Journal of Water and Soil Science
Vol. 30, No. 2, 2026, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. DOI: 10.47176/jwss.30.2.33019

Spatial Variability of Precipitation Use Efficiency in Wheat Rainfed Lands in a Semi-Arid Region, Zanjan Province

Ali Reza Vaezi*, Fatemeh Babaei and Hadiseh Safiloo[1]

(Received: September 7-2025 ; Revised: April 20-2026 ; Accepted: May 3-2026)

1- Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan. Iran.
*Corresponding Author, Email: vaezi.alireza@znu.ac.ir

Abstract

Precipitation use efficiency (PUE) is defined as crop yield per unit of annual precipitation in a region. Proper management of rainfed lands requires investigation of the spatial variation of PUE. In this study, two hundred ninety-eight rainfed lands were investigated in the Khodabandeh region in the south of Zanjan province. PUE was calculated as the ratio of wheat grain yield to precipitation. In addition, climatic characteristics and soil physical properties (particle size distribution and water retention) were measured, along with soil chemical properties (pH, EC, organic matter, calcium carbonate, and macro- and micronutrients) in rainfed soils. Results indicated that the mean PUE in rainfed lands is 4.43 kg mm-1. Higher values were found in the northeast, south, and west regions of the area, although these parts had lower wheat grain yields. Geostatistical analysis showed moderate spatial variation in wheat grain yield and PUE, with patterns associated with climatic variables (precipitation and temperature) and land conditions such as soil properties (particle size distribution, organic matter, and nitrogen). Rainfed lands with fine-textured soils and higher amounts of organic matter and nitrogen had higher PUE. Adjusting tillage direction and using conservation tillage are important strategies to improve organic matter content and soil productivity in rainfed lands.

Keywords: Precipitation, Tillage direction, Conservation tillage, Land condition, Soil properties

How to cite this article: Vaezi, A.R., Babaei, F. and Safiloo, H. 2026. Spatial Variability of Precipitation Use Efficiency in Wheat Rainfed Lands in a Semi-Arid Region, Zanjan Province. *J. Water and Soil Sci.* 30(2): 109-123. DOI: 10.47176/jwss.30.2.33019

Copyright © 2026 Vaezi et al. Published by Isfahan University of Technology.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه علوم آب و خاک
سال سی‌ام/ شماره دوم / تابستان ۱۴۰۵/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۰۹ تا ۱۲۳ 10.47176/jwss.30.2.33019

تغییرپذیری مکانی کارایی بهره‌مندی بارندگی در کشتزارهای دیم گندم در منطقه نیمه‌خشک، استان زنجان

علی‌رضا واعظی*، فاطمه بابایی و حدیثه صفی‌لو[1]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۶ ؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۱/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۱۳)

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com

چکیده

کارایی بهره‌مندی از بارندگی بیانگر میزان عملکرد محصول نسبت به مقدار بارندگی سالانه است. مدیریت بهتر کشتزارهای دیم نیازمند بررسی تغییرات مکانی کارایی بهره‌مندی از بارندگی و عوامل مؤثر بر آن است. در این پژوهش ۲۹۸ کشتزار دیم گندم در منطقه خدابنده در جنوب استان زنجان مورد مطالعه قرار گرفتند. کارایی بهره‌مندی از بارندگی از نسبت عملکرد دانه گندم به مقدار بارندگی به دست آمد. علاوه بر این، ویژگی‌های اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی (توزیع اندازه ذرات و نگهداری آب) و شیمیایی خاک‌ها (واکنش، شوری، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف) در کشتزارها مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارها به طور میانگین ۴/۴۳ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر باران است. مقدار این ویژگی عمدتاً در بخش‌های شمال شرق و جنوب و غرب منطقه بیشتر است؛ درحالی‌که این مناطق از عملکرد دانه گندم نسبتاً کمتری برخوردارند. تحلیل زمین‌آماری نشان داد که تغییرات مکانی متوسطی برای عملکرد دانه گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی در منطقه وجود دارد که تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی (بارندگی و دما) و متغیرهای زمینی مانند ویژگی‌های خاک (توزیع اندازه ذرات، ماده آلی و نیتروژن) است. کشتزارهای برخوردار از ذرات ریزدانه و از محتوای ماده آلی و نیتروژن بیشتر، توانایی بهره‌مندی بیشتری از آب باران دارند. برای افزایش کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارهای دیم علاوه بر اصلاح جهت شخم (روی خطوط تراز)، استفاده از خاکورزی حفاظتی برای بهبود محتوای ماده آلی و در نتیجه باروری خاک ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، جهت شخم، خاکورزی حفاظتی، متغیرهای زمینی، ویژگی‌های خاک

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

عوامل مختلفی بر مقدار محصول در دیم‌زارها مؤثر هستند که از آن جمله می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی محصول، ویژگی‌های خاک از جمله ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، مدیریت اراضی و متغیرهای اقلیمی مانند میزان بارندگی و دما منطقه‌ای اشاره کرد. در مورد بارندگی، علاوه بر میزان آن، توزیع مقدار بارندگی نیز دارای اهمیت است. تنها کمتر از ۱/۲ میلیون هکتار از دیم‌زارهای کشور در مناطقی با بارندگی بیش از ۴۰۰ میلی‌متر قرار دارد که عمدتاً دارای عملکرد نسبتاً مناسب (حدود ۲۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) است. حدود سه میلیون هکتار از دیم‌زارها در ایران در مناطقی با بارندگی سالیانه کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر قرار دارند که در این مناطق میانگین عملکرد (۱۳۰۴ کیلوگرم در هکتار) کمتر از میانگین عملکرد مناطق مرطوب کشور (۱۷۵۹ کیلوگرم در هکتار) بوده و به شدت تحت تأثیر بارندگی است (۱۷). آب مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده عملکرد محصول در کشتزارهای دیم است. در مناطق نیمه‌خشک که مقدار بارندگی از ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند ترسالی و خشکسالی پدیده رایج است. در این مناطق در دوره‌های ترسالی، عملکرد محصول زیاد بوده؛ اما در دوره‌های خشکسالی عملکرد محصول غالباً اقتصادی نیست.

یکی از مفاهیم کاربردی در بیان استفاده از آب در تولید محصول، کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency) است که عملکرد را به ازای حجم آب مصرفی نشان می‌دهد (۹). افزایش کارایی مصرف آب در مناطقی که آب مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاه و عملکر محصول هست، اهمیتی فراوان دارد (۲۸). کارایی مصرف آب در گندم آبی تحت تأثیر عواملی مانند ویژگی‌های خاک (۳)، روش آبیاری، تاریخ کشت و کوددهی (۲۰) است. یکی از راه‌های اساسی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی، تعیین کارآیی مصرف آب در محصولات کشاورزی است (۳۲). مقدار بهره‌وری آب در گندم آبی از ۰/۶۸ تا ۱/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب در نوسان است و میانگین آن ۰/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب است (۲۵). مفهوم کارایی مصرف آب را می‌توان برای بارندگی در کشتزارهای دیم نیز به کار گرفت. کارایی بهره‌مندی از بارندگی یا PUE عبارت از عملکرد دانه به ازای میزان بارندگی طی دوره رشد محصول است (۳۸). عملکرد محصول و کارایی بهره‌مندی از بارندگی با کاهش هدررفت آب از خاک و افزایش مصرف آب توسط گیاه (تعرق) افزایش می‌یابد. عواملی مانند ویژگی‌های خاک و توزیع بارندگی طی فصل رشد نقش مهمی در تعیین عملکرد محصول و کارایی بهره‌مندی از بارندگی گندم دارند (۳۷). بخش عمده تولید گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به صورت دیم است و تنها کمتر از ۱۰ درصد از آن به روش آبی است؛ بنابراین توجه به بهره‌مندی گندم از بارش‌های آسمانی و بررسی کارایی مصرف آب (WUE) در تولید گندم دارای اهمیت است. در سال‌های با بارندگی کمتر، مالچ‌پاشی بقایای گیاهی تأثیر مثبت قابل توجهی بر کارایی مصرف آب دارد؛ درحالی‌که در سال‌های با بارندگی بیشتر، تأثیر آن بر WUE ناچیز بود (۸). عملکرد گندم در مناطق دیم ارتباط زیادی با بارندگی دارد و انتخاب ارقام با کارایی مصرف آب زیاد و شیوه‌های مدیریت محصول، کلید بهبود تاب‌آوری و پایداری گندم دوروم در مراکش و محیط‌های تولیدی مشابه در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا است (۱۱).

