Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

Vol.26, No.101, Winter, 2025, P. 49-64

Research Article

Impact of Water Consumption Management on Yield and Yield Components of Wheat

Nader Naderi[1]✉

Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Semnan (Shahrood), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran.

(✉ **Corresponding Author**: Naderi7367@yahoo.com)

A R T I C L E. I N F O

Received: 26 March 2026
Revised: 30 April 2026
Accepted: 14 May 2026
Available Online:30 May 2026

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Naderi, N., (2026). Impact of water consumption management on yield and yield components of wheat. V.26, No.100, P: 49-64
https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.372463.1645

Extend Abstract

Introduction

In order to increase water productivity, the use of modern methods of pressurized irrigation is one of the effective solutions. These methods can play an important role in conserving water resources by reducing water losses, increasing irrigation efficiency and allowing more accurate management of time and amount of applied water. Sprinkler irrigation is one of the suitable options for wheat fields in semi - arid regions. The Rain flat sprinkler irrigation system as a relatively new sprinkler method, requires less work pressure than conventional sprinkler methods and therefore energy consumption decreases. In addition, installation and operation of this system is simpler and faster and can be an appropriate option for irrigation management in water deficit conditions. Therefore, due to the limited water resources in Semnan province and the importance of wheat production and also for introducing the Rain flat sprinkler irrigation system, this study was conducted to investigate the effect of irrigation interval and different levels of water supply on yield and yield components of wheat.

Methodology

The aim of this study was to investigate the effect of irrigation interval and different water levels on yield and yield components of wheat in Rain flat sprinkler irrigation method for two years. The experiment was conducted as a split plot in randomized complete block design with three replications in Shahrud Agricultural Research and Education Center. Three irrigation intervals (4, 5 and 6 days) were allocated to main plots and three irrigation levels (100 ,80 and 60 %) in sub plots. Sprinkler irrigation pipes were placed at 4-meter intervals between planting rows. The length of planting rows was 8m. By using the Penman - Monteith method, water requirement of the plant was determined. At the end of growing season, wheat was harvested and yield was measured in each plot. Yield components including plant height, thousand grain weight and grains number per spike were determined for all treatments. Harvest index was calculated from the division of seed weight to total weight of vegetative and reproductive organs.

Results and Discussion

Results showed that the highest grain yield was achieved in irrigation interval of 4 and 5 days whereas irrigation interval of 6 days decreased yield. The effects of water supply, the treatments of 100 % and 80 % water supply had the highest yield and the 60 % water supply had the lowest yield. Therefore, it is possible to reduce water supply from 100 to 80 percent without significant reduction of yield, but decreases from 80 to 60 percent decrease grain yield by 39.17%. The interaction of interval and water supply showed that 4 days with 100 % water, 4 days with 80 % water and 5 days with 100 % water had the highest yield. The

lowest yield belonged to 6 days with 60 % water, indicating a decrease of up to 60.35 % in adverse irrigation management. The highest plant height, grains number per spike and thousand grain weight was obtained in 4 days irrigation interval, but there was no significant difference between 4 and 5 days in grain yield and harvest index. Also, plant height, grains number per spike, thousand grain weight and harvest index were in the treatment 100 and 80 percent of water supply in the top group, while reducing water supply to 60 percent reduced the yield and its components significantly. The results show that in Rain flat sprinkler irrigation system, with appropriate management of irrigation interval and irrigation interval equal to 5 days and supplying 80 % water requirement, both yield and yield components can be maintained in desirable condition, while increasing irrigation interval or severe water reduction, both lead to significant decrease in yield and yield components.

Conclusions

The results of combined analysis showed that irrigation interval and its combined effect with water supply level had a significant effect on most of traits. The highest plant height, grains number per spike and thousand grain weight was recorded in 4 days irrigation interval, but there was no significant difference between 4 and 5 days in grain yield and harvest index. Also, plant height, grains number per spike, thousand grain weight, grain yield and harvest index were in 100% and 80% water supply in a statistical group, while reducing water supply to 60% reduced grain yield by 17.39%. Based on results, irrigation interval of 4 and 5 days with 80% water supply was the most suitable management to maintain wheat yield by reducing water use. The results of this study indicate that optimal water management in wheat cultivation can be achieved without yield reduction by reducing irrigation water by 20 percent and adopting a 5-day irrigation interval.

