراکنش مقدار ماده آلی در خاک‌های شمال شرق چین ثابت نمودند که روش کریجینگ معمولی می‌تواند توزیع مکانی ماده آلی خاک را به‌دقت برآورد کند (۲۲). چانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، تغییرپذیری مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی خاک را در اطراف دریای زرد در چین مورد بررسی قرار دادند. این محققین گزارش کردند که دامنه وابستگی مکانی خصوصیات مختلف خاک از یکدیگر متفاوت است. علاوه بر این، بیان داشتند که ارزیابی مکانی خصوصیاتی از خاک که دارای وابستگی مکانی قوی هستند می‌تواند در مدیریت حاصلخیزی و ارائه طرحی برای مدیریت دقیق اراضی مفید باشد (۱۱). بررسی توزیع مکانی خصوصیات خاک با استفاده از روش زمین‌آمار در مراتع رینه نیز نشان داد که در این منطقه ویژگی‌های مورد بررسی دارای وابستگی مکانی هستند که بیشترین این وابستگی مربوط به اسیدیته و کمترین این وابستگی مربوط به پتاسیم بود (۲۱). علاوه بر این، کوچ و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی ساختار مکانی خصوصیات خاک در یک توده جنگلی راش با استفاده از روش زمین‌آمار به این نتیجه رسیدند که اکثر مشخصه‌های مورد بررسی در لایه‌های سطحی و عمقی خاک دارای مدل‌های خطی می‌باشد و تنها اسیدیته خاک در سه لایه مورد بررسی و میزان ترسیب کربن در لایه سوم دارای مدل‌های نمایی می‌باشد (۲۵). همانطور که اشاره شد، روش‌های زمین‌آماری تکنیک‌هایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی خصوصیات خاک، مانند محتوای نیتروژن خاک را ارائه می‌دهند (۴۱)، و این تکنیک‌ها امروزه به‌طور فزاینده‌ای به‌منظور اهداف مدیریتی خاص به‌کار گرفته می‌شوند (۵، ۶، ۱۲ و ۲۶).

تا به حال پژوهش مدونی در منطقه بردسیر استان کرمان در ارتباط با تغییرپذیری عملکرد گل محمدی و ویژگی‌های خاک و نیز تعیین منشأ این تغییرات در راستای کشاورزی دقیق و مدیریت مصرف نهاده‌ها صورت نپذیرفته است. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از زمین‌آمار بتواند در راستای شناخت تغییرپذیری مکانی عملکرد گیاه و ویژگی‌های مختلف خاک به منظور ارتقای مدیریت و محصول مناسب باشد. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گل محمدی در دو مزرعه عمده این گل (مزارع نگار و گلزار) با ویژگی‌های متفاوت اقلیمی و توپوگرافی در شهرستان بردسیر انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه و مطالعات صحرایی

دو منطقه مختلف در شهرستان بردسیر واقع در استان کرمان، به-

1- Geostatistics

عنوان مناطق مطالعاتی این پژوهش مد نظر قرار گرفتند. وسعت مزرعه گل محمدی در منطقه اول (شهر نگار)، ۳۰ هکتار است که در محدوده جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۵۱ دقیقه و ۴ ثانیه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۳۵ ثانیه طول شرقی با میانگین ارتفاع ۲۱۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱- الف). رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک این منطقه به ترتیب زریک و مزیک است و میانگین بارندگی و دمای سالیانه آن به ترتیب ۱۷۰ میلی‌متر و ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد.

مساحت مزرعه گل محمدی در منطقه دوم (شهر گلزار)، ۱۸ هکتار می‌باشد که در محدوده جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه و ۴۹ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲ ثانیه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۱۳ دقیقه و ۵۷ ثانیه تا ۵۷ درجه و ۱۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی با میانگین ارتفاع ۲۶۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱- ب). رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک این منطقه به ترتیب زریک و مزیک است و میانگین بارندگی و دمای سالیانه آن به ترتیب ۲۰۰ میلی‌متر و ۱۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

در ابتدا به کمک نرم‌افزار Map source موقعیت ۱۰۰ نقطه مشاهداتی در سطح هر کدام از مزارع تعیین شد و سپس با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی[1] در سطح مزرعه مشخص شدند (شکل ۲). در ادامه، از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری هر نقطه مشاهداتی، با استفاده از مته، نمونه‌برداری صورت خاک گرفت. پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری خاک در مزرعه، در محل همان نقاط عملکرد گل محمدی هم اندازه‌گیری شد. بدین صورت که چهار بوته گل محمدی که دارای کمترین فاصله با محل نمونه برداری خاک بودند علامت گذاری شد، میانگین عملکرد این بوته‌ها (گرم) به عنوان عملکرد گیاه در آن محل منظور شد. به‌منظور به‌دست آوردن عملکرد گل محمدی (فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۶)، هر روز گل‌های بازشده را توزین و در پایان زمان برداشت با یکدیگر تجمیع و عملکرد نهایی گیاه به‌دست آمد.

آنالیزهای آزمایشگاهی

پس از هوا خشک نمودن نمونه‌های خاک و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متری، تجزیه‌های آزمایشگاهی لازم بر روی آن‌ها انجام شد. درصد حجمی ذرات درشت با استفاده از الک و به روش حجمی، بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۵)، نیتروژن کل خاک با روش کجلدال (۹)، مواد آلی با روش اکسایش تر (۳۲)، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال (۲)، فسفر قابل دسترس با استفاده از روش اولسن (۳۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم یک نرمال (۳۵)، کربنات کلسیم معادل توسط روش برنارد (۳۵)، اسیدیته خاک (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به ترتیب در سوسپانسیون ۲ : ۱ آب به خاک و عصاره با استفاده از از الکترود pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند.

آنالیزهای آماری و زمین‌آماری

برخی پارامترهای آماری شامل میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم‌افزار Statistica مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی نرمال بودن توزیع متغیرها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد (۱۳). قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل زمین‌آماری، ناهمسانگردی هر متغیر با استفاده از تغییرنمای رویه‌ای[2] مورد بررسی قرار گرفت (۲۹). 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 به‌صورت معادله زیر محاسبه گردید:

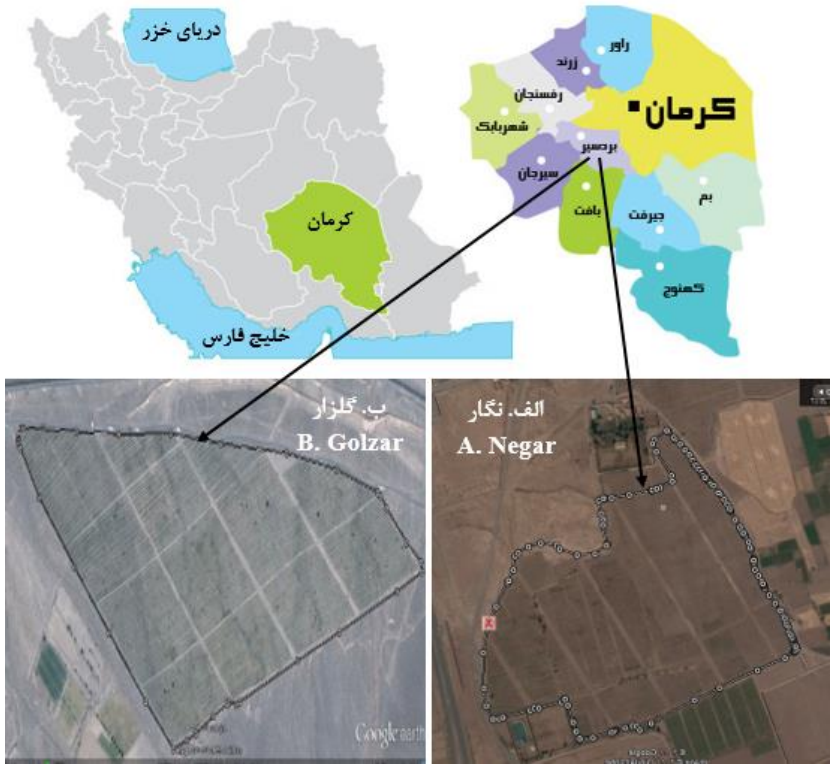
$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[z(x_i+h)-z(x_i)\right]^2 \qquad (۱)$$

که در آن $\gamma(h)$ مقدار تغییرنمای تجربی، $N(h)$ تعداد جفت های جدا شده در فاصله گام h، $z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه i و $z(x_i+h)$ متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی $i+h$ هستند. تغییرنمای تمام متغیرها توسط برنامه رایانه‌ای VARIOWIN2 محاسبه و ترسیم شد (۳۷).