موضوع کارایی بهره‌مندی از بارندگی و عوامل تعیین‌کننده آن در برخی پژوهش‌ها بررسی شده است. اویس و همکاران (۲۸) طی پژوهشی پی بردند که بیشینه کردن بهره‌وری مصرف آب (WUE) ممکن است در مناطقی که آب محدودکننده‌ترین عامل نسبت به عوامل زمینی است، مناسب‌تر باشد. آنها نشان دادند که تأخیر در کاشت، تأثیر منفی بر کارایی مصرف آب در هر دو شرایط آبیاری و دیم داشت. آنگوس و همکاران (۴) نشان دادند که مصرف کود نیتروژن همراه با کم آبیاری موجب افزایش عملکرد گندم و بهره‌وری آب می‌شود. آریا و همکاران (۵) تأثیر مالچ و پشته‌بندی را بر کارایی مصرف آب باران در جو بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پشته‌بندی و مالچ‌پاشی در مقایسه با شاهد، آب خاک را در منطقه ریشه بیش از ۱۳ درصد افزایش می‌دهد و موجب بهبود کارایی مصرف آب

باران می‌شود. لطفی و همکاران (۲۲) نشان دادند که افزایش ذخیره رطوبت در خاک با اعمال روش‌های کم‌خاکورزی و کشت مستقیم، به دلیل ذخیره بیشتر بارش در خاک عملکرد دانه گندم را در کم خاکورزی و در کشت مستقیم نسبت به خاکورزی مرسوم افزایش داد. ترکمان و همکاران (۳۶) طی پژوهشی نشان دادند که افزایش بارندگی در گندم دیم و آبیاری در گندم آبی همراه با مصرف نیتروژن و فسفر عملکرد گندم را بهبود می‌بخشد. بهاتاچاریا و همکاران (۶) نشان دادند که خاک‌ورزی و مدیریت بقایا به طور قابل توجهی بر عملکرد دانه و زیست‌توده گندم اثر گذاشتند. در سال‌های با بارندگی کمتر، مالچ بقایای گیاهی تأثیر قابل توجهی بر افزایش کارایی مصرف آب داشت. همچنین اوچینگ و همکاران (۲۶) اثرهای دو شکل نیتروژن معدنی بر عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب باران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که نیترات سبب افزایش کارایی مصرف آب و نور در ذرت می‌شود.

بخش چشمگیری از نیاز غذایی مردم در ایران از راه گندم تأمین می‌شود. بر اساس آمارهای فائو سطح کشت گندم دیم در ایران و دنیا به ترتیب برابر ۴۰۰۰۰۰۵ و ۲۱۹۰۴۶۷۰/۱۲۶ هکتار و عملکرد آن به ترتیب برابر ۷۲۱ و ۳۲۶۸/۲۹۵ کیلوگرم در هکتار است (۱۲). حدود ۳۹ درصد از مساحت ایران (۶۴۲۷۹۷ کیلومترمربع) از اقلیم نیمه‌خشک با بارندگی ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر در سال برخوردار است (۳۸). عملکرد گندم در کشتزارهای این منطقه دارای تغییرات زیادی است که می‌تواند تحت تأثیر شرایط بارندگی و دما، توپوگرافی، ویژگی‌های خاک، نوع ارقام و مدیریت کشت باشد. بهبود بهره‌وری محصول در کشتزارهای گندم برای دستیابی به تولید پایدار در ایران ضروری است (۱۹). اگرچه پژوهش‌های گوناگونی در سراسر دنیا بر روی کارایی بهره‌مندی باران در محصولات مختلف زراعی انجام گرفته است، لیکن پژوهش‌ها در مورد گندم به ویژه در مناطق نیمه‌خشک بسیار محدود بوده است. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات مکانی عملکرد دانه گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی و عوامل مؤثر بر آن در کشتزارهای دیم در منطقه نیمه‌خشک بود.

مواد و روش‌ها

- منطقه مطالعاتی

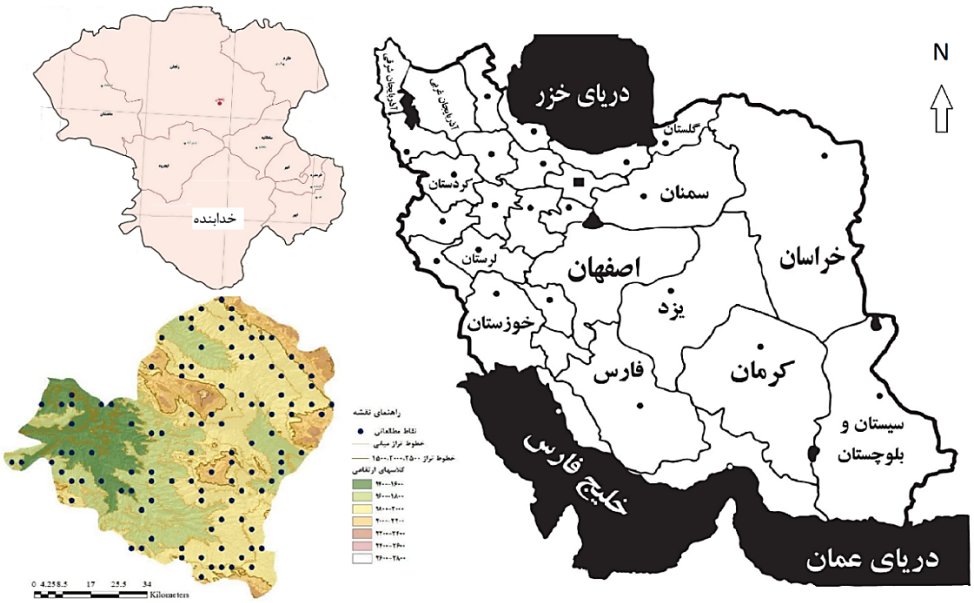
منطقه مورد مطالعه شهرستان خدابنده با وسعتی حدود ۵۱۵۱ کیلومترمربع بود که به عنوان بزرگ‌ترین شهرستان در جنوب استان زنجان است و ۷۰ درصد سطح آن را اراضی کشاورزی در برمی‌گیرند (شکل ۱). به دلیل بارندگی نسبتاً زیاد در منطقه (۴۲۸ میلی‌متر در سال) این شهرستان قطب مهم تولید گندم دیم در استان زنجان است. گندم به هر دو روش آبی و دیم در استان تحت کشت می‌رود. سطح کشتزارهای دیم گندم در این شهرستان ۱۵۰ هزار هکتار است که حدود ۹۶ درصد از کل کشتزارهای گندم منطقه را در برمی‌گیرد. میانگین عملکرد گندم در این منطقه ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است. این تغییرات به شدت وابسته به مقدار بارندگی و زمان وقوع آن است. سالانه حدود ۲۶۰ هزار تن گندم از کشتزارهای دیم این شهرستان برداشت می‌شود. برای بررسی کارایی بهره‌مندی بارندگی ۲۹۸ کشتزار دیم گندم در منطقه مد نظر قرار گرفتند. اساس انتخاب کشتزارهای دیم، یکسان بودن تاریخ و برنامه کشت و در عین حال تنوع در اندازه شیب و ویژگی‌های خاک بود. مختصات جغرافیایی هر کشتزار با سامانه مکان‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد.

