

ارزیابی ارتباط مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم در شرایط رقابت با علف هرز جودره
(*Hordeum spontaneum* Koch.) با استفاده از روش زمین‌آمار
Spatial relationship between soil properties and wheat grain yield under the conditions
of competition with wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) using geostatistical
method

عباس نصیری دهسرخ^۱، احمد قنبری^۲، حسن مکاریان^۳ و محمدرضا اصغری پور^۴

چکیده

نصیری دهسرخ^۱، ع.، ا. قنبری^۲، ح. مکاریان و م.ر. اصغری پور. ۱۴۰۲. ارزیابی ارتباط مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم در شرایط رقابت با علف هرز جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) با استفاده از روش زمین‌آمار. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۳): ۲۵۷-۲۳۳.

شناخت تغییرات مکانی عملکرد و عوامل مؤثر بر آن، به بهبود مدیریت مزرعه و عملکرد گیاهان زراعی کمک می‌کند. این آزمایش با هدف ارزیابی ارتباط مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با عملکرد دانه گندم رقم پیشگام در شرایط رقابت با علف هرز جودره در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ در شرایط آب و هوایی شهرستان مبارکه استان اصفهان انجام شد. آزمایش مزرعه‌ای به صورت شبکه‌ای با فاصله دو در دو متر انجام شد. در هر نقطه از شبکه، ویژگی‌های خاک، عملکرد دانه گندم و تراکم علف هرز جودره اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی مثبت بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود و در خاک‌های با محتوای رس و پتاسیم پایین، جمعیت انبوه‌تری داشت. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه به ترتیب ۲۲۲/۲ و ۳۵۵/۹ و ۲۸۶/۶ گرم در مترمربع با ضریب تغییرات ۱۵/۵ درصد بود نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، اسیدیته، رس و سیلت خاک (به ترتیب ۷۵/۰، ۸۳/۲، ۸۳/۶، ۹۴/۱ و ۷۸/۶ درصد در دامنه تأثیر ۱/۶، ۳/۷، ۴/۷، ۱۴/۰ و ۳/۲ متر) بود. میزان همبستگی مکانی بین تراکم علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم، ۸۶/۹ درصد و در دامنه تأثیر ۱۴/۰ متر بود. براساس نتایج این تحقیق، علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود، درحالی که عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، رس، سیلت و اسیدیته خاک داشت، بنابراین در زراعت گندم، مدیریت متناسب با مکان کودی می‌تواند در کنترل علف هرز جودره مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: دامنه تأثیر، علف‌های هرز، کریجینگ، گندم و نقشه عملکرد

این مقاله مستخرج از رساله دوره دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰
۱- دانش‌آموخته دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران (مکاتبه‌کننده) (پست الکترونیک: abasnasiri110@yahoo.com)

۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۴- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران

Spatial relationship between soil properties and wheat grain yield under the conditions of competition with wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) using geostatistical method

Nasiri Dehsorkhi, A.¹, A. Ghanbari², H. Makarian³, M. R. Asgharipour⁴

ABSTRACT

Nasiri Dehsorkhi, A., A. Ghanbari, H. Makarian, M. R. Asgharipour. 2023. Spatial relationship between soil properties and wheat grain yield under the conditions of competition with wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) using geostatistical method. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 25(3): 233-257. (In Persian).

Introduction: Knowledge of spatial variation in yield as well as the factors that affect it, will improve field management. Geostatistical methods are very effective in identifying and describing the distribution patterns of soil variation in the field. In this regard, this research was conducted to study the spatial relationship of some important physical and chemical properties of soil with bread wheat cv. Pishgam grain yield under the conditions of competition with wild barley using geo-statistical method.

Materials and Methods: In 2019-2020 cropping season, a field experiment was conducted in Isfahan, Iran in the form of a grid system with a distance of 2 × 2 meters. At each grid point, soil properties, bread wheat cv. Pishgam grain yield and wild barley density were measured and recorded. Experimental variograms, model fitting, kriging estimation and drawing maps for different traits were done using GS+ software. To describe the spatial correlation between two variables, a cross-semivariogram was employed. Spearman's correlation coefficients were also calculated using SPSS software (Ver. 16).

Results: The results showed that soil properties in the field varied from one place to another and were seen as patches with different sizes and shapes on the maps. The lowest (1.6%) and the highest (23.7%) of coefficient of variation (CV) for the studied soil properties were related to pH and nitrogen, respectively. The results indicated that the distribution of wild barley was not even or random, but had a patchy or cumulative distribution pattern. The interpolated maps by kriging showed that the weed patches generally tended towards the edges of the field. Wild barley had a strong spatial correlation with nitrogen (N) and phosphoreous (P) of the soil, while this weed was found in soils with low amount of clay and potassium (K). The cross-semivariogram showed that bread wheat cv. Pishgam grain yield had strong spatial correlation with N, K, pH, clay and silt properties of the soil with correlation coefficient of 75.0, 83.2, 83.6, 94.1 and 78.6%, respectively within the distances of 6.1, 3.7, 4.7, 14.0 and 3.2 meters. The results of cross-semivariogram, estimation of Spearman's correlation coefficients and also comparison of maps showed the negative relationship between bread wheat cv. Pishgam grain yield and wild barley density in the field. Spatial correlation between weed density and grain yield was 86.9% within the distance of 14.0 meters.

Conclusion: In general, the results of this research indicated that the spatial variation of soil properties and also weed density caused patchy patterns of bread wheat cv. Pishgam grain yield in the field. Knowledge of the spatial distribution of soil nutrients and weeds density in the field can be useful for site specific management of the bread wheat crop.

Key words: Effect range, Kriging, Yield map, Weeds and Wheat

Received: September, 2023

Accepted: December, 2023

1. Former PhD Student, University of Zabol, Zabol, Iran (Corresponding author) (Email: abasnasiri110@yahoo.com)

2. Professor, University of Zabol, Zabol, Iran

3. Associate Prof., Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

4. Professor, University of Zabol, Zabol, Iran

مقدمه

ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی نشان داده است که در داخل یک مزرعه تغییرات عملکرد از نقطه‌ای به نقطه دیگر بسیار زیاد بوده و معمولاً از سالی به سال دیگر نیز نوسان دارد (Ali et al., 2019; Nyéki et al., 2022; Zhang et al., 2023). تغییرات عملکرد دانه در یک مزرعه به ویژگی‌هایی مانند ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و توپوگرافی خاک و عوامل مدیریتی مانند مقدار کودهای مصرفی، آبیاری و غیره بستگی دارد (Steiner et al., 2018; Ali et al., 2019). که در بین آنها ویژگی‌های خاک نقش کلیدی دارد (Sidorova et al., 2012). تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک یکی از دلایل اصلی تغییرات مکانی رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (Cui et al., 2017; Hausherr Luder et al., 2018; Nyéki et al., 2022; Zhang et al., 2023). برای بهبود عملکرد محصول و حفظ سلامت خاک، لازم است که غیریکنواختی خاک در هر مکان شناسایی شود تا بتوان راهبردهای مدیریتی متناسب با مکان عناصر غذایی را برای آن منطقه اجرا کرد. نقشه‌های پراکنش ویژگی‌های خاک می‌تواند به عنوان یک راهنما برای مدیریت متناسب با مکان استفاده شود (Gehlot et al., 2023). محققان اظهار داشته‌اند که تجزیه و تحلیل زمین آماری، ابزار مفیدی برای تعیین روابط متقابل مکانی عملکرد گیاهان زراعی و ویژگی‌های خاک در مقیاس مزرعه محسوب می‌شود (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایشی که با هدف بررسی ارتباط مکانی بین عملکرد غلات و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد، نتایج کراس سمی واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم دارای همبستگی مکانی بالا و مثبتی با محتوای رس خاک بود (Lipiec and Usowicz, 2018). نتایج یک آزمایش که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه ذرت

انجام شد نشان داد که در نقاطی که محتوای رس خاک پایین تر بود، عملکرد دانه نیز در همان نقاط روی نقشه‌ها کمتر بود و به علاوه همبستگی مثبتی بین عملکرد ذرت و محتوای پتاسیم خاک مشاهده شد (Nyéki et al., 2022). در رابطه با ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی، نتایج کراس واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه ذرت، همبستگی مکانی بالا و منفی با محتوای رس، شن، هدایت الکتریکی و pH خاک داشت. عملکرد لوبیا چشم بلبلی نیز همبستگی مکانی متوسط و منفی با محتوای رس خاک و همبستگی مکانی منفی و بالایی با محتوای سیلت خاک داشت (Awe et al., 2020). در آزمایش دیگری که به منظور ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه یولاف انجام شد، گزارش شد که محتوای نیتروژن و ماده آلی خاک همبستگی مکانی مثبتی با عملکرد دانه داشتند و الگوهای تغییر نیتروژن و ماده آلی خاک مشابه با تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه یولاف بود (Hausherr Luder et al., 2018). نقشه‌های پراکنش ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌کند که می‌توان از آن برای بهبود عملکرد دانه در کشاورزی دقیق استفاده کرد (Karami and Afzalnia, 2018).

علاوه بر ناهمگونی‌های محیط خاک و هم‌چنین غیریکنواختی که در اثر روش‌های مدیریتی در سطح مزرعه به وجود می‌آیند، علف‌های هرز نیز یکی از عوامل ایجاد ناهمگونی عملکرد گیاهان زراعی در سطح مزرعه محسوب می‌شوند (Moradi Kalbolandi, 2020). علف‌های هرز پراکنش یکنواخت و یا تصادفی ندارند و غالباً دارای پراکنش لکه‌ای در مزرعه هستند (Jurado-Expósito et al., 2019; 2021). نتایج یک آزمایش نشان داد که تراکم و زیست توده علف‌های هرز با عملکرد زیستی گندم

همبستگی مکانی منفی ۷۵/۸۹ و ۶۲/۵۰ درصدی و با عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی منفی ۹۱/۹ و ۵۶/۲۵ درصدی داشت (Moradi Kalbolandi, 2020). نتایج یک آزمایش دیگر نیز نشان داد که الگوهای پراکنش جمعیت علف‌های هرز به مقدار قابل توجهی با الگوهای تغییر زیست‌توده گندم منطبق بودند و بین تراکم علف‌های هرز و عملکرد گیاهان زراعی در سطح مزرعه یک رابطه معکوس وجود داشت (Makarian and Hosseini, 2011). در آزمایشی که به منظور ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه پراکنش مکانی عملکرد دانه عدس و تراکم علف‌های هرز نشان داد که اکثر نقاط پر تراکم علف‌های هرز، منطبق بر نقاط با کم محصول‌تر عدس بود (Zargarian et al., 2020). در آزمایش دو ساله دیگری، همبستگی مکانی قابل توجهی بین زیست‌توده زعفران و تراکم علف‌های هرز توسط کراس سمی‌واریوگرام و ضریب همبستگی اسپیرمن مشاهده شد؛ به‌طوری‌که الگوهای پراکنش جمعیت علف‌های هرز بر الگوهای تغییرات زیست‌توده زعفران منطبق بودند (Makarian and Abbasdokht, 2014). گزارش شده است که ناهمگونی خاک به طور قابل توجهی بر فراوانی و پراکنش گونه‌های علف‌های هرز اثر دارد (Pätzold et al., 2020). در آزمایشی که با هدف تهیه نقشه علف‌های هرز در مزرعه پنبه با استفاده از روش زمین‌آمار انجام شد، گزارش شد که علف هرز اوپارسلام ارغوانی (*Cyperus rotundus* L.) دارای همبستگی منفی با pH، محتوای رس و پتاسیم خاک و همبستگی مثبت با محتوای شن خاک بود. علف هرز پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.) همبستگی مثبتی با محتوای رس، pH، پتاسیم و همبستگی منفی با شن خاک داشت (Kalivas et al., 2012). در آزمایش دیگری که به منظور ارزیابی الگوهای پراکنش مکانی علف‌های هرز در ارتباط با ویژگی‌های خاک انجام شد، گزارش شد که علف هرز سلمه‌تره

(*Chenopodium album* L.) با محتوای شن خاک همبستگی مثبت و با محتوای رس خاک همبستگی منفی داشت. علف هفت‌بند (*Polygonum aviculare* L.) همبستگی مثبتی با محتوای رس خاک داشت (Pätzold et al., 2020). با توجه به اثر ویژگی‌های خاک بر ترکیب جامعه علف‌های هرز و تراکم آنها، آگاهی از این رابطه باعث می‌شود تا بتوان بهترین راهبرد برای کنترل علف‌های هرز را انتخاب نموده و برنامه‌ریزی مدیریتی مناسبی را طراحی کرد (Lousada et al., 2013).