Keywords: Deficit irrigation, Harvest index, Irrigation interval, Plant height, Rain flat

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

All information and results are presented in the text of the article

Author contribution

The Author have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgement

The author would like to thank and appreciate all participants in this study

© 2026,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.372463.1645

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۶/شماره ۱۰۱/ زمستان ۱۴۰۴/صفحه ۶۴-۴۹

نوع مقاله: پژوهشی

اثر مدیریت مصرف آب بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

نادر نادری[1]✉

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۰۸ | تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۴ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۰۹

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر مدیریت‌های کاهش مصرف آب آبیاری (دور و درصد آبیاری) بر ویژگی‌های عملکردی گندم، آزمایشی طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی سمنان (شاهرود) به‌اجرا در آمد. طرح آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در نظر گرفته شد. تیمارها شامل سه دور آبیاری (چهار، پنج و شش روز) در کرت‌های اصلی و سه سطح تأمین آب شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و کم‌آبیاری (۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های فرعی بودند. تمامی مدیریت‌های بهزراعی در تیمارها یکسان و آبیاری با سامانه بارانی تاشو اجرا شد. نتایج تجزیهٔ مرکب نشان داد که دور آبیاری و اثر ترکیبی آن با سطح تأمین آب بر بیشتر صفات مورد بررسی اثر معنی‌دار دارد. بیشترین ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در دور آبیاری چهار روز ثبت شد، اما در عملکرد دانه و شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری بین دورهای چهار و پنج روز مشاهده نشد. صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی در یک گروه آماری قرار گرفتند، در حالی که کاهش تأمین آب به ۶۰ درصد سبب کاهش ۱۷/۳۹ درصد در عملکرد دانه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تیمارهای دور آبیاری چهار و پنج روز همراه با ۸۰ درصد تأمین آب، مناسب‌ترین مدیریت برای حفظ عملکرد گندم با کاهش مصرف آب بودند. نتایج تحقیق نشان داد که اِعمال ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی همراه با دور آبیاری پنج روزه می‌تواند با حفظ عملکرد دانه در سطح آماری مشابه آبیاری کامل، گزینه‌ای مناسب برای مدیریت بهینه مصرف آب در کشت گندم باشد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، بارانی تاشو، دور آبیاری، شاخص برداشت، کم‌آبیاری

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آب و خاک، حفظ و بهره‌برداری پایدار از این منابع ارزشمند امری ضروری است. خشکسالی‌های مکرر سال‌های اخیر موجب تشدید کمبود آب شده و اهمیت مدیریت بهینهٔ مصرف آب، به‌ویژه در بخش کشاورزی، را دوچندان کرده است. استان سمنان به دلیل پایین بودن میانگین بارندگی سالانه (حدود ۱۱۰ میلی‌متر) و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها، در زمره مناطق نیمه‌خشک کشور قرار دارد(Anonymous 2017). میانگین دمای سالانه این استان حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد و دامنهٔ تغییرات دما از ۱۸- تا ۴۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. در دهه‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی سبب افت شدید سطح آب سفره‌ها شده و بسیاری از زمین‌های کشاورزی به دلیل کم‌آبی با محدودیت بهره‌برداری مواجه شده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد بیلان اکثر دشت‌های استان منفی است، به‌گونه‌ای که بسیاری از آن‌ها در وضعیت ممنوعه یا ممنوعهٔ بحرانی قرار دارند (Anonymous 2017). در چنین شرایطی، صرفه جویی در مصرف آب در کشاورزی اهمیت ویژه‌ای دارد. در استان سمنان برای تأمین نیاز آبی گیاهان، آبیاری مکرر ضروری است و حدود ۹۲ درصد آب مصرفی کشاورزی از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. در عین حال، استفادهٔ گسترده از روش‌های آبیاری سطحی موجب کاهش راندمان مصرف آب می‌شود و بخش قابل توجهی از آب به‌صورت تلفات تبخیر،

