

تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک و تأثیر آن بر عملکرد گندم در کشتزارهای دیم استان زنجان

علی‌رضا واعظی^{۱*}، فاطمه بابایی^۱، حدیثه صفی‌لو^۱

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی vaezi.alireza@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰

DOI: [10.30470/jsp.2025.735596](https://doi.org/10.30470/jsp.2025.735596)

چکیده

تغییر در ویژگی‌های خاک می‌تواند باعث تفاوت در رشد گیاه و عملکرد آن شود. چنین تغییراتی ممکن است از الگوهای تصادفی یا مکانی پیروی کنند. تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاه را می‌توان با استفاده از فن زمین‌آمار بررسی کرد. اطلاعات در این موضوع در کشتزارهای دیم گندم در منطقه نیمه‌خشک محدود است. این پژوهش در ۸۴ کشتزار دیم گندم با محدوده شیب صفر تا ۲ درصد در استان زنجان انجام شد. عملکرد دانه گندم همراه با ویژگی‌های خاک (توزیع اندازه ذرات، واکنش، شوری، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی و آهک) بررسی شدند. از ابزار تغییرنا برای بررسی الگوی تغییرات مکانی استفاده شد و روش کریجینگ برای میان‌یابی مکانی متغیرها به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم در کشتزارهای منطقه از ۶۶۰ تا ۱۵۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال تغییر می‌کند. شوری مهمترین ویژگی خاک در کاهش عملکرد دانه گندم در کشتزارهای دیم استان است. عملکرد دانه گندم در منطقه دارای تغییرات مکانی قوی بود و مدل آن از تابع کروی پیروی نمود. در میان ویژگی‌های خاک تنها سنگریزه، آهک و ظرفیت تبادل کاتیونی از الگوی تغییرات مکانی پیروی کردند. این پژوهش نشان داد که اگرچه شوری خاک در تغییرات عملکرد گندم در کشتزارهای دیم مؤثر است اما نمی‌توان از آن در بروارد تغییرات مکانی عملکرد گندم در استان بهره گرفت. بر این اساس مدیریت مصرف کودهای شیمیایی برای جلوگیری از اثر منفی شوری در کشتزارهای دیم ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات تصادفی، زمین‌آمار، شوری، کریجینگ، منطقه نیمه‌خشک

Spatial variations of soil properties and their effects on wheat yield in rainfed lands in Zanjan province

A.R. Vaezi^{1*}, F. Babaei¹, H. Safiloo¹

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*Corresponding Author, Email: vaezi.alireza@gmail.com

Received: September 2025 Accepted: December 2025

DOI: [10.30470/jsp.2025.735596](https://doi.org/10.30470/jsp.2025.735596)

Abstract

Variation in soil properties can cause difference in plant growth and crop yield. Such these variations may follow random or spatial patterns. Spatial variations in soil properties and crop yield can be investigated using the geostatistics technique. There are a little information on this topic rainfed wheat fields in the semi-arid region. This study was conducted in eighty four rainfed lands with a slope range from 0-2 % in Zanjan province. Soil properties (particle size distribution, pH, salinity, cation exchange capacity, organic matter, and lime) were investigated along with wheat grain yield in rainfed lands. The geostatistics technique was used to determine spatial variation patterns of variables and the spatial interpolation was computed using the kriging method. The results indicated that wheat grain yield in the rainfed lands varies from 660 to 1520 kg per hectare. Salinity was the most important soil variable determining wheat grain yields in rainfed lands. Wheat grain yield followed from a strongly spatial variation pattern and was modeled as the spherical function. Gravel, cation exchange capacity and lime appeared spatial variation pattern among all soil variables. This study showed that despite soil salinity is a main factor determining wheat grain yield, it can't be used to estimate spatial variation of wheat grain yield in the rainfed lands. Managing the use of chemical fertilizers is essential to prevent the negative effects of salinity in rainfed fields.

Keywords: Geostatistics, Random variation, Salinity, Kriging, Semi-arid region

مقدمه

(Mohammad Zamani et al., 2007) نشان داد که الگو و وابستگی مکانی متغیرهای خاک و محصول حتی در یک مزرعه که تحت مدیریت معین قرار دارد می‌تواند در مقیاس‌های مختلف متفاوت باشد. سعدی‌نژاد و همکاران (Sadinezhad et al., 2014) با بررسی تغییرات مقادیر عناصر مس و منگنز در مزارع گندم استان خوزستان نشان دادند که با استفاده از روش‌های مکانی می‌توان مقادیر مناسب مصرف کود را در مزارع تعیین کرد. تقی‌زاده و سرمدیان (Taghizadeh and Sarmadiyan, 2016) عملکرد گندم را در استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که مدل برنامه‌ریزی ژنتیک مناسب‌ترین روش برای تعیین تغییرات مکانی عملکرد گندم در منطقه است. در پژوهشی دیاکونو و همکاران (Diacono et al., 2012) تغییرپذیری مکانی و زمانی عملکرد گندم و کیفیت آن را در منطقه مدیترانه مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که روش ترکیبی آمار کلاسیک و زمین آمار می‌تواند شیوه‌ای مناسب برای پهنه‌بندی عملکرد گندم بوده و در مدیریت ویژه مکانی در مزرعه سودمند باشد. در مطالعه‌ای گولسر و همکاران (Gülser et al., 2016) نشان دادند که تغییر در برخی ویژگی‌های خاک به ویژه توزیع اندازه ذرات معدنی موجب تغییر اساسی در سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند چگالی ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود. مقادیر این ویژگی‌های خاک به نوبه خود تحت تأثیر شیوه‌های مدیریتی مانند شخم است و بر نقاط رطوبتی مانند ظرفیت نگهداری آب اثر می‌گذارد. مطالعات لپیچ و اوسوویز (Lipiec and Usowicz, 2018) نشان داد که عملکرد غلاتی مانند جو و تریتیکاله تحت تأثیر مثبت مقادیر رس، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای آب خاک و تحت تأثیر منفی چگالی ظاهری خاک است. الگوی تغییرات مکانی این محصولات نیز هماهنگ با الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک مؤثر بر آن بود. اوریب-اوپازو و همکاران (Uribe-Opazo et al., 2023) از الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم برای بررسی