- نمونه‌برداری گندم از کشتزارهای دیم

در اوایل تیر همزمان با برداشت گندم در سطح شهرستان به ۲۹۸ کشتزار مد نظر در منطقه مراجعه و در سه نقطه از سطح هر کشتزار دیم، در پلاتهای ۱ متر در ۱ متر بوته‌های گندم برداشته شد (شکل ۲). تعداد بوته‌ها در واحد سطح (یک متر) شمرده شد. دانه‌های گندم از بوته‌ها جدا شده و وزن دانه‌ها در واحد سطح پلات تعیین شد. عملکرد دانه گندم در هر کشتزار بر حسب تن در هکتار تعیین شد.

- نمونه‌برداری خاک و تعیین ویژگی‌های خاک‌ها

همزمان با نمونه‌برداری گندم، دو نمونه خاک دست‌خورده و



شکل ۱. موقعیت‌های نمونه‌برداری در شهرستان خدابنده در جنوب استان زنجان، شمال غرب ایران

(الف) (ب)

شکل ۲. پلات یک متر در یک متر برای نمونه‌برداری گندم (الف) و برداشت بوته‌های گندم از سطح پلات (ب)

دست‌نخورده از سطح پلات‌ها یا مجاور آنها از کشتزارهای دیم برداشته شد. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشته شد. برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک، نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از استوانه فلزی (به قطر ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر) از خاک سطحی تهیه شد. چگالی ظاهری خاک از نسبت جرم خاک خشک به حجم استوانه به دست آمد. برای تعیین سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌های خاک در معرض هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متر گذرانده شدند. توزیع اندازه ذرات خاک (درصد ذرات شن، سیلت و رس) با استفاده از روش هیدرومتر (۱۴) تعیین شد. واکنش خاک در گل اشباع با استفاده از pH سنج و درجه شوری خاک در عصاره گل اشباع به وسیله EC سنج اندازه‌گیری شد. مقدار کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۴۶) و مقدار آهک بر مبنای کربنات کلسیم معادل خاک با استفاده از خنثی‌سازی کربنات‌های خاک بر مبنای کربنات کلسیم (۱۸) تعیین شدند. برای تعیین نقش عناصر غذایی در عملکرد گندم، مقدار نیتروژن خاک به روش کجلدال (۸)، مقدار فسفر به روش اولسن (۲۷)، مقدار پتاسیم خاک به وسیله فلیم فوتومتر (Flam Photo Meter) و عناصر

غذایی کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) به روش جذب اتمی (۳۴) اندازه‌گیری شدند.

- تعیین کارایی بهره‌مندی بارندگی در کشتزارها

کارایی بهره‌مندی بارندگی که اثربخشی بارندگی را در تولید محصول در شرایط دیم نشان می‌دهد، در هر کشتزار با استفاده از معادله ۱ به دست آمد:

$$PUE=\frac{WGY}{P} \quad (۱)$$

که در آن: WGY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، P مقدار بارندگی طی دوره رشد (میلی‌متر) و PUE مقدار کارایی بهره‌مندی از بارندگی (کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر بارندگی) است. داده‌های مقدار بارندگی از ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه تهیه شد.

تحلیل مکانی داده‌ها

با بررسی چولگی و کشیدگی داده‌ها، توزیع نرمال داده‌ها تعیین شد. برای نرمال‌سازی داده‌های غیرنرمال برحسب نیاز از روش‌های رایج نرمال‌سازی از جمله لگاریتم‌گیری، مجذور مربعات و یا آرک‌سینوس (درصورتی‌که پارامتر مد نظر بین صفر تا یک باشد) استفاده شد. برای بررسی تغییرات مکانی کارایی بهره‌مندی بارندگی نیم‌تغییرنمای مکانی دما و بارندگی سالانه همراه با نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم رسم شد. نیم‌تغییرنما طبق معادله ۲ عبارت است از مربع تفاوت مقادیر متغیر در فواصل معین است (۲۴):

$$\gamma(h)=\frac{1}{2p}\varepsilon\left\{\left(Z(x_i)-Z(x_i+h)\right)^2\right\} \quad (۲)$$

که در آن: $Z(x_i)$ مقدار متغیر در نقطه x و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر در فاصله معین از نقطه x و P تعداد جفت‌های مشاهده‌ای است. از مدل‌های تجربی (کروی، نمایی و...) برای کمی‌سازی نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های مورد بررسی استفاده شد. مشخصات مدل نیم‌تغییرنما شامل آستانه، اثر قطعه‌ای و شعاع تأثیر تعیین شدند. بر اساس نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نیم‌تغییرنما مقدار ساختار تغییرات مکانی آن ویژگی به دست آمد. چنانچه این مقدار کمتر از ۰/۲۵ باشد، ویژگی مورد بررسی دارای ماهیت تغییرات مکانی قوی خواهد بود (۱). برای پهنه‌بندی متغیرهای اقلیمی (دما و بارندگی)، عملکرد گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی دمای سال زراعی از روش کریجینگ استفاده شد. کریجینگ یک روش تخمین‌گر مکانی نااریب است که در مطالعات تغییرات مکانی متغیرها در ابعاد زمینی استفاده می‌شود. خطای میان‌یابی مکانی با استفاده از آماره‌های خطا مانند ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین درصد خطا (MPE) به ترتیب از معادلات ۳ و ۴ به دست آمد:

$$MSE=\sqrt{\left(\frac{\Sigma\left(P_i-O_i\right)^2}{n}\right)} \quad (۳)$$

$$MPE=\frac{1}{n}\sqrt{\left(\frac{\Sigma\left(P_i-O_i\right)^2}{P_i}\right)} \quad (۴)$$

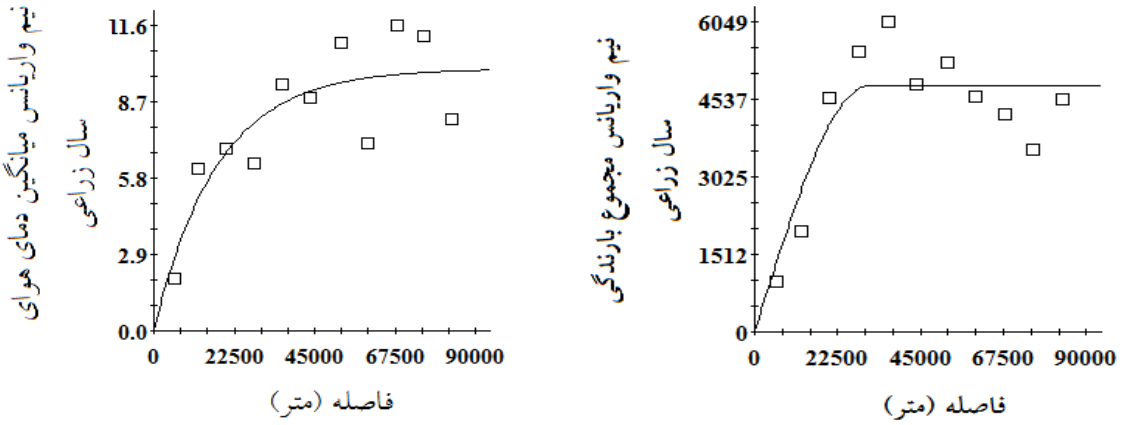
که در آنها: O_i مقدار واقعی (مشاهده‌شده)، P_i مقدار پیش‌بینی‌شده برای داده i ام و n تعداد مشاهدات است.