در یک تغییرنمای ایده‌آل، سه پارامتر را می‌توان به‌صورت اثر قطعه‌ای[3]، حد آستانه (سقف) قطعه‌ای[4] و دامنه تأثیر[5] بیان کرد. اثر قطعه‌ای، واریانس مؤلفه غیرساختاری (تصادفی)، حد آستانه، بیان‌گر تقریبی از واریانس کل و دامنه، تعیین‌کننده فاصله‌ای است که در فراتر از آن هیچ همبستگی مکانی بین مشاهدات یا نمونه‌ها وجود ندارد. درجه وابستگی مکانی متغیرها از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) ضرب در ۱۰۰ بدست می‌آید. درجه وابستگی مکانی کمیتی است که برای طبقه‌بندی میزان وابستگی مکانی متغیرها به کار می‌رود، 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).

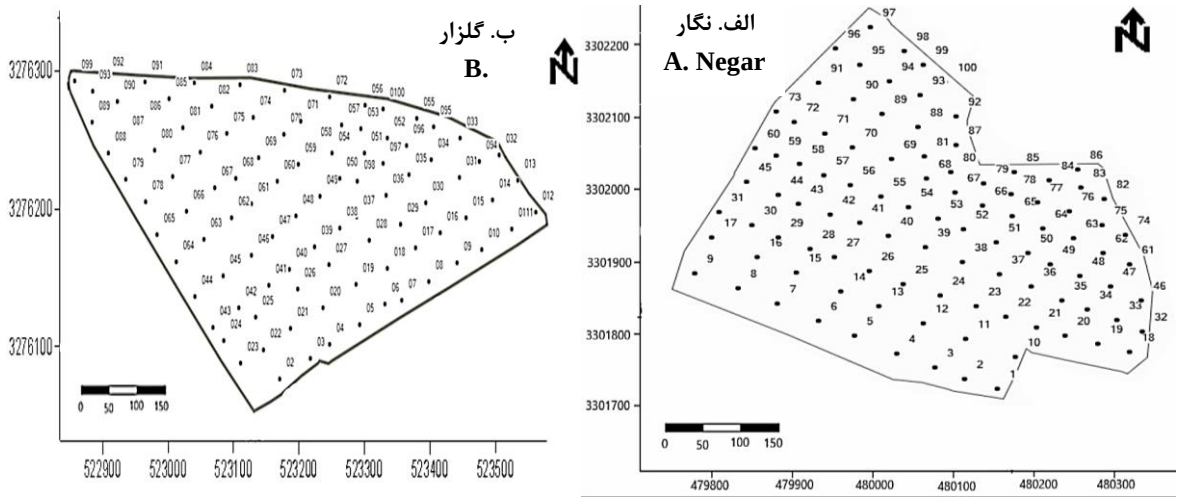
1- Global positioning system; GPS

2- Surface variogram
3- Nugget
4- Sill
5- Range



شکل ۱- موقعیت مناطق مطالعاتی در ایران و استان کرمان. الف) مزرعه نگار. ب) مزرعه گلزار

Figure 1- Locations of study areas in Iran and Kerman province. a. Negar b. Golzar



شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در الف) مزرعه نگار. ب) مزرعه گلزار

Figure 2- Location of soil samples in a. Negar b. Golzar

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 به‌دست آورد. با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، میانگین خطا[1] و خطای جذر میانگین مربعات[2] در هر روش از روابط

1- Mean error, ME
2- Root mean square error, RMSE

زیر محاسبه شد:

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[z^*(x_i) - z(x_i)\right] \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[(z^*(x_i) - z(x_i))^2\right]} \quad (۳)$$

که در آنها z^* مقدار برآورد شده در نقطه x_i، z مقدار مشاهده در نقطه x_i و n تعداد نقاط می‌باشد. خطای تخمین کریجینگ بایستی دارای میانگین صفر بوده و ریشه میانگین مجذور خطای تخمین بایستی حتی‌الامکان کوچک باشد. معمولاً هر چه مقدار این دو شاخص کمتر باشد دقت روش بیشتر است. بعد از کنترل اعتبار پارامترهای کریجینگ و به‌دست آوردن مناسب‌ترین پارامترها برای میان‌یابی متغیرها، اقدام به پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های کریجینگ شد. بدین منظور، میان‌یابی به روش کریجینگ بلوکی با استفاده از نرم‌افزار SURFER8 (Golden Software, 2002) صورت گرفت. برای بررسی میزان همبستگی متغیرهای مورد مطالعه، از ضریب هبستگی اسپیرمن استفاده شد (۱۳).

جدول ۱- خلاصه آماری ویژگی‌های خاک و عملکرد گل محمدی در مزرعه نگار

Table 1- Statistical Summary of Soil Characteristics and Crop yield in Negar

متغیر Variable	میانگین Average	میانه Median	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	ضریب تغییرات (٪) CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
عملکرد محصول (گرم) Crop yield (gr)	709.7	707	406	1062	21.5	0.4	-0.1
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Height (cm)	84.7	83	53	154	19.4	1.0	2.1
قطر تاج بوته (سانتی‌متر) Diameter (cm)	104.1	102	70	186	19.2	1.1	2.4
سنگریزه (٪) Gravel (%)	7.2	7.0	2.0	16.0	40.5	0.5	-0.1
رس (٪) Clay (%)	16.0	16.0	9.0	29.0	27.5	0.5	0.2
سیلت (٪) Silt (%)	28.6	29.0	18.0	39.0	18.6	-0.2	-0.6
شن (٪) Sand (%)	55.3	55.0	39.0	72.0	13.4	0.2	-0.1
ماده آلی (٪) Organic matter (%)	1.7	1.54	0.59	3.60	39.6	0.8	0.4
کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)	17.2	17.0	7.0	35.0	31.1	0.7	0.4
ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity	8.4	8.50	4.0	14.0	23.3	0.1	-0.3
نیتروژن کل (میلی‌گرم برکیلوگرم) Total N (mg/Kg)	0.5	0.5	0.05	1.1	54.5	0.3	-0.9
پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available K (mg/kg)	240.5	239	195	305	7.3	0.9	2.3
فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available P (mg/kg)	6.50	6.3	2.8	10.2	26.5	0.3	-0.8
اسیدیته pH	7.8	7.8	7.8	8.4	3.2	0.1	-0.7
قابلیت هدایت الکتریکی EC	1.0	0.9	1.0	2.1	40.9	0.3	-0.3