رابطه عملکرد گیاهان زراعی و متغیرهایی مانند محتوای عناصر غذایی خاک و یا تراکم علف‌های هرز در بسیاری از آزمایش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و به خوبی شناخته شده است (Bastiaans et al., 2000; Park et al., 2003)، ولی باید توجه داشت که این روابط بدون در نظر گرفتن تنوع مکانی متغیرهای مؤثر بر عملکرد و اغلب با فرض یکنواختی پراکنش آن‌ها در تیمارهای آزمایشی به دست می‌آیند، در حالی که در مقیاس مزرعه تغییرات مکانی عناصر غذایی، علف‌های هرز و سایر متغیرهای محدود کننده رشد و عملکرد بسیار زیاد بوده و گاه در فواصل چند متری نیز تفاوت‌های زیادی مشاهده می‌شود (Paz et al., 2001). در همین رابطه، این تحقیق به منظور مطالعه ارتباط مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم خاک با عملکرد دانه گندم در شرایط تداخل با علف هرز جودره با استفاده از روابط زمین‌آمار انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه‌ای واقع در شهرستان مبارکه استان اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و با استفاده از روش زمین‌آمار اجرا شد. بر

توصیف شد. (۱، ۱۰، ۱۱) (Mohammadi ۲۰۰۲)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$$
 (رابطه ۱)
 $N(h)$: زوج نمونه‌ای است که به فاصله‌ی h از یکدیگر واقع شده‌اند، $Z(x_i)$: مقدار متغیر مورد نظر در موقعیت x_i ، $Z(x_i + h)$: مقدار متغیر مورد نظر در موقعیت $x_i + h$ و $\gamma(h)$: سمی‌واریوگرام هستند. به‌طور نظری، واریوگرام عبارت از نصف واریانس تفاوت بین مقادیر متغیر مورد نظر است که در فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه در عمل تنها تعداد محدودی نمونه در دسترس است، لازم است واریوگرام تجربی محاسبه شود. نمایش معمول واریوگرام از طریق ترسیم نمودار واریانس توزیع تفاوت‌ها برحسب فاصله صورت می‌گیرد. بدین ترتیب براساس نمونه‌های موجود، مقدار تجربی این رابطه بدست آمده و سپس مدل برحسب این مقادیر تجربی برازش داده می‌شود (Isaaks and Srivastava, 1989).

از فراسنجه‌های (پارامترهای) مدل جهت تخمین تراکم علف‌هرز، عملکرد دانه گندم و سایر ویژگی‌های خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده در کریجینگ استفاده شد. این فراسنجه‌ها عبارت بودند از: حد آستانه $(C_0 + C)$ یا مجانب (Asymptote) (A) ، با افزایش یافتن فاصله h ، مقدار واریوگرام‌ها به تدریج تا فاصله معینی زیاد شده و از آن به بعد به حد ثابتی می‌رسد و در چنین شرایطی تابع مورد نظر، فاقد هرگونه صعود و یا نزول است که نشانگر حد آستانه است و برای پیش‌بینی دامنه تأثیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دامنه تأثیر (Range) (A_0) ، فاصله‌ای است که در آن واریوگرام به حداکثر مقدار خود رسیده و ثابت می‌شود. وقتی واریوگرام ثابت می‌شود نشان‌دهنده این است که داده‌ها در ورای این فاصله دیگر با هم همبستگی نداشته و از یکدیگر مستقل می‌شوند و ویژگی مورد نظر در آن فاصله دارای همبستگی است. عرض از مبدا (Intercept) (I) یا اثر

اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، شهرستان مبارکه دارای اقلیم خشک سرد و براساس روش آماری تحلیل‌های چند متغیره دارای اقلیم نیمه سرد و خشک می‌باشد. زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم زمستانه بود. قبل از کاشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل)، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره) به خاک مزرعه اضافه شد. بذر گندم رقم پیشگام در هفته اول آذر سال ۱۳۹۸ در کرت‌هایی به ابعاد 20×14 متر کاشته شد. در این آزمایش هیچ گونه عملیات مدیریتی برای کنترل علف‌های هرز انجام نشد. علف‌های هرز غالب مزرعه، دم‌روباهی کشیده (*Alopecurus myosuroides* Huds.)، جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) بودند که علف‌هرز جودره به‌عنوان علف‌هرز تداخل‌کننده با گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌برداری از تراکم علف‌هرز جودره (در یک مرحله) و عملکرد دانه گندم، روی شبکه علامت‌گذاری شده مربعی (گريد) به ابعاد 2×2 متر و در مجموع در ۸۸ نقطه در مزرعه انجام شد. نمونه‌برداری از عملکرد دانه گندم و تراکم علف‌هرز با استفاده از چارچوب‌هایی به ابعاد 50×50 سانتی‌متر در محل تقاطع خطوط شبکه انجام شد. نمونه‌برداری از خاک برای ویژگی‌های مورد نظر شامل محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی، اسیدیته، محتوای رس، سیلت و شن نیز با استفاده از چارچوب‌های ثابت به ابعاد 50×50 سانتی‌متر انجام شد. محل‌های نمونه‌برداری برای عملکرد دانه گندم و علف‌هرز با محل‌های نمونه‌برداری از ویژگی‌های خاک منطبق بودند.

با توجه به شباهت نمونه‌های حاصل از مشاهدات نزدیک در مقایسه با داده‌های حاصل از فواصل زیاد، همبستگی مکانی بین نمونه‌ها به‌صورت یک مدل ریاضی تحت عنوان سمی‌واریوگرام یا نیم تغییرنا

مقادیر همبستگی مکانی بین صفر (نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی مکانی یا پراکنش کاملاً تصادفی) تا ۱۰۰ درصد (همبستگی مکانی بالا) تغییر می‌کند. مقادیر کوچک‌تر یا مساوی ۲۵ درصد نشان‌دهنده همبستگی مکانی ضعیف، از ۲۵ تا ۷۵ درصد همبستگی مکانی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد همبستگی مکانی بالا محسوب می‌شوند (Jurado-Exposito et al., 2003).

بخش عمده ویژگی‌های آماری، نرمال کردن داده‌ها، تبدیل برگشت (پس از برآورد آماری، نتایج از حالت لگاریتمی به حالت اولیه برگشت داده شد و سپس نقشه‌ها ترسیم شدند)، رسم واریوگرام‌های تجربی، برازش مدل، برآورد کریجینگ و رسم نقشه‌ها برای تراکم گیاهچه‌های علف هرز، عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک با استفاده از نرم‌افزار GS+ انجام شد. جهت توصیف همبستگی مکانی بین دو متغیر (تراکم علف هرز و عملکرد گندم) از سمی واریوگرام متقاطع یا کراس سمی واریوگرام استفاده شد (رابطه ۳) (Colbach et al., 2000).

قطعه‌ای (Co)، مقداری است که در اثر تغییرات غیر قابل پیش‌بینی یا خطاهای ذاتی نمونه‌برداری حادث می‌شود، به این معنا که مشاهدات جدا شده به وسیله فواصل بی‌نهایت کوچک مشابه نیستند. هرچه عرض از مبدأ به سمت صفر میل کند، از تصادفی بودن توزیع متغیر مورد نظر کاسته شده و همبستگی مکانی بالاتری پدیدار می‌شود. زمانی که مقدار اثر قطعه‌ای از صفر افزایش پیدا می‌کند، نشان‌دهنده این است که عوامل تصادفی غیر قابل پیش‌بینی وجود دارند. تفاوت بین حد آستانه و عرض از مبدأ نشان‌دهنده مقدار واریانسی است که به وسیله فواصل بین نقاط نمونه‌برداری شده توصیف می‌شود. این مقدار هنگامی که به عنوان درصدی از حد آستانه بیان شود، نشان‌دهنده میزان همبستگی مکانی است. برای محاسبه میزان همبستگی مکانی از رابطه ۲ استفاده شد (Cardina et al., 1996).

(رابطه ۲)

$$Autocorrelation(\%) = \left[\frac{Asymptote - Intercept}{Asymptote} \right] \times 100$$

Autocorrelation (%): درصد همبستگی مکانی،

Asymptote: مجانب و Intercept: عرض از مبدأ هستند.

$$\gamma_{AB}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [ZA(X_i) - ZA(X_i + h) \times ZB(X_i) - ZB(X_i + h)] \quad (\text{رابطه ۳})$$

Variowin انجام شد. اعتبارسنجی مدل واریوگرام نیز با محاسبه ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) انجام شد (رابطه ۴):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_p(h_i) - Z_o(h_i))^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$Z_p(h_i)$: مقدار پیش‌بینی شده متغیر در نقطه h_i و $Z_o(h_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در همان نقطه و n : تعداد مشاهدات هستند. RMSE انحراف معیار خطای پیش‌بینی است و دارای واحدی مشابه واحد متغیر مورد بررسی می‌باشد. کوچک بودن این شاخص، معیاری برای بالا بودن دقت مدل برازش داده شده برای

$AB(h)$: کراس سمی واریوگرام برای مکان‌های نمونه‌برداری است که به فاصله h از یکدیگر واقع شده‌اند. $ZA(x_i)$ و $ZB(x_i)$: به ترتیب مقدار دو متغیر (تراکم علف‌های هرز و عملکرد دانه گندم) در نقاط X و Xh هستند. براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این رابطه بدست آمده و سپس مدلی با این مقادیر تجربی مطابقت داده شد. جهت برازش مدل‌ها و ترسیم کراس سمی واریوگرام‌ها، ابتدا داده‌ها نرمال شدند و پس از افزودن یک به کلیه داده‌ها، از آن‌ها لگاریتم طبیعی گرفته شد. رسم کراس سمی واریوگرام‌ها با استفاده از نرم‌افزار

D: تفاوت بین مقادیر متناظر دو متغیر و n: تعداد زوج متغیرها هستند.

