Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Determining the physical water productivity of wheat in different climates of Kermanshah province

Mehdi Jovzi[1]*, Niaz Ali Ebrahimi Pak[2], Arash Tafteh[3]

[1] Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
[2] Associate Professor, Irrigation Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[3] Associate Professor, Irrigation Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Extended Abstract

Introduction

Wheat is the world's leading agricultural product with the scientific name *Triticum aestivum* L.. It is consumed by 35% of the world's population as the main food source. The cultivation area of this crop worldwide is 219153830 ha, of which about 48% is under irrigation. The wheat cultivation area in Iran is 6908545 ha, and about 34.3% of it is under irrigation. The area of irrigated wheat cultivation in Kermanshah is about 102236 ha. Based on the statistics for the crop year 2021-2022, Kermanshah province ranks sixth, fourth, and third in the country in terms of the cultivated area, production volume, and yield of irrigated wheat. Wheat is one of the major agricultural products of Kermanshah province, and it is cultivated under irrigation in a large area of its lands. Therefore, determining wheat's physical water productivity is an important indicator in wheat production planning. Considering the increase in population, climate change, water scarcity, and the increasing need for wheat production and food supply, it is necessary to improve wheat water productivity. To improve water productivity, the first step is to assess and determine its amount. Unfortunately, there is no accurate information about its amount in Kermanshah province, and only information related to the results of research projects in certain conditions is available, which cannot be generalized due to the differences between those conditions and the conditions of farmers' fields. The purpose of this research is to determine the water productivity of wheat crops in the cold, moderate, and hot climates of Kermanshah province.

Materials and Methods

Kermanshah province is located at the geographical longitude of 45° 25′ to 48° 6′ E and a latitude of 33° 41′ to 35° 17′ N. Kermanshah province, with an area of 24,434.25 km^2, covers about 1.5% of the country's area, and its average elevation is 1200 m above sea level. This province generally has three climates: cold, moderate, and hot. Based on 2020-2021 agricultural year statistics from the Organization of Agricultural Jahad of Kermanshah province, and the cities of Sonqor, Kermanshah, and Sarpol Zahab cities, respectively, have the largest wheat-cultivated areas and were selected as the research areas. To carry out the current research, 34 farms were selected under real farming conditions, and during the growing season, the total volume of irrigation water for each farm was measured. Effective precipitation was determined using the data from the nearest synoptic meteorological station to the selected farms and the USDA method. The volume of water consumed by each selected farm during the growing season was also calculated from the sum of the total irrigation water and effective precipitation. After harvesting the crop and determining wheat yield per hectare, physical water productivity for each farm was determined by dividing the yield by the total water consumed. Then, the data obtained in the studied cities were statistically analyzed using SPSS software.

Results and Discussion

The results showed that the average total volume of irrigation water measured in Sonqor, Kermanshah, and Sarpol Zahab was 5204, 5795, and 4236 m^3 ha^{-1}, respectively, and the average volume of wheat water consumption was 6297, 7737, and 5844 m^3 ha^{-1}, respectively. Therefore, the total volume of wheat irrigation water in Sarpol Zahab was 19% and 27% lower than in Sonqor and Kermanshah, respectively, due to the shorter

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

wheat growth cycle and its growth during the cool months. This resulted in wheat water consumption in this city being 7% and 24% lower than in Sonqor and Kermanshah, respectively. The average wheat yield in the mentioned cities was 5799, 7082, and 4937 kg ha^{-1}, respectively. The average physical water productivity of wheat in these cities was 0.97, 0.95, and 0.86 kg m^{-3}, respectively. Therefore, the results showed that the physical water productivity of wheat in Sarpol Zahab was lower than in the other two cities, mainly due to the lower wheat yield in this city.

Conclusion

The total irrigation water volume, wheat water consumption, and physical water productivity in the cold, moderate, and hot climates of Kermanshah province were determined. The results generally showed that the total irrigation water volume and wheat water consumption in the hot climate were lower than in the cold and moderate climates due to the shorter growth cycle and the wheat growing during cool months. Therefore, due to the lower wheat water consumption in a hot climate, it was expected that physical water productivity would be higher compared to the other two climates. However, this was not the case due to the lower wheat yield in hot climates, , resulting in a lower physical water productivity than in the two cold and moderate climates. Thus, improving agronomic and breeding management in this city could increase wheat yield and ultimately enhance physical water productivity.

Keywords: Effective precipitation, Irrigation water, Water consumption, Yield.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the Agricultural Jahad Organization of Kermanshah Province for the financial and logistical support, which significantly contributed to this research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Mehdi Jovzi: Execution and data acquisition, Resources, Software, Writing-original draft preparation, Manuscript editing; **Niaz Ali Ebrahimi Pak:** Conceptualization, Formal analysis and investigation, methodology
Arash Tafteh: Formal analysis and investigation, Conceptualization, methodology.

*Corresponding Author, E-mail: m.jovzi@areeo.ac.ir

Citation: Jovzi, M., Ebrahimi Pak, N.A., & Tafteh, A. (2025). Determining the physical water productivity of wheat in different climates of Kermanshah province. *Water and Soil Management and Modeling*, 5(1), 159-178.
doi: 10.22098/mmws.2024.14879.1445

Received: 08 April 2024, Received in revised form: 15 May 2024, Accepted: 21 May 2024, Published online: 21 March 2025
Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 1, pp. 159-178

Publisher: University of MohagheghArdabili© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه

مهدی جوزی[۱*]، نیازعلی ابراهیمی‌پاک[۲]، آرش تافته[۳]

[۱] استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

[۲] دانشیار، بخش تحقیقات آبیاری، مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[۳] دانشیار، بخش تحقیقات آبیاری، مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی، کمبود منابع آب، نیاز روز افزون به تولید گندم و تأمین غذا، بهبود بهره‌وری آب مصرفی گندم ضروری است. برای بهبود بهره‌وری آب مصرفی اولین گام، شناخت و تعیین مقدار آن است. هدف از انجام این پژوهش تعیین بهره‌وری آب محصول گندم در اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم استان کرمانشاه است. بر اساس آمار سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه و در اقلیم‌های ذکر شده به‌ترتیب شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب دارای بیش‌ترین سطح زیر کشت محصول گندم بوده و به‌عنوان مناطق انجام پژوهش انتخاب شدند. به‌منظور انجام پژوهش حاضر ۳۴ مزرعه تحت شرایط زارعین انتخاب و در طول فصل رشد حجم کل آب آبیاری هر یک از مزارع اندازه‌گیری شد. بارش مؤثر با استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به مزارع منتخب و رابطهٔ USDA تعیین شد. حجم آب مصرفی هر یک از مزارع منتخب در طول فصل رشد نیز از مجموع حجم کل آب آبیاری و بارش مؤثر محاسبه شد. پس از برداشت محصول و تعیین عملکرد گندم از تقسیم آن بر حجم آب مصرفی، مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی هر یک از مزارع تعیین شد. سپس داده‌های به‌دست آمده در شهرستان‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری شد. نتایج حاصل نشان داد میانگین حجم کل آب آبیاری اندازه‌گیری شده در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۵۲۰۴، ۵۷۹۵ و ۴۲۳۶ مترمکعب در هکتار و میانگین حجم آب مصرفی گندم به‌ترتیب ۶۲۹۷، ۷۷۳۷ و ۵۸۴۴ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. میانگین عملکرد محصول گندم در شهرستان‌های ذکر شده به‌ترتیب ۵۷۹۹، ۷۰۸۲ و ۴۹۳۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان‌های ذکر شده به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۵ و ۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. بنابراین نتایج نشان داد که مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان سرپل ذهاب کمتر از دو شهرستان دیگر بود که مهم‌ترین دلیل آن کمتر بودن عملکرد گندم در این شهرستان است. لذا می‌توان با مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی شامل مدیریت تغذیه و کاشت ارقام پربازده در این شهرستان اقدام به افزایش عملکرد و نهایتاً افزایش بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم دست یافت.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، آب مصرفی، بارش مؤثر، عملکرد

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.jovzi@areeo.ac.ir

استناد: جوزی، مهدی، ابراهیمی‌پاک، نیازعلی، و تافته، آرش (۱۴۰۴). تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۱)، ۱۵۹-۱۷۸.

doi: 10.22098/mmws.2024.14879.1445

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۱۵۹ تا ۱۷۸

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی© نویسندگان

۱- مقدمه

بهره‌وری آب کشاورزی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدیریت کشاورزی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده (Karimi and Jolaini, 2017) و تعیین آن در مزارع یکی از ملزومات بهینه‌سازی مصرف آب و بالا بردن راندمان کاربرد آب در سطح مزرعه است (Johnson et al., 2016; Parker and Zilberman, 1996). گرچه کمبود آب در سالیان گذشته در کل کشور یک مسألهٔ مهم بوده است (Kardovani and Kurdpoor, 2012)، اما در سال‌های اخیر به‌دلیل خشک‌سالی‌ها، این مسأله به مهم‌ترین مشکل کشور تبدیل شده که در استان‌های مختلف به‌وضوح قابل‌مشاهده است.

با توجه به رشد جمعیت و نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی و عدم دسترسی به منابع آب بیشتر، از مشکلات جامعه (که در آینده نیز حادتر خواهد بود) می‌توان به کمبود آب در بخش‌های مصرف‌کننده (به‌خصوص در بخش کشاورزی)، تأمین امنیت غذایی از منابع محدود آب و چالش کاهش سهم آب کشاورزی برای تأمین آب مورد نیاز محیط‌زیست اشاره کرد (Karimi and Jolaini, 2017).

یکی از راه‌کارهای مقابله با مشکلات اشاره‌شدهٔ فوق، بهبود بهره‌وری آب کشاورزی است (Karimi and Jolaini, 2017). از جمله شاخص‌های بهره‌وری آب، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب و مقدار محصولی است که از هر واحد حجم آب مصرفی به‌دست می‌آید (Ehsani and Khaledi, 2003). شاخص بهره‌وری آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینهٔ آبیاری است که به‌عنوان شاخصی متقن و علمی برای سنجش مصرف بهینهٔ آب و تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود (Abbasi et al., 2017). برای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در جهان، افزایش بیشتر تولید محصولات کشاورزی با مصرف آب کمتر مورد توجه است تا از این طریق امکان کاهش سهم آب بخش کشاورزی و تخصیص بیشتر آب به سایر مصارف فراهم گردد (Heydari, 2014a). در راستای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی اولین گام، شناخت و تعیین بهره‌وری آب است که متأسفانه اطلاعات دقیقی در خصوص میزان آن در استان کرمانشاه وجود ندارد و تنها اطلاعات مربوط به نتایج طرح‌های تحقیقاتی در شرایط معین در دسترس است که با توجه به تفاوت آن شرایط با شرایط مزارع کشاورزان، قابل‌تعمیم نیست.