نتایج و بحث

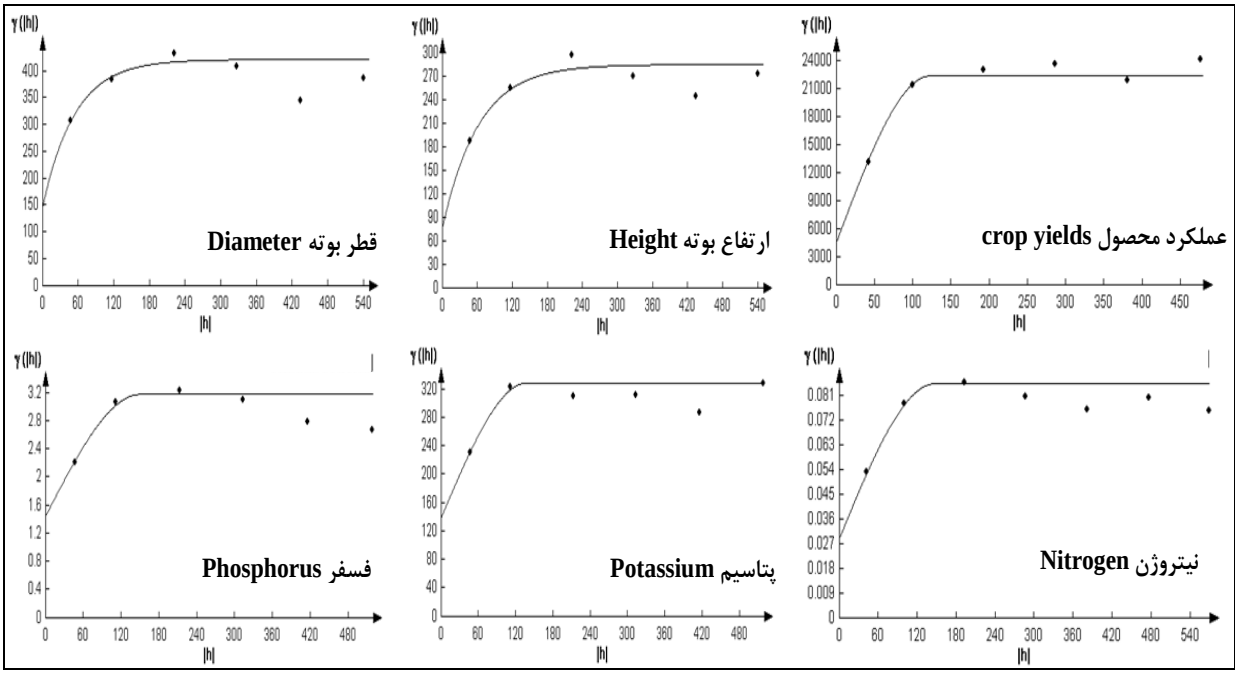
توصیف آماری ویژگی‌های خاک و عملکرد گل محمدی مربوط به دو مزرعه مورد نظر در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود از میان ویژگی‌های خاک در مزرعه نگار، نیتروژن کل با ۵۴/۴۷ درصد و در مزرعه گلزار قابلیت هدایت الکتریکی با ۴۶/۰۹ درصد دارای بیشترین ضریب تغییرات است.

از میان ویژگی‌های تولید محصول در مزرعه نگار، عملکرد محصول با ۲۱/۵۲ درصد و در مزرعه گلزار ارتفاع بوته با ۱۹/۴۵ درصد دارای بیشترین ضریب تغییرات می‌باشند. تغییرپذیری عناصر غذایی در هر دو مزرعه مشابه بود به‌طوری که نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب دارای بیشترین به کمترین ضریب تغییرات می‌باشند (جداول ۱ و ۲). ایوبی و همکاران (۲۰۰۷) تغییرپذیری زیاد برخی عناصر نظیر سدیم، کلسیم و منیزیم را به قابلیت حلالیت زیاد آنها نسبت دادند. ولی اظهار داشتند که تغییرپذیری فسفر و پتاسیم قابل استفاده که از عناصر کم تحرک می‌باشند می‌تواند توسط سطح مصرف کود توسط زارعین کنترل شود (۳).

جدول ۲- خلاصه آماری ویژگی‌های خاک و عملکرد گل محمدی در مزرعه گلزار

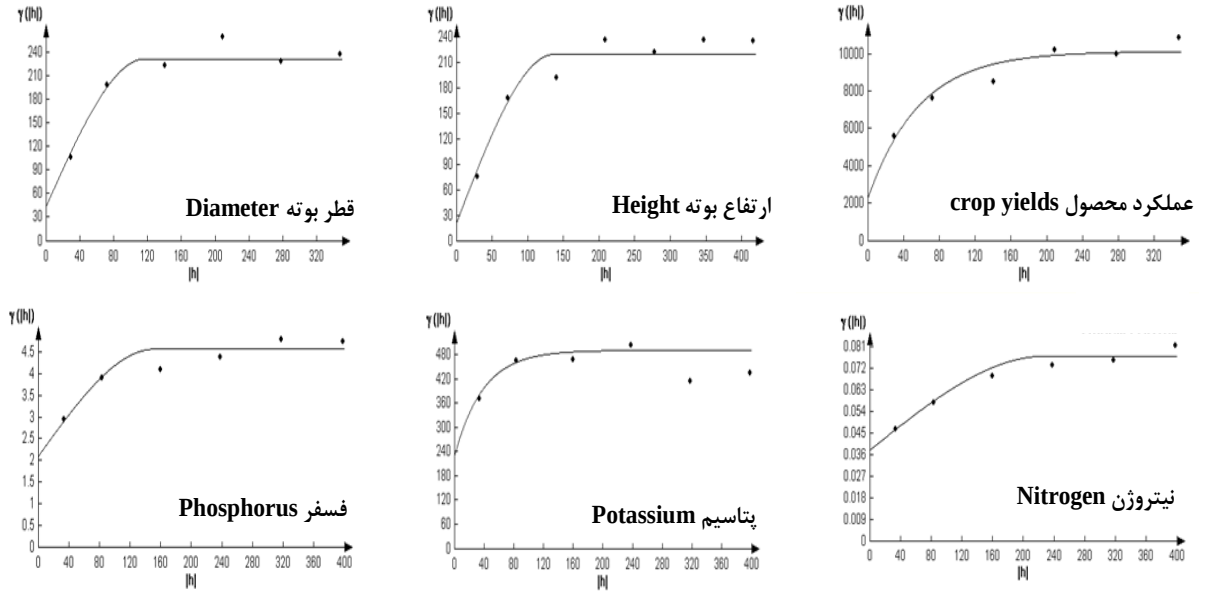
Table 2- Statistical Summary of Soil Characteristics and Crop yield in Golzar

متغیر Variable	میانگین Average	میانه Median	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	ضریب تغییرات (٪) CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
عملکرد محصول (گرم) Crop yield (gr)	824.8	801.7	690	1120	12.2	0.8	-0.1
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Height (cm)	75.6	74	51	110	19.4	0.3	-0.6
قطر تاج بوته (سانتی‌متر) Diameter (cm)	106.1	103	73	142	14.5	0.5	-0.5
سنگریزه (٪) Gravel (%)	29.9	29.0	12.0	47.0	24.1	-0.2	-0.2
رس (٪) Clay (%)	19.3	19.0	12.0	28.0	17.2	0.5	0.2
سیلت (٪) Silt (%)	18.6	18.0	8.0	30.0	24.2	0.3	0.0
شن (٪) Sand (%)	61.3	61.5	45.0	74.0	10.2	-0.2	0.0
ماده آلی (٪) Organic matter (%)	2.2	2.3	0.5	4.3	39.5	0.2	-0.5
کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)	8.0	8.0	4.0	12.0	21.2	-0.3	-0.2
ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity	10.0	9.5	5.2	16.0	23.9	0.4	-0.2
نیتروژن کل (میلی‌گرم برکیلوگرم) Total N (mg/Kg)	1.0	0.9	0.5	1.5	27.5	0.3	-0.6
پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available K (mg/kg)	293.8	298	245	342	7.3	-0.2	0.1
فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available P (mg/kg)	9.2	9.8	4.5	13.1	23.0	-0.4	-0.8
اسیدیته pH	7.7	7.6	7.1	8.1	3.3	-0.3	-0.8
قابلیت هدایت الکتریکی EC	1.7	1.5	0.4	4.3	46.1	1.1	1.0



شکل ۳- برخی تغییرنماهای تجربی (دوایر سیاه رنگ) به همراه مدل نظری برازش داده شده بر آنها در مزرعه نگار

Figure 3- Some Semi Variograms (black circles) with a theoretical model fitted to them in Negar



شکل٤- برخی تغییرنماهای تجربی (دوایر سیاه رنگ) به همراه مدل نظری برازش داده شده برآنها در مزرعه گلزار

Figure4- Some Semi Variograms (black circles) with a theoretical model fitted to them in Golzar

جدول ۳- پارامترهای مدل‌های تغییرنمای برای ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در مزرعه نگار

Table 3- Parameters of semi variogram Models for Soil Properties and Crop yield in Negar