نتایج و بحث

توصیف آماری مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که میانگین نیتروژن خاک ۰/۰۲۷ درصد بود. حداقل و حداکثر مقدار نیتروژن خاک به ترتیب با ۰/۰۱۹ و ۰/۰۴۲ درصد، نشان‌دهنده تغییرات زیاد این ویژگی بین نقاط نمونه‌برداری شده بود. ضریب تغییرات نیتروژن خاک ۲۳/۷ درصد بود. نتایج نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین محتوای پتاسیم خاک مزرعه به ترتیب ۱۶۹/۸، ۲۱۰/۵ و ۱۹۵/۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود. ضریب تغییرات پتاسیم خاک نیز ۶/۳ درصد بود. حداقل، حداکثر و میانگین فسفر خاک مزرعه به ترتیب ۹/۲، ۱۶/۵ و ۱۴/۰ میلی گرم بر کیلوگرم و ضریب تغییرات آن نیز ۱۲/۱ درصد بود (جدول ۱).

پیش‌بینی نقاط مجهول است. هر چه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده خطای کمتر مدل می‌باشد (Moradi Kalbolandi, 2020; Jurado-Expósito et al., 2021). مقدار RMSE نیز خطا را به عنوان درصدی از میانگین مشاهدات نشان می‌دهد (رابطه ۵).

$$RMSE (\%) = RMSE \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$\bar{O}$: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. اگر مقدار RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، پیش‌بینی عالی، بین ۱۰-۲۰ درصد خوب، بین ۲۰-۳۰ درصد متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد ضعیف محسوب می‌شود (Jamieson et al., 1991).

برای تعیین میزان همبستگی بین متغیرها ضرایب همبستگی اسپیرمن با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) محاسبه شدند (رابطه ۶) (Cardina et al., 1996).

$$r_s = \frac{6 \sum_{j=1}^n (D)^2}{n(n^2-1)} \quad (\text{رابطه ۶})$$

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of soil at the experiment site

Soil properties	ویژگی‌های خاک	واحد Unit	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	خطای استاندارد Standard error	ضریب تغییرات CV (%)
Nitrogen	نیتروژن	%	0.019	0.042	0.027	0.0064	0.0006	23.7
Phosphorus	فسفر	mg.kg ⁻¹	9.2	16.5	14.0	1.7	0.18	12.1
Potassium	پتاسیم	mg.kg ⁻¹	169.8	210.5	195.0	12.3	1.31	6.3
pH	اسیدیته	-	7.64	8.08	7.76	0.13	0.01	1.6
EC	هدایت الکتریکی	dS.m ⁻¹	2.65	3.03	2.80	0.11	0.01	3.9
Clay	رس	%	14.8	25.1	21.7	2.94	0.31	13.5
Silt	سیلت	%	15.8	34.8	22.8	3.72	0.39	16.3
Sand	شن	%	49.1	59.9	55.4	3.27	0.34	5.9

ارزیابی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی انجام شد، میانگین فسفر خاک ۱۱/۷ میلی گرم بر کیلوگرم و ضریب تغییرات آن ۷۵/۸ درصد بود (Awe et al., 2020).

میزان اسیدیته خاک مزرعه بین ۷/۶۴ و ۸/۰۸ متغیر بود و میانگین آن نیز ۷/۷۶ بود. اسیدیته خاک دارای

نتایج یک آزمایش در خصوص تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه برنج و ویژگی‌های خاک نشان داد که میانگین محتوای فسفر خاک مزرعه ۱۳/۹ میلی گرم بر کیلوگرم بود و بالاترین ضریب تغییرات (۷۴/۶ درصد) نیز مربوط به محتوای فسفر خاک بود (Liu et al., 2014). در آزمایش دیگری که با هدف

دامنه تغییرات کم بود و در بین ویژگی‌های خاک، پایین‌ترین ضریب تغییرات (۱/۶ درصد) را داشت (جدول ۱). در آزمایشی که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک انجام شد، دامنه تغییرات اسیدیته خاک بین ۷/۰۱ تا ۸/۱۵ بود و در بین کلیه ویژگی‌های خاک، کمترین ضریب تغییرات (۲/۹۹ درصد) مربوط به اسیدیته خاک بود (Gehlot et al., 2023). در ارزیابی تغییرپذیری مکانی عملکرد برنج و ویژگی‌های خاک نیز کمترین ضریب تغییرات (۱۷/۳۸ درصد) مربوط به اسیدیته خاک بود (Liu et al., 2014). حداقل، حداکثر و میانگین هدایت الکتریکی خاک مزرعه به ترتیب (۲/۶۵، ۳/۰۳ و ۲/۸۰ دسی زیمنس بر متر) و ضریب تغییرات آن نیز ۳/۹ درصد بود (جدول ۱). در همین رابطه، در آزمایشی که با هدف ارزیابی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی انجام شد، مقدار هدایت الکتریکی خاک بین ۰/۰۲۳ و ۸/۶۵ دسی زیمنس بر متر و ضریب تغییرات آن نیز ۹۹/۳ درصد بود (Awe et al., 2020). در یک آزمایش نتایج مربوط به تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی خاک بین ۰/۱۰ تا ۰/۷۹ دسی زیمنس بر متر متغیر بود و در بین کلیه ویژگی‌های خاک، بیشترین ضریب تغییرات (۵۱/۹۲ درصد) مربوط به هدایت الکتریکی خاک بود (Gehlot et al., 2023).

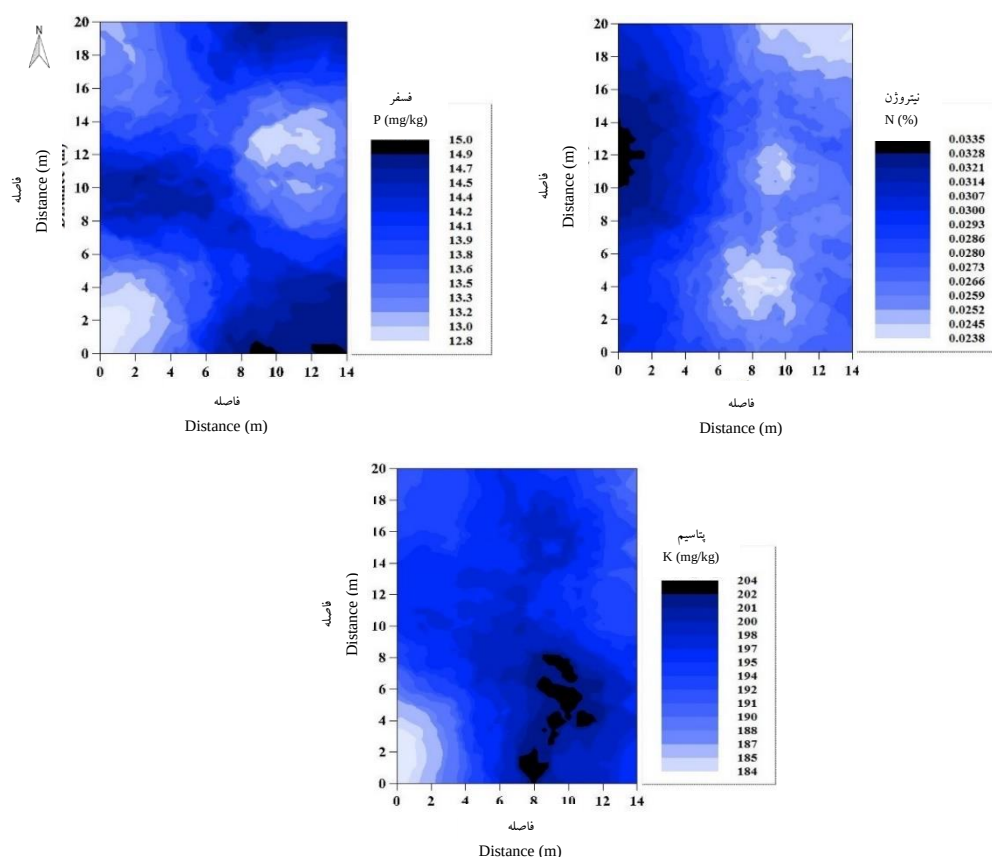
حداقل، حداکثر و میانگین محتوای رس خاک مزرعه به ترتیب ۱۴/۸، ۲۵/۱ و ۲۱/۷ درصد، برای سیلت به ترتیب ۱۵/۸، ۳۴/۸ و ۲۲/۸ درصد و برای شن به ترتیب ۴۹/۱، ۵۹/۹ و ۵۵/۴ درصد بود. ضریب تغییرات برای محتوای رس، سیلت و شن خاک نیز به ترتیب ۱۳/۵، ۱۶/۳ و ۵/۹ درصد بود (جدول ۱). در تحقیقی که با هدف مطالعه پراکنش مکانی علف‌های هرز در ارتباط با خصوصیات خاک

انجام شد، محتوای شن خاک، تغییرپذیری بیشتری (ضریب تغییرات ۱۹ درصد) در مقایسه با سیلت و رس (ضریب تغییرات ۴/۷ و ۵/۹ درصد) داشت (Pätzold et al., 2020). در رابطه با ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی گزارش شده است که ضریب تغییرات برای محتوای رس، سیلت و شن خاک به ترتیب ۲۱/۱، ۸/۱ و ۳/۷ درصد بوده و کمترین ضریب تغییرات مربوط به محتوای شن خاک بود (Awe et al., 2020).

برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که محتوای نیتروژن خاک در مزرعه مورد مطالعه، توزیع تصادفی یا یکنواختی نداشت و دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای نیتروژن خاک با مدل نمایی مطابقت داشت (جدول ۲). میانگین همبستگی مکانی برای نیتروژن خاک ۵۰/۱ درصد در دامنه تأثیر ۴۱/۰ متر بود (جدول ۲). بالا بودن دامنه تأثیر نیتروژن خاک نشان می‌دهد که لکه‌های طولی با مقادیر کم و یا زیاد نیتروژن در خاک مزرعه وجود داشتند (شکل ۱).

در تحقیقی که با هدف ارزیابی عوامل تأثیرگذار در ناهمگونی پراکنش مکانی عملکرد دانه گندم انجام شد، دامنه تأثیر سمی‌واریوگرام برای نیتروژن خاک ۲۱۱ متر و مدل برازش یافته بر این متغیر از نوع نمایی بود (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایش دیگری که روی گندم انجام شد، بهترین مدل برای نیتروژن کل خاک در هر دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، مدل کروی بود و همبستگی مکانی بالایی برای نیتروژن خاک در هر دو عمق مشاهده شد (Cui et al., 2017).

برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که محتوای فسفر خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت بوده و دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. همبستگی مکانی متوسط برای الگوی پراکنش



شکل ۱- نقشه‌های پراکنش مکانی محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک محل اجرای آزمایش

Fig. 1. Spatial distribution maps of nitrogen, phosphorus and potassium content of soil at the experiment site

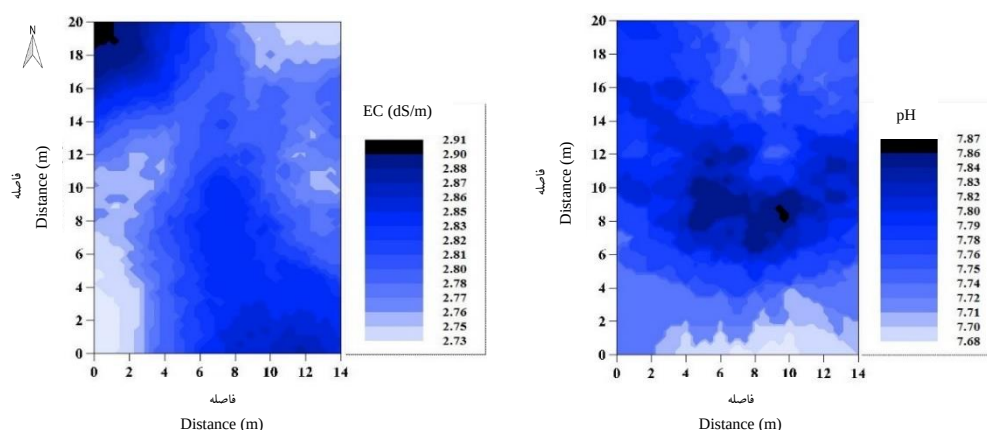
برازش مدل سمی‌واریوگرام برای پتاسیم خاک، پراکنش مکانی متوسط ۵۷/۳ درصد در دامنه تأثیر ۳۹/۴ متر بود (جدول ۲). همبستگی مکانی صفر برای اسیدیته خاک، نشان دهنده توزیع کاملاً تصادفی و البته تغییرات اندک این متغیر در دامنه مورد نظر بود (جدول ۲). همبستگی مکانی بالای ویژگی‌های خاک نشان دهنده این است که این ویژگی‌هایی با تغییر در ویژگی‌های ذاتی خاک مانند شیب زمین، عوامل تشکیل دهنده خاک، بافت و غیره کنترل می‌شوند (Yasrebi *et al.*, 2008)، درحالی‌که همبستگی مکانی متوسط و پایین ممکن است به دلایل مدیریتی مانند کاربری زمین، خاک‌ورزی، نوع کشت، آبیاری و سایر موارد باشد (Awe *et al.*, 2018). برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که هدایت الکتریکی

فسفر خاک در سطح مزرعه توسط مدل نمایی سمی‌واریوگرام ۵۰ درصد بود (جدول ۲). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی عملکرد برنج و ویژگی‌های خاک انجام شد، بهترین مدل برای محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، مدل نمایی و برای عملکرد برنج، مدل کروی بود (Liu *et al.*, 2014). در آزمایش دیگری که به منظور بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک انجام شد، محتوای فسفر خاک دارای همبستگی مکانی ضعیف و سایر ویژگی‌های مورد مطالعه، همبستگی مکانی متوسط داشتند. برای اکثر ویژگی‌های خاک نیز مدل نمایی بهترین مدل برازش داده شده بود (Gehlot *et al.*, 2023).

جدول ۲- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام‌های تجربی برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Coefficients of fitted models on empirical semivariograms for physical and chemical properties of soil at the experiment site

Soil properties	ویژگی‌های خاک	مدل سمی‌واریوگرام	عرض از مبدا Intercept (Nugget) (Co)	مجاانب (آستانه) Asymptote (Sill) (Co+C)	دامنه Range (m)	همبستگی Correlation (%)	کلاس مکانی Spatial class	r ²	RMSE	RMSE (%)	دقت پیش‌بینی Prediction accuracy
Nitrogen	نیتروژن	Exponential	0.0000314	0.0000630	41.0	50.1	Moderate متوسط	0.36	0.006	22.22	Moderate متوسط
Phosphorus	فسفر	Exponential	0.01331	0.02672	41.0	50.1	Moderate متوسط	0.25	1.725	12.31	Good خوب
Potassium	پتاسیم	Exponential	0.00313	0.00734	39.4	57.3	Moderate متوسط	0.80	11.910	6.10	Great عالی
pH	اسیدیته	Linear	0.0002205	0.0002205	16.6	0	Weak ضعیف	0.04	0.127	1.63	Great عالی
EC	هدایت الکتریکی	Exponential	0.000595	0.00175	37.0	66.0	Moderate متوسط	0.83	0.106	3.78	Great عالی
Clay	رس	Spherical	0.008	0.041	41.0	80.4	Strong قوی	0.85	2.471	11.36	Good خوب
Silt	سیلت	Exponential	0.02089	0.04188	41.0	50.1	Moderate متوسط	0.32	3.814	16.71	Good خوب
Sand	شن	Spherical	0.00229	0.00583	41.0	60.7	Moderate متوسط	0.92	3.128	5.64	Great عالی



شکل ۲- نقشه‌های توزیع مکانی اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک محل اجرای آزمایش

Fig. 2. Spatial distribution maps of pH and EC of soil at the experiment site

بود (جدول ۲). برازش مدل‌های سمی واریوگرام نشان داد که محتوای شن خاک، دارای پراکنش تصادفی یا یکنواخت نبوده، بلکه پراکنش لکه‌ای داشت. همبستگی مکانی برای محتوای شن خاک، ۶۰/۷ درصد بود (جدول ۲). در آزمایشی که با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد سیب‌زمینی انجام شد، محتوای رس خاک در هر سه سال آزمایش، همبستگی مکانی متوسط داشت، درحالی‌که محتوای سیلت و شن خاک در دو سال اول، دارای تغییرپذیری مکانی بالا و در سال سوم دارای همبستگی مکانی متوسط بودند (Zhang et al., 2023).

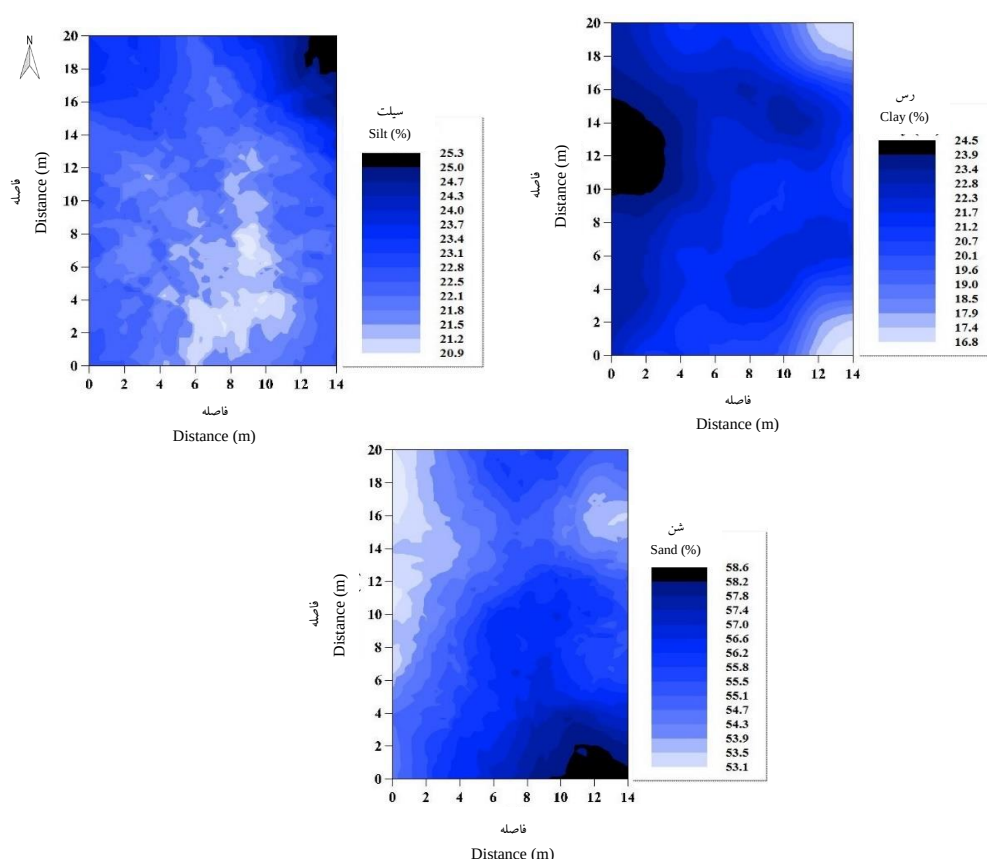
نتایج نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین تراکم علف هرز جو دره در مزرعه گندم به ترتیب صفر، ۱۶/۰ و ۳/۵۹ بوته در مترمربع بود. بخش‌های نمونه‌برداری شده عاری از علف هرز جو دره در مزرعه ۶۱/۳ درصد بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که سمی واریوگرام‌ها محاسبه شده برای تراکم علف هرز جو دره با مدل کروی سازگاری داشت. برازش مدل‌های سمی واریوگرام نشان داد که تراکم علف هرز جو دره، توزیع تصادفی یا یکنواختی نداشته، بلکه دارای آرایش لکه‌ای یا تجمعی بود. میزان همبستگی مکانی برای

خاک توزیع تصادفی یا یکنواخت نداشته، بلکه دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. سمی واریوگرام برازش داده شده برای هدایت الکتریکی خاک با مدل نمایی مطابقت داشت. نتایج نشان داد که همبستگی مکانی متوسط هدایت الکتریکی خاک ۶۶/۰ درصد در دامنه تأثیر ۳۷/۰ متر بود (جدول ۲).

سمی واریوگرام برازش داده شده بر محتوای رس خاک با مدل کروی سازگاری داشت (جدول ۲). برازش مدل‌های سمی واریوگرام نشان داد که محتوای رس خاک مزرعه، پراکنش تصادفی یا یکنواخت نداشته، بلکه دارای پراکنش لکه‌ای بود. همبستگی مکانی بالا (۸۰/۴ درصد) برای رس خاک، نشان دهنده پراکنش کاملاً لکه‌ای آن در دامنه مورد نظر بود (جدول ۲). سمی واریوگرام برازش داده شده برای محتوای سیلت خاک با مدل نمایی مطابقت داشت. برازش مدل‌های سمی واریوگرام بر محتوای سیلت خاک دارای همبستگی مکانی متوسط (۵۰/۱ درصد) در دامنه تأثیر ۴۱/۰ متر بود (جدول ۲).