نتایج و بحث

ویژگی‌های اقلیمی

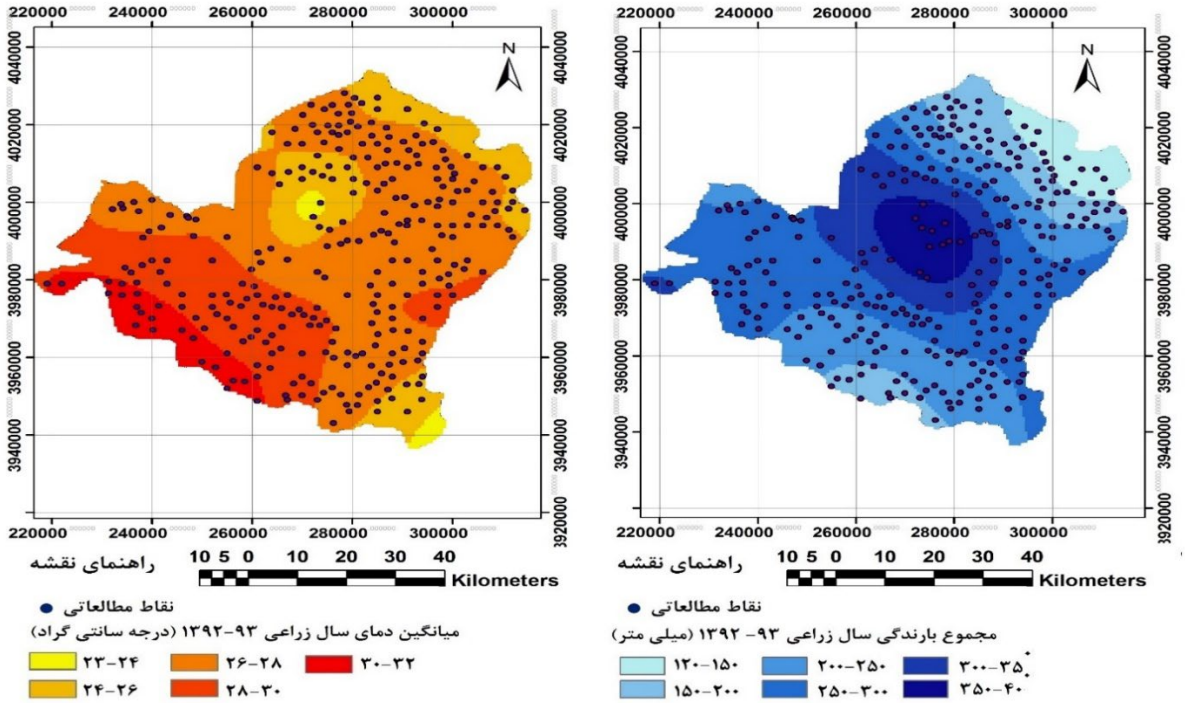
شکل ۳ نیم‌تغییرنمای بارندگی سالانه و میانگین دمای سالانه را در سال زراعی در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. نیم‌تغییرنمای هر دو ویژگی اقلیمی از تابع کروی پیروی کرده و با توجه به شاخص اثر قطعه‌ای، هر دو ویژگی از متغیرهای مکانی قوی محسوب می‌شوند. کمترین شعاع تأثیر را دارند که نشان از تغییرات مکانی قوی برای هر دو متغیر اقلیمی است. شعاع تأثیر تغییرات مکانی بارندگی ۲۲/۵ کیلومتر و دما ۹ کیلومتر است. این نتایج نشان می‌دهد که بارندگی نسبت به دما در فواصل طولانی در سطح منطقه دارای تغییرپذیری مکانی است.

شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی مجموع بارندگی سالانه و میانگین دمای هوای سالانه را در سال زراعی منطقه مطالعاتی خدابنده نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در محدوده منطقه مطالعاتی تغییرات زیادی از نظر بارندگی وجود دارد. بارندگی سالانه در منطقه از ۱۲۰ میلی‌متر تا ۴۰۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. نزدیک



(ب) (الف)

شکل ۳. نیم‌تغییرنمای میانگین بارندگی دو سال زراعی (الف) و میانگین دمای دو سال زراعی (ب)



(ب) (الف)

شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی میانگین دمای هوا (الف) و بارندگی (ب) در منطقه مطالعاتی خدابنده

نیمی از سطح منطقه مطالعاتی از بارندگی بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر در سال برخوردارند و بخش دیگر عمدتاً بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر در سال بارندگی دارند. آب یکی از مؤلفه‌های اثرگذار بر تولید محصول در کشتزارهای دیم است و بارندگی تنها منبع تأمین‌کننده آب در چنین کشتزارهایی است (۳۵). در نواحی شمال شرق و جنوب غرب استان تولید گندم به دلیل محدودیت بارندگی از محدودیت بیشتری برخوردار است. همچنین پهنه‌بندی میانگین دمای سالانه نشان می‌دهد که تغییرات زیادی از نظر دما در سطح منطقه طی فصل بهار و تابستان وجود دارد؛ به‌طوری که مقدار آن از ۲۳ درجه سانتی‌گراد تا ۳۲ درجه

سانتی‌گراد تغییر می‌کند. بخش جنوب غربی از میانگین دمای بیشتری برخوردار است و با توجه به کمبود بارش، تولید گندم دیم اقتصادی نخواهد بود. دما عامل مهم مؤثر بر فرایندهای تبخیر و تعرق در محیط‌های گیاهی است. از یک سو تبخیر در از دست رفتن آب از خاک و تعدیل دمای خاک نقش ایفا می‌کند و از سوی دیگر تعرق در تعدیل دمای گیاه و رشد و نمو گیاه سودمند است. به هر حال در کشتزارهای دیم به ویژه در مراحل آغازین رشد (بعد از پنجه‌زنی) تبخیر به مراتب بیشتر از تعرق است و در نقاطی مانند جنوب غربی که میانگین دمای بیشتری دارند، هدررفت آب از راه تبخیر بیشتر است.

ویژگی‌های خاک کشتزارها و تغییرات مکانی آنها

نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد دانه گندم دیم در شهرستان خدابنده در جدول ۱ آورده شده است. خاک کشتزارها غالباً در کلاس لوم رس شنی هستند. تغییرات نسبتاً کمتری در توزیع اندازه ذرات در خاک کشتزارها وجود دارد و بیشترین تغییرات از نظر رس است (۲۹/۷۲ درصد). خاک‌ها غالباً آهکی (۱۰–۲۵ درصد آهک) (۱۳) بوده، واکنش نسبتاً قلیایی دارند (۷/۸۸) و غیر شور (در محدوده کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر) هستند. کمترین تغییرات ویژگی‌های خاک از نظر واکنش بوده (حدود ۱ درصد)؛ درحالی‌که شوری بیشترین تغییر را بین کشتزارها دارد (حدود ۵۱ درصد). از نظر وضعیت غلظت عناصر غذایی خاک مطابق با آنچه برای دستیابی به عملکرد بهینه گندم توصیه شده است (۲۱ و ۲۳). خاک کشتزارها دارای نیتروژن متوسط (حدود ۰/۰۹ درصد)، فسفر کم (۱۰–۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و پتاسیم زیاد (>۲۰۰) هستند. فسفر بیشترین تغییرات را میان کشتزارها دارد (حدود ۴۲ درصد). خاک کشتزارها از آهن بسیار کم (۲/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، منگنز نسبتاً زیاد (۱۲/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی بسیار کم (۰/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، و مس کم (۰/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. تغییرات نسبتاً زیادی میان خاک‌ها از نظر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف وجود دارد و مقدار آن از ۳۳ درصد در آهن تا ۴۱ درصد در مس تغییر می‌کند. ویژگی‌های خاک به جز رس، هدایت الکتریکی، کربن آلی، فسفر قابل جذب، آهن قابل جذب و روی قابل جذب از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

جدول ۲ ویژگی‌های نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد. طبق نتایج از بین ویژگی‌های مختلف خاک تنها ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و آهن از الگوی تغییرات مکانی پیروی کردند. شوری خاک به عنوان یک متغیر تصادفی بوده و از الگوی تغییرات مکانی پیروی نکرد. این نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای خاک نقشی در تغییرات مکانی عملکرد دانه گندم در کشتزارهای دیم استان زنجان ندارد. به نظر می‌رسد سایر متغیرهای محیطی مانند توپوگرافی و اقلیم از عوامل مهم تغییرات مکانی عملکرد گندم در منطقه باشند. برخلاف نتایج این پژوهش بررسی‌های باسو و همکاران (۷) نشان داد که تغییرات مکانی عملکرد دانه گندم دیم در منطقه با باران کم به طور معنی‌داری تحت تأثیر مقدار نیتروژن خاک است.