به‌طورکلی متوسط بهره‌وری آب کشاورزی در کشور در یک دهه گذشته از ۰/۸۷ در سال ۱۳۸۴ به ۱/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۴ تغییریافته است (Abbasi et al., 2017). ذکر این نکته حائز اهمیت است که اعداد ارائه‌شده فوق توسط Abbasi et al. (2017) یک برآورد کلی است که باید با نگاه تخصصی و درک عمیق مباحث مربوط به بهره‌وری آب، به دنبال تعیین بهره‌وری آب و تعیین اجزای آن برای هر یک از محصولات بوده و قطعاً آن‌چه که مبنای تصمیم‌گیری برای اصلاح الگوی کشت و تدوین الگوی تولید پایدار است، بهره‌وری فیزیکی هر یک از محصولات خواهد بود نه بهره‌وری کل (Abbasi et al., 2017)؛ لذا عدد بهره‌وری فیزیکی اختصاصی برای تک‌تک محصولات باید تعیین و در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها از آن استفاده شود.

اختلاف در بهره‌وری آب محصولات در سطح کشور و همچنین در مقایسه با سایر کشورها با شرایط اقلیمی مشابه، نشان‌دهندهٔ وجود پتانسیل برای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است (Keshavarz and Dehghanisanij, 2012). با محدود شدن منابع آبی و اثرات تغییرات اقلیمی در چند دهه اخیر و همچنین افزایش نیاز بخش‌های صنعت، شرب و محیط‌زیست، مصرف آب در بخش کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی منابع آب، باید به نفع سایر بخش‌ها کنترل شود. بدیهی است پایش این فرآیند (کنترل مصرف آب در بخش کشاورزی به نفع سایر بخش‌ها) نیازمند مؤلفه‌های خاص خود است. در این راستا، شاخص بهره‌وری آب به‌عنوان یکی از این مؤلفه‌ها در چند سال اخیر در برنامه‌ریزی‌های ملی مورد توجه قرارگرفته است (Keshavarz and Dehghanisanij, 2012). در حال حاضر شاخص بهره‌وری آب محصولات زراعی مناطق مختلف در کشور، چندان مشخص نبوده و اندازه‌گیری‌های دقیق و معتبر در این زمینه در سطح مزارع کشور کافی نیستند؛ لذا تعیین مقدار این شاخص ازنظر برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و اقتصاد کشاورزی در مناطق مختلف حائز اهمیت است. با تعیین شاخص بهره‌وری آب آبیاری می‌توان به‌اندازه این شاخص و دلایل پایین بودن شاخص ازلحاظ مسائل و مشکلات مدیریتی آبیاری و زراعی محصولات مختلف در مناطق مختلف کشور پی برد و راه‌کارهای لازم را ارائه کرد (Keshavarz and Dehghanisanij, 2012). همچنین می‌توان گفت که از جمله مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای کشت محصولات کشاورزی به لحاظ اقتصادی، اجتماعی و منابع آبی تعیین شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب محصولات کشاورزی است.

گندم با نام علمی *Triticum aestivum* L. است که به‌عنوان محصول زراعی اول جهان است که توسط ۳۵ درصد از جمعیت جهان به‌عنوان منبع غذایی اصلی مصرف می‌شود (Bhandari et al., 2021; Shewry and Hey, 2015). گندم یک منبع استثنایی از کربوهیدرات، پروتئین، چربی، روی و سایر مواد معدنی مورد نیاز انسان است که حدود ۲۵ و ۲۲ درصد از کل کالری و پروتئین مورد نیاز جهانی را تأمین می‌کند (Shewry and Hey, 2015; Bhandari et al., 2024). بر اساس آخرین

آمار فائو که مربوط به سال ۲۰۲۲ میلادی است مساحت کشت و میزان تولید این محصول در جهان به‌ترتیب ۲۱۹۱۵۳۸۳۰ هکتار و ۸۰۸۴۴۱۵۶۸ تن است (FAOSTAT, 2024). حدود ۴۸ درصد از کل سطح زیرکشت گندم در جهان تحت آبیاری قرار دارد (Bhandari et al., 2024). بر اساس آخرین آمارنامهٔ کشاورزی که مربوط به سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ است مساحت کشت و میزان تولید گندم در ایران نیز به‌ترتیب ۶۹۰۸۵۴۵ هکتار و ۱۳۲۸۳۷۳۳ تن است (Ministry of Agricultural Jahad, 2023). حدود ۳۴/۳۰ درصد از کل سطح زیرکشت گندم در ایران تحت آبیاری قرار دارد (Ministry of Agricultural Jahad, 2023). بر اساس آمار دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بیش‌ترین مساحت کشت آبی محصولات زراعی مربوط به محصول گندم با مساحت ۱۰۲۲۳۶ هکتار و تولید ۴۹۸۳۲۵ تن است. استان کرمانشاه بر اساس آمار سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به لحاظ میزان سطح کشت، تولید و عملکرد گندم آبی به ترتیب جایگاه ششم، چهارم و سوم را در کشور دارد (Ministry of Agricultural Jahad, 2023). گیاه گندم از جمله محصولات اصلی و عمدهٔ زراعی استان کرمانشاه است و در سطح وسیعی از اراضی آن‌ها به صورت فاریاب کشت می‌شود. تعیین بهره‌وری آب مصرفی گندم شاخص مهمی در برنامه‌ریزی‌های تولید گندم است (Ebrahimipak et al., 2022). با توجه به افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی، کمبود منابع آب، نیاز روز افزون به تولید گندم و تأمین غذا، بهبود بهره‌وری آب مصرفی گندم ضروری است (Ferrari et al., 2020). برای بهبود بهره‌وری آب مصرفی اولین گام، شناخت و تعیین مقدار آن است.

در مناطق مختلف پژوهش‌های متعددی در مورد تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم انجام یافته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. Ghasemi Nezhad Raeini et al. (2015) در همدان میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گندم در روش آبیاری سطحی را ۱/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. Khoramivafa et al. (2017) در منطقهٔ کوزران شهرستان کرمانشاه بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را ۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. Keykhaei and Ganjikhorramdel (2016) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک زابل مقدار بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گندم در روش آبیاری سطحی شیاری و نواری را به‌ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. Gholami et al. (2016) در قزوین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گندم در روش آبیاری بارانی را ۰/۶۱ تا ۲/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب و در روش آبیاری سطحی ۰/۴۳ تا ۱/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آوردند. نتایج کلی آن‌ها نشان داد بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گندم در روش آبیاری بارانی نسبت به روش آبیاری سطحی بیشتر بود لذا آن‌ها نتیجه گرفتند که از لحاظ بهره‌وری آب آبیاری، آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی ارجحیت دارد.

Nakhjavanimoghaddam et al. (2017) در شهرهای مشهد، کرمان و کرج بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را ۰/۴۰ تا ۲/۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آوردند. Karimi and Jolaini (2017) با بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی در دشت مشهد مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را ۰/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. Nouri-Khajehbolagh et al., (2020) در دشت اردبیل بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را به‌ترتیب ۱/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آوردند. Taheri et al. (2020) بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در منطقهٔ میاندربند شهرستان کرمانشاه را ۰/۷۹ تا ۱/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. Salamati et al. (2020) طی پژوهشی در بهبهان، بهره‌وری فیزیکی آب گندم در شرایط کشاورزان و در روش‌های مختلف آبیاری را مطالعه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد، بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش‌های آبیاری قطره‌ای، بارانی و سطحی به‌ترتیب ۱/۵۱، ۰/۹۰ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. Heydari (2022) بیان می‌دارد بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم بر اساس مناطق مختلف بسیار متغیر است و مقدار آن در جهان ۰/۳۰ تا ۳/۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب و در ایران ۰/۲۵ تا ۲/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. متوسط این شاخص در جهان ۱/۱۰، کشورهای پیشرو (اکثر کشورهای اروپای غربی، آفریقای جنوبی و مصر در خاور میانه) ۱/۴۰ و ایران ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب است. Ebrahimipak et al. (2022) میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در ایران را با استفاده از روش اندازه‌گیری مزرعه‌ای و سامانه نیاز آب به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آوردند. ایشان مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان کرمانشاه را با استفاده از روش اندازه‌گیری مزرعه‌ای و سامانه نیاز آب به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب بیان نمودند. Bandyopadhyay and Mallick (2003) طی دو سال پژوهش در بنگال غربی هند، بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را ۱/۱۱ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. Zwart and Bastiaanssen (2004) متوسط شاخص بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در جهان را ۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. Ahmad et al. (2004) بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در مزارع کشاورزان منطقهٔ پنجاب پاکستان را ۲/۰۳-۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. Faramarzi et al.

(2010) در مطالعه‌ای بهره‌وری فیزیکی آب گندم تمام استان‌های کشور ایران را با استفاده از آمار درازمدت عملکرد و استفاده از مدل هیدرولوژی و بیلان آب به نام سوآت (برای تعیین تبخیر – تعرق) برآورد نمودند. بر اساس نتایج ایشان، بهره‌وری فیزیکی آب گندم آبی و دیم به‌ترتیب بین ۰/۱۵ تا ۱/۵۵ و ۰/۲۸ تا ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بهره‌وری فیزیکی آب گندم آبی و دیم در استان کرمانشاه برابر با ۰/۳۶ تا ۰/۴۵ و ۰/۴۹ تا ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شده است. Saleem et al. (2010) طی پژوهشی در کشور پاکستان بهره‌وری فیزیکی آب گندم را در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری سطحی جویچه‌ای بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد آبیاری قطره‌ای ۳۳/۴۰ درصد بهره‌وری آب بالاتری نسبت به آبیاری سطحی جویچه‌ای دارد. Karrou et al. (2012) در تحقیقی دو ساله در مصر، بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی در مزارع زارعین را ۱/۳۰ تا ۱/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمود. Fan et al. (2014) نیز در شمال غربی چین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را بین ۰/۵۷ تا ۱/۶۸ کیلو گرم بر مترمکعب به‌دست آوردند. Heydari (2014b) بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم برای ایران را به‌طور میانگین ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کرد. Hafez et al. (2021) طی پژوهشی در اسکندریه مصر، بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را ۰/۴۸ تا ۱/۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نمودند. Firouzabadi et al. (2021) طی پژوهش دو ساله در استان همدان بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) را ۱/۰۹ تا ۱/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در روش آبیاری سطحی (جویچه‌ای) را ۰/۷۱ تا ۰/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آورد. Dehghanisanij et al. (2023) طی پژوهشی در حوضه دریاچه ارومیه بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای (تیپ) را به‌ترتیب ۰/۹۱، ۱/۴۷ و ۱/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آوردند. Wei et al. (2023) در آزمایش مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقات زراعی دانشگاه کشاورزی شاندونگ چین میزان بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی را ۱/۲۷ تا ۱/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند.