نتایج نشان داد که سمی واریوگرام برازش داده شده برای محتوای شن خاک با مدل کروی منطبق



شکل ۳- نقشه‌های پراکنش مکانی اجزای بافت خاک محل اجرای آزمایش

Fig. 3. Spatial distribution maps of soil texture of soil at the experiment site

جدول ۳- اطلاعات آماری تراکم علف هرز جو دره و عملکرد دانه گندم

Table 3. Statistical information of plant density of wild barley and grain yield of wheat

نقاط عاری از علف هرز	ضریب تغییرات	خطای استاندارد	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	صفات گیاهی
Weed free points (%)	CV (%)	SE	SD	Mean	Max.	Min.	Plant traits
61.3	147.0	0.56	5.2	3.5	16.0	0	تراکم علف هرز جو دره Wild barley density.m ⁻²
-	15.5	4.75	44.6	286.6	355.9	222.2	عملکرد دانه گندم Wheat grain yield (g.m ⁻²)

در آزمایشی که با هدف تهیه نقشه پراکنش علف هرز شقایق وحشی (*Papaver rhoeas* L.) در پنج مزرعه گندم انجام شد، مقادیر دامنه از ۱۵/۴۴ تا ۳۰/۷۴ متر، بسته به مزرعه، متغیر بود. گزارش شد که علف هرز یاد شده در سطح مزارع پراکنش لکه‌ای داشت و در چهار مزرعه، همبستگی مکانی بالا و در یک مزرعه،

الگوهای پراکنش علف هرز جو دره در سطح مزرعه توسط مدل‌های سمی‌واریوگرام، ۶۰/۱ درصد بود (جدول ۴). دامنه تأثیر برای پراکنش جمعیت علف هرز جو دره، ۴۱ متر به دست آمد که نشان‌دهنده وجود لکه‌های پیوسته نسبتاً بزرگ می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام‌های تجربی برای تراکم علف هرز جودره و عملکرد دانه گندم

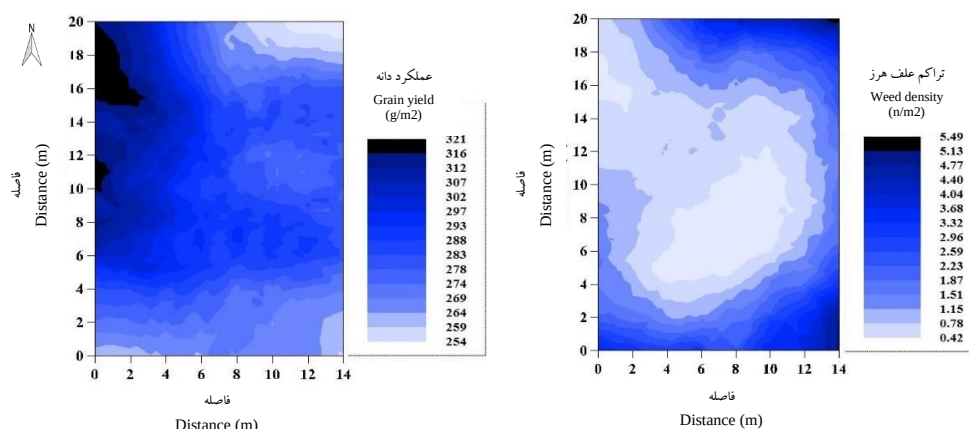
Table 4. Coefficients of fitted models on empirical semivariograms for plant density of wild barley and grain yield of wheat

صفات گیاهی Plant traits	مدل سمی‌واریوگرام Semi-variogram model	عرض از مبدا Intercept (Nugget) (Co)	مجاوب (آستانه) Asymptote (Sill) (Co+C)	دامنه Range (m)	همبستگی Correlation (%)	کلاس مکانی Spatial class	r^2	RMSE	RMSE (%)	دقت پیش‌بینی Prediction accuracy
تراکم علف هرز جودره Wild barley density	کروی Spherical	0.84	2.109	41.0	60.1	متوسط Moderate	0.93	5.409	150.63	ضعیف Weak
عملکرد دانه گندم Wheat grain yield	کروی Spherical	0.01644	0.03858	37.8	57.3	متوسط Moderate	0.72	43.220	15.07	خوب Good

غیریکنواخت علف هرز جودره، مربوط به ویژگی‌های خاک مزرعه بود، براساس نتایج کراس سمی‌واریوگرام و مقایسه نقشه‌ها، تراکم این علف هرز همبستگی مکانی و مطابقت بالایی با برخی از ویژگی‌های خاک داشت. در نقاطی از سمت شمال غربی و غرب مزرعه که تراکم علف هرز پایین بود، محتوای رس خاک بالا و محتوای شن پایین بود. در همین رابطه، در آزمایشی که با هدف ارزیابی پراکنش مکانی و ثبات مکانی-زمانی علف‌های هرز غالب در یک مزرعه ذرت انجام شد، پراکنش علف هرز سلمه‌تره عمدتاً در حاشیه‌های مزرعه بوده و در طول دوره دوساله آزمایش نیز تا حد زیادی ثابت ماند (Calha et al., 2014). حاشیه‌های مزرعه با توجه به انتقال بذر علف‌های هرز از خارج به داخل مزرعه، زنده‌مانی بوته‌هایی که دیرتر جوانه می‌زنند و کنترل ضعیف‌تر علف‌های هرز به دلیل پایین بودن کارایی علف‌کش‌ها و همچنین تراکم کمتر و استقرار ضعیف‌تر گیاهان زراعی و برخورداری بهتر از منابع مانند تابش و رقابت کمتر با گیاه زراعی، مکان امنی برای استقرار و رشد علف‌های هرز محسوب می‌شوند (Alimoradi, 2010).

همبستگی مکانی متوسط برای تراکم علف هرز مشاهده شد (Jurado-Expósito et al., 2019). در آزمایش دیگری که با هدف مطالعه تغییرپذیری مکانی علف هرز گل گندم (*Centaurea diluta* Aiton) در دو مزرعه گندم انجام شد، مقادیر دامنه سمی‌واریوگرام برای این علف هرز حدود ۲۱ و ۳۲ متر، بسته به مزرعه، متغیر بود. همبستگی مکانی بالایی برای این علف هرز مشاهده و اظهار شد که تراکم علف هرز، متغیری است که تا حد زیادی زیادی وابسته به مکان بوده و پراکنش لکه‌ای دارد (Jurado-Expósito et al., 2021).

نقشه‌های حاصل از درون‌یابی با کریجینگ، به‌خوبی وضعیت پراکنش تراکم علف هرز در سطح مزرعه را نشان داد. پراکنش ناهمگون تراکم علف هرز در این نقشه‌ها کاملاً مشهود بود و لکه‌های علف هرز جودره عمدتاً به سمت حاشیه‌های مزرعه پراکندگی داشتند (شکل ۴). به نظر می‌رسد که در حاشیه‌های مزرعه شرایط مناسب‌تری برای جوانه‌زنی و رشد علف هرز جودره وجود داشته است. عواملی مثل غنی بودن بانک بذر و وجود مکان‌های امن، باعث انبوهی تراکم علف هرز در این نقاط شد. یکی از دلایل پراکنش



شکل ۴- نقشه‌های پراکنش مکانی تراکم علف هرز جودره (راست) و عملکرد دانه گندم (چپ)

Fig. 4. Spatial distribution maps of plant density of wild barley (right) and grain yield of wheat (left)

و ۳۵۵/۹ گرم در مترمربع بود که نشان‌دهنده تغییرات بسیار زیاد این ویژگی بین نقاط نمونه‌برداری است. ضریب

میانگین عملکرد دانه گندم ۲۸۶/۶ گرم در مترمربع بود. مقادیر حداقل و حداکثر عملکرد دانه به ترتیب ۲۲۲/۲

تغییرات این متغیر ۱۵/۵ درصد بود (جدول ۳). در همین رابطه، در آزمایشی با هدف ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های خاک انجام شد، ضریب تغییرات برای عملکرد دانه گندم ۴۵/۵ درصد بود (Lipiec and Usowicz, 2018).

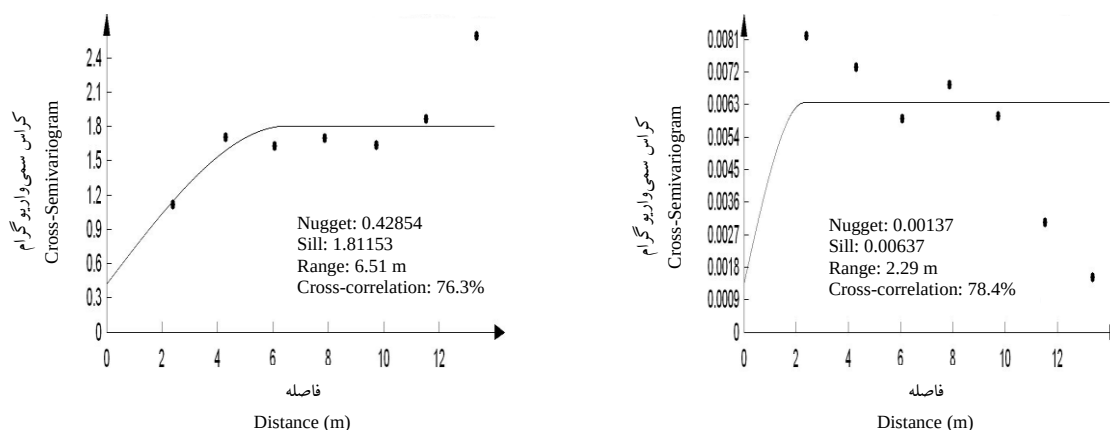
نتایج نشان داد که سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای عملکرد دانه گندم با مدل کروی منطبق بود (جدول ۴). برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه، پراکنش یکنواخت یا تصادفی نداشته، بلکه دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. همبستگی مکانی متوسط برای عملکرد دانه ۵۷/۳ درصد بود (جدول ۴). در همین رابطه نتایج یک آزمایش نشان داد که عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه پراکنش لکه‌ای داشته و مدل سمی‌واریوگرام برازش داده شده بر داده‌های عملکرد دانه دارای همبستگی مکانی ۸۱ درصد برای پراکنش عملکرد در سطح مزرعه بود (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایش دیگری که روی گندم انجام شد، تغییرات وزن زیست‌توده گندم در سطح مزرعه، دارای پراکنش لکه‌ای بود و همبستگی مکانی نسبتاً بالایی (۷۴/۳ درصد) برای پراکنش وزن زیست‌توده گندم به دست آمد (Makarjian and Hosseini, 2011).

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گندم در سمت شمال غربی و غرب مزرعه بدست آمد. یکی از علل احتمالی این موضوع را می‌توان به پایین بودن تراکم علف هرز در این بخش از مزرعه نسبت داد. همان‌طور که در شکل ۴ نیز دیده می‌شود، در این نقاط از مزرعه، تراکم علف هرز جو دره بسیار پایین بود. بدیهی است که در نقاطی از مزرعه، تراکم علف هرز اندک یا صفر باشد، گیاه زراعی رشد و عملکرد بیشتری خواهد داشت. در همین رابطه، در آزمایشی که به منظور ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه پراکنش مکانی عملکرد دانه عدس و تراکم علف‌های هرز نشان داد که اکثر نقاط با تراکم بالای علف‌های هرز، منطبق بر نقاط با عملکرد کمتر

محصول عدس بود (Zargarian et al., 2020). ویژگی‌های خاک نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در عملکرد بالاتر گندم در بخش شمال غربی و غرب مزرعه باشد، زیرا در این بخش از مزرعه که عملکرد دانه بیشتر بود، محتوای رس و نیتروژن خاک نیز بیشتر و محتوای شن کمتر بود. نتایج کراس سمی‌واریوگرام نیز مؤید همبستگی مکانی بالا و مثبت عملکرد دانه با محتوای نیتروژن و رس و همبستگی مکانی بالا و معکوس با شن خاک بود. دامنه تأثیر به دست آمده برای عملکرد دانه گندم ۳۷/۸ متر بود که نشان‌دهنده وجود لکه‌های پیوسته نسبتاً بزرگ در سطح مزرعه می‌باشد (جدول ۴). در آزمایشی که با هدف بررسی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد، دامنه تأثیر برای عملکرد دانه گندم ۴۵/۹ متر بود (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش تغییرات مکانی-زمانی عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی بالا در دامنه تأثیر ۱۲/۸۲ متر داشت (Cui et al., 2017).