عملکرد و کارایی بهره‌مندی بارندگی و تغییرات مکانی آنها

نتایج عملکرد دانه و کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارهای دیم گندم در منطقه خدابنده و مقایسه‌های میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۹۵ درصد در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم به طور میانگین برابر با ۱۰۴۱ کیلوگرم در هکتار بوده و دارای ضریب تغییرات ۲۴ درصد است. همچنین کارایی بهره‌مندی از بارندگی برابر۴/۴۳ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر و ضریب تغییرات آنها نیز ۲۷ درصد است.

بررسی تغییرات مکانی عملکرد دانه گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی نشان داد که عملکرد دانه گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی دارای تغییرپذیری مکانی در کشتزارهای منطقه هستند و مدل آنها به صورت کروی با شعاع تأثیر ۳۱۱ کیلومتر است (جدول ۲). شکل ۵ مشخصات نیم‌تغییرنمای عملکرد

جدول ۱. ویژگی‌های خاک کشتزارهای دیم در منطقه خدابنده در استان زنجان

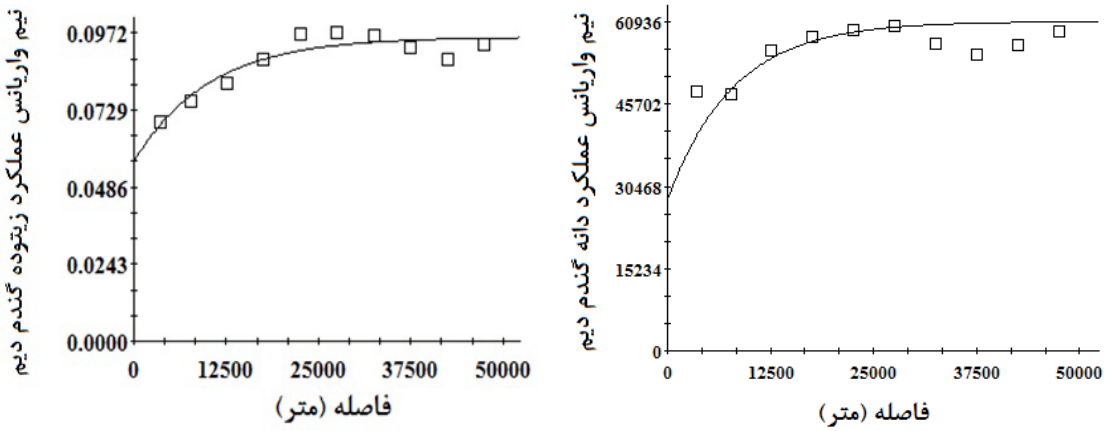
ویژگی خاک	میانگین	کشیدگی	چولگی	ضریب تغییرات (٪)	ضریب تعیین	P-Value
شن (%)	۴۸/۶۴	-۰/۳	۰/۰۴	۱۹/۷۴	۰/۹۹۶	۰/۰۷۸
سیلت (%)	۳۴/۷۶	۰/۱۷	-۰/۱۹	۱۸/۳۱	۰/۹۹۸	>۰/۱۰۰
رس(%)	۱۶/۶۰	۰/۵۳	۰/۰۱	۲۹/۷۲	۰/۹۸۹	<۰/۰۱
رطوبت اشباع (%)	۳۶/۶۶	۰/۰۱	-۰/۲۴	۱۴/۰۴	۰/۹۹۸	>۰/۱۰۰
واکنش خاک	۷/۸۸	۰/۴۳	۰/۴۵	۱/۲۴	۰/۹۹۷	>۰/۱۰۰
هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۱/۱	۰/۹۳	۱/۸۸	۵۱/۱۶	۰/۹۴۷	<۰/۰۱
کربن آلی (%)	۰/۶۳	۰/۳۶	-۰/۲۱	۳۲/۶۴	۰/۹۹۸	>۰/۱۰۰
کربنات کلسیم معادل (%)	۱۹/۷۸	۰/۰۹	-۰/۰۹	۳۷/۲۸	۰/۹۹۸	>۰/۱۰۰
نیتروژن (%)	۰/۰۹	۰/۱۲	-۰/۴۳	۳۸/۳۶	۰/۹۹۶	>۰/۱
فسفر قابل جذب ($mg\ Kg^{-1}$)	۹/۱۸	۰/۶۵	-۰/۲۰	۴۱/۸۶	۰/۹۸	<۰/۰۱
پتاسیم قابل جذب($mg\ Kg^{-1}$)	۳۲۸/۸۶	۰/۱۴	-۰/۲۸	۳۳/۶۹	۰/۹۹۸	>۰/۱۰۰
آهن قابل جذب($mg\ Kg^{-1}$)	۲/۲۴	۰/۴۳	-۰/۴۵	۳۳/۱۸	۰/۹۸۹	<۰/۰۱
منگنز قابل جذب($mg\ Kg^{-1}$)	۱۲/۷۴	۰/۱۶	-۰/۲۶	۲۸/۱۲	۰/۹۹۸	>۰/۱۰۰
روی قابل جذب($mg\ Kg^{-1}$)	۰/۲۸	۰/۳۷	-۰/۶۲	۳۴/۴۸	۰/۹۸۸	<۰/۰۱
مس قابل جذب($mg\ Kg^{-1}$)	۰/۹۳	۰/۲۲	-۰/۳۳	۴۰/۸۹	۰/۹۹۷	>۰/۱۰۰

جدول ۲. مشخصات نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های خاک، عملکرد دانه گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارهای دیم

متغیر	مدل	حد آستانه	اثر قطعه‌ای نسبی	دامنه تأثیر (متر)	ضریب تعیین	ریشه مربعات خطا
واکنش	خطی	۰/۰۰۹	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۰۳	$۱/۱۸\times۱۰^{-۵}$
شوری	خطی	۰/۱۹	۱/۰۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۰۳	$۸/۵۰\times۱۰^{-۳}$
ظرفیت تبادل کاتیونی	نمایی	۰/۰۴	۰/۰۴	۳۶۶۰۰	۰/۷۵	$۱/۳۲\times۱۰^{-۴}$
ماده آلی	خطی	۰/۱۰	۰/۵۰	۸۳۵۵۲	۰/۰۷	$۳/۵۶\times۱۰^{-۴}$
کربنات کلسیم معادل	کروی	۰/۰۶	۰/۰۰	۲۱۲۰۰	۰/۸۰	$۳/۳۸\times۱۰^{-۴}$
نیتروژن کل	نمایی	۰/۰۰۱	۰/۵	۲۳۳۰۰	۰/۵۸	$۳/۳۹\times۱۰^{-۸}$
فسفر	خطی	۱۴/۷۸	۱	۶۸۵۷۰	۰/۳۹	۱۶۵
پتاسیم	خطی	۱۳۱۰/۲۴	۱	۶۸۵۷۰	۰/۰۹	$۱/۰۳\times۱۰^{۷}$
آهن	کروی	۳۰/۸۸	۰/۱۷	۴۱۱۰۰	۰/۶۰	۱۶۴
منگنز	نمایی	۲۲/۰۹	۰/۵۲	۲۳۳۰۰	۰/۳۰	۱۴/۴
روی خاک	خطی	۰/۱۲	۱	۶۸۵۷۰	۰/۴۰	$۴/۱۸\times۱۰^{-۳}$
عملکرد دانه گندم	کروی	۲۳۰۷۰۰	۰/۱۵	۳۱۱۰۰۰	۰/۷۶	$۳/۵۴\times۱۰^{۹}$
کارایی بهره مندی از بارندگی	کروی	۰/۸۳	۰/۴۱	۳۱۱۰۰۰	۰/۶۶	۰/۰۲۱۴

جدول ۳. عملکرد دانه گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارهای دیم در منطقه مطالعاتی خدابنده