خاک یکی از ویژگی‌های محیطی مهم مؤثر بر عملکرد محصول در کشتزارها است. رشد و نمو گیاه و عملکرد محصول تحت تأثیر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است. تغییر در مقادیر این ویژگی‌های خاک می‌تواند موجب تفاوت در رشد و نمو گیاه و در نتیجه عملکرد محصول شود. تغییرات ویژگی‌های خاک می‌تواند از الگوی تصادفی و یا الگوی مکانی پیروی کند. در الگوی تصادفی، پیش بینی مقادیر ویژگی خاک در نقاط مجهول با استفاده از شیوه‌های آمار کلاسیک فراهم است؛ در حالی که در الگوی مکانی، از فن زمین آمار و از شیوه‌های مهم میان‌یابی مانند کریجینگ و کوکریجینگ برای بررسی و برآورد مقادیر متغیر در نقاط مجهول استفاده می‌شود. در الگوی مکانی علت تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک وجود برهم‌کنش پیچیده‌ای از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و الگوهای کاربری زمین است (Peukert et al., 2012). اصل همبستگی مکانی نیز نشان می‌دهد که خاک‌های واقع در مجاورت هم از حداکثر شباهت برخوردار هستند و با افزایش فاصله از شباهت آنها کاسته می‌شود (Mohammadi, 2006). تغییرات مکانی در مقیاس‌های مختلفی رخ می‌دهند (Webster and Oliver, 2007). اطلاع از الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک می‌تواند راهگشای انجام مدیریت صحیح و پیشرفته اراضی در راستای بهره‌برداری اصولی از خاک باشد (Miao et al., 2006). همچنین شناسایی عوامل خاکی به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی اغلب به دلیل اثرات متقابلی که بین آنها وجود دارد، فرآیند پیچیده‌ای است. بنابراین برای افزایش کارایی برنامه‌های مدیریت اراضی، باید تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و نقش آن را در عملکرد محصول مورد توجه قرار داد (Yemefack et al., 2005). مطالعات مختلفی تاکنون در زمینه کاربرد روش‌های مختلف میان‌یابی و برآورد مکانی ویژگی‌های خاک صورت گرفته است. یافته‌های محمدزمانی و همکاران

این پژوهش در کشتزارهای دیم گندم در استان زنجان انجام شد. استان زنجان یکی از نواحی اقلیمی نیمه‌خشک در شمال غرب ایران است که دارای حدود ۳۱۰ هزار هکتار کشتزار دیم گندم است. عملکرد دانه گندم در این کشتزارها از یک تا نزدیک دو تن در هکتار در سال تغییر می‌کند. متوسط بارندگی منطقه ۳۲۳ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد بوده و اقلیم آن بر اساس روش آمبرژه، نیمه‌خشک سرد است (Vaezi et al., 2017). برای رفع نقش شیب در عملکرد محصول سعی شد کشتزارهای دیم واقع در شیب معین مورد توجه قرار گیرد. در این راستا کشتزارهای دیمی که در محدوده شیب اندک (صفر تا ۲ درصد) واقع بودند و در یک سال قبل تحت آیش بودند، مد نظر قرار گرفتند و در نهایت ۸۴ کشتزار تحت کشت دیم گندم انتخاب شد. مختصات جغرافیایی هر کشتزار با سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شدند. در شکل ۱ موقعیت نقاط مطالعاتی بر روی تصویر ماهواره‌ای استان زنجان نشان داده شده است.

تعیین عملکرد گندم در کشتزارها

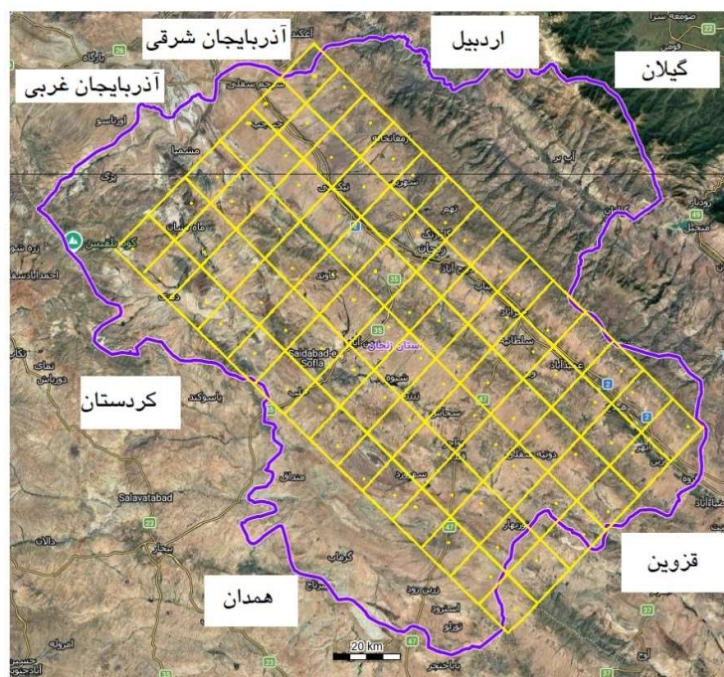
در اواسط تیرماه هم‌زمان با رسیدن محصول گندم در کشتزارهای دیم منطقه به کشتزارهای مطالعاتی مراجعه شد و هر کشتزار دیم، سه مکان (بالادست، میان دست، پایین دست شیب) برای نمونه‌برداری گیاه به‌طور تصادفی انتخاب شد. برای نمونه‌برداری گیاه از یک پلات چوبی یک متر × یک متر (McClellan et al., 2012) استفاده شد و تعداد بوته‌ها در واحد سطح (یک مترمربع) شمارش و سپس تمام خوشه‌های گندم موجود در پلات برداشت شد. بوته‌های گندم برداشت شده از هر کشتزار به آزمایشگاه منتقل و بعد از ۲۴ ساعت خشک شدن در دمای اتاق، وزن تر آنها تعیین شد، سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و وزن خشک آنها بدست آمد.