به منظور ارزیابی میزان همبستگی مکانی در پراکنش علف هرز جو دره و ویژگی‌های خاک، مدل‌های کروی بر داده‌های علف هرز و خاک برازش داده و پارامترهای مربوط به مدل به صورت شکل‌های جداگانه نشان داده شدند. نتایج حاصل از برازش مدل‌های کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جو دره با نیتروژن خاک نشان داد که همبستگی مکانی بالایی (۷۸/۴ درصد) بین الگوهای پراکنش دو متغیر مذکور، در دامنه تأثیر ۲/۲ متر، وجود داشت (شکل ۵). تجزیه کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جو دره و محتوای فسفر خاک نشان داد که بین الگوهای پراکنش این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد. میزان همبستگی مکانی بین این دو متغیر ۷۶/۳ درصد بود که نشان‌دهنده ارتباط مکانی بالا بین الگوهای پراکنش جمعیت علف هرز جو دره و فسفر خاک می‌باشد (شکل ۵). مقایسه نقشه پراکنش علف هرز جو دره با

عناصر غذایی خاک نیز نشان داد که پراکنش این علف
هرز با نقشه‌های پراکنش نیتروژن و فسفر خاک مطابقت
داشت. نقاط پرتراکم علف هرز با نقاط دارای محتوای
نیتروژن و فسفر بیشتر خاک، منطبق بود.



شکل ۵- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و محتوای نیتروژن خاک (راست) و محتوای فسفر خاک (چپ)

Fig. 5. Spherical cross-semivariogram models between plant density of wild barley and nitrogen (right) and soil phosphorus (left) content

نتایج برآورد ضرایب همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که
علف هرز جودره همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0.28^{**}$)
با محتوای فسفر خاک داشت (جدول ۵). در همین رابطه، در
آزمایشی که به منظور ارزیابی ارتباط ویژگی‌های خاک و
علف‌های هرز انجام شد، علف هرز اویارسلام ارغوانی که
گونه غالب بود، همبستگی مثبتی با محتوای فسفر، پتاسیم و
محتوای رس خاک و همبستگی منفی با اسیدیته و محتوای
شن خاک داشت (Lousada et al., 2013).

جدول ۵- ضرایب همبستگی اسپیرمن بین ویژگی‌های خاک، تراکم علف هرز و عملکرد دانه گندم

Table 5. Spearman's correlation coefficient between soil properties, plant density of wild barley and grain

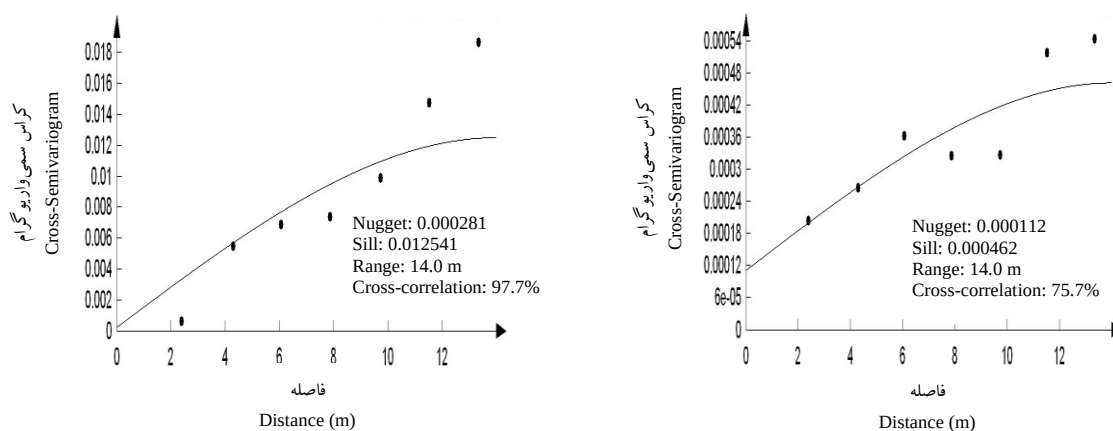
			yield of wheat (n=88)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Nitrogen	نیتروژن	1									
2	Phosphor	فسفر	-0.04 ^{ns}	1								
3	Potassium	پتاسیم	0.12 ^{ns}	0.30 ^{**}	1							
4	pH	اسیدیته	0.27 [*]	-0.06 ^{ns}	0.26 [*]	1						
5	EC	هدایت الکتریکی	0.08 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.23 [*]	0.20 ^{ns}	1					
6	Clay	رس	0.34 ^{**}	-0.19 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.25 [*]	1				
7	Silt	سیلت	0.13 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.47 ^{**}	1			
8	Sand	شن	-0.41 ^{**}	0.34 ^{**}	0.03 ^{ns}	-0.26 [*]	-0.01 ^{ns}	-0.26 [*]	-0.63 ^{**}	1		
9	Weed	علف هرز	0.20 ^{ns}	0.28 ^{**}	-0.19 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.10 ^{ns}	1	
10	Grain yield	عملکرد دانه	0.44 ^{**}	-0.20 ^{ns}	0.28 ^{**}	0.40 ^{**}	0.15 ^{ns}	0.28 ^{**}	0.26 [*]	-0.56 ^{**}	-0.42 ^{**}	1

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

بر الگوهای تغییر محتوای رس خاک منطبق بودند. تطابق مکانی بین این دو متغیر ۹۷/۷ درصد با دامنه تأثیر ۱۴/۰ متر بود (شکل ۶). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی که با هدف تهیه نقشه علف‌های هرز در مزرعه پنبه با استفاده از روش زمین‌آمار انجام شد، علف هرز اوپارسلام ارغوانی دارای همبستگی منفی با محتوای رس و پتاسیم خاک بود (Kalivas et al., 2012). در آزمایش دیگری که به منظور مطالعه الگوهای پراکنش مکانی علف‌های هرز در ارتباط با خصوصیات خاک انجام شد، گزارش شد که ناهمگونی خاک به مقدار قابل توجهی بر فراوانی و پراکنش گونه‌های علف‌های هرز تأثیرگذار بود. علف هرز سلمه‌تره همبستگی مثبتی با محتوای رس و خاک و همبستگی منفی با محتوای رس خاک داشت (Pätzold et al., 2020).

مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام علف هرز جودره و عکس پتاسیم خاک نشان داد که الگوهای پراکنش دو متغیر مذکور به مقدار قابل توجهی بر هم منطبق بودند؛ به‌طوری که همبستگی مکانی برای علف هرز جودره و عکس پتاسیم خاک در دامنه ۱۴/۰ متر، ۷۵/۷ درصد بود (شکل ۶). نتایج یک آزمایش نشان داد که گونه گاو چاق کن (Sonchus asper) دارای لکه‌هایی با دامنه گسترده بود که در ضلع شرقی مزرعه قرار داشته و عمدتاً از مشرق تا جنوب شرقی گسترده شده بود. این بخش از مزرعه دارای محتوای رس و پتاسیم پایینی بود (Alimoradi, 2010).

مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و عکس محتوای رس خاک و هم‌چنین نقشه‌های ترسیم شده نشان داد که الگوهای پراکنش علف هرز به مقدار قابل توجهی



شکل ۶- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و عکس محتوای پتاسیم خاک (راست) و علف هرز جودره و عکس محتوای رس خاک (چپ)

Fig. 6. Spherical cross-semivariogram models between plant density of wild barley and reverse soil potassium (right) and reverse soil clay (left) content

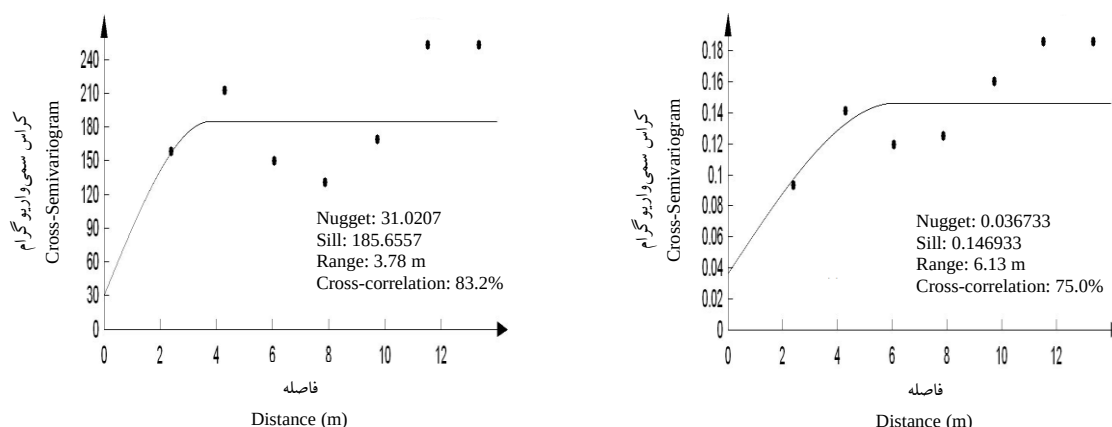
مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای نیتروژن خاک نشان داد که الگوهای پراکنش عملکرد دانه تا حد زیادی بر الگوهای تغییر محتوای نیتروژن خاک منطبق بودند.

با ترسیم کراس سمی‌واریوگرام‌ها، میزان همبستگی مکانی بین عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور مدل‌های کروی بر داده‌های خاک و عملکرد دانه گندم برازش داده شد.

گندم در مزرعه به دلیل تغییرپذیری مکانی مواد غذایی خاک، تغییرات مکانی آشکاری دارد (Cui et al., 2017). نتایج یک آزمایش دیگر نشان داد که تطابق مکانی بین الگوهای پراکنش عملکرد زیستی گندم با الگوهای پراکنش پتاسیم خاک بالا (۸۶/۹۵ درصد) و در دامنه تأثیر کم ۹/۳ متر بود. همبستگی مکانی عملکرد دانه گندم با محتوای پتاسیم خاک متوسط و در حدود ۳۳/۳۳ درصد در دامنه تأثیر حدود ۲۳ متر بود (Moradi Kalbolandi, 2020). برآورد ضرایب همبستگی صفات نیز نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی داری ($r = 0.28^{**}$) با محتوای پتاسیم خاک داشت (جدول ۵). در همین رابطه، در آزمایشی که با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه ذرت انجام شد، همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه و محتوای پتاسیم خاک وجود داشت (Nyéki et al., 2022). در آزمایش دیگری که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه برنج و ویژگی‌های خاک انجام شد، عملکرد دانه همبستگی مثبت بالایی با محتوای پتاسیم خاک داشت (Liu et al., 2014).

تطابق مکانی بین این دو متغیر ۷۵/۰ درصد با دامنه تأثیر ۶/۱ متر بود (شکل ۷). با توجه به نقش نیتروژن در عملکرد دانه گندم، پراکنش غیر یکنواخت نیتروژن که ممکن است در اثر آبهویی به وسیله بارندگی و آبیاری ایجاد شود، باعث بروز تفاوت‌هایی در سطح مزرعه شود که می‌تواند باعث ناهمگونی عملکرد گیاه در سطح مزرعه شود (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایشی که به منظور ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه یولاف انجام شد، نیتروژن خاک همبستگی مکانی مثبتی با عملکرد دانه داشت و الگوهای تغییر محتوای نیتروژن خاک مشابه با تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه یولاف بود (Hausherr Luder et al., 2018).