[1] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.
(✉نویسنده مسئول: **Email**: Naderi7367@yahoo.com)

نفوذ عمقی یا رواناب از دست می‌رود به‌گونه‌ای که تنها بخشی از آب مصرفی برای گیاه مفید خواهد بود Naderi & (Ghadami 2022). گندم مهم‌ترین محصول زراعی ایران محسوب می‌شود و سالانه حدود پنج تا شش میلیون هکتار از زمین‌های کشور به کشت این محصول اختصاص می‌یابد. بالابردن بهره‌وری آب در تولید این محصول استراتژیک، به‌ویژه در مناطق کم‌آب، از موضوع‌های اساسی بخش کشاورزی است (Mohtadi *et al*., 2017). در استان سمنان گندم با حدود ۲۲ هزار هکتار سطح زیر کشت، بیشترین سهم را در میان محصولات آبی دارد و سالانه حدود ۱۰۵ هزار تن گندم تولید می‌شود (Anonymous 2024). با این حال، مزارع گندم در اواخر دورهٔ رشد اغلب با تنش خشکی مواجه می‌شوند که ناشی از کمبود منابع آب یا رقابت با دیگرمحصولات آبی است. به‌منظور افزایش بهره وری آب، استفاده از روش‌های نوین آبیاری تحت فشار یکی از راهکارهای مؤثر مطرح شده است. این روش‌ها با کاهش تلفات آب، افزایش راندمان آبیاری و امکان مدیریت دقیق‌تر زمان و مقدار آب کاربردی، می‌توانند نقش مهمی در حفظ منابع آب داشته باشند (Naderi *et al*., 2018). در این میان، آبیاری بارانی یکی از گزینه‌های مناسب برای مزارع گندم در مناطق نیمه‌خشک است. سامانهٔ آبیاری بارانی تاشو[1] فناوری نسبتاً جدیدی است. این روش آبیاری، نسبت به روش‌های متداول بارانی، به فشار کاری کمتری نیاز دارد و در نتیجه مصرف انرژی در آن کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نصب و بهره‌برداری از این سامانه ساده‌تر و سریع‌تر است و می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای مدیریت آبیاری در شرایط کم‌آبی باشد.

آبیاری بارانی با ایجاد شبکهٔ انتقال و توزیع آب، امکان مدیریت دقیق زمان و مقدار آبیاری را فراهم می‌کند و نسبت به روش‌های سطحی، تلفات ناشی از رواناب و نفوذ عمقی را کاهش می‌دهد. این روش به دلیل قابلیت تنظیم دور و مقدار آبیاری متناسب با نیاز گیاه، گزینه‌ای مناسب برای مدیریت کم‌آبیاری در مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود. آبیاری قطره‌ای تیپ اگرچه راندمان مصرف آب بالاتری دارد، اما به دلیل تراکم بالای کشت گندم و نیاز به استقرار دقیق و فاصله‌های کم خطوط تیپ، هزینهٔ اولیه و نگهداری بیشتری نیز دارد. تیپ‌های رایج معمولاً تنها یک فصل زراعی قابل استفاده‌اند، در حالی‌که نوارهای آبیاری تاشو بیش از پنج سال دوام دارند و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از باقی‌ماندن نوارهای تیپ در مزرعه را نیز ندارند. ابراهیمی پاک و همکاران (Ebrahimipak *et al*., 2022) مقدار آب آبیاری برآوردشده برای گندم را با استفاده از سامانهٔ نیاز آب و مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه مقایسه کردند و نشان دادند میانگین مقدار آب آبیاری گندم در روش اندازه گیری شده و سامانه نیاز آب به ترتیب برابر ۵۷۳۴/۶، ۵۹۷۰/۲ مترمکعب در هکتار است و میانگین عملکرد گندم در روش اندازه گیری مزرعه و سامانه نیاز آب به ترتیب برابر با ۵۲۱۶/۵ و ۴۹۵۰/۶ کیلوگرم در هکتار و بهره وری آب گندم در روش اندازه گیری مزرعه و سامانه نیاز آب به ترتیب برابر ۱ و ۰/۹ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب است. افشار (Afshar 2025) با مقایسهٔ آرایش کاشت های مختلف گندم در آبیاری قطره ای نواری در خراسان رضوی نتیجه گرفت فاصلهٔ ۶۰ سانتی متر برای نوارها با آرایش کاشت منظم ردیف‌های گندم به فاصله ۱۵ سانتی متر بهترین آرایش است. نخجوانی و همکاران (Nakhjavani *et al*., 2024) با ارزیابی دو سامانهٔ آبیاری سطحی و بارانی روی گندم در لرستان نشان دادند مدیریت زراعی، آبیاری و کوددهی بر تولید گندم تأثیرگذار است و سامانه آبیاری بارانی باعث افزایش عملکرد و کاهش آب مصرفی می‌شود و بهره‌وری آب را بهبود می‌بخشد. نیسی و همکاران (Neysi *et al*., 2026) تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی را بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد گندم بررسی کردند. در این مطالعه، بوته‌های گندم تحت سه سطح تنش خشکی، شامل ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد تنش خشکی در تمامی