تغییرات مکانی عملکرد گندم استفاده کردند و نشان دادند که عملکرد گندم را می‌توان با استفاده از مدل خطی گوسی کمی کرد.

کشتزارهای دیم یکی از منابع مهم تولید مواد غذایی به ویژه غلات در سراسر کره زمین به شمار می‌آیند. مناطق نیمه‌خشک یکی از نواحی مهم اقلیمی در گسترش کشتزارهای دیم در ایران هستند. این مناطق حدود ۲۰ درصد از پهنه ایران را شامل می‌شوند. حدود چهار میلیون هکتار از سطح ایران را کشتزارهای دیم دربرگرفته‌اند. خاک کشتزارها در این مناطق غالباً محتوای ماده آلی کمتری (زیر یک درصد) دارد اما از کربنات‌های فراوانی از جمله کربنات کلسیم برخوردار بوده و غالباً آهکی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در این نواحی، آهک در کنار ماده آلی از عوامل مهم مؤثر بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ساختمان بوده (Vaezi et al., 2008) و بر جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند فسفر و عناصر کم‌مصرف اثر می‌گذارد (Dalal and Bridge, 2020). گاهی حضور آهک در خاک منجر به ایجاد مشکلات تغذیه‌ای گیاه از طریق کاهش قابلیت دسترسی برخی از عناصر از جمله فسفر (McBeath et al., 2005)، روی (Cakmak, 2008)، آهن (Ghasemi-Fasaei and Ronaghi, 2008) برای گیاه می‌گردد. از این رو آهک موجود در توده خاک به عنوان عامل تعیین کننده محصول در چنین کشتزارهایی است (Vaezi and Bahrami, 2008). بررسی چگونگی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک در کشتزارهای دیم و تأثیر آن بر عملکرد گندم می‌تواند در برآورد عملکرد محصول سودمند باشد. از این رو این پژوهش به منظور بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک و تأثیر آن بر عملکرد گندم در کشتزارهای دیم این منطقه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

کشتزارهای گندم مورد بررسی



شکل ۱- موقعیت نقاط مطالعاتی بر روی تصویر ماهواره‌ای استان زنجان

خروج آب ثقلی تعیین شد. مقدار آب قابل دسترس (AWC) از تفاوت رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم محاسبه شد. برای اندازه‌گیری pH خاک ابتدا گل اشباع تهیه شد، سپس با استفاده از دستگاه pH متر خاک‌ها قرائت گردید (McLean, 1982). همچنین درجه شوری خاک یا EC در عصاره گل اشباع توسط دستگاه EC سنج اندازه‌گیری شد. ماده آلی با روش والکی و بلاک (Walkley and Black., 1934)، کربنات کلسیم معادل خاک (ECC) به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک نرمال (Jackson, 1967)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از روش باور (Bower et al., 1952) نسبت جذب سدیمی یا SAR با استفاده از اندازه‌گیری سدیم تبدالی خاک به وسیله دستگاه فلیم فوتومتر در عصاره به دست آمده با استات آمونیوم یک نرمال (Page et al., 1992) تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از شیوه ماتریس همبستگی برای تعیین ارتباط بین عملکرد دانه گندم و هر یک از ویژگی‌های خاک استفاده شد. با استفاده از مختصات مکانی کشتزارها و با

نمونه‌برداری خاک و تعیین ویژگی‌های خاک کشتزارها با مراجعه به کشتزارها، سه نمونه خاک از پیرامون پلات‌ها به صورت دست‌نخورده با استفاده از سیلندر فلزی با قطر ۴/۸۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۵/۲۶ سانتی‌متر از خاک سطحی تهیه شد. سه نمونه خاک دست‌نخورده نیز با استفاده از بیلچه از نقاط مذکور از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد. در مجموع ۲۵۲ نمونه خاک دست‌خورده و ۲۵۲ نمونه خاک دست‌نخورده تهیه شد. در نمونه‌های خاک برداشته شده با سیلندر، چگالی ظاهری از نسبت جرم خاک آون خشک به حجم سیلندر به دست آمد. نمونه‌های خاک دست‌خورده نیز در سایه خشک شدند و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شدند. در خاک نرم، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Gee and Or, 2002)، رطوبت اشباع در نمونه گل اشباع از نسبت جرم آب به جرم خاک به دست آمد. رطوبت حد پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از دستگاه غشای فشاری با اعمال مکش ۱۵ بار (Klute and Dirksen, 1986)، رطوبت ظرفیت مزرعه یا FC به روش مزرعه‌ای با غرقاب کردن کرت و اندازه‌گیری رطوبت جرمی خاک سطحی پس از

بهره‌مندی از فن زمین‌آمار، تغییرپذیری عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور، تغییرنمای هر یک از ویژگی‌های مذکور تعیین شدند. مشخصات تغییرنما شامل اثر قطعه‌ای (C0)، آستانه (C)، شعاع تأثیر و ضریب تعیین (R^2) شدند. درجه تغییرات مکانی با استفاده از شاخص اثر قطعه‌ای نسبی (نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه) یا C0/C تعیین شدند. دقت مدل‌های برازشی بر تغییرنمای عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین (R^2) و ریشه مربعات خطا (RSS) تعیین شد.

نتایج و بحث

عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزارهای گندم دیم در استان زنجان در جدول ۱ ارائه شده‌اند. عملکرد دانه گندم دیم از ۶۶۰ تا ۱۵۲۰ کیلوگرم در هکتار در کشتزارها تغییر می‌کند و به‌طور میانگین ۱۰۲۷/۱۰ کیلوگرم در هکتار بوده و دارای ضریب تغییرات ۲۹/۳۹ درصد هست. این تغییرات بیانگر تغییرپذیری متوسط عملکرد گندم در کشتزارها است. خاک‌ها غالباً دارای بافت متوسط (لوم رسی)، pH محدوده خنثی تا کمی قلیایی (۷/۶۵)، ماده آلی اندک (۰/۶۱ درصد) با شوری اندک (۲/۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) و آهکی (حدود ۱۹/۶۷ درصد کربنات‌های خنثی‌شونده) هستند. خاک‌ها دارای سنگریزه اندک (حدود ۷ درصد) و از ظرفیت تبادل کاتیونی نسبتاً پایینی (۱۷/۷۸۴) برخوردارند. بررسی ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک کشتزارها نشان داد که واکنش خاک (pH) کمترین مقدار تغییر را میان خاک کشتزارها داشت (حدود ۲ درصد) در حالی که سنگریزه بیشترین تغییرپذیری (حدود ۹۷ درصد) را بین کشتزارها نشان داد (جدول ۱).