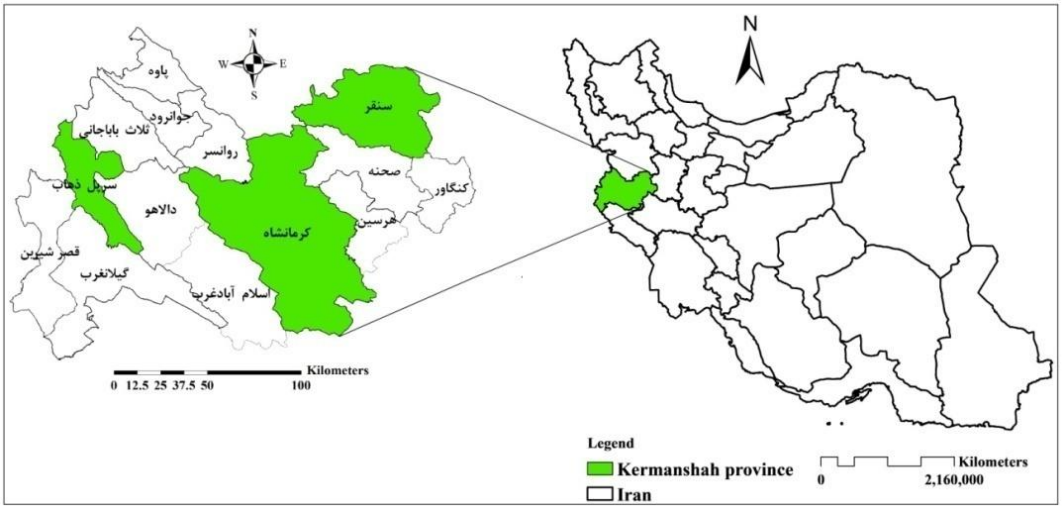
بررسی منابع نشان داد تعیین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در داخل و خارج از کشور مورد توجه بوده است اما اطلاعات دقیقی در خصوص میزان بهره‌وری آب مصرفی گندم در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه وجود ندارد و تنها اطلاعات مربوط به نتایج طرح‌های تحقیقاتی در شرایط معین در دسترس است که با شرایط مزارع کشاورزان تفاوت داشته و قابل‌تعمیم به شرایط واقعی نمی‌باشد. لذا در این پژوهش، شاخص بهره‌وری آب مصرفی گندم در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه به‌صورت پژوهش مزرعه‌ای و در شرایط کشاورزان تعیین شد که با آگاهی از این شاخص در شرایط کشاورزان مسئولین امر می‌توانند در تعیین الگوی کشت استان از آن استفاده کنند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

استان کرمانشاه در موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این استان دارای ۱۴ شهرستان اسلام‌آبادغرب، پاوه، ثلاث باباجانی، جوانرود، دالاهو، روانسر، سرپل زهاب، سنقر، صحنه، قصرشیرین، کرمانشاه، کنگاور، گیلان‌غرب و هرسین است. این استان با مساحت ۲۴۴۳۴/۲۵ کیلومترمربع، ۱/۵۰ درصد مساحت کشور را در بر داشته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۲۰۰ متر است (Karimi et al., 2019).

به‌طورکلی استان کرمانشاه بر اساس اقلیم‌بندی آمبرژه و پارامترهای دما و بارش دارای سه منطقهٔ آب و هوایی است (Rahimzadeh et al., 2020): الف) منطقهٔ سردسیر: این نوع آب و هوا در مناطق مرتفع استان مشاهده می‌شود. بخش‌هایی از شهرستان‌های کنگاور، سنقر، پاوه، جوانرود و همچنین بخش‌هایی از ثلاث باباجانی از این نوع آب و هوا برخوردارند. تابستان‌های ملایم تا گرم و زمستان‌های سرد تا خیلی سرد، از مهم‌ترین ویژگی‌های این نوع آب و هوا است. میانگین دمای تابستان و زمستان این منطقه به‌ترتیب ۲۶/۶۰ و ۳/۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و میانگین بارش ۵۳۸ میلی‌متر است که بیشتر آن به‌صورت برف است. ب) منطقهٔ گرمسیر: اراضی پست واقع در غرب استان، شامل قصرشیرین، سومار، سرپل ذهاب و گیلانغرب از مناطق گرمسیری استان به شمار می‌رود. ارتفاع کم و استقرار در مجاورت بیابان‌های خشک عراق از عوامل موثر در گرم بودن این منطقه است. از ویژگی‌های این آب و هوا، تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های ملایم است. میانگین دمای تابستان و زمستان به‌ترتیب ۳۲/۵۰ و ۱۱/۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد است. این منطقه به‌طور میانگین ۳۸۵ میلی‌متر بارش دارد و برف به‌ندرت در این منطقهٔ آب و هوایی مشاهده می‌شود. ج) منطقهٔ معتدل: مناطقی که در حد فاصل دو منطقهٔ گرمسیری غرب و سردسیری شرق و شمال استان قرار دارند، دارای زمستان‌های ملایم تا سرد و تابستان‌های گرم هستند. میانگین دمای تابستان و زمستان به‌ترتیب ۲۶/۱۰ و ۴/۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد و میانگین بارش ۴۴۱ میلی‌متر است. بخش اعظم شهرستان‌های کرمانشاه، اسلام آباد، روانسر، صحنه، هرسین و بخشی از دالاهو در این منطقهٔ آب و هوایی قرار گرفته‌اند. در شکل ۱ موقعیت استان کرمانشاه و شهرستان‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت استان کرمانشاه و شهرستان‌های مورد مطالعه

Figure 1- The location of Kermanshah province and the studied cities

این مطالعه به‌صورت میدانی و به‌منظور تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی محصول گندم در طول فصل زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه در ۳۴ مزرعه اجرا شد. جزئیات مربوط به روش انجام کار به شرح زیر ارائه می‌گردد.

۲-۲- مناطق مورد مطالعه

همان‌طورکه قبلا بیان شد در یک تقسیم‌بندی کلی، می‌توان اقلیم‌های آب و هوایی استان کرمانشاه را در سه اقلیم کلی گرم، معتدل و سرد تقسیم‌بندی نمود (Rahimzadeh et al., 2020). در پروژه حاضر ابتدا بر اساس آخرین آمار سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه شهرستان‌های سرپل ذهاب، کرمانشاه و سنقر که به‌ترتیب در اقلیم‌های ذکر شده دارای بیش‌ترین سطح زیر کشت محصول گندم، در استان بوده به‌عنوان مناطق آزمایشی انتخاب شدند (جدول ۱).

۲-۳- مزارع آزمایشی

به‌منظور انتخاب مزارع در شهرستان‌های مورد مطالعه با کمک کارشناسان مدیریت هماهنگی ترویج، مدیریت آب و خاک و معاونت تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه و شهرستان‌های مورد نظر، مزارع شناسایی و انتخاب شدند. مزارع آزمایشی به‌گونه‌ای انتخاب شدند که عوامل مختلفی از جمله بافت خاک، کیفیت آب آبیاری و روش آبیاری مختلف را پوشش دهند. در جدول ۲ تعداد مزارع انتخابی هر شهرستان ارائه شده است. پراکنش مزارع انتخابی در این شهرستان‌ها نیز در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مساحت کشت محصول گندم در شهرستان‌های استان کرمانشاه بر اساس آمار سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه

Table 1- The area of wheat cultivation in the cities of Kermanshah province based on the statistics of the 2020-2021 agricultural year from the Kermanshah Province Agricultural Jahad Organization

نام شهرستان	مساحت (هکتار)
کنگاور	4700
سنقر	6590
صحنه	6800
کرمانشاه	30000
اسلام آباد غرب	4700
هرسین	5250
روانسر	6100
دالاهو	180
جوانرود	167
پاوه	3
سرپل ذهاب	20000
قصر شیرین	3280
گیلانغرب	6700
ثلاث باباجانی	460
مجموع	94930

جدول ۲- تعداد مزارع انتخاب شده و ارقام گندم کشت شده در شهرستان‌های استان کرمانشاه

Table 2- The number of selected farms and cultivated wheat varieties in the cities of Kermanshah province

نام شهرستان	روش آبیاری		مجموع	ارقام گندم کشت شده
	سطحی	بارانی		
سنقر	5	6	11	میهن، پیشگام و طلایی
کرمانشاه	5	6	11	پیشگام، بهاران، رخشان و حیدری
سرپل ذهاب	5	7	12	شبرنگ، دهدشت، آران و بهرنگ
مجموع	15	19	34	-

شکل ۲- پراکنش مزارع مورد مطالعه پژوهش در سطح استان کرمانشاه

Figure 2- The distribution of farms studied in the research across Kermanshah province

به‌منظور انجام این مطالعه، مزارع انتخاب شده در طول فصل رشد مورد پایش زراعی قرار گرفت و مواردی نظیر تاریخ کاشت، نوع رقم به‌کاررفته، مدت زمان مراحل چهارگانهٔ رشد و تاریخ برداشت یادداشت‌برداری شد. مشخصات عمومی مزارع منتخب مثل مشخصات بهره‌برداران، مساحت، روش آبیاری و موقعیت دقیق مکانی با GPS در فرم‌های ثبت اطلاعات عمومی مزارع انتخابی یادداشت شد.

٤-۲- روش تعیین حجم آب مصرفی

برای تعیین میزان آب مصرفی، ابتدا مقدار دبی ورودی آب به مزارع منتخب که از منابع آب مختلف (کانال، چاه، قنات و یا چشمه) برداشت می‌شود با وسیله مناسب (فلوم، کنتور، سرریز، دبی‌سنج التراسونیک و میکرومولینه) حداقل سه مرتبه در سال (ابتدا، اواسط و انتهای فصل کشت) اندازه‌گیری شد. پس از تعیین میزان دبی آب ورودی به مزرعه با پایش دقیق برنامهٔ آبیاری مزرعه (مدت زمان آبیاری، دور آبیاری، تعداد دفعات آبیاری در طول دوره رشد) و همچنین اندازه‌گیری سطح زیر کشت محصول، حجم آب آبیاری محصول مورد مطالعه برای هر کدام از مزارع منتخب از رابطهٔ زیر تعیین شد.

$$VI = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i \times T_i}{A} \qquad (۱)$$

که در آن، Q دبی ورودی به مزرعه (مترمکعب در ثانیه)، T_i مدت زمان هر آبیاری (ثانیه)، A مساحت مزرعه (هکتار) و n تعداد آبیاری است.