متغیر Variable	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget	سقف Sill	دامنه تأثیر (متر) Range	نسبت همبستگی مکانی Spatial correlation ratio	میانگین خطا (ME)	ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)
عملکرد محصول (گرم) Crop yield (gr)	کروی (Spherical)	4560	17833.6	122.1	0.2	0.1	144.4
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Height (cm)	نمایی (Exponential)	75.7	209.1	185.3	0.3	0.0	16.4
قطر تاج بوته (سانتی‌متر) Diameter (cm)	نمایی (Exponential)	147.3	276	162.4	0.3	0.0	20.6
سنگریزه (٪) Gravel (%)	کروی (Spherical)	2.9	5.9	145.7	0.3	0.0	2.9
رس (٪) Clay (%)	کروی (Spherical)	9.7	11.0	122.4	0.4	0.1	4.3
سیلت (٪) Silt (%)	نمایی (Exponential)	12.7	17.4	218.4	0.4	0.0	5.6
شن (٪) Sand (%)	کروی (Spherical)	27.3	32.1	179.3	0.4	0.0	7.5
ماده آلی (٪) Organic matter (%)	کروی (Spherical)	0.2	0.2	155.4	0.5	0.0	0.6
کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)	نمایی (Exponential)	11.1	20.7	138.1	0.3	0.0	5.3
ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity	کروی (Spherical)	1.5	2.3	144.3	0.4	0.0	2.1
نیتروژن کل (میلی‌گرم برکیلوگرم) Total N (mg/Kg)	کروی (Spherical)	0.0	0.1	146.7	0.3	0.0	0.3
پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available K (mg/kg)	کروی (Spherical)	139.5	190.3	137.9	0.4	0.0	19.2
فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available P (mg/kg)	کروی (Spherical)	1.4	1.7	149.4	0.4	0.0	1.8
اسیدیته pH	نمایی (Exponential)	0.0	0.0	196.8	0.3	0.0	0.2
قابلیت هدایت الکتریکی EC	نمایی (Exponential)	0.1	0.1	189.5	0.4	0.0	0.4

نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نشان داد که تمامی ویژگی‌های محصول و خاک در هر دو مزرعه از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. اگرچه توزیع نرمال داده‌ها، شرط لازم و ضروری برای پردازش‌های زمین‌آماری نمی‌باشد، لیکن در صورت نرمال بودن داده‌ها، تخمین‌های زمین‌آماری می‌توانند از دقت بالاتری برخوردار باشند (۲۹ و ۴۰). در هر حال، با توجه به نزدیک بودن مقادیر میانگین و میانه در متغیرها که می‌تواند نمایانگر توزیع نسبتاً نرمال متغیرها باشد و نیز مقادیر پایین چولگی که می‌تواند بیانگر انحراف کم این متغیرها از توزیع نرمال باشد (۲۹) و با توجه به ساختارهای مکانی (تغییرنما) مناسب برای تمام متغیرها برحسب داده‌های اصلی، تمامی آنالیزهای زمین‌آماری برحسب داده‌های اصلی صورت گرفت. بسیاری از محققین نیز پس از مشاهده تفاوت کم بین تغییرنمای داده‌های تبدیل شده (نرمال شده یا نرمال نشده) و تغییرنمای داده‌های اصلی، از داده‌های اصلی

استفاده کرده‌اند (۱۰ و ۲۳). با بررسی تغییرنماهای رویه‌ای، ناهمسانگردی مشخصی مشاهده نگردید که می‌تواند به‌دلیل تغییرات اندک فاکتورهای شکل‌دهنده ویژگی‌های خاک در جهات مختلف باشد (۱۲) و با توجه به همسانگرد بودن تمام متغیرهای مورد بررسی، تغییرنماهای تجربی همه‌جهته[1] آنها تهیه و مدل مناسب بر آنها برازش داده شد (شکل‌های ۳ و ۴).

پارامترهای تغییرنماهای مربوط به ویژگی‌های خاک و عملکرد گل محمدی در جداول ۳ و ۴ درج گردیده است. متغیرهای مورد مطالعه همگی از مدل نمایی و کروی تبعیت می‌کنند. این دو مدل از معمول‌ترین مدل‌ها برای بررسی و مطالعه تغییرپذیری خاک و محصول و تخمین کریجینگ در مطالعات علوم خاک هستند (۱۰، ۲۷ و ۳۹). مطالعات نشان داده است که تغییرنماهای دارای آستانه معمول‌ترین و شایع‌ترین نوع تغییرنما در زمین‌آمار است که رایج‌ترین تغییرنماهای دارای سقف نیز از نوع کروی و نمایی هستند (۲۷). در تأیید یافته این پژوهش، در مطالعات متعددی گزارش شده است که مدل‌های نمایی بهترین مدل برای برازش اسیدیته و ماده آلی خاک است (۲۵ و ۴۲). این در حالی است که حبشی (۲۰۰۷) در پژوهش خود در راشستان‌های گرگان نشان داد که تغییرنمای مناسب برای داده‌های اسیدیته و ماده آلی خاک مدل کروی است. در این تحقیق اسیدیته در مزرعه نگار دارای مدل نمایی است. اما ماده آلی در مزرعه نگار و ماده آلی و اسیدیته در مزرعه گلزار دارای مدل کروی هستند (۱۸).

دامنه تأثیر تغییرنماها فاصله‌ای است که در ماورای آن مشاهدات، همبستگی مکانی وجود نداشته و می‌توان آنها را مستقل از یکدیگر حساب کرد. چنین فاصله‌ای حد همبستگی مکانی خصوصیت مورد نظر را مشخص نموده و اطلاعاتی در رابطه با حد مجاز فاصله نمونه‌برداری را ارائه می‌دهد (۳). نتایج حاصل از تغییرنماها نشان می‌دهد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین دامنه‌های متغیرهای اندازه‌گیری شده در هر مزرعه وجود دارد.

دامنه تأثیر تغییرنماها از ۱۲۲/۱۶ متر برای عملکرد گل محمدی تا ۲۱۸/۴۶ متر برای سیلت در مزرعه نگار و ۱۱۵/۱ متر برای پتاسیم قابل استفاده تا ۲۲۸ متر برای نیتروژن کل در مزرعه گلزار در نوسان است. نکته قابل توجه در بین عناصر غذایی خاک شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد، که در هر دو مزرعه پتاسیم خاک دارای دامنه تأثیر کوچک‌تر (۱۳۷/۹۵ متر در مزرعه نگار و ۱۱۵/۱ متر در مزرعه گلزار) و نیتروژن در مزرعه نگار و فسفر در مزرعه گلزار به ترتیب با ۲۲۸ متر و ۱۴۹/۹۱ متر دارای بیشترین دامنه تأثیر هستند. افشار و همکاران (۲۰۰۹) و محمدزمانی و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که نیتروژن دارای دامنه تأثیر بزرگتر نسبت به دو عنصر غذایی دیگر است (۱ و ۳۰).