تأثیر ویژگی‌های خاک بر عملکرد گندم

جدول ۲ ضرایب همبستگی پیرسون میان عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک کشتزارها را نشان می‌دهد. نتایج

نشان دادند که همبستگی معنی‌داری میان عملکرد دانه گندم و اغلب ویژگی‌های خاک وجود ندارد و تنها عملکرد دانه گندم دیم با مقدار هدایت الکتریکی دارای همبستگی معنی‌دار ($r=-0/23, P<0/05$) است که بیانگر نقش کاهش شوری خاک در عملکرد گندم در کشتزارهای دیم است. این موضوع می‌تواند به نقش منفی شوری در پتانسیل آب خاک و در نتیجه فراهمی آب برای ریشه گندم در شرایط دیم باشد. این ویژگی خاک بر فعالیت موجودات زنده خاک و محتوای ماده آلی نیز اثر می‌گذارد. در برخی از پژوهش‌ها به نقش شوری در کاهش فعالیت جانداران خاک و افت تنوع زیستی خاک و کاهش ماده آلی (Chen et al., 2022; Zhou et al., 2025) تأکید شده است. نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان می‌دهد خاک‌های با مقدار آهک بیشتر از درجه شوری بالاتری نسبت به سایر خاک‌ها برخوردارند. این ویژگی خاک همچنین بر نقاط مهم رطوبتی خاک کشتزارها (PWP و FC) مؤثر است. با این وجود برخلاف درجه شوری خاک، مقدار آهک نقش مستقیمی در مقدار عملکرد گندم در کشتزارها دیم منطقه ندارد.

نتایج همچنین نشان می‌دهد که همبستگی مثبتی میان درجه شوری خاک و درصد رس ($r=0/22, p<0/05$) وجود دارد (جدول ۲). به عبارت دیگر، خاک‌های حاوی ذرات رس بیشتر از درجه شوری زیادتری هم برخوردارند. این موضوع به دلیل نقش رس در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و حفظ ذخایر کاتیونی در خاک است. برخلاف نتایج این پژوهش، در پژوهشی رومانیکاس و هکاران (Romaneckas et al., 2023) نشان دادند که میان هدایت الکتریکی خاک و درصد رس رابطه‌ای معنی‌دار وجود ندارد بلکه محتوای شن و سیلت نقشی تعیین‌کننده در این ویژگی خاک دارند. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در کشتزارهای دارای شوری نسبتاً زیاد، پتانسیل اسمزی خاک در کنار پتانسیل ماتریک نقشی اساسی در کاهش رشد و نمو گیاه و افت عملکرد گندم دارد. در مطالعه‌ای مک‌دونالد

جدول ۳ ویژگی‌های نیم‌تغییرنمای عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک کشتزارهای گندم دیم را در استان زنجان نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز نیم‌تغییرنمای هر چهار متغیر مذکور را نشان می‌دهد. برآزش مدل‌های مختلف بر تغییرات مکانی عملکرد گندم نشان داد که الگوی تغییرات مکانی میزان عملکرد دانه به صورت کروی با $R^2 = 0.76$ و $RSS = 34.54 \times 10^6$ است. بر اساس مقادیر به دست آمده برای اثر قطعه‌ای نسبی، عملکرد دانه گندم دارای وابستگی مکانی قوی ($C0/C = 0.15$) است. برخلاف این نتیجه، لپیچ و همکاران (Lipiec and Usowicz, 2018) با بررسی روابط مکانی عملکرد غلات و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نشان دادند که اغلب ویژگی‌های خاک و عملکرد محصولات تغییرپذیری مکانی ضعیف و متوسط دارند. در میان ویژگی‌های خاک کشتزارها تنها درصد سنگریزه، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی از الگوی ساختار مکانی قوی (Cambardella et al., 1994) پیروی کردند. تغییرات مکانی کربنات کلسیم از مدل کروی به ترتیب با ضرایب تبیین 0.81 و 0.80 تبعیت کرد در حالی که مدل نمایی مناسبترین مدل برای بیان شیوه تغییرات مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در کشتزارهای استان بود. تفاوت در تغییرپذیری مکانی این ویژگی‌ها خاک را می‌توان به عوامل ذاتی (مانند فرآیندهای تشکیل خاک) و همچنین عوامل غیرذاتی (مانند فعالیت‌های انسانی) نسبت داد (Delbari et al., 2019). برخی پژوهشگران نیز مدل کروی را بهترین مدل توجیه کننده تغییرات مکانی ویژگی‌هایی مانند درصد سنگریزه خاک بیان کردند (Hosseini et al., 2014). با این وجود، یافته‌های برخی محققان نشان می‌دهد که الگوی نمایی مناسبترین مدل برای توصیف تغییرات مکانی ویژگی‌هایی مانند کربن آلی، رس، سیلت و ماسه است (Mousavi et al., 2020).