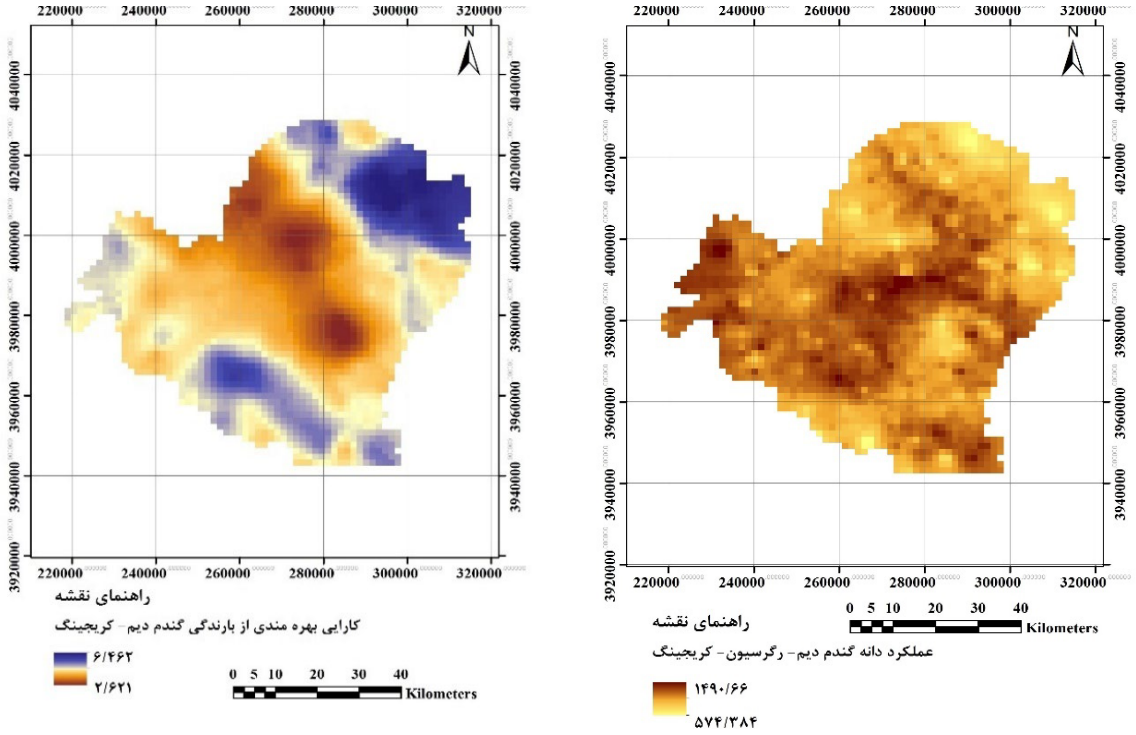
ویژگی	میانگین	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی	معنی‌داری
عملکرد دانه گندم (کیلوگرم بر هکتار)	۱۰۴۱/۵	۲۴۶/۱	۰/۱۲	-۰/۴۳	۰/۰۲۱
کارایی بهره‌مندی بارندگی (کیلوگرم در میلی‌متر باران)	۴/۴۳	۱/۲۰	۰/۳۱	-۰/۱۴	۰/۰۲۸



(الف) (ب)

شکل ۵. نیم‌تغییرنمای عملکرد دانه و کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارهای دیم منطقه خدابنده

دانه گندم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی در شهرستان خدابنده را نشان می‌دهد. نقشه تغییرات مکانی این دو متغیر با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ تهیه شد. واعظی و همکاران (۴۱) با بررسی تغییرات مکانی عملکرد گندم نشان دادند که می‌توان تغییرات مکانی عملکرد گندم را با روش‌های زمین‌آماری کمی از جمله کریجینگ نمود و آن را به صورت نقشه پهنه‌بندی برای اهداف مدیریتی به کار گرفت. پهنه‌بندی عملکرد گندم نشان می‌دهد که عملکرد گندم در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی منطقه خدابنده نسبت به بخش مرکزی آن کم است. کمترین مقدار کارایی بهره‌مندی از بارندگی نیز در بخش‌های مرکزی و غربی منطقه است (۲/۶۲ کیلوگرم بر میلی‌متر باران)؛ درحالی‌که بیشترین مقادیر آن در بخش‌های شمال شرقی و جنوب و تا حدی در غرب منطقه است (۶/۲۶ کیلوگرم بر میلی‌متر باران). این نتیجه نشان می‌دهد که با وجود آن که عملکرد دانه گندم در کشتزارهای دیم مستقیماً تحت تأثیر مقدار بارندگی است، اما وضعیت وارونه‌ای در کارایی بهره‌مندی از بارندگی در منطقه وجود دارد. در واقع در مناطقی که بارندگی سالانه اندک است، بیشترین بهره‌وری در تولید محصول وجود دارد (شکل ۶). به طور کلی می‌توان گفت که تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه گندم دیم و کارایی بهره‌مندی از بارندگی (PUE) در کشتزارهای دیم منطقه بیشتر تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی (مقدار بارندگی و دما) و ویژگی‌های زمینی (شیب، ارتفاع از سطح دریا و شاخص خیسی) و نیز ویژگی‌های خاک (توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، واکنش، نیتروژن و ظرفیت نگهداری آب) است. بر اساس نتایج ساعی (۳۱) در بلندمدت نتیجهٔ تغییرات جوی عملکرد گندم دیم افزایش می‌یابد. همچنین بارش بهاره، بارش زمستانه و دمای زمستانه باعث افزایش عملکرد گندم در کوتاه‌مدت نیز خواهند شد. حفظ بقایای گیاهی و تقویت مقدار ماده آلی خاک می‌تواند در بهبود ظرفیت نگهداری آب و افزایش کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارهای دیم مؤثر واقع شود



(ب) (الف)

شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی عملکرد دانه گندم (الف) و نقشه پهنه‌بندی کارایی بهره‌مندی از بارندگی به روش کریجینگ (ب)

(۴۴). روش خاکورزی نیز عاملی دیگر در بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک و ظرفیت نگهداری آب در کشتزارهای دیم است. در مطالعه‌ای واعظی و همکاران (۴۱) نشان دادند که عملکرد محصول در اراضی دیم، نگهداشت آب باران و رطوبت خاک تحت تأثیر روش خاکورزی قرار می‌گیرد.

ارتباط کارایی بهره‌مندی از بارندگی و ویژگی‌های خاک

جدول ۴ ضرایب همبستگی پیرسون بین کارایی بهره‌مندی از بارندگی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. کارایی بهره‌مندی از بارندگی همبستگی معنی‌دار با توزیع اندازه ذرات معدنی خاک دارد؛ به‌طوری که خاک‌های برخوردار از ذرات رس و سیلت بیشتر از کارایی بهره‌مندی از بارندگی بیشتری برخوردارند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که اجزای بافت خاک نیز از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر فرایندهای مختلف اکولوژیکی، پدولوژیکی و ژئومورفیک مانند نگهداشت آب، تبادل یونی و جذب عناصرغذایی است که عملکرد گندم دیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۰). کارایی بهره‌مندی از بارندگی همچنین تحت تأثیر محتوای ماده آلی ($p<۰/۰۱$، $r=۰/۳۹$) و نیتروژن خاک ($p<۰/۰۵$، $r=۰/۲۹$) است. این نتیجه نشان می‌دهد که محتوای ماده آلی بیشترین همبستگی را با کارایی بهره‌مندی از بارندگی دارد. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌ها در زمینه اثر متغیرهای خاک بر عملکرد گندم دیم مطابقت داشت (۱۵ و ۴۳). با بررسی رابطه بین عملکرد سویا و ذرت با ویژگی‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک، کراوچنکو و همکاران (۲۱) بیان کردند که شیب زمین یکی از عوامل تأثیرگذار در زراعت دیم است که بر عملکرد دانه تأثیر منفی معنی‌دار دارد. در شیب‌های تند به دلیل فرسایش شدید، خاک سطحی کم‌عمق، سرعت نفوذ کمتر و رواناب بیش‌تر است که موجب کاهش حاصلخیزی و ذخیره رطوبتی خاک می‌شود. همچنین طبق بررسی‌های واعظی و همکاران (۴۰) رواناب و هدررفت خاک در کرت‌های کشت‌شده در جهت شیب رو به پایین، در مقایسه با کرت‌های کشت‌شده در