دامنه تأثیر تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری می‌باشد (۷). به‌طوری که در مطالعه افشار و همکاران (۲۰۰۹) با ابعاد نمونه‌برداری کوچک در مزرعه کشاورزی شهر کیان در استان چهارمحال‌وبختیاری می‌توان مشاهده کرد که اکثر پارامترهای مورد ارزیابی دارای دامنه تأثیر کمتر از ۱۰۰ متر می‌باشد و بجز پارامتر واکنش خاک با همبستگی قوی سایر پارامترها دارای همبستگی متوسطی هستند (۱). در مطالعه هاشمی و همکاران (۲۰۱۵)، با ابعاد نمونه‌برداری ۵۰۰ متر در دشت میانکنگی سیستان، دامنه تأثیر ویژگی‌های خاک به مراتب بزرگتر گزارش شد. به‌طوری که در مورد کربنات کلسیم ۳۸۰۶ متر، اسیدیته خاک ۲۳۴۶ متر، قابلیت هدایت الکتریکی ۹۳۵ متر، ذرات رس ۳۶۰۸ متر، ذرات شن ۲۱۲۳ متر، ذرات سیلت ۱۰۸۳ متر و درصد رطوبت اشباع خاک ۵۹۵۳ متر گزارش شد (۲۰). در کل دامنه تغییرنماها متفاوت از هم بوده که بیانگر یکسان نبودن شرایط توزیع و تغییرات مکانی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه است. کمبردلا و همکاران (۱۹۹۴) اظهار داشتند که قابلیت هدایت الکتریکی بیشتر به‌وسیله تغییرات ذاتی خاک کنترل می‌شود (۱۰). ژنگ و همکاران (۲۰۰۷) در آنالیز آماری خود نشان دادند که عوامل ساختمانی مثل مواد مادری، نوع خاک و سطح آب زیرزمینی مهمترین عوامل مؤثر بر وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک هستند (۴۳). از سوی دیگر فروغی‌فر و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشته‌اند که همبستگی مکانی به‌شدت تحت تأثیر مقیاس نمونه‌برداری می‌باشد (۱۴). دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه-برداری و موقعیت سیمای اراضی می‌باشد (۱۰). در این مطالعه، اختلاف بین ویژگی‌های خاک دو مزرعه می‌تواند ناشی از تفاوت در ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی دو منطقه باشد. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر، پراکنش روندار و پیوستگی مکانی بیشتر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد. هر چه دامنه گسترده‌تر باشد به تعداد نمونه کمتری برای تعیین نقاط نمونه‌برداری نشده نیاز است (۱۹).

ویژگی‌های عملکرد محصول با برخی از ویژگی‌های خاک، ارتباط مکانی نزدیک‌تری دارند. در مزرعه نگار، دامنه تأثیر عملکرد گل محمدی (۱۲۲/۱۶ متر) با مدل کروی، نزدیک به دامنه تأثیر رس (۱۲۲/۴۵ متر- مدل کروی)، پتاسیم قابل استفاده (۱۳۷/۹۵ متر- مدل کروی) و کربنات کلسیم معادل (۱۳۸/۰۷متر- مدل نمایی) است. اما در مزرعه گلزار، دامنه تأثیر عملکرد گل محمدی (۱۷۱/۵ متر) با مدل نمایی، به دامنه تأثیر رس (۱۶۳,۵۸ متر- مدل نمایی)، سیلت (۱۷۳/۲۲ متر- مدل نمایی)، سنگریزه (۱۶۶/۲۸ متر- مدل نمایی) و فسفر قابل استفاده (۱۵۱/۱ متر- مدل کروی) نزدیک می‌باشد.

1- Omnidirectional

جدول ٤- پارامترهای مدل‌های تغییرنمای برای ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در مزرعه گلزار

Table 4- Parameters of semi variogram Models for Soil Properties and Crop yield in Golzar

متغیر Variable	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget	سقف Sill	دامنه تأثیر (متر) Range	نسبت همبستگی مکانی Spatial correlation ratio	میانگین خطا (ME)	ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)
عملکرد محصول (گرم) Crop yield (gr)	نمایی (Exponential)	2300	7877.6	171.5	0.2	-2.0	98.0
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Height (cm)	کروی (Spherical)	22	198	136.0	0.1	-0.2	12.7
قطر تاج بوته (سانتی‌متر) Diameter (cm)	کروی (Spherical)	44.3	188.2	116.4	0.2	-0.3	15.6
سنگریزه (٪) Gravel (%)	نمایی (Exponential)	29.5	23.2	166.2	0.5	0.0	7.2
رس (٪) Clay (%)	نمایی (Exponential)	5.3	6.0	163.5	0.0	0.0	3.5
سیلت (٪) Silt (%)	نمایی (Exponential)	8.6	12.8	173.2	0.4	-0.1	4.1
شن (٪) Sand (%)	نمایی (Exponential)	21.9	18.9	117.8	0.5	0.0	6.6
ماده آلی (٪) Organic matter (%)	کروی (Spherical)	0.4	0.3	224.0	0.5	0.0	0.7
کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)	نمایی (Exponential)	1.3	1.7	136.2	0.4	0.0	1.5
ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity	نمایی (Exponential)	2.4	3.3	192.1	0.4	0.0	2.2
نیتروژن کل (میلی‌گرم برکیلوگرم) Total N (mg/Kg)	کروی (Spherical)	0.0	0.0	228	0.5	0.0	0.2
پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available K (mg/kg)	نمایی (Exponential)	230.8	262.8	115.1	0.5	0.3	21.4
فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم برکیلوگرم) Available P (mg/kg)	کروی (Spherical)	2.1	2.4	151.1	0.4	0.0	2.2
اسیدیته pH	کروی (Spherical)	0.0	0.0	116.7	0.5	0.0	0.2
قابلیت هدایت الکتریکی EC	نمایی (Exponential)	0.2	0.4	190.1	0.4	0.0	0.7

ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ویژگی‌های عملکرد و خاک (α= ۰/۰۵) در مطالعه حاضر، دلیل دیگری بر این تأثیر است. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک مذکور، ویژگی‌های عملکرد محصول را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این زمینه، ویرا و پازگنزالز (۲۰۰۳)، محمدزمانی و همکاران (۱۳۸۶) و افشار و همکاران (۲۰۰۹) نیز تولید محصول را بیشتر در ارتباط با آن دسته از ویژگی‌های خاک می‌دانند که دامنه تأثیر مشابهی دارند (۱، ۳۰ و ۳۹).

یکی از پارامترهای دیگر تغییرنما، 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 نمونه-برداری، خطاهای اندازه‌گیری، خطای نمونه‌برداری و آزمایشگاهی و

دیگر تغییرات غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد (۲۳ و ۲۹).

درصورتی که نسبت همبستگی مکانی ویژگی‌ها برابر ۱۰۰ درصد گردد و یا اینکه شیب منحنی تغییرنما نزدیک به صفر باشد ویژگی مربوطه فاقد وابستگی مکانی خواهد بود (۳۱)، و اگر نسبت همبستگی مکانی برای ویژگی صفر شود بیانگر یک پیوستگی در وابستگی مکانی می‌باشد (۴۰). در مزرعه گلزار هر سه ویژگی گیاهی عملکرد محصول (۲۳٪)، ارتفاع بوته (۱۰٪) و قطر بوته (۱۹٪)، با مقادیر نسبت همبستگی کمتر از ۲۵٪ در کلاس همبستگی قوی قرارگرفته‌اند و بقیه متغیرها با نسبت همبستگی بین ۲۵ تا ۷۵٪ در کلاس همبستگی متوسط قرار دارند. در صورتیکه در مزرعه نگار تنها ویژگی عملکرد محصول (۲۰٪) دارای کلاس همبستگی مکانی قوی می‌باشد و تمام ویژگی‌های دیگر در کلاس همبستگی متوسط قرار دارند. کلاس همبستگی نسبتاً قوی هر سه پارامتر عملکرد محصول در مزرعه گلزار می‌تواند نمایانگر وجود تغییرات مکانی قابل توجه محصول در این مزرعه باشد. در این زمینه محمدزمانی و همکاران (۱۳۸۶)، افشار و همکاران (۲۰۰۹)، جعفریان و همکارن (۲۰۰۹) و کوچ و همکاران (۲۰۱۲) نیز به نتایج مشابهی در تحقیقات خود دست یافتند (۱، ۲۱، ۲۵ و ۳۰). 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).