(McDonald., 2006) نشان داد با وجود آن که هدایت الکتریکی در دوره خشک‌سالی (سال ۱۹۹۹) در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به عنوان تنها ویژگی تعیین‌کننده خاک است که با عملکرد دانه گندم ($r = -0.57, p < 0.01$) همبستگی معنی‌دار داشته است. شوری خاک پیرامون ریشه در مرحله اول با کاهش گسترش و ظهور برگ و هدایت روزنه‌ای منجر به کاهش زیتوده هوایی گیاه می‌گردد. در مرحله بعدی با گسترش علائم از اندام هوایی به ریشه، رشد ریشه و اندام هوایی به صورت یک حلقه متصل محدود می‌گردد. در مرحله بعد کارایی بهره‌مندی از تابش و کارایی تعرق گیاه کاهش می‌یابد (Harris et al., 2010). برخی پژوهشگران نیز نقش منفی شوری در کاهش عملکرد محصول را به دلیل تأثیر آن بر شدت فتوسنتز گیاه دانسته‌اند، به طوری که چنانچه هدایت الکتریکی زیاد باشد ظرفیت فتوسنتز گندم دیم کاهش می‌یابد و در نتیجه الگوی مکانی عملکرد گندم و ظرفیت فتوسنتز به شدت تحت تأثیر هدایت الکتریکی خاک قرار دارد (Shi and Xingguo, 2011). همچنین طبق مطالعات باگوازی و همکاران (Bagwasi et al., 2020) شوری بر جوانه‌زنی بذر گیاهانی مانند گندم و جو اثر می‌گذارد، با این وجود جو به غیر از مرحله جوانه‌زنی نسبت به گندم تحمل بیشتری به شوری دارد. سادیک و همکاران (Saddiq et al., 2021) دریافتند که تنش شوری باعث تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بازدارنده در رشد غلات به ویژه گندم می‌شود. با توجه به نقش منفی شوری در عملکرد گندم در کشتزارهای دیم مورد پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت شوری خاک از راه کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای با درجه اسمزی زیاد می‌تواند در افزایش فراهمی آب برای ریشه و بهبود عملکرد گندم سودمند باشد. در مطالعه‌ای طالعی و همکاران (Tallei and Saiidan, 2001) هم نشان دادند که مصرف بیش از حد کودهایی مانند نیتروژن در مزارع دیم باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود.

تغییرات مکانی عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک

جدول ۱. توصیف آماری عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک کشتزارهای دیم گندم در استان زنجان

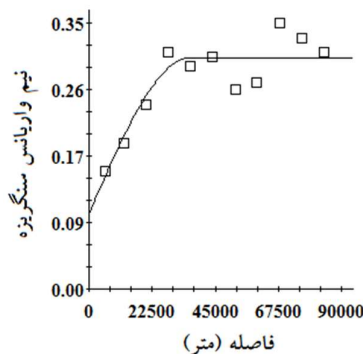
متغیر	میانگین	دامنه تغییر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	کشیدگی	چولگی
Wheat yield (kg/ha.year)	۱۰۲۷/۱	۱۴۳۹/۹۶	۳۰۱/۹	۲۹/۳۹	-۰/۱۳	-۰/۷۵
Sand (%)	۳۳/۲۰	۲۴/۶۷	۱۴/۷۸	۴۴/۱۲	-۰/۲۵	-۰/۲۴
Silt (%)	۲۳/۷۹	۱۳/۵۱	۱۱/۱۴	۴۶/۸۳	-۰/۸۱	-۰/۲۹
Clay (%)	۴۳/۰۱	۵۷/۹۶	۱۵/۰۱	۳۴/۸۹	-۰/۱۰	-۰/۸۲
Gravel (%)	۷/۱۹	۳۱/۵۲	۶/۹۵	۹۶/۶۶	۱/۷۸	۳/۰۲
BD (g/cm ³)	۱/۴۱	-/۴۸	۰/۱۲	۸/۵۱	۱/۴۵	۰/۹۸
θ_s (cm ³ /cm ³)	۰/۴۳	-/۲۵	۰/۰۷	۱۶/۲۸	-۱/۱۹	۰/۶۷
PWP (cm ³ /cm ³)	۰/۱۹	-/۱۹	۰/۰۵	۲۶/۳۲	۰/۴۷	-۰/۴۸
FC (cm ³ /cm ³)	۰/۳۴	-/۵۸	۰/۰۵	۱۴/۷۱	-۰/۸۰	-۰/۶۵
AWC (cm ³ /cm ³)	۰/۱۵	-/۱۶	۰/۰۴	۲۶/۶۶	۰/۰۳	-۰/۶۲
EC (mmohs/cm)	۲/۱۴	۲/۹۴	۸۴۸	۷۲/۷۹	۱/۶۴	۱/۵۸
pH	۷/۶۵	-/۴۸	۰/۱۶	۲/۰۱	-۰/۱۳	-۰/۵۰
OM (%)	۰/۶۱	۱/۱۷	۰/۲۴	۳۹/۳۴	۰/۴۹	۰/۴۲
ECC (%)	۱۹/۶۷	۶۱/۲۷	۸/۷۶	۴۴/۵۳	۰/۳۸	-۰/۵۵
CEC (meq/100grsoil)	۱۷/۷۸۴	۲۲/۰۴	۴/۹۷۸	۲۷/۹۹	۰/۱۲	-۰/۳۸
SAR	۱/۱۹۷	۱۶/۶	۱/۰۹۴	۹۱/۳۹	۲/۸۳	۹/۸۴

BD: جرم مخصوص ظاهری، θ_s : رطوبت اشباع، PWP: حد پژمردگی دائم، FC: رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، AWC: آب قابل دسترس، EC: هدایت الکتریکی، pH واکنش خاک، OM: ماده آلی خاک، ECC: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، SAR: نسبت جذب سدیم.

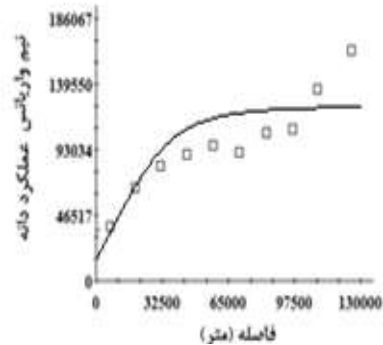
جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد دانه گندم دیم و ویژگی‌های خاک در کشتزارهای دیم در سطح استان زنجان