پس از تعیین حجم آب آبیاری محصول مورد نظر، حجم آب مصرفی محصول نیز از رابطهٔ زیر محاسبه شد.

$$TWC = VI + Pe \qquad (۲)$$

که در آن، VI حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، Pe بارش مؤثر در طول فصل کشت (مترمکعب در هکتار) و TWC حجم آب مصرفی محصول مورد نظر (مترمکعب در هکتار) است.

برای محاسبهٔ بارش مؤثر از رابطهٔ USDA به‌صورت زیر استفاده شد (Chapagain and Hoekstra, 2011).

$$Pe = \begin{cases} \frac{P_t \times (125-0.2\,P_t)}{125} & \text{if } P_t<250 \text{ mm} \\ (125+0.1\,P_t) & \text{if } P_t\geq 250 \text{ mm} \end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن P_t بارش (میلی‌متر) و Pe بارش مؤثر در طول فصل کشت (میلی‌متر) است. مقدار P_t نیز با استفاده از داده‌های هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه به مزارع منتخب تعیین شد. از ضرب نمودن مقدار Pe برحسب میلی‌متر در عدد ۱۰ نیز، مقدار Pe بر حسب متر مکعب در هکتار به‌دست آمد.

لازم به ذکر است که پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر کدام از مزارع منتخب شامل: دبی ورودی به مزرعه، مدت زمان هر آبیاری، تعداد نوبت‌های آبیاری، میزان آب مصرفی در طول دوره رشد، میزان تولید محصول، عملکرد محصول در واحد سطح و ... در فرم‌های ثبت اطلاعات عمومی مزارع انتخابی درج شد.

۵-۲- تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی

برای تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی (CPD) که نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار حجم آب مصرفی است از رابطهٔ زیر استفاده شد (Ehsani and Khaledi, 2003).

$$CPD = TP/TWC \qquad (۴)$$

در این رابطه، TP میزان محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار)، TWC حجم آب مصرف شده در هکتار (متر مکعب در هکتار) و CPD بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی (کیلوگرم بر متر مکعب) است. بدیهی است که هرچه میزان CPD یک محصول بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ مصرف بهینهٔ آب است. محاسبهٔ این شاخص ساده بوده و مقایسهٔ بیرونی یا بین منطقه‌ای (بین مزارع) و مقایسهٔ درونی (روند زمانی) را میسر می‌سازد.

۶-۲- تحلیل آماری

پس از جمع‌آوری داده‌ها و محاسبات مربوط به بارندگی مؤثر، حجم آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی هر یک از مزارع منتخب در اقلیم‌های مختلف استان، اطلاعات مورد نظر در یک بانک اطلاعاتی ذخیره و سپس این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و با استفاده از پس آزمون‌های آن (Post Hoc)، مقادیر آب آبیاری، بارش مؤثر، حجم آب مصرفی، عملکرد محصول، و بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی در مناطق مورد پژوهش استان کرمانشاه مورد مقایسهٔ میانگین قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آب آبیاری

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس حجم کل آب آبیاری گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد حجم کل آب آبیاری گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه در روش آبیاری سطحی دارای تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ درصد بود (Sig < ۰/۰۵) درحالی‌که در روش آبیاری بارانی و کل هر دو روش آبیاری تفاوت غیرمعناداری در سطح احتمال ۵ درصد با یک‌دیگر داشتند (Sig > ۰/۰۵).

جدول ۳- نتایج تجزیهٔ واریانس حجم کل آب آبیاری گندم در شهرستان‌های مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه

Table 3- The results of variance analysis of the total volume of wheat irrigation water in the studied cities of Kermanshah Province

روش آبیاری	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	سطح معناداری (Sig.)
هر دو روش آبیاری	بین شهرستان‌ها	14330000	2	7162897.5	2.20	0.13
	درون شهرستان‌ها	100900000	31	3254795.9		
	کل سه منطقه	115200000	33			
آبیاری بارانی	بین شهرستان‌ها	3775173	2	1887587	1.38	0.28
	درون شهرستان‌ها	2.19E+07	16	1366452		
	کل سه منطقه	2.56E+07	18			
آبیاری سطحی	بین شهرستان‌ها	1.19E+07	2	5944119	4.28	0.04
	درون شهرستان‌ها	1.67E+07	12	1387507		
	کل سه منطقه	2.85E+07	14			

مقایسهٔ میانگین حجم کل آب آبیاری گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد بیش‌ترین میانگین حجم کل آب آبیاری گندم با ۵۷۹۵ متر مکعب در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۴۲۳۶ متر مکعب در هکتار به شهرستان سرپل ذهاب اختصاص داشت هرچند که تفاوت آن‌ها غیرمعنادار بود. میانگین حجم کل آب آبیاری گندم در سه منطقهٔ مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۵۰۵۳ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. حداقل حجم کل آب آبیاری گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۱۸۳۷، ۳۵۳۴ و ۱۹۲۴ متر مکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۸۷۰۸، ۸۷۷۷ و ۶۴۴۴ متر مکعب در هکتار حاصل شد. Karimi and Jolaini (2017) مقدار میانگین حجم کل آب آبیاری گندم را در دشت مشهد ۵۹۵۶ متر مکعب در هکتار برآورد نمودند که با میانگین نتایج پژوهش حاضر (۵۰۵۳ متر مکعب در هکتار) همخوانی چندانی ندارد. به‌نظر می‌رسد تفاوت دو پژوهش علاوه بر تفاوت اقلیم و مدیریت آبیاری کشاورزان، به‌علت عدم اندازه‌گیری آب آبیاری و لحاظ نمودن راندمان آبیاری گندم برابر ۵۰/۲۰ درصد در دشت مشهد و برآورد حجم کل آب آبیاری از تقسیم نیاز آبی گندم (۲۹۹۰ مترمکعب در هکتار برآورد شده از NETWAT) به این راندمان توسط آن‌ها باشد که باعث شده است حجم کل آب آبیاری گندم احتمالا بیش از مقدار واقعی آن در شرایط کشاورزان باشد.

بر اساس نتایج جدول ۴ بیش‌ترین میانگین حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری بارانی با ۴۵۰۵ متر مکعب در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۳۴۶۴ متر مکعب در هکتار به شهرستان سرپل ذهاب اختصاص یافت هرچند که تفاوت آن‌ها غیرمعنادار بود. میانگین حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری بارانی در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز ۳۸۶۳ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. حداقل حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۱۸۳۷، ۳۵۳۴ و ۱۹۲۴ متر مکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۵۷۵۶، ۵۷۰۶ و ۴۵۸۷ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد.

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین و آماره‌های توصیفی حجم کل آب آبیاری گندم (مترمکعب در هکتار) در شهرستان‌های مورد مطالعه استان کرمانشاه

Table 4- The mean comparison and descriptive statistics of the total volume of wheat irrigation water (m3 ha-1) in the studied cities of Kermanshah Province

روش آبیاری	منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین		حداقل	حداکثر
						حد پایین	حد بالا		
هر دو روش آبیاری	سنقر	11	5204a	2238.0	674.8	3700.4	6707.5	1837	8708
	کرمانشاه	11	5795a	1836.9	553.8	4561.1	7029.1	3534	8777
	سرپل ذهاب	12	4236a	1245.7	359.6	3444.1	5027.1	1924	6444
	کل سه منطقه	34	5053	1868.6	320.5	4401.4	5705.4	1837	8777
آبیاری بارانی	سنقر	6	3686a	1631.3	666.0	1974.2	5398.0	1837	5756
	کرمانشاه	6	4505a	963.9	393.5	3493.4	5516.6	3534	5706
	سرپل ذهاب	7	3464a	807.5	305.2	2717.1	4210.8	1924	4587
	کل سه منطقه	19	3863	1193.5	273.8	3287.6	4438.1	1837	5756
آبیاری سطحی	سنقر	5	7025ab	1262.2	564.5	5458.1	8592.5	5535	8708
	کرمانشاه	5	7343a	1334.5	596.8	5686.2	9000.3	5637	8777
	سرپل ذهاب	5	5316b	887.9	397.1	4213.5	6418.5	4590	6444
	کل سه منطقه	15	6562	1427.7	368.6	5770.9	7352.2	4590	8777

در ستون میانگین و برای هر پارامتر اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

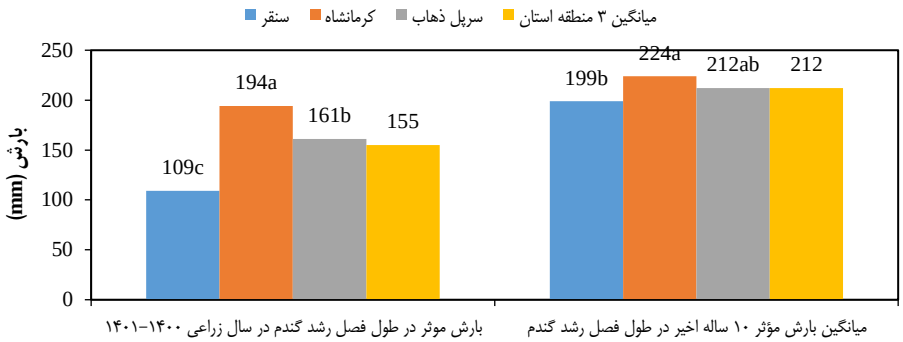
In the mean column, for each parameter, the numbers with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level.

بیش‌ترین میانگین حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری سطحی با ۷۳۴۳ متر مکعب در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۵۳۱۶ متر مکعب در هکتار به شهرستان سرپل ذهاب تعلق داشت که تفاوت معناداری با شهرستان کرمانشاه داشت. به‌عبارت دیگر در روش آبیاری سطحی حجم کل آب آبیاری گندم در شهرستان سرپل ذهاب نسبت به شهرستان‌های کرمانشاه و سنقر به‌ترتیب ۲۷/۶۰ و ۲۴/۳۰ درصد کمتر بود. علت این امر کوتاه‌تر بودن طول دورهٔ رشد گندم و رشد آن در ماه‌های خنک سال (آذر تا اواخر اردیبهشت ماه) در منطقهٔ گرمسیر سرپل ذهاب است (Jovzi and Ebrahimi Pak, 2023). میانگین حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری سطحی در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز ۶۵۶۲ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. حداقل حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری سطحی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۵۵۳۵، ۵۶۳۷ و ۴۵۹۰ متر مکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۸۷۰۸، ۸۷۷۷ و ۶۴۴۴ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد.