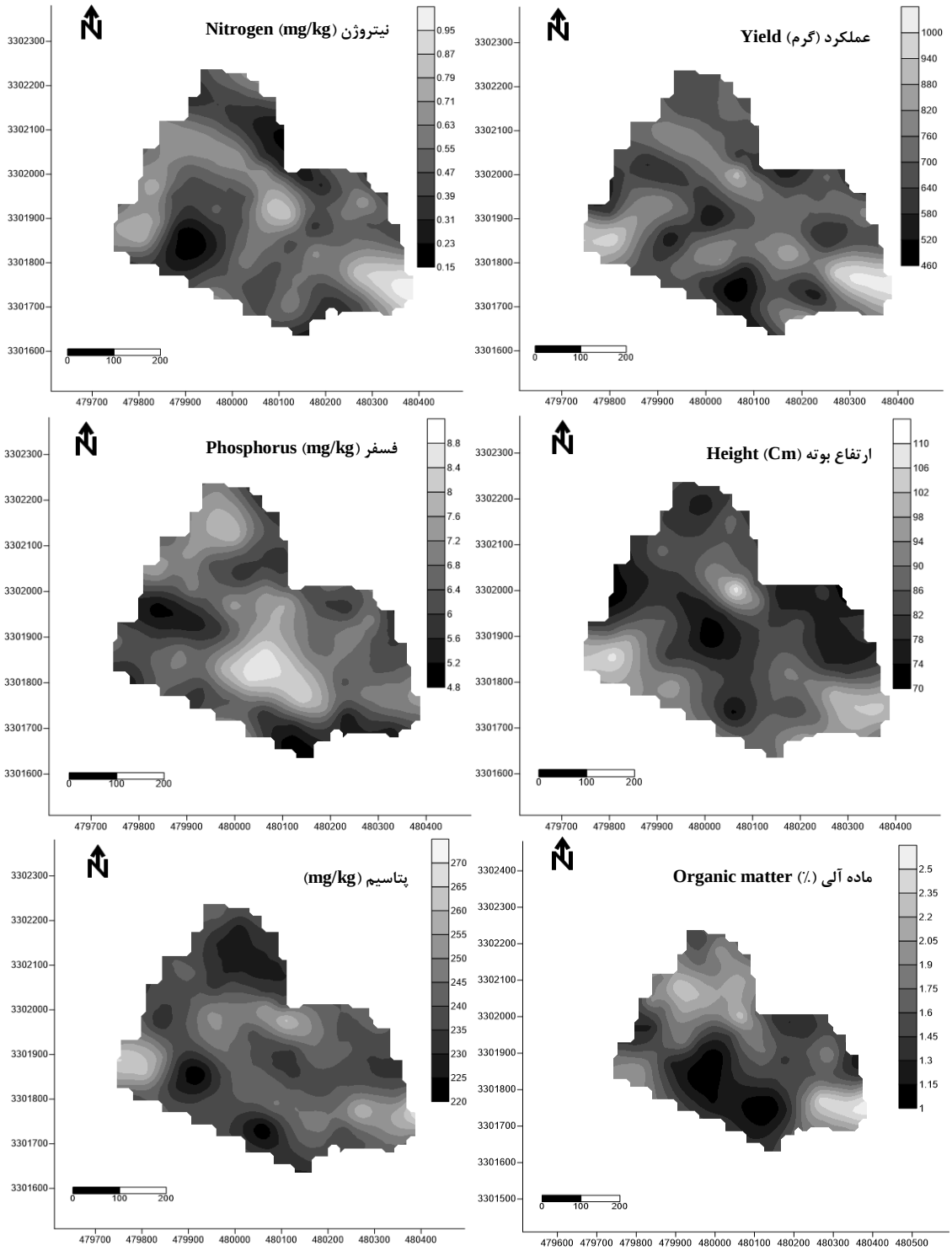
همانطور که اشاره شد برخی از خصوصیات خاک مورد بررسی دارای ساختار مکانی ضعیف هستند. عدم وجود ساختار مکانی یا ساختار مکانی ضعیف در بین خصوصیات خاک می‌تواند به این دلیل باشد که تغییرات این متغیرها از نوع تغییرات غیرساختاری یا تصادفی بوده که در محدوده کوچک‌تر از محدوده نمونه‌برداری رخ داده و در گروه تغییرات کوتاه دامنه قرار می‌گیرد. برخی از خصوصیات خاک در مقیاس مکانی کوچک‌تر از محدوده نمونه‌برداری، دارای تغییرات تصادفی زیاد و در نتیجه ساختار مکانی ضعیف هستند. بنابراین، برخی از خصوصیات با ساختار مکانی ضعیف مانند سنگریزه، ذرات شن و اسیدیته دارای اثر قطعه‌ای خالص هستند. این یافته بدان معنی است که در این خصوصیات به‌دلیل غلبه کامل بخش بدون ساختار مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای به بخش دارای ساختار، نسبت تغییرات داده‌ها مستقل از یکدیگر بوده و اصل همبستگی مکانی (فاصله کمتر، شباهت بیشتر و بالعکس) در مقیاس مطالعاتی مورد نظر برقرار نمی‌باشد (۲۸). هر چند علاوه بر این موارد، وجود اثر قطعه‌ای خالص در مورد این متغیرها می‌تواند مربوط به وجود عوامل تصادفی در توزیع مکانی این خصوصیات یا خطا در مراحل نمونه‌برداری، آزمایشگاهی یا آنالیز باشد. نتایج پژوهش جعفریان و همکاران (۲۰۰۹) نیز نقش این عوامل را در وجود اثر قطعه‌ای در مورد برخی از خصوصیات خاک مورد تأکید قرار داده است (۲۱).

در هر دو مزرعه برخی متغیرها مانند رس، شن و ماده‌آلی 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 به‌کار رفته در این تحقیق، وابستگی مکانی داشته باشند. در این زمینه، محمدزمانی و همکاران (۱۳۸۶) در رابطه با متغیر فسفر و کمبردلا و همکاران (۱۹۹۴) در مورد نیترات به نتایج مشابهی دست یافتند. کمبردلا و همکاران (۱۹۹۴) در مورد متغیرهای پتاسیم کل، pH و کربن آلی وابستگی مکانی قوی و در مورد چگالی ظاهری، وابستگی مکانی متوسط گزارش کردند (۱۰). همچنین، افشار و همکاران (۲۰۰۹) در مورد اسیدیته، شاخص برداشت گندم و پتاسیم قابل جذب وابستگی مکانی قوی و در مورد نیتروژن کل، ماده آلی و شن وابستگی مکانی متوسط گزارش کردند (۱).