WGY	SAR	CEC	ECC	OM	EC	pH	AWC	FC	PWP	θS	BD	Gravel	Clay	Silt	Sand	
															۱	Sand
														۱	-۰/۳۷**	Silt
													۱	-۰/۳۰**	-۰/۷۳**	Clay
												۱	-۰/۳۵**	۰/۰۸	-۰/۲۱۰	Gravel
											۱	-۰/۳۹**	-۰/۷۱**	۰/۲۱	۰/۵۳**	BD
										۱	-۰/۹۷**	-۰/۳۹**	-۰/۷۶**	-۰/۲۴	-۰/۶۳**	θS
									۱	-۰/۷۴**	-۰/۶۳**	-۰/۲۸*	۰/۹۲**	-۰/۲۵*	-۰/۶۷**	PWP
								۱	۰/۵۷**	-۰/۶۷**	-۰/۶۶**	-۰/۲۵*	۰/۶۶**	-۰/۱۴	-۰/۵۳**	FC
							۱	۰/۴۲**	-۰/۳۱**	۰/۲۵*	-۰/۳۳**	-۰/۱۱	-۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۳	AWC
						۱	-۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۱۴	-۰/۰۹	۰/۰۴	-۰/۱۱	-۰/۲۱	-۰/۵۱**	pH
					۱	-۰/۰۶	-۰/۱۰	۰/۴۹**	-۰/۶۸**	۰/۵۳**	-۰/۴۴**	۰/۰۰	-۰/۲۷*	-۰/۱۸	-۰/۰۸	EC
				۱	-۰/۱۸	-۰/۰۸	-۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۷	-۰/۱۰	-۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	OM
			۱	۰/۰۶	۰/۵۹**	۰/۱۹	-۰/۰۹	۰/۵۴**	-۰/۶۹**	-۰/۶۳**	-۰/۵۳**	-۰/۰۲	۰/۰۷	-۰/۱۵	-۰/۲۶	ECC
		۱	۰/۸۸**	۰/۰۸	۰/۵۱**	۰/۱۹	-۰/۰۸	۰/۵۱**	-۰/۶۴**	۰/۵۸**	-۰/۴۹**	-۰/۰۱	۰/۱۲	-۰/۰۹	-۰/۲۴*	CEC
	۱	۰/۱۹	۰/۱۹	-۰/۰۹	-۰/۲۳*	۰/۰۶	-۰/۰۷	۰/۰۶	-۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	-۰/۰۹	۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۰۴	SAR
۱	-۰/۱۵	-۰/۰۴	-۰/۰۳	۰/۱۹	-۰/۲۳*	۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۲۲	-۰/۰۴	۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۴	-۰/۱۳	WGY

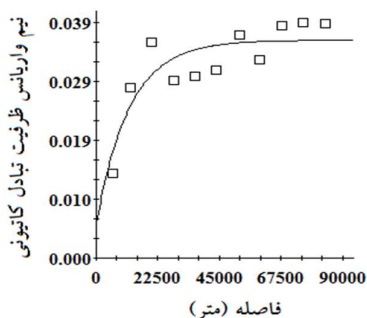
* : معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد ** : معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد



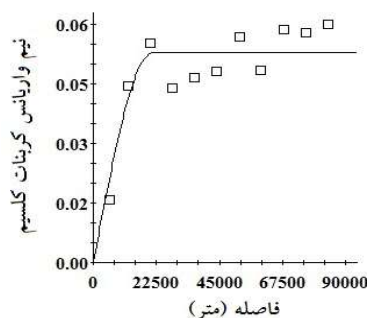
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

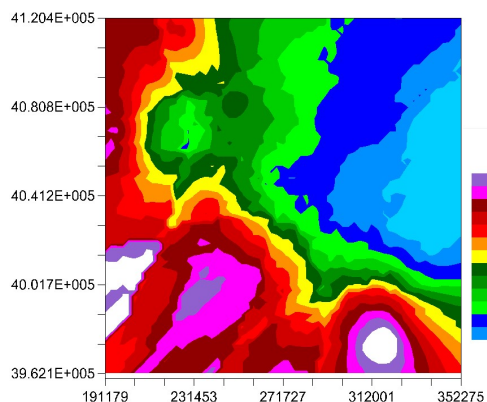
شکل ۲- نیم‌تغییرنمای عملکرد گندم (الف)، سنگریزه (ب)، کربنات کلسیم معادل (ج) ظرفیت تبادل کاتیونی (د) در کشتزارهای دیم گندم

جدول ۳- مشخصات نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد اندازه‌گیری در استان زنجان

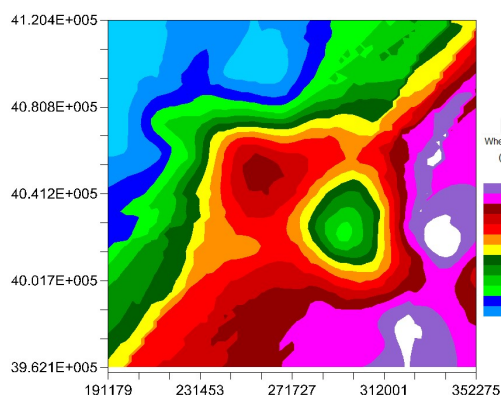
متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	اثر قطعه‌ای نسبی	دامنه تأثیر (متر)	R ²	RSS
Wheat yield	کروی	17825	121034	۰/۱۵	118700	۰/۷۵۶	$۳/۵۴ \times ۱۰^{-۹}$
Sand	کروی	۱۷۶/۴۰	۲۵۱	۰/۷۰	۵۲۵۰۰	۰/۱۵	۱۶۴۵۸
Silt	نمایی	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۵۷	۷۶۵۰۰	۰/۱۹	۰/۰۱
Clay	کروی	۱۷۸/۷۰	۲۵۵/۵۰	۰/۶۹	۶۶۰۰۰	۰/۳۹	۴۴۱۵۲
Gravel	کروی	۰/۰۸	۰/۳۱	۰/۲۵	۵۰۴۰۰	۰/۸۱	$۶/۵۰ \times ۱۰^{-۱۰}$
BD	خطی	۰/۰۲	۰/۰۲	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۱۲۴	$۱/۹۰۷ \times ۱۰^{-۱۰}$
SP	خطی	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۳۰	$۱/۴۷ \times ۱۰^{-۱۰}$
FC	خطی	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۵	$۳/۲۶ \times ۱۰^{-۸}$
AWC	خطی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۱	$۲/۲۱ \times ۱۰^{-۷}$
pH	خطی	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۰۳	$۱/۱۸ \times ۱۰^{-۱۰}$
EC	خطی	۰/۱۹	۰/۱۹	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۰۳	$۸/۵۰ \times ۱۰^{-۱۰}$
OM	خطی	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۵۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۷	$۳/۵۶ \times ۱۰^{-۱۰}$
ECC	کروی	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۱۰}$	۰/۰۶	۰/۰۱	۲۱۲۰۰	۰/۸۰	$۳/۳۸ \times ۱۰^{-۱۰}$
CEC	نمایی	۰/۰۰۶	۰/۰۴	۰/۱۵	۳۶۶۰۰	۰/۷۵	$۱/۳۲ \times ۱۰^{-۱۰}$
SAR	خطی	۰/۱۱	۰/۱۱	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۱	$۳/۱۳ \times ۱۰^{-۱۰}$

کمتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار). در حالی که در بخش‌های جنوب و شرق منطقه؛ عملکرد دانه گندم بیشتر است. برخلاف درصد سنگریزه خاک که در بخش‌های شمال و شرق مقدار کمتری داشت، درصد کربنات کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در این بخش‌ها بیشتر بود.

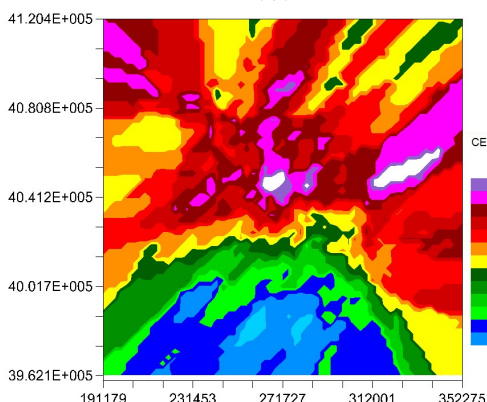
در شکل ۳ نقشه تغییرات مکانی عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک (درصد سنگریزه، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی) نشان داده شده است. توزیع مکانی عملکرد گندم در سطح منطقه مطالعاتی متفاوت از سایر ویژگی‌های خاک می‌باشد. در بخش‌های شمال و غرب منطقه، مقدار عملکرد دانه گندم کمتر است (غالباً



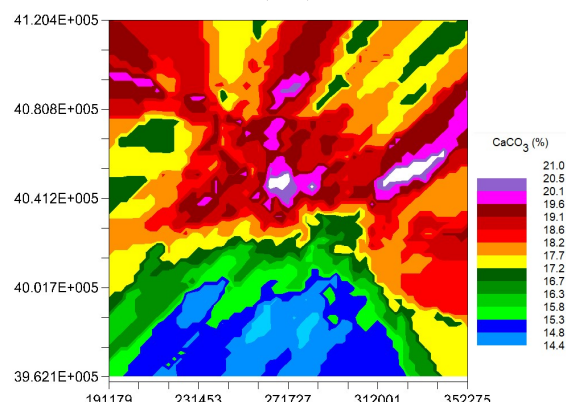
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳- نقشه تغییرات مکانی عملکرد دانه گندم (الف)، سنگریزه (ب)، کربنات کلسیم معادل (ج) و ظرفیت تبادل کاتیونی (د) در کشتزارهای دیم گندم در استان زنجان

نتیجه‌گیری

موضوع به دلیل نقش مهم شوری در شرایط دیم در کاهش انرژی آب و در نتیجه فراهمی آب برای ریشه گیاه است. تغییرات عملکرد دانه گندم در کشتزارهای منطقه با استفاده از تابع کروی مدل شد. در بخش‌های شمال و غرب منطقه، مقدار عملکرد دانه گندم پایین است (کمتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و در بخش‌های جنوب و شرق بیشتر است. در میان متغیرهای خاک تنها درصد سنگریزه، آهک و ظرفیت تبادل کاتیونی از الگوی تغییرات

بررسی تغییرات عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک نشان داد که عملکرد دانه گندم دارای تغییرات زیادی در کشتزارهای منطقه است. تحلیل همبستگی میان عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک نشان داد که به غیر از شوری سایر ویژگی‌های خاک نقش مستقیمی در عملکرد گندم در کشتزارهای دیم ایفا نمی‌کنند. عملکرد دانه گندم در کشتزارهای با درجه شوری بالاتر کمتر است. این

منطقه بهره برد. به نظر می‌رسد مدیریت شوری از راه کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای با درجه اسمزی زیاد می‌تواند در بهبود عملکرد گندم در کشتزارهای دیم سودمند باشد.

مکانی پیروی کردند. با وجود نقش شوری در عملکرد دانه گندم، این ویژگی خاک دارای الگوی تغییرات تصادفی بود. در واقع نمی‌توان از این ویژگی خاک برای پهنه‌بندی تغییرات مکانی عملکرد دانه گندم در کشتزارهای دیم