مقایسهٔ حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری بارانی با روش آبیاری سطحی نشان داد مقدار حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه، سرپل ذهاب و میانگین سه شهرستان مورد مطالعه به‌ترتیب ۴۸، ۳۹، ۳۵ و ۴۱ درصد کمتر از مقادیر متناظر حجم کل آب آبیاری گندم در روش آبیاری سطحی این شهرستان‌ها بود.

۲-۳- بارش مؤثر

در شکل زیر مقایسهٔ میانگین بارش مؤثر در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و میانگین بارش مؤثر ۱۰ ساله اخیر در طول فصل رشد گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه، سرپل ذهاب ارائه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد مقدار بارش مؤثر در طول فصل رشد گندم در شهرستان‌های ذکر شده و میانگین آن‌ها به‌ترتیب ۱۰۹، ۱۹۴، ۱۶۱ و ۱۵۵ میلی‌متر بود. مقدار بارش مؤثر در طول فصل رشد گندم در شهرستان سنقر ۳۰ درصد کمتر از میانگین این سه شهرستان مورد مطالعه استان کرمانشاه بود اما مقدار آن در شهرستان‌های کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۲۵ و ۴ درصد بیشتر از میانگین این سه شهرستان مورد مطالعه بود. مقایسهٔ مقدار بارش مؤثر در طول فصل رشد گندم در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ با مقدار میانگین بارش مؤثر ۱۰ ساله اخیر در طول فصل رشد گندم نشان داد مقدار بارش مؤثر در طول فصل رشد گندم در سال زراعی مورد پژوهش در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه، سرپل ذهاب و میانگین این سه شهرستان به‌ترتیب ۴۵، ۱۳، ۲۴ و ۲۷ درصد کمتر از مقادیر متناظر میانگین بارش مؤثر ۱۰ ساله اخیر این شهرستان‌ها بود.



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین بارش مؤثر در طول فصل رشد گندم در شهرستان‌های مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه

(اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.)

Figure 3- Mean comparison of effective precipitation during the wheat growing season in the studied cities of Kermanshah Province

(Numbers with the same letters do not have a significant difference with each other at the 5% probability level.)

۳-۳- حجم آب مصرفی

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس حجم آب مصرفی (حجم کل آب آبیاری + بارش مؤثر در طول فصل رشد) گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد حجم آب مصرفی گندم در روش‌های آبیاری بارانی، سطحی و کل هر دو روش آبیاری در شهرستان‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با یک‌دیگر داشتند (Sig < ۰/۰۵).

مقایسهٔ میانگین حجم آب مصرفی گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد بیش‌ترین میانگین حجم آب مصرفی گندم با ۷۷۳۷ متر مکعب در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۵۸۴۴ متر مکعب در هکتار به شهرستان سرپل ذهاب اختصاص داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان سنقر ۶۲۹۷ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر مورد مطالعه غیرمعنادار بود. میانگین حجم آب مصرفی گندم در سه منطقهٔ مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۶۶۰۳ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین حجم آب مصرفی گندم در شهرستان کرمانشاه ۱۷ درصد بیشتر و در شهرستان‌های سرپل ذهاب و سنقر به‌ترتیب ۱۱ و ۵ درصد کمتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعه استان کرمانشاه بود. حداقل حجم آب مصرفی گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۲۸۲۷، ۵۳۹۷ و ۳۷۸۰ متر مکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۹۶۹۷، ۱۰۶۰۶ و ۸۲۸۹ متر مکعب در هکتار حاصل شد. Sepahvand (2009) در ایستگاه تحقیقات سراب چنگایی خرم‌آباد حجم آب مصرفی گندم را ۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار گزارش نمود که با نتایج حاصل از این تحقیق تا حدودی تفاوت دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت اقلیم، اثر سال و رقم مورد استفاده باشد.

جدول ۵- نتایج تجزیهٔ واریانس حجم آب مصرفی گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه استان کرمانشاه

Table 5- The results of variance analysis of wheat water consumption volume in the studied cities of Kermanshah Province

روش آبیاری	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	سطح معناداری (Sig.)
هر دو روش آبیاری	بین شهرستان‌ها	22100000	2	11050000	3.45	0.04
	درون شهرستان‌ها	99360000	31	3205041.6		
	کل سه منطقه	121500000	33			
آبیاری بارانی	بین شهرستان‌ها	9522241	2	4761120	3.75	0.05
	درون شهرستان‌ها	2.03E+07	16	1271074		
	کل سه منطقه	2.99E+07	18			
آبیاری سطحی	بین شهرستان‌ها	1.45E+07	2	7252406	5.45	0.02
	درون شهرستان‌ها	1.60E+07	12	1330258		
	کل سه منطقه	3.05E+07	14			

جدول ٦- مقایسهٔ میانگین و آماره‌های توصیفی حجم آب مصرفی گندم (مترمکعب در هکتار) در شهرستان‌های مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه

Table 6- Mean comparison and descriptive statistics of wheat water consumption volume (m^3 ha^{-1}) in the studied cities of Kermanshah Province

روش آبیاری	منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین		حداقل	حداکثر
						حد پایین	حد بالا		
هر دو روش آبیاری	سنقر	11	6297ab	2230.25	672.45	4798.64	7795.25	2827	9697
	کرمانشاه	11	7737a	1825.45	550.39	6510.97	8963.68	5397	10606
	سرپل ذهاب	12	5844b	1217.05	351.33	5070.81	6617.37	3780	8289
	کل سه منطقه	34	6603	1918.42	329.01	5933.75	7272.49	2827	10606
آبیاری بارانی	سنقر	6	4760b	1582.83	646.19	3098.69	6420.85	2827	6746
	کرمانشاه	6	6434a	995.13	406.26	5389.49	7478.14	5397	7683
	سرپل ذهاب	7	5095ab	690.29	260.90	4456.21	5733.02	3780	6097
	کل سه منطقه	19	5412	1287.97	295.48	4791.00	6032.56	2827	7683
آبیاری سطحی	سنقر	5	8142ab	1227.09	548.77	6617.93	9665.19	6731	9697
	کرمانشاه	5	9302a	1218.87	545.09	7788.12	10814.96	7839	10606
	سرپل ذهاب	5	6893b	999.70	447.08	5652.07	8134.65	6101	8289
	کل سه منطقه	15	8112	1475.22	380.90	7295.20	8929.10	6101	10606

در ستون میانگین و برای هر پارامتر اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

In the mean column, for each parameter, the numbers with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level.

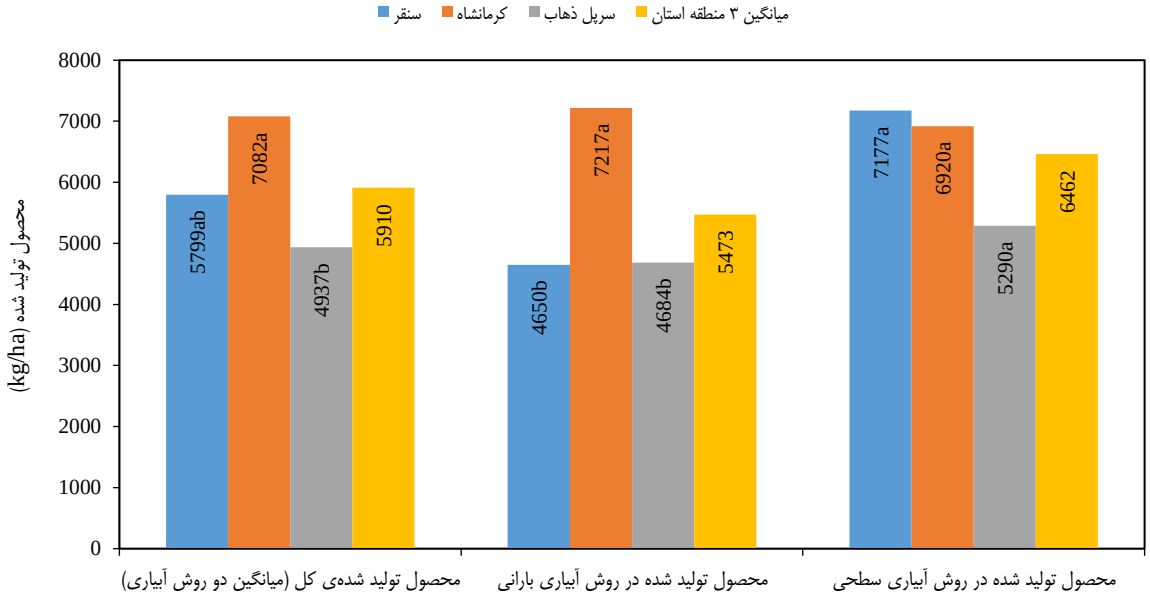
بر اساس نتایج جدول ۶ بیش‌ترین میانگین حجم آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی با ۶۴۳۴ متر مکعب در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۴۷۶۰ متر مکعب در هکتار به شهرستان سنقر اختصاص یافت. مقدار این پارامتر در شهرستان سرپل ذهاب ۵۰۹۵ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر از لحاظ آماری غیرمعنادار بود. میانگین حجم آب مصرفی گندم در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز در روش آبیاری بارانی ۵۴۱۲ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین حجم آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۱۲ و ۶ درصد کمتر و در شهرستان کرمانشاه ۱۹ درصد بیشتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعه استان کرمانشاه بود. حداقل حجم آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۲۸۲۷، ۵۳۹۷ و ۳۷۸۰ متر مکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۶۷۴۶، ۷۶۸۳ و ۶۰۹۷ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد.

بیش‌ترین میانگین حجم آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی با ۹۳۰۲ متر مکعب در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۶۸۹۳ متر مکعب در هکتار به شهرستان سرپل ذهاب تعلق داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان سنقر ۸۱۴۲ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر از لحاظ آماری غیرمعنادار بود. میانگین حجم آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز ۸۱۱۲ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین حجم آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی در شهرستان‌های کرمانشاه و سنقر به‌ترتیب ۱۵ و ۰/۴۰ درصد بیشتر و در شهرستان سرپل ذهاب ۱۵ درصد کمتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعه استان کرمانشاه بود. حداقل حجم آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۶۷۳۱، ۷۸۳۹ و ۶۱۰۱ متر مکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۹۶۹۷، ۱۰۶۰۶ و ۸۲۸۹ متر مکعب در هکتار به‌دست آمد.