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

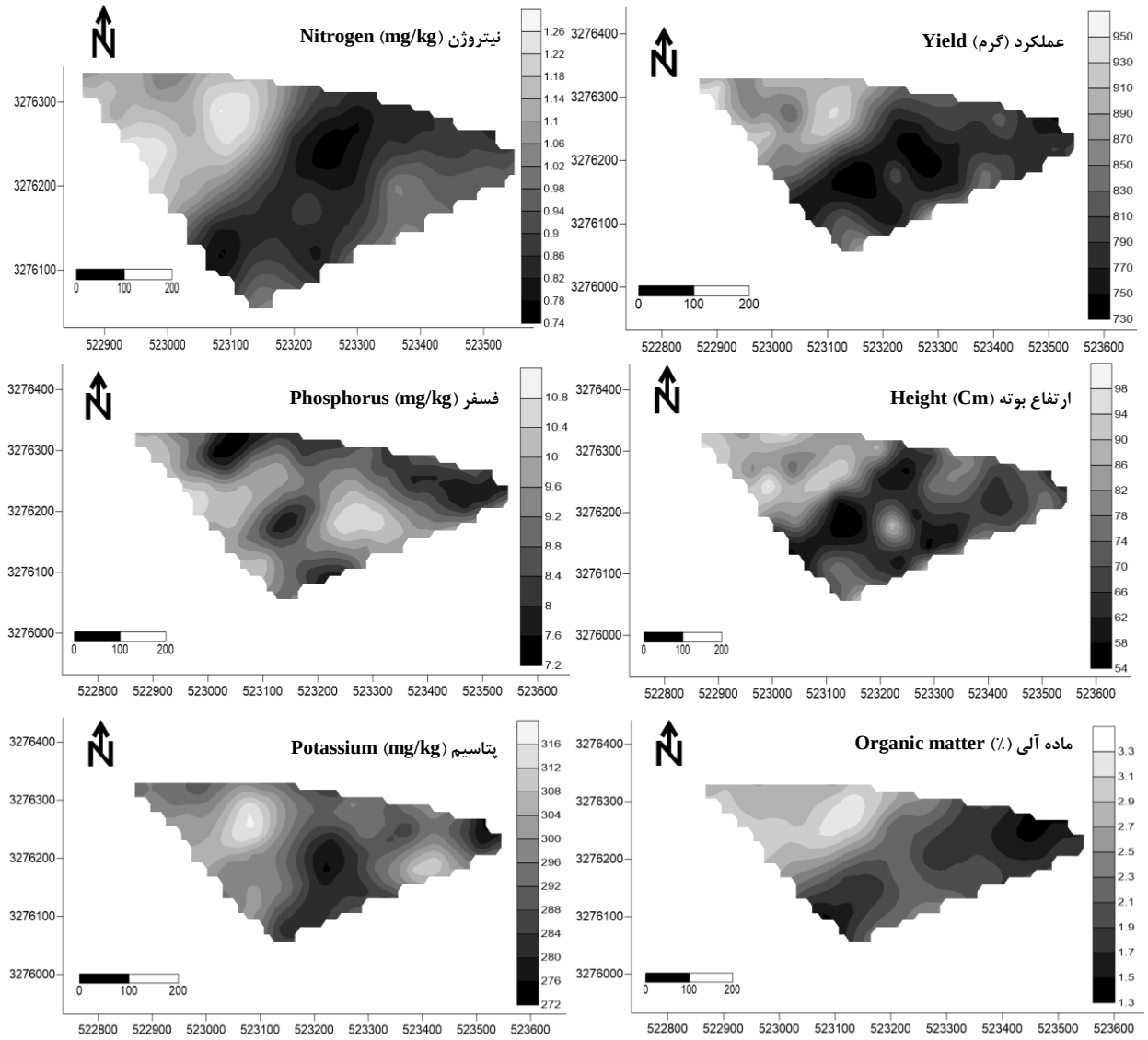
نقشه‌های کریجینگ (شکل‌های ۶ و ۷) نشان می‌دهند که ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در هر دو مزرعه مورد مطالعه الگوی تصادفی نداشته و دارای پراکنش مکانی می‌باشند. یکی از ویژگی‌های مهم که نقشه‌های مزبور نشان می‌دهند شباهت در الگوی توزیع مکانی برخی متغیرهاست. به‌طوری که الگوی پراکنش مکانی ویژگی‌های گیاهی با الگوی پراکنش مکانی ماده آلی و نیتروژن در هر دو مزرعه نزدیک به هم می‌باشد که با نتایج محمدزمانی و همکاران (۱۳۸۶) و افشار و همکاران (۲۰۰۹) همخوانی دارد.

مقایسه نقشه‌های کریجینگ ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در هر دو مزرعه بیانگر این است که نه تنها تغییرپذیری عملکرد محصول و ویژگی‌های خاک بین واحدهای مختلف با سیمای اراضی متفاوت زیاد است، بلکه میزان تغییرپذیری آنها در درون هر یک از مزارع نیز قابل توجه است. اوالز و کالینز (۱۹۸۸) پس از آنالیز واریانس نشان دادند که فاکتورهای شن، رس و مقدارکربن تغییرپذیری زیادی در بین سری‌های خاک و همچنین در داخل سری‌ها دارند (۳۴). کارلن و همکاران (۱۹۹۰) نیز نشان دادند که تنوع عملکرد محصول درون واحدهای نقشه به بزرگی تنوع بین واحدهای نقشه خاک می‌باشد (۲۴).



شکل ۵- نقشه‌های کریجینگ برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در مزرعه نگار

Figure 5- Kriging maps of some soil characteristics and crop yield in Negar



شکل ٦- نقشه‌های کریجینگ برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در مزرعه گلزار

Figure 6- Kriging maps of some soil characteristics and crop yield in Golzar

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که ویژگی‌های عملکرد گیاه و خاک حتی در مقیاس‌های کوچک، دارای وابستگی مکانی متوسط تا قوی هستند. به‌طور کلی تمام متغیرها در هر دو مزرعه مورد مطالعه دارای ساختار مکانی می‌باشند ولی دامنه تأثیر آنها متفاوت است. برخلاف تغییرپذیری زیاد متغیرها، تخمین‌گر کریجینگ توانسته تخمین‌های مناسبی ارائه نماید. نقشه‌های کریجینگ نشان می‌دهند که الگو و پراکنش مکانی برخی ویژگی‌های خاک و گیاه نزدیک به هم بودند. اما تغییرپذیری متغیرها می‌تواند بین و حتی درون یک مزرعه بسیار متفاوت باشد. مطابقت داشتن الگوی پراکنش مکانی برخی ویژگی‌های خاک و ویژگی‌های تولید گیاه نشان‌دهنده آن است که تغییرپذیری این ویژگی‌ها عمدتاً تحت مدیریت زارعین قرار گرفته است. در مورد سایر ویژگی‌های خاک می‌توان اظهار داشت که توزیع مکانی این ویژگی‌ها هنوز تحت کنترل ویژگی‌های ذاتی تشکیل‌دهنده خاک مانند مواد مادری، توپوگرافی و اقلیم قرار دارند. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که می‌توان از روش زمین‌آمار در راستای شناخت و عوامل کنترل‌کننده تولید گیاهان سود جست و آن را در راستای بهبود مدیریت به‌کار گرفت.

منابع

1. Afshar H., Salehi M.H., Mohammadi J., and Mehnatkesh A. 2009. 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, Journal of Water and Soil 23(1): 161-172. (In Persian with English abstract)
2. Al-Kanani T., Mackenzi A.F., and Ross G.J. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy, Canadian Journal Soil Science 64: 99-106.
3. Ayoubi Sh., Mohammad Zamani S., and Khormali F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province, Journal of Agricultural Sciencesand Natural Resources 14(4): 23-33.
4. Bameri A., Khormali F., Kiani F., and Dehghani A.A. 2012. Spatial variability of soil organic carbon on different slope positions of loess hillslopes in Toshan area, Golestan Province, Journal of Soil and Water Conservation 19(2): 43-60. (In Persian with English abstract)
5. Baxter S.J., Oliver M.A., and Gaunt J. 2003. A geostatistical analysis of the spatial variation of soil mineral nitrogen and potentially available nitrogen within an arablefield, Precision Agriculture 4: 213–226.
6. Baxter S.J., and Oliver M.A. 2005. The spatial prediction of soil mineral N and potentially available N using elevation, Geoderma 128: 325–339.
7. Beckett P.H.T., and Webster R. 1971. Soil variability: a review, Soil Fertility 34: 1-15.
8. Bocchi S., Castrignano A., Fornaro F., and Maggiore T. 2000. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale, European Journal of Agronomy 13: 295-308.
9. Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Total nitrogen. PP. 595-624. In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Agron. No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., Am. Soc. Argon., Madison, WI, USA.
10. Cambardella C.A., Moorman T.B., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F., and Konopka A.E. 1994. Field scale variability ofsoil properties in Central Iowa soils, Soil Science Society of America Journal 58: 1501-1511.
11. Chang W.E., You B.A., Yun J.N., Zang F., and Xio L.U. 2009. Spatial variability of soil chemical properties in the reclaiming marine foreland to Yellow sea of China, Agricultural Sciences in China 8(9): 1103–1111.
12. Cheng X., An S., Chen J., and Li B. 2006. Spatial relationships among species above-ground biomass, N, P in degraded grasslandin Ordos Plateau, Journal of Arid Environment 30: 75-88.
13. Dixson W.J., and Massey S.J. 1985. Introduction to statistical analysis, 4th edition. Mc Graw Hill book Company.
14. Foroughifar H., Jafarzadah A.A., Torabi Gelsefidi H., Aliasgharzadah N., Toomanian N., and Davatgar N. 2010. Spatial variations of surface soil physical and chemical properties on different landforms of Tabriz plain, Journal of Soil and Water Science 21(3): 1-21. (In Persian with English abstract)
15. Gee W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute A (Eds.), Method of soil analysis. Part 1. SSSA. Madison. Wisconsin pp. 383-411.
16. Golden Software. 2002. Surfer for Windows. Version 8, Golden Software Inc., Golden Co., USA.
17. Goovarets P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford Univ. Press, UK.
18. Habashi H., 2007. Relationship soil properties and spatial pattern of trees and groups of trees in mixed Beech in the Shastkalate mixed Fagetum o Gorgan. PhD thesis of Forestry. Tarbiat Modarres University. 139 Pp. (In persian with English abstract)
19. Hasani pak A.A. 1998. Geostatistical, Tehran University Press, 314 Pp. (In Persian)
20. Hashemi M., Gholamalizadeh Ahangar A., Bameri A., Sarani F., and Hejazizadeh A. 2015. Survey and Zoning of Soil Physical and Chemical Properties Using Geostatistical Methods in GIS (Case Study: Miankangi Region in Sistan), Journal of Water and Soil 30(2): 443-458. (In Persian with English abstract)
21. Jafarian Z., Arzani H., Jafari M., Kalarestaghi A., Zahedi G.H., and Azarnivand H. 2009. Spatial distribution of soil properties using geostatistical methods in Rineh Rangelands, Journal of Iranian Rangeland 3(3): 107-120. (In Persian with English abstract)
22. Jianbing Wu., Boucher A., and Zhang T. 2008. A SGeMS code for pattern simulation of continuous and categorical variables: FILTERSIM, Computers and Geosciences 4(12): 1863-1876.
23. 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. Journal 94: 1305–1316.
24. 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. Journal 54: 859-865.
25. Kooch Y., Hosseini Mohammadi S.M., and Hojjati S.M. 2012. An Investigation in to Spatial Structure of Soil Characteristics in a Beech Forest Stand Using Geostatistical Approach, Journal Science and Technology of Agriculture and Natural Resource of Water and Soil Science 16(60): 239-250. (In Persian with English abstract)
26. McBratney A.B., Mendonca M.L., and Minasny B. 2003. On digital soil mapping, Geoderama 117: 3-52.
27. 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. Journal 52: 1133-1141.
28. Mohammadi J. 2001. Review of the Geostatistical principles and its application in Soil Science, Journal of Soil and