جدول ۴. ضرایب همبستگی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد دانه در منطقه خدابنده

	sand	silt	clay	pH	EC	OM	ECC	N	P	K^+	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Zn^{2+}	PUE
sand	۱														
silt	-۰/۸۹**	۱													
clay	-۰/۸**	-۰/۴۴**	۱												
pH	-۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۱											
EC	-۰/۱۸	۰/۱۶**	۰/۱۶**	۰/۰۹	۱										
OM	-۰/۵۴**	۰/۵**	۰/۴۲**	-۰/۰۸	۰/۰۸	۱									
ECC	۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۳۲**	-۰/۰۳	-۰/۰۴	۱								
N	-۰/۵۲**	۰/۴۸**	۰/۳۸**	-۰/۱۵**	۰/۱	-۰/۰۳	۰/۹۳**	۱							
P	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۲۵**	۰/۲۸**	۰/۱۸**	-۰/۱	۰/۱۲*	۱						
K^+	۰/۰۶	-۰/۰۹	-۰/۰۳	۰/۲**	-۰/۱	۰/۰۸	-۰/۱۶**	۰/۰۵	۰/۶**	۱					
Cu^{2+}	۰/۱۲*	-۰/۱	-۰/۱۲*	-۰/۱۹**	۰/۰۶	۰/۲۸**	-۰/۰۱*	۰/۲۲**	۰/۴۶**	۰/۳۷**	۱				
Fe^{2+}	۰/۰۹	-۰/۰۹	-۰/۰۷	-۰/۴۴**	۰/۱۵**	۰/۱۴*	-۰/۲**	۰/۱۲*	۰/۵۰**	۰/۳۰**	۰/۴۶**	۱			
Mn^{2+}	۰/۰	-۰/۰۴	۰/۰۴	-۰/۱۳*	۰/۲۲**	-۰/۰۲	۰/۱۱*	۰/۰۳	۰/۱۶**	۰/۰۰	۰/۱۴*	۰/۳۸**	۱		
Zn^{2+}	۰/۰۴	-۰/۰۸	۰/۰	-۰/۰۸	-۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۷	۰/۲۴**	۰/۴۲**	۰/۴۷**	۰/۵۴**	۰/۲۹**	۰/۰۳	۱	
PUE	-۰/۲۲**	۰/۲۱**	۰/۱۷**	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۳۹**	-۰/۰۴	۰/۲۹**	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۸	۱

ECC: کربنات کلسیم معادل خاک و PUE: کارایی بهره مندی بارندگی گندم دیم است.

خطوط تراز، حدود ۵/۵ و ۳۵ برابر افزایش می‌یابد؛ به عبارتی دیگر اثرهای کاربری زمین به افزایش شیب به طور قابل توجهی وابسته است. در مناطق خشک یا نیمه‌خشک که میزان تبخیر و تعرق بیشتر بارش‌های آسمانی است، محتوای آب خاک یکی از عوامل اصلی محدودکننده تولید محصول است. تأثیر نزولات بر عملکرد محصول همراه با اثر متقابل ویژگی‌های زمین و خصوصیات خاک افزایش می‌یابد.

ماده آلی با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، وضعیت تخلخل و نفوذپذیری خاک را بهبود می بخشد. مواد آلی در اثر معدنی شدن، مقدار قابل توجهی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را در خاک آزاد کرده و به تغذیه متعادل گیاه کمک زیادی می‌کنند. همچنین در بخش رابطه آب و خاک و گیاه، نقش ماده آلی خاک در افزایش راندمان مصرف آب و حاصلخیزی خاک بسیار تعیین‌کننده است (۱۷). رمضانی و همکاران (۳۰) طی پژوهشی نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی خاک، تغییر ماده آلی خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی قرار دارد. مطالعه پن و همکاران (۲۹) در چین در رابطه با نقش مواد آلی خاک در عملکرد غلات نشان داد همبستگی بسیار خوبی بین ماده آلی خاک و تولید وجود دارد. شعبانی و همکاران (۳۳) با مطالعه تأثیر ویژگی‌های پستی و بلندی و خاک بر عملکرد گندم دیم در استان خراسان شمالی نتیجه گرفتند که ارتفاع و درصد کربنات کلسیم بیشترین همبستگی را با مؤلفه‌های عملکرد گندم داشتند. عجمی و همکاران (۲) طی پژوهشی نشان دادند که ویژگی‌های توپوگرافی از طریق تأثیر بر تغییرات رطوبتی و خصوصیات خاک‌ها نقش مهمی در تغییرات مکانی تولید گندم برجای می‌گذارند. شیب نقش بسیار مهمی در مشخص کردن وضعیت انحنای سطح زمین و شاخص خیسی و درنتیجه فرسایش خاک، حفظ رطوبت، رس و مواد آلی خاک داشته و به این شکل عملکرد گندم دیم را در منطقه تعیین می‌کند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که بررسی تغییرات مکانی کارایی بهره‌مندی از بارندگی در کشتزارهای دیم برای مدیریت بهتر کشتزارهای دیم دارای اهمیت است. نتایج مؤید این است که کارایی بهره‌مندی از بارندگی در منطقه مورد بررسی دارای تغییرات مکانی متوسطی است. کارایی بهره‌مندی از بارندگی در مناطق شمال شرق و جنوب و تا حدی غرب منطقه مورد بررسی بیشترین مقدار است؛ درحالی‌که این مناطق از مقدار عملکرد دانه گندم نسبتاً کمتری برخوردارند. این نتیجه نشان می‌دهد که در مناطقی که از بارندگی کمتری برخوردارند بهره‌وری آب باران و تولید محصول بیشتر است. عوامل گوناگونی غیر از ویژگی‌های اقلیمی در تغییرات مکانی بهره‌مندی از بارندگی مؤثر هستند که از آن جمله می‌توان به ویژگی‌های زمینی مانند توپوگرافی، نوع خاک و مدیریت خاک (خاکورزی) اشاره کرد. بررسی ارتباط میان کارایی بهره‌مندی از بارندگی و ویژگی‌های خاک نشان داد که این متغیر تحت تأثیر توزیع اندازه ذرات معدنی، محتوای ماده آلی و نیتروژن خاک است. خاک‌های برخوردار از ذرات ریز مانند رس و سیلت از توانایی نگهداری آب بیشتری برخوردار بوده و کمتر دچار ضعف عناصر غذایی هستند. از سوی دیگر وجود ارتباط مثبت میان کارایی بهره‌مندی از بارندگی و محتوای ماده آلی و نیتروژن خاک مؤید نقش روش خاکورزی در تولید گندم در کشتزارهای دیم است. حفظ و برگرداندن بقایای گیاهی باعث افزایش محتوای ماده آلی خاک و بهبود باروری خاک در کشتزارهای دیم می‌شود.