[1] Rain Flat

سطوح تأثیر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد گندم داشته است. در شرایط تنش خشکی شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، ویژگی‌های مرتبط با برگ و وزن صد دانه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گندم بودند، در حالی که در شرایط تنش متوسط، صفات رویشی و زایشی تأثیر بیشتری بر عملکرد داشته‌اند.

کیانی و کلاته عربی (Kiani & kalateharabi 2009) در بررسی توابع تولید آب گندم تحت آبیاری بارانی نشان دادند بیشترین عملکرد مربوط به آبیاری کامل و کمترین عملکرد مربوط به کم‌آبیاری شدید است، اما راهبرد کم‌آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب می‌تواند گزینه‌ای مؤثر برای افزایش بهره‌وری آب باشد. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که مقدار و زمان آبیاری تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد محصولات زراعی دارد و کاهش بیش از حد آب مصرفی می‌تواند موجب افت عملکرد شود (Kamkar *et al*., 2011). مطالعات در ایران نشان می‌دهد بهره‌وری آب گندم در سامانه‌های آبیاری بارانی معمولاً بیشتر است تا در آبیاری سطحی (Gholami *et al*., 2016). نتایج پژوهش‌ها همچنین نشان می‌دهد که آبیاری بارانی در ترکیب با خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند عملکرد اقتصادی و بهره‌وری انرژی را در مناطق نیمه‌خشک افزایش دهد (Naseri 2018). بررسی‌ها در چین نشان داده است اعمال تنش آبی باعث کاهش شاخص سطح برگ، زیست‌توده (بیوماس) ، وزن هزار دانه و عملکرد گندم می‌شود، در حالی که آبیاری بیش از نیاز نیز می‌تواند اثر منفی بر عملکرد داشته باشد (Liu *et al*., 2011). دامنهٔ بهره‌وری آب گندم در مطالعات مختلف بین ۰/۳ تا ۲/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است که نشان‌دهنده تأثیر شدید شرایط محیطی و مدیریت آبیاری بر این شاخص است (Azizi Zehan *et al*., 2014). در مورد سامانهٔ بارانی تاشو، مطالعات نشان داده‌اند که این روش می‌تواند عملکرد و بهره‌وری آب را نسبت به برخی روش‌های سنتی افزایش دهد و از نظر اقتصادی نیز باصرفه باشد (Roodbarani *et al*., 2021). در اغلب مطالعات پیشین، تمرکز عمدتاً بر سطوح کم‌آبیاری بوده است و اثر متقابل دور آبیاری و میزان تأمین آب در سامانه‌های کم‌فشار و نوینی مانند سامانه بارانی تاشو کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به محدودیت منابع آب در استان سمنان و اهمیت تولید گندم، در این پژوهش تلاش شده است تا با بررسی هم‌زمان این دو عامل مدیریتی در شرایط واقعی مزرعه، پاسخ عملکردی گندم و اجزای آن در سامانه نوین با مصرف انرژی کمتر ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر دور آبیاری و مقادیر مختلف آب بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (رقم پیشگام) با سامانه بارانی تاشو به مدت دو سال زراعی اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌اجرا در آمد. سه دور آبیاری (چهار، پنج و شش روز) در کرت‌های اصلی و سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. معیار انتخاب دورهای آبیاری در این پژوهش بر پایه شرایط اقلیمی منطقه، ویژگی‌های خاک، نیاز آبی گیاه و مدیریت رایج کشاورزان تعیین شد. در اقلیم خشک و نیمه‌خشک سمنان با تبخیر و تعرق بالا و محدودیت منابع آب، لازم بود دورهای آبیاری در بازه‌ای انتخاب شوند که هم از تنش شدید رطوبتی جلوگیری کند و هم امکان کم‌آبیاری مدیریت‌شده را فراهم سازد. بر این اساس، بازهٔ چهار تا شش روز به‌عنوان دامنه‌ای عملیاتی و قابل اجرا در شرایط مزرعه‌ای انتخاب شد. با توجه به بافت لومی شنی خاک و ظرفیت پایین نگهداری آب، این بازه به‌گونه‌ای در نظر گرفته شد که از بروز تنش شدید برای گیاه جلوگیری شود. لوله‌های آبیاری بارانی با فاصله‌های چهار متر در بین ردیف‌های کشت جاسازی و ردیف‌های کشت به طول هشت متر در نظر گرفته شدند.