کراس سمی‌واریوگرام برآزش داده شده بین عملکرد دانه و محتوای پتاسیم خاک در دامنه ۳/۷ متر ۸۳/۲ درصد، همبستگی مکانی بالایی را نشان داد (شکل ۷). با توجه به این موضوع می‌توان گفت در هر نقطه از مزرعه که وضعیت عناصر پرمصرف خاک مطلوب باشد، عملکرد دانه نیز بیشتر خواهد بود. در همین رابطه گزارش شده است که رشد و عملکرد دانه



شکل ۷- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای نیتروژن خاک (راست) و عملکرد دانه و محتوای پتاسیم خاک (چپ)

Fig. 7. Spherical cross-semivariogram models between grain yield of wheat and soil nitrogen (right) and soil potassium (left) content

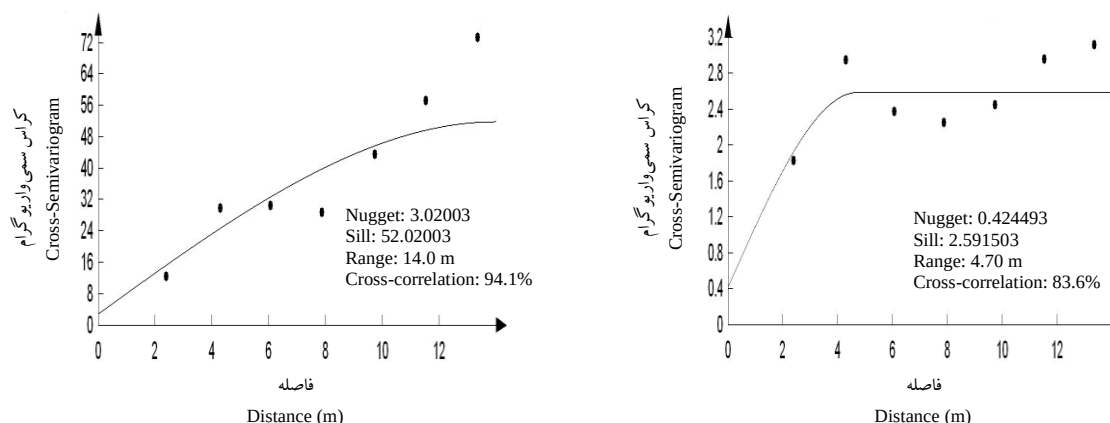
میزان تشابه الگوهای پراکنش عملکرد دانه با الگوهای اسیدیته خاک، بالا (۸۳/۶ درصد) در دامنه تأثیر ۴/۷ متر، توسط مدل کراس واریوگرام بدست آمد (شکل ۸). ضرایب همبستگی اسپیرمن نشان داد که عملکرد دانه گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) با اسیدیته خاک داشت ($r=0.40^{**}$) (جدول ۵). در همین رابطه در آزمایشی که با هدف ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های خاک انجام شد، نتایج کراس سمی واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم و یولاف، همبستگی مکانی مثبتی با اسیدیته خاک داشتند (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش دیگری که با هدف بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی انجام شد، نتایج کراس واریوگرام نشان داد که عملکرد لویا چشم بلبلی، همبستگی مکانی متوسط و مثبت با اسیدیته خاک داشت، اما عملکرد دانه ذرت، همبستگی مکانی منفی و بالایی با اسیدیته خاک داشت (Awe et al., 2020). پراکنش لکه‌ای اسیدیته خاک می‌تواند بر حلالیت و جذب عناصر غذایی خاک تأثیر گذاشته و جذب آن‌ها را در نقاط مختلف مزرعه بطور متفاوتی تحت تأثیر قرار دهد و باعث ناهمگونی رشد گیاه گندم در مزرعه باشد (Moradi Kalbolandi, 2020).

مدل‌های برآزش داده شده بر کراس سمی واریوگرام‌های بین عملکرد دانه گندم و محتوای رس خاک نشان داد که الگوهای پراکنش عملکرد دانه به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر محتوای رس خاک منطبق بودند. میزان تطابق مکانی بین این دو متغیر ۹۴/۱ درصد در دامنه تأثیر ۱۴/۰ متر بود (شکل ۸). در آزمایشی که به منظور ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های خاک انجام شد، عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی مثبت و بالایی با محتوای رس خاک داشت (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش

دیگری که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه ذرت انجام شد، در نقاطی که محتوای رس خاک پایین‌تر بود، عملکرد دانه نیز در همان نقاط روی نقشه‌ها کمتر بود (Nyéki et al., 2022). برآورد ضرایب همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که عملکرد دانه گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0.28^{**}$) با محتوای رس خاک داشت (جدول ۵). در آزمایشی که با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد سیب‌زمینی انجام شد، عملکرد سیب‌زمینی در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب دارای همبستگی منفی و مثبت با محتوای رس خاک بود (Zhang et al., 2023).

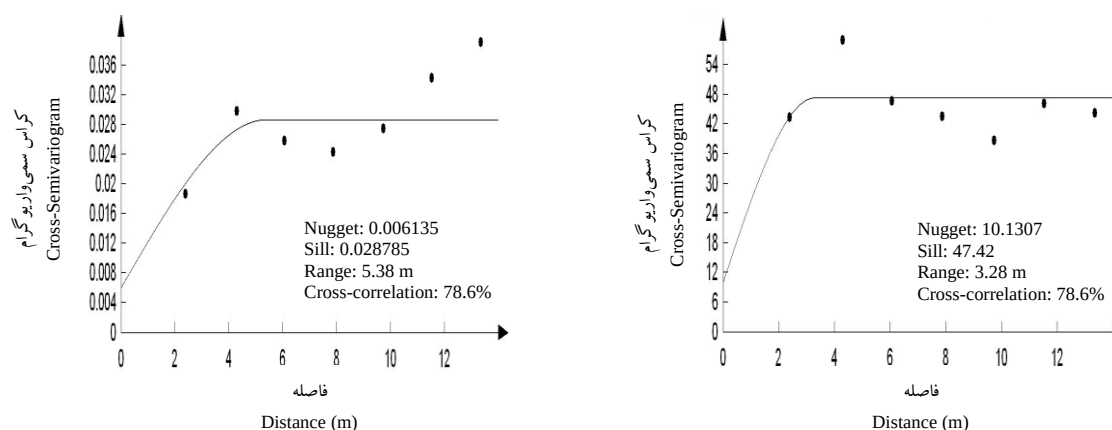
تجزیه کراس سمی واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای سیلت خاک نشان داد که بین الگوهای پراکنش این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد. میزان همبستگی مکانی بین عملکرد دانه و محتوای سیلت خاک ۷۸/۶ درصد و در دامنه ۳/۲ متر بود که نشان دهنده ارتباط مکانی بالا بین الگوهای پراکنش عملکرد دانه و محتوای سیلت خاک می‌باشد (شکل ۹). کراس سمی واریوگرام برآزش داده شده بین عملکرد دانه گندم و عکس محتوای شن خاک در دامنه ۵/۳ متر ۷۸/۶ درصد، همبستگی مکانی بالایی داشت، به عبارت دیگر، عملکرد پایین‌تر گندم در نقاطی از مزرعه مشاهده شد که محتوای شن خاک بالاتر بود (شکل ۹).

هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی که با هدف ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های خاک انجام شد، عملکرد دانه یولاف، همبستگی مکانی منفی با محتوای شن خاک و همبستگی مکانی مثبت با محتوای سیلت خاک داشت (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش دیگری، عملکرد دانه ذرت، همبستگی مکانی منفی و بالایی با محتوای رس و شن خاک داشت، در حالی که عملکرد



شکل ۸- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و اسیدیته خاک (راست) و عملکرد دانه و محتوای رس خاک (چپ)

Fig. 8. Spherical cross-semivariogram models between grain yield of wheat and soil pH (right) and soil clay (left) content



شکل ۹- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای سیلت خاک (راست) و عملکرد دانه و عکس محتوای شن خاک (چپ)

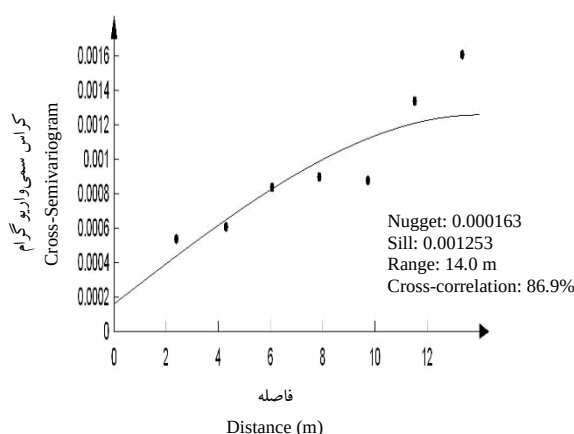
Fig. 9. Spherical cross-semivariogram models between grain yield of wheat and soil silt (right) and reverse soil sand (left) content

با ترسیم کراس سمی‌واریوگرام‌ها، میزان همبستگی مکانی بین عملکرد دانه گندم و تراکم علف هرز جودره، مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌های کروی بر داده‌های علف هرز و عملکرد دانه گندم در مزرعه برازش داده شدند. تجزیه کراس سمی‌واریوگرام بین علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم نشان داد که بین

دانه همبستگی مکانی مثبت و بالایی با محتوای سیلت خاک داشت (Awe et al., 2020). بافت خاک ضمن نقش مستقیم آن در نگهداری رطوبت، با بهبود جذب عناصر غذایی، یکی از عوامل ایجاد کننده تغییرات مکانی رشد و عملکرد دانه گندم محسوب می‌شود (Moradi Kalbolandi, 2020).

الگوهای پراکنش این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد. میزان همبستگی مکانی بین علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم ۸۶/۹ درصد و در دامنه ۱۴/۰ متر بود که نشان

دهنده ارتباط معکوس مکانی بالا بین الگوهای پراکنش جمعیت علف هرز و عملکرد دانه می‌باشد (شکل ۱۰). به عبارت دیگر، نقاط با تراکم بالای علف هرز با نقاط عملکرد دانه پایین گندم، کاملاً مطابقت دارند.



شکل ۱۰- مدل کروی کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم

Fig. 10. Spherical cross-semivariogram model between plant density of wild barley density and reverse grain yield of wheat

با مقایسه نقشه‌های پراکنش عملکرد دانه گندم و علف هرز جودره می‌توان دریافت نقاطی از مزرعه که عملکرد دانه گندم بیشتر بود، غالباً منطبق بر نقاطی بود که تراکم علف هرز دارای کمترین مقدار بوده و یا اصلاً علف هرز جودره وجود نداشته است (شکل ۴). این موضوع نشان دهنده وجود یک رابطه معکوس بین تراکم علف هرز جودره با عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه است. به نظر می‌رسد که در نقاطی که علف هرز وجود نداشته و یا تراکم آن پایین بوده، فراهمی عناصر غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها بیشتر بوده و باعث افزایش عملکرد دانه گندم در آن نقاط شده است. در همین رابطه، نتایج یک آزمایش نشان داد که الگوهای پراکنش جمعیت علف‌های هرز به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر عملکرد زیستی گندم منطبق بودند و میزان تطابق مکانی بین این دو متغیر ۷۵/۸۹ درصد بود. بین زیست‌توده

علف‌های هرز و عکس عملکرد زیستی گندم همبستگی مکانی نسبتاً بالایی (۶۲/۵ درصد) وجود داشت (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایش دیگری که با هدف ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه مربوط به وزن خشک علف‌های هرز و تطبیق آن با نقشه عملکرد دانه عدس نشان داد که در نقاطی که دارای بیشترین مقدار وزن خشک علف‌های هرز بودند، کمترین عملکرد دانه عدس نیز به دست آمد (Zargarian et al., 2020). ضرایب همبستگی اسپیرمن (جدول ۵) نشان داد که عملکرد دانه گندم، همبستگی منفی و معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) با تراکم علف هرز جودره داشت ($r = -0.42^{**}$). در همین رابطه در آزمایشی که روی زعفران انجام شد، بین تراکم علف‌های هرز در پایان فصل رشد و وزن زیست‌توده زعفران، همبستگی منفی ۰/۷۸- تا ۰/۵۲- درصد وجود داشت و افزایش

تراکم علف هرز باعث کاهش عملکرد زیست توده زعفران شد (Makarjian and Abbasdokht, 2014).