Water 15: 99-121.
29. Mohammadi J. 2006. Pedometer (Spatial Statistics), Second volume, published by Pelk, 240 pages. (In Persian)
30. Mohammad Zamani S., Ayoubi Sh., and Khormali F. 2007. Investigation of spatial variations of soil characteristics and wheat yield in a part of Agricultural Lands of SorkhanKelate, Golestan Province. Journal Science and Technology of Agriculture and Natural Resource of Water and Soil Science 11(40): 79-91. (In Persian with English abstract)
31. Neal M., Khademi H., and Hajabbasi M.A. 2004. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. Applied Soil Ecology 27: 221-232.
32. Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, p. 539-579. In: A. L. Page (Ed.) Methods of Soil Analysis Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
33. Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. PP. 403-430. In: A. L. Page (Ed.), Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
34. Ovalls F.A., and Collins M.E. 1988. Variability of northwest Florida soils by principle component analysis, Soil Sci.Soc.Am. Journal 52: 143-1435.
35. Page A., Miller R., and Keeney D. 1982. Methods of Soil Analysis.2th ed. Part2: Chemical and biological properties. Soil Sci. Soc. Am. Inc. publisher.
36. Pcerri C.E., Bernoux M., and Chaplot V. 2004. Assessment of soilproperty spatial variation in an Amazon Pasture, Geodrama 123: 51-68.
37. Rogowski A.S., and Wolf J.K. 1994. Incorporating variability into soil map unit delineations, Soil Sci.Soc.Am. Journal 58: 163-174.
38. Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2004. Principal component analysis for predicting corn biomass and grain yield, Soil Science 169: 215-224
39. 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.
40. Webster R., and Oliver M.A. 2001. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, UK. 271p.
41. Yaron D. 1981. Salinity in Irrigation Water Resources, Dekker, New York.
42. Zhang C.S., and McGrath D. 2004. Geostatistical and GIS analysis on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods, Geoderma 119: 261-275.
43. Zhang X.Y., Sui Y.Y., Zhang X.D., Meng K., and Herbert S.A. 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China, Pedosphere 17: 19-29.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 1, Mar.-Apr. 2019, p. 163-179

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۱۷۹-۱۶۳

Assessment of the Spatial Variability of some Soil Characteristics and Yield of *Rosa damasceneea* Mill (Case Study: Bardsir City, Kerman Province)

M. Bahmani[1]*- J. Mohammadi[2]- I. Esfandiarpour Boroujeni[3]- H.R. Motaghian[4]- K. Saeidi[5]

Received: 07-10-2018
Accepted: 28-01-2019

Introduction: The importance and the presence of spatial variability in soil properties is inevitable, however, the understanding of causes and sources of the variability is not complete. Spatial variation of soil attributes can affect the quality and quantity of plants. Investigation of the soil variability at the small scale can be evaluated by classic statistics and geospatial statistics. The present study was conducted to investigate the spatial variability of yield characteristics of rose (*Rosa Damasceneea* Mill) and soil characteristics in two main cultivated fields of rose (Negar- Golzar) with different climatic and topographic characteristics located in Bardsir city, Kerman Province.

Materials and Methods: In order to achieve the objectives of the present study, 100 soil and plant samples were collected from each farm. The soil samples were taken from 0 to 25 cm depth and analyzed. The measured soil properties at each location were including fragment, clay, silt, sand, and organic matter contents, CEC, calcium carbonate equivalent, EC, pH, total nitrogen, available phosphorus, and available potassium. Moreover, some plant characteristics (yield, plant height, and plant crown diameter) were measured at each point. Then, maps of soil properties and plant induces were prepared using Geoeas, Variowin, and surfer software. Descriptive statistics were applied using Statistica software (version 20). Kolmogorov-Smirnov test was also used to test the tolerance of variables distribution.

Results and Discussion: The results of Kolmogorov-Smirnov test showed that all characteristics of the plant and soil in both farms follow the normal distribution. Statistical analysis showed that coefficient of variation of soil properties was as follows: total nitrogen (54.47%) and pH (3.16%) in Negar farm, and EC (46.09%) and pH (35.3%) in Golzar farm. The variability of nutrients in both farms had similar trends, so that total nitrogen, phosphorus and potassium have the highest to lowest coefficients of variation, respectively. Analysis of variograms indicated that all of the variables in both fields have a strong and moderate spatial variability. Ranges for variograms were from 122.16m (for yield) to 218.46 m (for silt) in Negar farm and from 115.1m (for available K) to 228 m for (total nitrogen) in Golzar unit. The distribution conditions and spatial variations of the soil properties in the study area were not uniform due to variation of the range of the variograms. The results also showed that the yield characteristics of the rose with some soil characteristics have a closer spatial relationship. About this, in the Negar farm, the range of the rose flower yield was close to the clay, available potassium and calcium carbonate contents. In the Golzar farm, the range of rose flower yield was close to the range of clay, silt, fragments and available phosphorus contents. The spatial correlation ratio showed that all plant characteristics including plant yield, plant height and plant diameter had a strong spatial correlation in the Golzar farm, and all characteristics of the soil were in the medium spatial correlation. Also, in the Negar farm, the product yield characteristics were in a strong spatial correlation class, and all other characteristics were in the medium spatial correlation. Kriging maps showed that soil characteristics and product yield in the study area had spatial distribution. The similarity of the spatial distribution pattern of some variables was one of the important features that these maps showed.

Conclusion: The results of this study showed the characteristics of plant yield and soil characteristics have a moderate to strong spatial dependency even in small scales. Kriging maps illustrated that the pattern and distribution of soil properties even within a farm can be varied. However, the spatial pattern of some soil

1, 2 and 4- Ph.D. Student, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahrekord University, Shahrekord, Respectively
(*- Corresponding Author Email: bahmanimorteza@yahoo.com)
3- Associate Professor, Department of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
5- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Shahrekord University, Shahrekord

characteristics such as organic matter and total nitrogen with the spatial pattern of plant characteristics and the dimensions of the farms showed conformity. This indicates that the variability of these characteristics is mainly under the management of farmers, and in order to optimize the use of nutrients, inputs should be re-evaluated by farm managers. In general, the results of this study indicated geostatistical method can be used to recognize of control factors of plant production and use its information in order to improve management.

Keywords: Geostatistics, Kriging, Spatial variability, Variograms