References منابع مورد استفاده

1- Afshar, H., M. H. Salehi, J. Mohammadi and A. Mehnatkesh. 2009. Spatial Variability of Soil Properties and Irrigated Wheat Yield in a Quantitative Suitability Map, A Case Study: Shahr-e-Kian Area, Chaharmahalva-Bakhtiari Province. *Journal of Water and Soil* 23:161-172 (in Farsi).
2- Ajami, M., A. Heydari, F. Khormali, M. Gorji and Sh. Ayobi. 2019. Effect of Topography Indices and Soil Characteristics on Rainfed Wheat Yield in Loess Lands of Toshan Area, Northern Iran. *Journal Iranian Soil and Water Research* 51(1): 93-105 (In Farsi).
3- Albalasmeh, A. A., Q. Mohawesh, M. A. Gharaibeh, A. G. Alghamdi, M. A. Alajlouni and A. M. Alqudah. 2022. Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21(8):518-524
4- Angus, J. F. and A. F. Van Herwaarden. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. *Agronomy Journal* 93(2):290-298.
5- Araya, A. and L. Stroosnijder. 2010. Effects of tied ridges and mulch on barley (Hordeum vulgare) rainwater use efficiency and production in Northern Ethiopia. *Agricultural Water Management* 97(6):841-847 (in Farsi).
6- Bandyopadhyay, K., P. Bhattacharya, P. Krishnan, P. P. Maity, T. J. Purakayastha, A. Bhatia and S. Adak. 2023. Effect of tillage, residue and nitrogen management on yield, water and nitrogen use efficiency of wheat (Triticum aestivum). *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 93(11): 1191-1196.
7- Basso, B., C. Fiorentino, D. Cammarano, G. Cafiero and J. Dardanelli. 2012. Analysis of rainfall distribution on spatial and temporal patterns of wheat yield in Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy* 41: 52-65.
8- Bremmer, J.M. and C.S. Mulvaney. 1996. Nitrogen-Total. Methods of Soil Analysis, Part 2. *Soil Science Society of America Book Series* 5: 1085–1121.
9- Ben-Hur, M. 2011. Encyclopedia of agrophysics. PP. 979-984. *In* J. Glinski, J. Horabik and J. Lipiec (Eds.), Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer, Dordrecht.
10- Chaudhari, S., R. Singh and D. Kundu. 2008. Rapid textural analysis for saline and alkaline soils with different physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal* 72(2): 431-441.
11- Devkota, M., K. P. Devkota, M. Karrou and V. Nangia. 2023. Genotype and agronomic management interaction to enhance wheat yield and water use efficiency in the Mediterranean rainfed environment of Morocco I. Field data analysis. *European Journal of Agronomy* 151:126972
12- FAO. 2015. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Website accessed on 2015.04.29.
13- FAO. 2016. FAO Statistical Year Book 2018, World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, Available online at: http://www. fao.org/
14- Gee, G. W. and D. Or. 2002. 2.4 Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis* 4(598): 255-293.
15- He, Y., Y. Wei, R. DePauw, B. Qian, R. Lemke, A. Singh, R. Cuthbert, B. McConkey and H. H. Wang. 2013. Spring wheat yield in the semiarid Canadian prairies: Effects of precipitation timing and soil texture over recent 30 years. *Field Crops Research* 149 (0): 329-337.
16- Heydari, N. 2022. Wheat Water Productivity in Iran Compared with Data of Some Countries. *Journal of Water Research in Agriculture Soil and Water Science* 35:4 (in Farsi).
17- Iran Statistic Information of Agriculture. 2024. Crops. Part 1. The Center of Statistics, Technology and Communication. 46 Pages.
18- Jones, E.P. 2001. Circulation in the arctic ocean. *Polar Research* 20(2): 139-146.
19- Keshavarz, P., F. Moshiri, M. M. Tehrani and M. R. Balali. 2015. Strategies of Soil fertility management in wheat production in Iran. *Land Management Journal* 3(1): 61-72 (in Farsi).
20- Kumar, P., B. Singh, S. Kumar, S. Dubey and P. Kumar. 2021. Effect of fertilizers and preceding kharif crops on Growth and Water use efficiency of wheat (Triticum aestivum L.). *The Pharma Innovation Journal* 10(4):1124-1126.
21- Kravchenko, A. and D. Bullock. 2002. Spatial variability of soWGBean quality data as a function of field topography. *Crop Science* 42 (3): 804-815.
22- Lotfi, L., H. Khorsandi, Gh.R. Valizadeh and N. Sadeghian. 2021. Evaluation of water requirement and improvement of rainfall productivity and grain yield of dryland wheat genotypes in different crop management. *Journal Iranain Rainfed Agriculture* 10(2): 145-164 (in Farsi).
23- Malakouti, M.J. and M. Homaee. 2004. Soil Fertility of Arid and Semi-Arid Regions (Difficultues and Solutions). 2nd Eddition, Tarbiat Modarres University Press, Tehran (in Farsi).
24- Mc Bratney, A.B. and R. Webster. 1986. Choosing function for semivariogram of soil partitioning and fitting them to sampling. *Journal Soil Sci*ence 37: 617-639.
25- Naderianfar, M. and H. Dehghan. 2020. Investigation of water use efficiency of wheat and barley in arable lands of sistan plain. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions* 2(1): 1-9 (in Farsi).

26- Ochieng, I. O., S. Ranjan, M.F. Seleiman, S.R. Padhan, R. Psiwa, S. Sow and H.I. Gitari. 2023. Increasing rainwater use efficiency, gross return, and grain protein of rain-fed maize under nitrate and urea nitrogen forms. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 51(3): 13293-13293.
27- Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and C.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U. S. Department of Agricultur Circular* 939:19
28- Oweis, T., H. Zhang and M. Pala. 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agronomy Journal* 92 (2): 231-238.
29- Pan, G., P. Smith and W. Pan. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129:344–348.
30- Ramezani, V., H.R. Chaghazardi, A. Beheshti Ale Agha, D. Kehrizi and R. Haqparas. 2023. The Effect of Different Tillage Systems on the Physical Characteristics of the Soil and the Quantitative Traits of Wheat Varieties in Dalahoo Dryland Region. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 34(2):315-334 (in Farsi).
31- Saei, M. 2021. Effect of short and long term climate variations on rainfed wheat yield in Kerman province. *Journal of Agricultural Meteorology* 9(1): 26-37 (in Farsi).
32- Safdari, M., M. Hekmatnia and E. Khajedad Miri. 2021. Water Use Efficiency of Wheat from the Perspective of Water Footprint (Case Study: Sistan and Baluchestan Province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 6(15):1469-1480.
33- Shabani, A., Gh. Haghnia, A. Karimi and M.M. Ahmadi. 2012. Influence of Topography and Soil Characteristics on the Rainfed Wheat Yield in Sisab Region, Northeastern Iran. *Journal of Water and Soil* 26(4): 922-932 (in Farsi).
34- Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert, (eds.). 2020. Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods. John Wiley and Sons, Madison.
35- Talliee, A.A. and N. Bahrami. 2003. The Effects of Rainfall and Tempreature on Yield of Dryland Wheat in Kermanshah Province.*Journal of Soil and Water Sciences* 17(1):106-112 (in Farsi).
36- Torkaman, M., S. Khorramdel, P. Rezvani Moghaddam and M. Nassiri Mahallati. 2023. Investigating the spatial of water use efficiency, and fertilizer sources for irrigated rainfed wheat systems in different regions of Iran. *Plant Productions* 46(2): 263-277 (in Farsi).
37- Turner, N. C. 2004. Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *Journal of Experimental Botany* 55 (407): 2413-2425.
38- Vaezi, A. R. 2013. Soil properties affecting rainfall water use efficiency (RWUE) in wheat dry-farming lands, NW Iran. *Journal of Agricultural Science* 5 (6): 9-19 (in Farsi).
39- Vaezi, A. R., F. Babaei, T. Taheri and M. Abbasi. 2017. Spatial Variability of Wheat Grain Yield and Soil Properties in Semi-Arid Rainfed Croplands in South of Zanjan Province. *Soil and Water Science Journal* 27(3): 65-78 (in Farsi).
40- Vaezi, A. R., E. Zarrinabadi and K. Auerswald. 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.
41- Vaezi, A. R., E. Zarrinabadi and H. Salehi. 2021. Rainwater use efficiency of rainfed wheat (Triticum aestivum L.) as affected by tillage direction in slope. *Journal of Water and Soil Science* 25(3): 289-304
42- Walkley A., and I.A. Black. 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.
43- Wong, M. T. F. and S. Asseng. 2006. Determining the causes of spatial and temporal variability of wheat yields at sub-field scale using a new method of upscaling crop Model. *Plant and Soil* 283(12):203-215.
44- Yang, X., K. Zhang, H. Shaghaleh, Z. Qi, C. Gao, T. Chang and Y. A. Hamoud. 2023. Continuous cropping alters soil hydraulic and physicochemical properties in the karst region of southwestern China. *Agronomy* 13(5):1416.