REFERENCES

- Bagwasi, G., Agenbag, G. A., & Swanepoel, P. A. (2020). Effect of salinity on the germination of wheat and barley in South Africa. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 6(1), 1-7.
- Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil science*, 73(4), 251-262.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302 (1-2), 1-17.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., & Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501-1511.
- Chen, H., Ma, K., Huang, Y., Fu, Q., Qiu, Y., & Yao, Z. (2022). Significant response of microbial community to increased salinity across wetland ecosystems. *Geoderma*, 415, 115778.
- Dalal, R. C., & Bridge, B.J. (2020). Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils. In *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils* (pp. 263-307). CRC Press.
- Delbari, M., Afrasiab, P., Gharabaghi, B., Amiri, M., & Salehian, A. (2019). Spatial variability analysis and mapping of soil physical and chemical attributes in a salt-affected soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 68.
- Diacono, M., Castrignanò, A., Troccoli, A., De Benedetto, D., Basso, B., & Rubino, P. (2012). Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. *Field Crops Research*, 131, 49-62.
- Gee, G.W., & Or, D. (2002). Particle size analysis. In: *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*. Soil science society of America book series, 5, 255-293.
- Ghasemi-Fasaei, R., & Ronaghi, A. (2008). Interaction of iron with copper, zinc, and manganese in wheat as affected by iron and manganese in a calcareous soil: *Journal of Plant Nutrition*, 31(5), 839-848.
- Gülser, C., Ekberli, I., & Candemir, F. (2016). Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(3), 192-200.
- Harris, B.N., Sadras, V.O., & Tester, M. (2010). A water-centred framework to assess the effects of salinity on the growth and yield of wheat and barley. *Plant and Soil*, 336 (1), 377-389.
- Hosseini, S.Z., Kappas, M., Bodaghabadi, M.B., Chahouki, M.A.Z., and Khojasteh, E.R. (2014). Comparison of different geostatistical methods for soil mapping using remote sensing and environmental variables in Poshtkouh rangelands, Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(3), 737-752.
- Jackson, M.L. 1967. Soil chemical analysis. Prentice-Hall of India, Private Limited, New Delhi.
- Kloke-Jenks, M. A., & Hasegawa, P.M. (2008). Plant abiotic stress, Wiley.
- Klute A., and Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute A. (Ed). *Method of Soil Analysis, Part 1. Agronomy Soil Science Society of America* Madison.W.I, 687-734.
- Lipiec, J., & Usowicz, B. (2018). Spatial relationships among cereal yields and selected soil physical and chemical properties. *Science of the Total Environment*, 633, 1579-1590.
- McBeath, T.M., Armstrong, R.A., Lombi, E., McLaughlin, M.J., & Holloway, R.E. (2005). Responsiveness of wheat (*Triticum aestivum*) to liquid and granular phosphorus fertilizers in southern Australian soils. *Soil Research*, 43(2), 203-212.
- McClellan, R.C., McCool, D.K., & Rickman, R.W. (2012). Grain yield and biomass relationship for crops in the Inland Pacific Northwest United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(1), 42-50.
- McDonald, G.K., (2006). Effects of soil properties on variation in growth, grain yield and nutrient concentration of wheat and barley. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(1), 93-105.
- McLean, E.O. (1982). Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 9, 199-224.

- Miao, Y., Mulla, D., & Robert, P. (2006). Spatial variability of soil properties, corn quality and yield in two Illinois, USA fields: implications for precision corn management. *Precision Agriculture*, 7(1), 5-20.
- Mohammadi, J. (2006). Pedometry (spatial statistics). Pelek Publications. (In Persian)
- Mohammad Zamani, S., Ayobi, Sh., & Khormali, F. (2007). Study of spatial changes in soil properties and wheat yield in part of Sorkhankalateh agricultural lands, Golestan Province. *Journal of Soil and Water Science*. 40. (In Persian)
- Mousavi, S., Parsaie, F, Rahmani, A., Sedri, M.H., & Kohsar Bostani, M. (2020). Spatial Prediction Some of the Surface Soil Properties Using Interpolation and Machine Learning Models. *Journal of Soil Management and Sustainable*. 10(3), 27-49. (In Persian).
- Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, M. (1992). Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and mineralogical properties. 2nd ed., SSSA Pub., Madison, WI.
- Peukert, S., Bol, R., Roberts, W., Macleod, C. J., Murray, P.J., Dixon, E. R., & Brazier, R.E. (2012). Understanding spatial variability of soil properties: a key step in establishing field to farm scale agroecosystem experiments. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26(20), 2413-2421.
- Romaneckas, K., Buragienė, S., Kazlauskas, M., Steponavičius, D., Naujokienė, V., Bručienė, I., & Šarauškas, E. (2023). Effects of soil electrical conductivity and physical properties on seeding depth maintenance and winter wheat germination, development and productivity. *Agronomy*, 13(1), 190.
- Saddiq, M.S., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Ibrahim, A.M., Raza, A., Fatima, E.M. & Ciarmiello, L.F. (2021). Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*, 11(6), 1193.
- Sadinezhad, S., Jafarinezhad, A., Moazi, A., & Gholami, A. (2014). Study of spatial variations of absorbable copper and manganese in soils of wheat fields in the north of Khuzestan Province. *Scientific Journal of Agriculture*, 36(2), 69-80. (In Persian)
- Shi, H., & Xingguo, M. (2011). Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Ecological Modelling*, 222(14), 2530-2541.
- Taghizadeh, M., & Sarmadiyan, J. (2016). Spatial Prediction of wheat Yield using digital soil mapping in the Gotvand region of Khuzestan province. *Iranian of Soil and Water Research*, 47(1), 175-184. (In Persian).
- Tallei, A., & Saiiadan, K. (2001). Effect of organic carbon and total nitrogen in the soil on the response of dryland wheat (Sardari C.V.) to application of nitrogen fertilizer and the critical levels of it in Kermanshah province. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 3(3). (In Persian)
- Uribe-Opazo, M.A., Dalposso, G.H., Galea, M., Johann, J.A., De Bastiani, F., Cambillo Moyano, E.N., & Grzegozewski, D.M. (2023). Spatial variability of wheat yield using the gaussian spatial linear model. *Australian Journal of Crop Science*, 17(2), 179-189.
- Vaezi, A.R., & Bahrami, H.A. (2014). Relationship between soil productivity and erodibility in rainfed wheat lands in northwestern Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(6), 1455-1466.
- Vaezi, A.R., Sadeghi, S.H.R., Bahrami, H.A., & Mahdian, M.H. (2008). Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97(3-4), 414-423.
- Vaezi, A.R. Zarrinabadi, E. & Auerswald, K. (2017). Interaction of land use, slope gradient and rain sequence on runoff and soil loss from weakly aggregated semi-arid soils. *Soil and Tillage Research*, 172, 22-31.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Webster, R., & Oliver, M. A. (2007). Geostatistics for environmental scientists, John Wiley and Sons.
- Yemefack, M., Rossiter, D.G., and Njomgang, R. (2005). Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*, 125(1-2), 117-143.
- Zhou, J., Zhang, H., Liu, L., Wu, T., Feng, Y., Guan, W., Liu, Y., & Xu, B. (2025). Soil Salinity Reduces Soil Carbon Storage Mainly by Decreasing Inorganic Carbon in the Ring Tarim Basin of Xinjiang, China. *Land Degradation & Development*, 36(8), 2677-2689.