٤-۳- عملکرد گندم

مقایسهٔ میانگین محصول تولید شده گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب در شکل زیر ارائه شده است. نتایج نشان داد بیش‌ترین میانگین محصول تولید شده گندم با ۷۰۸۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۴۹۳۷ کیلوگرم در هکتار به شهرستان سرپل ذهاب اختصاص داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان سنقر ۵۷۹۹ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر مورد مطالعه غیرمعنادار بود. میانگین محصول تولید شده گندم در سه منطقهٔ مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۵۹۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین محصول تولید شده گندم در شهرستان‌های سرپل ذهاب و سنقر به‌ترتیب ۱۶ و ۲ درصد کمتر و در شهرستان کرمانشاه ۲۰ درصد بیشتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه بود. Nouri-Khajehbolagh et al., (2020) میانگین محصول تولید شده گندم را در دشت اردبیل ۵۴۴۸ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند که مقدار آن با مقدار میانگین حاصل از نتایج این پژوهش در منطقهٔ سردسیر استان کرمانشاه (سنقر با ۵۷۹۹ کیلوگرم در هکتار) هم‌خوانی دارد. Karimi and Jolaini (2017) مقدار میانگین محصول تولید شده گندم را در دشت مشهد ۲۷۱۵ کیلوگرم

در هکتار تعیین نمودند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد. به‌نظر می‌رسد تفاوت دو پژوهش به‌علت تفاوت در اقلیم، مدیریت‌های کود، آبیاری و مزرعه توسط کشاورزان باشد.



شکل ٤- مقایسهٔ میانگین محصول تولید شدهٔ گندم در شهرستان‌های مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه

(برای هر پارامتر اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.)

Figure 4- Mean comparison of wheat yield in the studied cities of Kermanshah Province

(For each parameter, the numbers with the same letters do not have a significant difference with each other at the 5% probability level.)

بر اساس نتایج شکل بالا بیش‌ترین میانگین محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری بارانی با ۷۲۱۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۴۶۵۰ کیلوگرم در هکتار به شهرستان سنقر اختصاص یافت. مقدار این پارامتر در شهرستان سرپل ذهاب ۴۶۸۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که تفاوت آن با شهرستان سنقر از لحاظ آماری غیرمعنادار و با شهرستان کرمانشاه معنادار بود. میانگین محصول تولید شدهٔ گندم در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز در روش آبیاری بارانی ۵۴۷۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۱۵ و ۱۴ درصد کمتر و در شهرستان کرمانشاه ۳۲ درصد بیشتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه بود.

بیش‌ترین میانگین محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری سطحی با ۷۱۷۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به شهرستان سنقر بود و کم‌ترین آن با ۵۲۹۰ کیلوگرم در هکتار به شهرستان سرپل ذهاب تعلق داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان کرمانشاه ۶۹۲۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر از لحاظ آماری غیرمعنادار بود. میانگین محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری سطحی در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز ۶۴۶۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری سطحی در شهرستان‌های کرمانشاه و سنقر به‌ترتیب ۷ و ۱۱ درصد بیشتر و در شهرستان سرپل ذهاب ۱۸ درصد کمتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه بود.

مقایسهٔ محصول تولید شده گندم در روش آبیاری بارانی با روش آبیاری سطحی نشان داد مقدار محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر، سرپل ذهاب و میانگین سه شهرستان مورد مطالعه به‌ترتیب ۳۵، ۱۱ و ۱۵ درصد کمتر از مقادیر متناظر محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری سطحی این شهرستان‌ها بود. اما مقدار آن در شهرستان کرمانشاه ۴ درصد بیشتر از مقادیر متناظر محصول تولید شدهٔ گندم در روش آبیاری سطحی این شهرستان بود.

۵-۳- بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد تفاوت بهره‌وری فیزیکی آب

مصرفی گندم در روش‌های آبیاری بارانی، سطحی و کل هر دو روش آبیاری در شهرستان‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۵ درصد غیرمعنادار بود (Sig > ۰/۰۵).

جدول ۷- نتایج تجزیهٔ واریانس بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان‌های مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه

Table 7- The results of variance analysis of physical water productivity of wheat in the studied cities of Kermanshah Province

روش آبیاری	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	سطح معناداری (Sig.)
هر دو روش آبیاری	بین شهرستان‌ها	0.078	2	0.039	0.668	0.52
	درون شهرستان‌ها	1.805	31	0.058		
	کل سه منطقه	1.883	33			
آبیاری بارانی	بین شهرستان‌ها	0.123	2	0.062	1.259	0.31
	درون شهرستان‌ها	0.782	16	0.049		
	کل سه منطقه	0.906	18			
آبیاری سطحی	بین شهرستان‌ها	0.077	2	0.038	0.891	0.44
	درون شهرستان‌ها	0.517	12	0.043		
	کل سه منطقه	0.594	14			

مقایسهٔ میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد بیش‌ترین میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم با ۰/۹۷ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به شهرستان سنقر بود و کم‌ترین آن با ۰/۸۶ کیلوگرم بر متر مکعب به شهرستان سرپل ذهاب اختصاص داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان کرمانشاه ۰/۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر مورد مطالعه غیرمعنادار بود. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در سه منطقهٔ مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۰/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان سرپل ذهاب ۷/۵۰ درصد کمتر و در شهرستان‌های سنقر و کرمانشاه به‌ترتیب ۴ و ۲ درصد بیشتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعه استان کرمانشاه بود. حداقل بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۰/۵۵، ۰/۶۷ و ۰/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۱/۳۵، ۱/۳۱ و ۱/۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب حاصل شد. Nouri-Khajehbolagh et al. (2020) میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را در دشت اردبیل ۱/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نمودند که مقدار آن با مقدار میانگین حاصل از نتایج این پژوهش در منطقهٔ سردسیر استان کرمانشاه (سنقر با ۰/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب) تفاوت چندانی نداشته و هم‌خوانی دارد. به‌نظر می‌رسد این تفاوت اندک نیز به‌دلیل عدم لحاظ بارش مؤثر در محاسبهٔ بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی آن‌ها باشد.

Sepahvand (2009) در ایستگاه تحقیقات سراب چنگایی خرم آباد بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را ۱/۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار گزارش نمود که با نتایج حاصل از این تحقیق تا حدودی تفاوت دارد. همان گونه که قبلا بیان شد این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت اقلیم، اثر سال و رقم مورد استفاده و در نهایت حجم آب مصرفی کمتر آن‌ها علی‌رغم تفاوت نه چندان قابل ملاحظه در مقدار میانگین محصول تولید شده باشد. Fan et al. (2014) نیز در شمال غربی چین مقدار این پارامتر را بین ۰/۵۷ تا ۱/۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نمودند. Heydari (2014b) بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم برای ایران را به‌طور میانگین ۰/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کرد. Nakhjavanimoghaddam et al. (2017) در شهرهای مشهد، کرمان و کرج بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را ۰/۴۰ تا ۲/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نمودند که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همخوانی دارد. Karimi and Jolaini (2017) مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم را در دشت مشهد ۰/۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آوردند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد. دلیل این امر علاوه بر کمتر بودن میانگین محصول تولید شده (۲۷۱۵ در مقابل ۵۹۱۰ کیلوگرم در هکتار)، بیشتر برآورد شدن حجم کل آب آبیاری گندم در پژوهش آن‌هاست (۵۹۵۶ در مقابل ۵۰۵۳ مترمکعب در هکتار).

جدول ۸- مقایسهٔ میانگین و آماره‌های توصیفی بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم (کیلوگرم بر متر مکعب) در شهرستان‌های مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه

Table 8- Mean comparison and descriptive statistics of physical water productivity of wheat (kg m^{-3}) in the studied cities of Kermanshah Province

روش آبیاری	منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	فاصله اطمینان 95% برای میانگین		حداقل	حداکثر
						حد پایین	حد بالا		
هر دو روش آبیاری	سنقر	11	0.97a	0.31	0.09	0.76	1.18	0.55	1.35
	کرمانشاه	11	0.95a	0.22	0.07	0.81	1.10	0.67	1.31
	سرپل ذهاب	12	0.86a	0.19	0.05	0.74	0.98	0.57	1.11
	کل سه منطقه	34	0.93	0.24	0.04	0.84	1.01	0.55	1.35
آبیاری بارانی	سنقر	6	1.02a	0.34	0.14	0.67	1.37	0.59	1.34
	کرمانشاه	6	1.13a	0.13	0.05	0.99	1.26	1.00	1.31
	سرپل ذهاب	7	0.93a	0.15	0.06	0.79	1.07	0.73	1.10
	کل سه منطقه	19	1.02	0.22	0.05	0.91	1.13	0.59	1.34
آبیاری سطحی	سنقر	5	0.91a	0.29	0.13	0.55	1.27	0.55	1.35
	کرمانشاه	5	0.75a	0.06	0.03	0.67	0.82	0.67	0.83
	سرپل ذهاب	5	0.77a	0.20	0.09	0.51	1.02	0.57	1.11
	کل سه منطقه	15	0.81	0.21	0.05	0.69	0.92	0.55	1.35

در ستون میانگین و برای هر پارامتر اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

(For each parameter, the numbers with the same letters do not have a significant difference with each other at the 5% probability level.)

بر اساس نتایج جدول ۸ بیش‌ترین میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی با ۱/۱۳ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به شهرستان کرمانشاه بود و کم‌ترین آن با ۰/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب به شهرستان سرپل ذهاب اختصاص یافت. مقدار این پارامتر در شهرستان سنقر ۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر از لحاظ آماری غیرمعنادار بود. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز در روش آبیاری بارانی ۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان سرپل ذهاب ۹ درصد کمتر و در شهرستان کرمانشاه ۱۱ درصد بیشتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه بود. اما مقدار این پارامتر در شهرستان سنقر برابر با مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه بود. حداقل بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۰/۵۹، ۱/۰۰ و ۰/۷۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۱/۳۴، ۱/۳۱ و ۱/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. در این زمینه، Salamati et al. (2020) طی پژوهشی در شرایط کشاورزان در بهبهان، مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی را ۰/۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند که با نتایج این پژوهش در منطقهٔ گرمسیر سرپل ذهاب (۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب) در روش آبیاری بارانی همخوانی دارد.