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که پراکنش علف هرز جودره در مزرعه به صورت طبیعی و یا تصادفی نبود، بلکه پراکنش آن به صورت لکه‌هایی با ابعاد و اشکال مختلف بود و در مراکز لکه‌ها تراکم آن بیشتر بود. همبستگی مکانی متوسط و دامنه تأثیر بالای علف هرز جودره نشان دهنده وجود لکه‌های بزرگ آن در مزرعه بود. نتایج کراس سمی واریوگرام نشان داد که علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود و در نقاطی که حاوی رس و پتاسیم کمتری بودند، تراکم بیشتری داشت. ضرایب همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که علف هرز جودره همبستگی مثبت و معنی‌داری با محتوای فسفر خاک داشت. کراس سمی واریوگرام برازش داده شده بر داده‌های عملکرد دانه و ویژگی‌های خاک نشان داد که

عملکرد دانه گندم دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، رس، سیلت و اسیدیته خاک بود. عملکرد پایین‌تر دانه گندم غالباً در نقاطی از مزرعه مشاهده شد که محتوای شن بالاتری داشتند. نتایج کراس سمی واریوگرام، برآورد ضرایب همبستگی اسپیرمن و مقایسه نقشه‌ها، نشان دهنده رابطه معکوس عملکرد دانه گندم با علف هرز جودره در مزرعه بود. در نقاط با تراکم بالای علف هرز، رقابت بر سر منابع محیطی مشترک باعث کاهش فتوسنتز و کاهش عملکرد گیاه زراعی به صورت لکه‌ای می‌شود. براساس نتایج این تحقیق، علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود، درحالی‌که عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، رس، سیلت و اسیدیته خاک داشت، بنابراین در زراعت گندم، مدیریت متناسب با مکان کودی می‌تواند در کنترل علف هرز جودره مؤثر باشد.

References

منابع مورد استفاده

- Ali, A., Martelli, R., Lupia, F. and Barbanti, L. 2019. Assessing multiple years' spatial variability of crop yields using satellite vegetation indices. *Remote Sensing*, 11, pp.2384. <https://doi.org/10.3390/rs11202384>
- Alimoradi, L. 2010. Weed community structure in response to crop rotation and soil microclimatic conditions. PhD Dissertation, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Awe, G. O., Nurudeen, O. O., Amiola, A. A., Ojeniyi, G. D. and Tutuola, T. B. 2018. Geostatistical evaluation of spatial variability of selected soil physical properties under different crops in Ado Ekiti, Nigeria. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 3(1), pp.1-16. <https://doi.org/10.9734/AJSSPN/2018/41181>
- Awe, G. O., Nurudeen, O. O., Ogunleye, K. S. and Ayodele, A. A. 2020. Geo-multivariate analysis of crop yield and soil properties of student's industrial training farm in Ado Ekiti, Southwest Nigeria. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(7), pp.903-918. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1767773>
- Bastiaans, L., Kropff, M. J., Goudriaan, J. and van Laar, H. H. 2000. Design of weed management systems with a reduced reliance on herbicides poses new challenges and prerequisites for modeling crop-weed interactions. *Field Crops Research*, 67, pp.161-179. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00091-5)
- Calha, I. M., Sousa, E. and Gonzalez-Andujar, J. L. 2014. Infestation maps and spatial stability of main weed

- species in maize culture. *Planta Daninha*, 32(2), pp.275-282. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200004>
- Cardina, J., Sparrow, D. H. and McCoy, E. L. 1996.** Spatial relationships between seedbank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. *Weed Science*, 44, pp.298-308. <https://doi.org/10.1017/S0043174500093929>
- Colbach, N., Forcella, F. and Johnson, G. A. 2000.** Spatial and temporal stability of weed populations over five years. *Weed Science*, 48, pp.366-377. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0366:SATSOW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0366:SATSOW]2.0.CO;2)
- Cui, B., Huang, W., Song, X., Ye, H. and Dong, Y. 2017.** Study the spatial-temporal variation of wheat growth under different site-specific nitrogen fertilization approaches. *In: Proceedings of the International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*, Jilin, China, 12-15 August 2017; Li, D., Zhao, C. (Eds.), Springer: Beijing, China. pp.316-332. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-06137>
- Gehlot, Y., Aakash, Gallani, R., Jadon, P., Singh, V., Kamle, S., Kamle, R. and Mandloi, S. 2023.** Spatial variability of soil macronutrients and chemical properties in Ujjain Tehsil of Ujjain District of Madhya Pradesh, India. *International Journal of Plant and Soil Science*, 35(21), pp.325-335. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i213980>
- Hausherr Luder, R. M., Qin, R., Richner, W., Stamp, P. and Noulas, C. 2018.** Spatial variability of selected soil properties and its impact on the grain yield of oats (*Avena sativa* L.) in small fields. *Journal of Plant Nutrition*, 41(19), pp.2446-2469. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1527935>
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. 1989.** An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press. New York. USA.
- Jamieson, P. D., Porter, J. R. and Wilson, D. R. 1991.** A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Fields Crops Research*, 27, pp.337-350. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3)
- Jurado-Exposito, M., Lopez-Granados, F., Garcia-Torres, L., Garcia-Ferrer, A., Sanches de La Orden, M. and Atenciano, S. 2003.** Multi-species weed spatial variability and sitespecific management maps in cultivated sunflower. *Weed Science*, 51, pp.319-328. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0319:MWSVAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0319:MWSVAS]2.0.CO;2)
- Jurado-Expósito, M., de Castro, A. I., Torres-Sánchez, J., Jiménez-Brenes, F. M. and López-Granados, F. 2019.** *Papaver rhoeas* L. mapping with cokriging using UAV Imagery. *Precision Agriculture*, 20, pp.1045-1067. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09635-z>
- Jurado-Expósito, M., López-Granados, F., Jiménez-Brenes, F. M. and Torres-Sánchez, J. 2021.** Monitoring the spatial variability of knapweed (*Centaurea diluta* Aiton) in wheat crops using geostatistics and UAV imagery: probability maps for risk assessment in site-specific control. *Agronomy*, 11, pp.880. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050880>
- Kalivas, D. P., Vlachos, C. E., Economou, G. and Dimou, P. 2012.** Regional mapping of perennial weeds in

- cotton with the use of geostatistics. *Weed Science*, 60, pp.233-243. <https://dx.doi.org/10.1614/WS-D-11-00121.1>
- Karami, A. and Afzalnia, S. 2018.** Relationship between spatial variability pattern of wheat yield and soil properties. *Asian Soil Research Journal*, 1(1), pp.1-14. <https://doi.org/10.9734/ASRJ/2018/41463>
- Lipiec, J. and Usowicz, B. 2018.** Spatial relationships among cereal yields and selected soil physical and chemical properties. *Science of the Total Environment*, 633, pp.1579-1590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.277>
- Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., He, P., Lei, Q. and Liang, G. 2014.** A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields in South China. *Geoderma*, 235-236, pp.39-47. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.027>
- Lousada, L. L., Freitas, S. P., Marciano, C. R., Esteves, B. S., Muniz, R. A. and Siqueira, D. P. 2013.** Correlation of soil properties with weed occurrence in sugarcane areas. *Planta Daninha*, 31(4), pp.765-775. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000400002>
- Makarian, H. and Hosseini, R. S. 2011.** Spatial distribution of weeds and its effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) biomass. *Crop Production*, 3(4), pp.31-47. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.2008739.1389.3.4.3.4
- Makarian, H. and Abbasdokht, H. 2014.** Effects of different weed management methods on spatial and temporal dynamic of weed populations and saffron above ground biomass. *Journal of Plant Production Research*, 21(2), pp.107-124. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23222050.1393.21.2.6.8
- Mohammadi, J. 2002.** Spatial variability of soil fertility, wheat yield and weed density in a one hectare field in Shahre Kord. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4, pp.83-92. DOR: 20.1001.1.16807073.2002.4.1.7.7
- Moradi Kalbolandi, M. 2020.** The study of effective factors on the heterogeneity of spatial distribution of winter wheat yield using geostatistic and remote sensing methods. MSc Thesis in Agroecology, Shahrood University of Technology. [In Persian].
- Nyéki, A., Daróczy, B., Kerepesi, C., Neményi, M. and Kovács, A. J. 2022.** Spatial variability of soil properties and its effect on maize yields within field—a case study in Hungary. *Agronomy*, 12, pp.395. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020395>
- Park, S. E., Benjamin, L. R. and Watkinson, A. R. 2003.** The theory and application of plant competition models: an agronomic perspective. *Annals of Botany*, 92, pp.741-748. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg204>
- Pätzold, S., Hbirkou, C., Dicke, D., Gerhards, R. and Welp, G. 2020.** Linking weed patterns with soil properties: a long-term case study. *Precision Agriculture*, 21, pp.569-588. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09682-6>
- Paz, J. O., Batchelor, W. D., Tylka, G. L. and Hartzler, R. G. 2001.** A modeling approach to quantifying the effects of spatial soybean yield limiting factors. *Transactions of the ASAE*, 44(5), pp.1329-1344. <https://doi.org/10.13031/2013.6423>

- Sidorova, V. A., Zhukovskii, E. E., Lekomtsev, P. V. and Yakushev, V. V. 2012.** Geostatistical analysis of the soil and crop parameters in a field experiment on precision agriculture. *Eurasian Soil Science*, 45(8), pp.783-792. <https://doi.org/10.1134/S1064229312080066>
- Steiner, J. L., Briske, D. D., Brown, D. P. and Rottler, C. M. 2018.** Vulnerability of Southern Plains agriculture to climate change. *Climatic Change*, 146, pp.201-218. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1965-5>
- Yasrebi, J., Saffari, M., Fathi, H., Karimian, N., Emadi, M. and Baghernejad, M. 2008.** Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. *Journal of Applied Sciences*, 8, pp.1642-1650. <https://doi.org/10.3923/jas.2008.1642.1650>
- Zargarian, N., Bagheri, A. R., Nosrati, I. and Mondani, F. 2020.** Evaluation of the effect of spatial distribution of weeds on seed yield of lentil (*Lens culinaris* L.) in rainfed conditions. *Iran Journal of Crop Sciences*, 22(2), pp.140-151. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/abj.22.2.140>
- Zhang, R. X., Zhang, J. F., Li, T. and Hu, H. 2023.** Spatial variability of potato yield based on Fourier transform. *Applied Ecology and Environmental Research*, 21(2), pp.1331-1359. https://dx.doi.org/10.15666/aeer/2102_13311359