مشخصات جغرافیایی و اقلیمی محل اجرای آزمایش

این آزمایش در زمین‌های ایستگاه بسطام واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) اجرا گردید. ایستگاه بسطام در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا برابر ۱۳۶۶ متر قرار گرفته است. بر اساس آمار بلند مدت هواشناسی میانگین حداقل، متوسط و حداکثر

دمای سالانه به ترتیب ۸/۷، ۱۴/۷ و ۲۰/۶ درجه سلسیوس است و از نظر پهنه‌بندی اقلیمی جزو اقلیم‌های خشک و نیمه خشک سرد طبقه‌بندی می‌شود (IMO 2022).

کیفیت آب مورد استفاده

برای آبیاری مزرعه از آب چاه های ایستگاه استفاده شده است. بر اساس دستورالعمل فائو، کیفیت آب مورد استفاده نسبتاً خوب است و برای استفاده در کشاورزی محدودیت جزئی دارد (جدول ۱).

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

پس از نمونه‌برداری از خاک مزرعه، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه خاک و آب مرکز تعیین شد. بافت خاک، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، pH، هدایت الکتریکی (EC) و عناصر شیمیایی خاک شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در آزمایشگاه مشخص شد (جدول۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری
Table 1- Chemical analysis of irrigation water

SAR	آنیون‌ها (meq/lit) Anions			کاتیون‌ها (meq/lit) Cations			pH	هدایت الکتریکی EC (mmhos/cm)
	$CO_3^{2-}+HCO_3^-$	$SO4^{2-}$	Cl^-	K^+	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Na^+		
۴/۳۲	۳/۱۴	۰/۹۶	۵/۶۴	–	۴/۷۶	۶/۶۷	۸/۳	۰/۹۸۵

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه
Table 2- Physical and chemical properties of the farm soil

pH	Ece (ds/m)	PWP (%) (cm^3/cm^3)	FC (%) (cm^3/cm^3)	بافت خاک Soil texture	مشخصات بافت Texture characteristics			عمق خاک Soil depth (cm)
					Silt	Clay	Sand	
					(%)			
۷/۹۰	۳/۹۹	۱۴/۳۸	۳۰/۱۴	لومی شنی Loam sandy	۳۲	۱۵	۵۳	۰-۳۰
۸/۰۸	۱/۶۸	۱۴/۲۲	۲۹/۳۹	لومی شنی Loam sandy	۳۳	۱۳	۵۵	۳۰-۶۰