بیش‌ترین میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی با ۰/۹۱ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به شهرستان سنقر بود و کم‌ترین آن با ۰/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب به شهرستان کرمانشاه تعلق داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان سرپل ذهاب ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر از لحاظ آماری غیرمعنادار بود. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی در سه منطقهٔ مورد مطالعه نیز ۰/۸۱ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی در شهرستان‌های کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۷ و ۵ درصد کمتر و در شهرستان سنقر ۱۲ درصد بیشتر از مقدار میانگین آن در سه منطقهٔ مورد مطالعهٔ استان کرمانشاه بود. حداقل بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب به‌ترتیب ۰/۵۵، ۰/۶۷ و ۰/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۱/۳۵، ۰/۸۳ و ۱/۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. در این راستا نتایج Mamanpoush et al. (2002) در اصفهان نشان داد بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی در زراعت گندم که به روش آبیاری سطحی آبیاری می‌شد بین ۰/۳۴ تا ۰/۶۹ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. Salamati et al. (2020) طی پژوهشی در شرایط کشاورزان در بهبهان، مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری

سطحی را ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند که با نتایج این پژوهش در منطقهٔ گرمسیر سرپل ذهاب (۰/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در روش آبیاری سطحی همخوانی دارد.

مقایسهٔ بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی با روش آبیاری سطحی نشان داد مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه، سرپل ذهاب و میانگین سه شهرستان مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۲، ۵۱، ۲۱ و ۲۶ درصد بیشتر از مقادیر متناظر بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری سطحی این شهرستان‌ها بود.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مقادیر حجم کل آب آبیاری، حجم آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در اقلیم‌های سرد (سنقر)، معتدل (کرمانشاه) و گرم (سرپل ذهاب) استان کرمانشاه تعیین شدند. نتایج به‌طور کلی نشان داد مقدار حجم کل آب آبیاری و حجم آب مصرفی گندم در اقلیم گرم استان به دلیل کوتاه بودن طول دوره رشد گندم و رشد این گیاه در ماه‌های خنک سال، کم‌تر از اقلیم‌های سرد و معتدل استان بود. بنابراین با توجه به کم‌تر بودن حجم آب مصرفی گندم در اقلیم گرم انتظار می‌رفت که بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در این اقلیم بیش‌تر از دو اقلیم دیگر استان باشد. اما به دلیل کم‌تر بودن عملکرد گندم در اقلیم گرم این موضوع اتفاق نیافتاد و بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در اقلیم گرم استان کرمانشاه کم‌تر از دو اقلیم سرد و معتدل استان شد. لذا می‌توان با مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی از جمله مدیریت تغذیه و کاشت ارقام پربازده در این شهرستان اقدام به افزایش عملکرد و نهایتاً به افزایش بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم دست یافت. از دیگر نتایج مهم این پژوهش کم‌تر بودن مقدار حجم کل آب آبیاری و حجم آب مصرفی گندم و بیش‌تر بودن بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در روش آبیاری بارانی نسبت به مقادیر متناظر آن‌ها در روش آبیاری سطحی در هر سه شهرستان مورد مطالعه بود. بنابراین، این نتیجه یکی از دلایل برتری سامانه‌های آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی در مناطق مورد مطالعه است که می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم شود.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بر اساس نتایج پروژهٔ پژوهشی با شمارهٔ مصوب ۲۴-۵۵-۱۰-۰۲۰-۰۰۰۷۷۴ از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و با همکاری و حمایت مالی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه با کد ۲۱۳۷۸۷-۱۵۶۳ و شمارهٔ قرارداد ۲۸۸۸ اجرا شده است. در اجرای آن همکاران گرانقدری از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، مراکز جهاد کشاورزی شهرستان‌های کرمانشاه، سنقر و سرپل ذهاب و مراکز خدمات کشاورزی دهستان‌های وابستهٔ آن‌ها مشارکت و همکاری داشته‌اند. بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی از زحمات و همکاری‌های این بزرگواران اعلام می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسندهٔ مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

مهدی جوزی: مفهوم‌سازی، اجرای پروژه و جمع‌آوری داده‌ها، بررسی منابع، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله و ویرایش و بازبینی مقاله؛ **نیازعلی ابراهیمی‌پاک:** مفهوم‌سازی، راهنمایی، تحلیل‌های آماری و بررسی، روش شناسی، کنترل نتایج و بازبینی متن مقاله؛ **آرش تافته:** تحلیل‌های آماری و بررسی، مفهوم‌سازی و روش‌شناسی، مشاوره، بازبینی متن مقاله.

منابع

ابراهیمی‌پاک، نیازعلی، تافته، آرش، عباسی، فریبرز، و باغانی، جواد (۱۴۰۱). برآورد مقدار آب آبیاری گندم با استفاده از سامانه نیاز آب و مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری مزرعه‌ای. *تحقیقات خاک و آب ایران*، ۵۳(۹)، ۲۰۷۵-۲۰۹۲. doi: 10.22059/ijswr.2022.346273.669328

احسانی، مهرزاد، و خالدی، هومن (۱۳۸۲). بهره‌وری آب کشاورزی. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱۶ صفحه.

جوزی، مهدی، و ابراهیمی‌پاک، نیازعلی (۱۴۰۲). تعیین نیاز آبی گندم در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه و مقایسه آن با سند ملی آب. *پیشرفت و توسعه استان کرمانشاه*، ۲(۳)، ۱۲۱-۱۴۴. doi: 10.22034/mpo.2023.401048.1075

حیدری، نادر (۱۳۹۳). ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور در این زمینه. *مجلس و راهبرد*، ۲۱(۷۸)، ۱۷۷-۱۹۹.

حیدری، نادر (۱۴۰۰). بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۵(۴)، ۴۲۱-۴۳۵. dor:20.1001.1.22287140.1400.35.4.7.3

خرمی‌وفا، محمود، نوری، مهدی، مدنی، فرزاد، و ویسی، هادی (۱۳۹۵). بررسی آب مجازی، بهره‌وری و ردپای اکولوژیک آب در مزارع گندم آبی و ذرت در منطقه کوزران (شهرستان کرمانشاه). *آب و توسعه پایدار*، ۳(۲)، ۱۹-۲۶. doi: 10.22067/jwsd.v3i2.50280

رحیم‌زاده، زهرا، نادریان، پروین، ابری‌فام، محمدرضا، حسینی، کامبیز، و افکاری، سهیلا. (۱۳۹۹). استان‌شناسی کرمانشاه. چاپ دهم، انتشارات شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۲۶ صفحه.

سپه‌وند، مراد (۱۳۸۸). مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آن در گندم و کلزا در غرب کشور در سال‌های پر باران. *پژوهش آب ایران*، ۳(۴)، ۶۳-۶۸.

سلامتی، نادر، باغانی، جواد، و عباسی، فریبرز (۱۳۹۹). مقایسه حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب گندم در روش‌های مختلف آبیاری در شهرستان بهبهان. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۳(۱)، ۲۹-۴۲. doi: 10.22055/jise.2017.23367.1659

طاهری، مینا، رضاوردی‌نژاد، وحید، بهمنش، جواد، عباسی، فریبرز، و باغانی، جواد (۱۳۹۹). تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب در قطب‌های تولید گندم کشور. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۴(۲)، ۲۱۷-۲۲۷. dor: 20.1001.1.22287140.1399.34.2.2.5..6

عباسی، فریبرز، عباسی، نادر، و توکلی، علیرضا (۱۳۹۶). بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، چالش‌ها و چشم‌اندازها. *آب و توسعه پایدار*، ۴(۱)، ۱۴۱-۱۴۴. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.67121

غلامی، زینب، ابراهیمیان، حامد، و نوری، حمیده (۱۳۹۵). بررسی بهره‌وری آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی (مطالعه موردی: دشت قزوین). *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹(۳)، ۱۳۵-۱۴۶. doi: 10.22055/jise.2016.12350

قاسمی‌نژاد رائینی، محمدرضا، معروفی، صفر، زارع کهن، مهدیه، و ملکی، عباس (۱۳۹۴). بررسی شاخص بهره‌وری آب و مقایسه آن با شرایط فعلی مزارع گندم. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۸(۱)، ۷۲-۷۷. doi: 10.22055/jise.2015.11154

کردوانی، پرویز، و کردپور، بختیار (۱۳۹۱). استفاده بهینه از منابع آبی در ناحیه اورامانات (ذخیره باران). *جغرافیایی سرزمین*، ۹(۳۵)، ۱۶-۱.

کریمی، محمد، و جلینی، محمد (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد. *آب و توسعه پایدار*، ۴(۱)، ۱۳۳-۱۳۸. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.52783

کریمی، مرتضی، شاه‌زیدی، سمیه سادات، و جعفری، ابراهیم (۱۳۹۸). بررسی تأثیر توپوگرافی بر دفاع سرزمینی مطالعه موردی: محور استراتژیک قصرشیرین-کرمانشاه. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۱۰۹، ۲۵۷-۲۳۹. doi: 10.22131/sepehr.2019.35650

کشاورز، عباس، و دهقانی سانیچ، حسین (۱۳۹۱). شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور. *راهبرد اقتصادی*، ۱(۱)، ۱۳۳-۱۹۹.

کیخایی، فاطمه، و گنجی خرم‌دل، ناصر (۱۳۹۵). تأثیر کم آبیاری با دو روش نواری و شیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب گندم هامون. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۰(۱)، ۱-۱۱. doi: 10.22092/jwra.2016.106197

مامن‌پوش، علیرضا، عباسی، فریبرز، و موسوی، سید فرهاد (۱۳۸۰). ارزیابی بازده کاربرد آب در روش‌های آبیاری سطحی در برخی از مزارع استان اصفهان. *تحقیقات مهندسی کشاورزی*، ۲(۹)، ۴۳ – ۵۸.

نخجوانی‌مقدم، محمد مهدی، قهرمان، بیژن، و زارعی، قاسم (۱۳۹۶). تحلیل بهره‌وری آب گندم در مدیریت‌های آبیاری در برخی از مناطق ایران. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۱(۱)، ۴۴ – ۵۶. doi: 10.22092/jwra.2017.109907

نوری خواجه بلاغ، رسول، خالدیان، محمدرضا، و کاوسی کلاشمی، محمد (۱۳۹۹). مقایسه شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات عمده زراعی در دشت اردبیل. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۳)، ۸۹۴-۹۰۴. dor: 20.1001.1.20087942.1399.14.3.14.1

وزارت جهاد کشاورزی، (۱۴۰۲). آمارنامه کشاورزی، سال ۱۴۰۱، محصولات زراعی (جلد اول). انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز آمار، فناوری و اطلاعات و ارتباطات، ۹۵ صفحه.