عملیات کاشت و داشت

پس از آماده‌سازی زمین، عملیات کاشت آغاز شد. در فصل زراعی نیز عملیات داشت شامل کوددهی و مبارزه با علف‌های هرز بطور یکسان برای همه تیمارها صورت گرفت. براساس آزمون خاک کودهای شیمیایی شامل فسفات آمونیوم، سولفات پتاسیم و اوره به زمین اضافه شد. در زمان کاشت کودهای فسفاته و پتاسیم به صورت پایه و کود اوره در پاییز و بهار به صورت سرک استفاده شد. پیش از کاشت، از قارچ کش کاربوکسین تیرام (ویتاواکس) به نسبت دو در هزار برای ضدعفونی‌کردن بذر آزمایشی استفاده شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ، کل مزرعه با استفاده از علف‌کش توفوردی به میزان یک لیتر در هکتار (در ۴۰۰ لیتر آب) سمپاشی شد.

حجم آب آبیاری

با استفاده از روش پنمن مانتیس و داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی موجود در مرکز و با احتساب راندمان آبیاری ۸۰ درصد ، نیاز آبی کامل گیاه (۱۰۰ درصد نیاز آبی) تعیین شد (Zarei *et al.*, 2018). نیاز آبی برای تیمارهای با سطوح آبی ۸۰ و ۶۰ درصد نیز محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی، حجم آب مورد نیاز به مزرعه داده شد.

برداشت و اندازه گیری پارامترها

در پایان فصل زراعی، گندم برداشت شد و پس از جدا کردن دانه ها و توزین آنها، عملکرد گندم در هر کرت اندازه گیری گردید. اجزای عملکرد گندم شامل ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله نیز برای کلیه تیمارها تعیین

شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم وزن دانه به وزن کل اندام رویشی و زایشی محاسبه شد. نتایج با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری گردید و میانگین‌ها مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه گندم

نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب نشان داد اثر سال بر عملکرد و دیگر صفات مورد بررسی معنی‌دار نیست و بنابراین تفاوت قابل توجهی بین دو سال زراعی از نظر شرایط مؤثر بر صفات اندازه‌گیری‌شده مشاهده نشد. این موضوع احتمالاً ناشی از مشابه بودن شرایط اقلیمی دو سال آزمایش (از نظر بارش، دما و تبخیر و تعرق) و نیز یکسان بودن عملیات مدیریتی شامل آبیاری، کوددهی و مدیریت مزرعه بوده است؛ در نتیجه، تغییرپذیری بین‌سالی کاهش یافته‌است و نتایج عمدتاً تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفته‌اند. عملکرد دانهٔ گندم در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). هدف از انتخاب دورهای آبیاری چهار، پنج و شش روز شبیه‌سازی شرایط مدیریتی رایج و قابل اجرا در منطقه و ایجاد دامنه‌ای عملی از مدیریت آبیاری بود. بر این اساس، دور چهار روز به‌عنوان شرایط مطلوب، دور پنج روز به‌عنوان حالت میانی و دور شش روز به‌عنوان شرایط کم‌آبی ملایم تا متوسط در نظر گرفته شد. مقایسهٔ میانگین‌ها بیانگر آن است که تیمارهای دور آبیاری چهار و پنج روزه به‌ترتیب با عملکرد ۵۴۱۰/۶ و ۵۰۱۶/۱ کیلوگرم در هکتار در بالاترین گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). بررسی صفات زراعی مرتبط نیز نشان داد این تیمارها بیشترین ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را دارد که نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش عملکرد نهایی داشته‌اند(جداول ۴). در مقابل، تیمار دور آبیاری شش روز با میانگین عملکرد ۳۴۸۶/۸ کیلوگرم در هکتار در گروه آماری پایین‌تری قرار گرفت. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که دور آبیاری پنج روزه بیشترین فاصله زمانی قابل قبول بین آبیاری‌ها بدون افت محسوس عملکرد محسوب می‌شود، به‌طوری‌که افزایش فاصله آبیاری به شش روز موجب کاهش ۳۰/۴۸ درصد در عملکرد دانه گردید. بافت خاک مزرعه از نوع لومی شنی بوده است. این نوع خاک دارای ظرفیت نگهداری آب متوسط تا نسبتاً پایین و هدایت هیدرولیکی نسبتاً بالاست، بنابراین توانایی ذخیره‌سازی آب آبیاری برای دوره‌های طولانی محدود است. در نتیجه، هرچند در تیمار دور آبیاری شش روزه عمق آب کاربردی در هر نوبت آبیاری برای جبران تبخیر و تعرق افزایش یافته است، اما به دلیل ظرفیت محدود نگهداری آب در خاک لومی شنی، بخش قابل توجهی از رطوبت به‌سرعت از ناحیهٔ ریشه خارج شده یا در فاصله بین آبیاری‌ها کاهش یافته است. این موضوع باعث ایجاد تنش رطوبتی در برخی مراحل حساس رشد گندم شده است. بنابراین، کاهش مشاهده‌شده عملکرد در تیمار شش روزه (حدود ۳۰ درصد نسبت به تیمارهای کوتاه‌تر) از نظر فیزیولوژیکی قابل توجیه است و با ویژگی‌های خاک منطقه و پاسخ شناخته‌شدهٔ گندم به تنش آبی دوره‌ای همخوانی دارد. نتایج تحقیقات صنوبر و همکاران (Senobar *et al.*, 2011) نیز نشان می‌دهد در بررسی دوره‌های آبیاری ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ روز در در آبیاری سطحی ژنوتیپ‌های مختلف گندم، دورهای ۸ و ۱۰ روز بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند که مؤید اهمیت مدیریت مناسب فاصله آبیاری است. اثر تأمین نیاز آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمارهای تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۵۵۲۰/۷ و ۵۲۱۸/۴ کیلوگرم در هکتار در گروه آماری برتر قرار گرفتند، در حالی که تیمار ۶۰ درصد تأمین آب با عملکرد ۳۱۷۴/۳ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار را نشان داد (جدول ۴). بررسی صفات رشدی نشان داد تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد تأمین آب دارای بیشترین ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه بودند که با توجه به همبستگی مثبت این صفات با عملکرد دانه (Eidizadeh *et al.*, 2016)، افزایش آن‌ها منجر به بهبود عملکرد نهایی شد. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که کاهش تأمین آب از ۱۰۰ به ۸۰ درصد

نیاز آبی بدون ایجاد کاهش معنی‌دار در عملکرد امکان‌پذیر است، اما کاهش بیشتر تا سطح ۶۰ درصد سبب افت ۳۹/۱۷ درصد در عملکرد می‌شود. در همین راستا، کیخایی و گنجی‌خرمدل (Keykhaei & Ganji Khorramdel 2017) کاربرد آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی را در سامانهٔ آبیاری نواری برای گندم مناسب گزارش کردند. حاجی‌آبادی و همکاران (Hajiabadi *et al.*, 2021) می‌گویند کاهش تأمین آب به کمتر از ۷۵ درصد نیاز آبی موجب افت معنی‌دار عملکرد می‌شود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل دور آبیاری و درصد تأمین آب در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار است (جدول ۳). دامنهٔ تغییرات عملکرد در تیمارهای مختلف از ۲۵۱۸/۴ تا ۶۳۵۲/۴ کیلوگرم در هکتار متغیر است و میانگین کلی ۴۶۳۷/۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