References

Abbasi, F., Abbasi, N., & Tavakkoli, A.R. (2017). Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Water and Sustainable Development*, *4*(1), 141-144. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.67121 [In Persian]

Ahmad, M.D., Masih, I., & Turral, H. (2004). Diagnostic analysis of spatial and temporal variations in crop water productivity: A field scale analysis of the rice wheat cropping system of Punjab, Pakistan. *Applied Irrigation Science*, *39*(1), 43-63.

Bandyopadhyay, P., & Mallick, S. (2003). Actual evapotranspiration and crop coefficients of wheat (*Triticum aestivum*) under varying moisture levels of humid tropical canal command area. *Agricultural Water Management*, *59*, 33–47. doi: 10.1016/S0378-3774(02)00112-9

Bhandari, R., Gnawali, S., Nyaupane, S., Kharel, S., Poudel, M., and Panth, P. (2021). Effect of drought & irrigated environmental condition on yield & yield attributing characteristic of bread wheat-a review. *Reviews in Food and Agriculture*, *2*(2), 59–62. doi: 10.26480/rfna.02.2021.59.62

Bhandari, R., Paudel, H., Nyaupane, S., and Poudel, M.R. (2024). Climate resilient breeding for high yields and stable wheat (*Triticum aestivum* L.) lines under irrigated and abiotic stress environments. *Plant Stress*, 11, 100352. doi: 10.1016/j.stress.2024.100352

Chapagain, A.K., & Hoekstra, A.Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, *70*(4), 749-758. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.11.012

Dehghanisanij, H., Emami, S., Rezaverdinejad, V., & Amini, A. (2023). Potential of the hazelnut tree search–ELM hybrid approach in estimating yield and water productivity. *Applied Water Science*, *13*, 61. doi: 10.1007/s13201-022-01865-3

Ebrahimipak, N.A., Tafteh, A., Abbasi, A., & Baghani, J. (2022). Estimation of the actual amount of wheat irrigation water using the Niazab System and comparing with the farm measurement. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *53*(9), 2075-2092. doi: 10.22059/ijswr.2022.346273.669328 [In Persian]

Ehsani, M., & Khaledi, H. (2003). *Agricultural water productivity*. 1st Edition: Iranian national committee on irrigation and drainage, 116 pages [In Persian]

Fan, Y., Wang, C., & Nan, Z. (2014). Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. *Agricultural Water Management*, *146*, 335-345. doi: 10.1016/j.agwat.2014.09.001

FAOSTAT, (2024). https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Faramarzi, M., Yang, H., Schulin, R., & Abbaspour, K. (2010). Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. *Agricultural Water Management*, *97*(11), 1861-1875. doi: 10.1016/j.agwat.2010.07.002

Ferrari, M., Benvenuti, L., Rossi, L., De Santis, A., Sette, S., Martone, D., Piccinelli, R., Le Donne, C., Leclercq, C., & Turrini, A. (2020). Could dietary goals and climate change mitigation be achieved through optimized diet? the experience of modeling the national food consumption data in Italy. *Frontiers in Nutrition*, 7, 48. doi: 10.3389/fnut.2020.00048

Firouzabadi, A.G., Baghani, J., Jovzi, M., & Albaji, M. (2021). Effects of wheat row spacing layout and drip tape spacing on yield and water productivity in sandy clay loam soil in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, *251*, 106868. doi: 10.1016/j.agwat.2021.106868

Ghasemi Nezhad Raeini, M.R., Marofi, S., Zare Kohan, M., & Maleki, A. (2015).Investigation of water efficiency index and its comparison with the Actual Conditions of Wheat Farms. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, *38*(1), 72-77. doi: 10.22055/jise.2015.11154 [In Persian]

Gholami, Z., Ebrahimian, H. & Noori, H. (2016). Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (Case study: Qazvin Plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, *39*(3), 135-146. doi: 10.22055/jise.2016.12350 [In Persian]

Hafez, M., Mohamed, A.E., Rashad, M., & Popov, A.I. (2021). The efficiency of application of bacterial and humic preparations to enhance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plant productivity in the arid regions of Egypt. *Biotechnology Reports*, *29*, e00584. doi: 10.1016/j.btre.2020.e00584

Heydari, N. (2014a). Water productivity in agriculture: Challenges in concepts, terms and values. *Irrigation and Drainage*, *63*(1), 22-28. doi: 10.1002/ird.1816

Heydari, N. (2014b). Assessment of Agricultural Water Productivity (WP) in Iran, and the Performance of Water Policies and Plans of the Government in this Regard. *Majlis and Rahbord*, *21*(78): 177-200 [In Persian]

Heydari, N. (2022). Wheat water productivity in Iran compared with data of some countries. *Water Research in Agriculture*, *35*(4), 421-

435. dor: 20.1001.1.22287140.1400.35.4.7.3 [In Persian]

Johnson LF, Cahn M, Martin F, Melton F, Benzen S, Farrara B, and Post K. (2016). Evapotranspiration-based irrigation scheduling of head lettuce and broccoli. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *51*(7), 935-940. doi: 10.21273/HORTSCI.51.7.935

Jovzi, M., & Ebrahimi Pak, N.A. (2023). Determining the water requirement of wheat in different climates of Kermanshah province and comparing it with the national water document. *Progress and Development of Kermanshah Province*, *2*(3), 121-144. doi: 10.22034/mpo.2023.401048.1075 [In Persian]

Kardovani, P., & Kurdpoor, B. (2012). Optimum use of water resource Oramanat zone (Rain reservoir). *Journal of Geographical Territory*, *9*(35), 1-16 [In Persian]

Karimi, M., & Jolaini, M. (2017). Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad Plain (Technical Note). *Water and Sustainable Development*, *4*(1), 133-138. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.52783 [In Persian]

Karimi, M., Shahzeidi, S.S., & Jafari, A. (2019). The effect of topography on territorial defense Case Study: Qasre-e Shirin - Kermanshah strategic axis. *Geographical Data (SEPEHR)*, 109, 239-257. doi: 10.22131/sepehr.2019.35650 [In Persian]

Karrou, M., Oweis, T., Enein, R.A.E., & Sherif, M. (2012). Yield and water productivity of maize and wheat under deficit and raised bed irrigation practices in Egypt. *African Journal of Agricultural Research*, *7*(11),1755-1760. doi: 10.5897/AJAR11.2109

Keshavarz, A., & Dehghanisanij, H. (2012). Water productivity index and solutions for future agricultural activities in Iran. *Quarterly Journal of Economic Strategy*, *1*(1), 133-199. [In Persian]

Keykhaei, F., & Ganjikhorramdel, N. (2016). Effect of deficit irrigation in corrugation and border methods on yield and water use efficiency of *wheat cv*. Hamoon. *Water Research in Agriculture*, *30*(1), 1-11. doi: 10.22092/jwra.2016.106197 [In Persian]

Khoramivafa, M., Nouri, M., Mondani, F., & Veisi, H. (2017). Evaluation of virtual water, water productivity and ecological footprint in wheat and maize farms in west of Iran: A Case Study of Kouzaran Region, Kermanshah Province. *Water and Sustainable Development*, *3*(2), 19-26. doi: 10.22067/jwsd.v3i2.50280 [In Persian]

Mamanpoush, A.R., Abbasi, F., & Mousavi, S.F. (2002). Evaluation of application efficiency in surface irrigation of some fields in Isfahan province. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *2*(9), 43-58. [In Persian]

Ministry of Agricultural Jahad, (2023). *Agricultural statistics, year 2022, crops (Volume 1)*. 1st Edition: Planning and economic deputy, statistics, technology and information and communication center, 95 pages. [In Persian]

Nakhjavanimoghaddam, M.M., Ghahreman, B., & Zarei, G. (2017). Wheat water productivity analysis under different irrigation management practices in some regions of Iran. *Water Research in Agriculture*, *31*(1), 44-56. doi: 10.22092/jwra.2017.109907 [In Persian]

Nouri-Khajehbolagh, R., Khaledian, M.R., & Kavoosi-Kalashami, M. (2020). Comparison of water productivity indicators for major crops in ardabil plain, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *14*(3), 894-904. dor: 20.1001.1.20087942.1399.14.3.14.1 [In Persian]

Parker D.D., & Zilberman D. (1996). The use of information services: The case of CIMIS. *Agribusiness*, *12*(3), 209-218. doi: 10.1002/(SICI)1520-6297(199605/06)12:3<209::AID-AGR2>3.0.CO;2-4

Rahimzadeh, Z., Naderian, P., Abrifam, M.R., Hosseini, K., & Afkari, S. (2020). *Kermanshah Province studies*. 10th Edition: Iran textbook publishing company, 126 pages. [In Persian]

Salamati, N., Baghani, J., & Abbasi, F. (2020). Determination of water consumption and productivity of wheat in different irrigation systems in Behbahan. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, *43*(1), 29-42. doi: 10.22055/jise.2017.23367.1659 [In Persian]

Saleem, M., Wagas, A., & Ahmad, R.N. (2010). Comparison of three wheat varieties with different irrigation systems for water productivity. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, *2*(1), 7-10.

Sepahvand, M. (2009). Comparison of water requirement, water productivity and economical water productivity of wheat and rapeseed in the west of Iran in wet years. *Iranian Water Research Journal*, *3*(4), 63-68. [In Persian]

Shewry, P.R., & Hey, S.J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Security*, *4*, 178–202. doi: 10.1002/fes3.64

Taheri, M., Rezaverdinejad, V., Behmanesh, J., Abbasi, F., & Baghani, J. (2020). Spatial analysis of water productivity index at major wheat production centers of Iran. *Water Research in Agriculture*, *34*(2), 217-227. dor: 20.1001.1.22287140.1399.34.2.2.5..6 [In Persian]

Wei, S., Kuang, N., Jiao, F., Zong, R., & Li, Q. (2023). Exploring the effects of subsoiling tillage under various irrigation regimes on the evapotranspiration and crop water productivity of winter wheat using RZWQM2. *Agricultural Water Management*, 289, 108531. doi: 10.1016/j.agwat.2023.108531

Zwart S.J., & Bastiaanssen W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, *69*(2), 115-133. doi: 10.1016/j.agwat.2004.04.007