جدول۳ - تجزیهٔ واریانس مرکب عملکرد و اجزای عملکرد

Table 3 - Combined analysis of variance for grain yield and yield components

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Average of squares				
		عملکرد دانه Yield (kg/ha)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد دانه در سنبله Grains number per spike	وزن هزار دانه Thousand grain weight (gr)	شاخص برداشت Harvest index
سال(Y)	۱	۲۱۵۱۷۰۴/۰^{ns}	۲۳۱/۶۳^{ns}	۱۸۶۰/۵۰^{ns}	۳۸۹/۶۷^{ns}	۲۴/۰۲^{ns}
تکرار × سال (Y×R)	۴	۳۰۲۲۵۵/۲۹	۶/۴۷	۲۲/۵۱	۰/۰۸	۲۲/۷۱
روش آبیاری(A)	۲	۱۸۵۸۵۹۴۸/۷۴**	۱۴۶/۳۵**	۴۰۴/۶۸**	۱۳۵/۰۹**	۴۸۵/۴۶**
سال×روش آبیاری(Y×A)	۲	۲۸/۱۹^{ns}	۱۵/۷۴^{ns}	۲۱/۲۹^{ns}	۹/۷۴^{ns}	۰/۱۱^{ns}
روش آبیاری × سال × تکرار (A×Y×R)	۸	۱۲۷۳۴/۵۹^{ns}	۱/۳۷^{ns}	۹/۳۰^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۹/۲۷^{ns}
سطح آبیاری(B)	۲	۲۹۳۲۵۱۹۹/۳۴^{ns}	۳۰۰/۹۵^{ns}	۱۲۶۶/۳۵^{ns}	۳۴۲/۵۹^{ns}	۱۵۹۱/۹۵^{ns}
روش آبیاری×سطح آبیاری(A×B)	۴	۸۵۸۶۹۲/۴۸**	۵/۱۹**	۱۳/۷۶**	۶/۹۲**	۲۸/۷۷**
سال×سطح آبیاری(Y×B)	۲	۱۲۲/۶۶**	۲۶/۸۸**	۷/۸۸**	۴۴/۴۳**	۰/۰۷**
سال×روش آبیاری×سطح آبیاری(Y×A×B)	۴	۱۸۴/۷۴^{ns}	۱/۱۸^{ns}	۱/۲۹^{ns}	۵/۶۳^{ns}	۰/۲۴^{ns}
خطا	۲۴	۱۸۵۶۱/۴	۱/۶۱	۸/۳۷	۰/۱۶	۹/۲۹

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ نبود تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ٤ - مقایسهٔ میانگین عملکرد و اجزای عملکرد در تیمارهای مختلف

Table 4- Comparison of the average grain yield and yield components

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Yield (kg/ha)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد دانه در سنبله Grains number per spike	وزن هزار دانه Thousand grain weight (gr)	شاخص برداشت Harvest index
دور آبیاری:					
۴	۵۴۱۰/۶^{a}	۷۴/۸^{a}	۴۴ ^{a}	۳۷/۵ ^{a}	۴۳/۸ ^{a}
۵	۵۰۱۶/۱^{a}	۷۰/۷ ^{b}	۴۰ ^{b}	۳۵/۲ ^{b}	۴۱/۳ ^{a}
۶	۳۴۸۶/۸^{b}	۶۷/۰ ^{c}	۳۵ ^{c}	۳۱/۹ ^{c}	۳۵/۲ ^{b}
درصد آب:					
۱۰۰	۵۵۲۰/۷^{a}	۷۴/۹ ^{a}	۴۵ ^{a}	۳۷/۸ ^{a}	۴۶/۰ ^{a}
۸۰	۵۲۱۸/۴^{a}	۷۲/۳ ^{a}	۴۲ ^{a}	۳۶/۴ ^{a}	۴۳/۲ ^{a}
۶۰	۳۱۷۴/۳^{b}	۶۵/۲ ^{b}	۳۱ ^{b}	۳۰/۴ ^{b}	۳۱/۱ ^{b}

** در هر ستون حروف متفاوت روی اعداد به معنای وجود اختلاف معنا دار است

این دامنهٔ نوسان بیانگر آن است که در صورت مدیریت نامناسب آبیاری، امکان کاهش عملکرد تا حدود ۶۰/۳۵ درصد وجود دارد (جدول ۵). بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای دور آبیاری چهار روز همراه با ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی، دور چهار روز با ۸۰ درصد تأمین آب و دور ۵پنج روز با ۱۰۰ درصد تأمین آب دیده می‌شود که به‌ترتیب مقادیر

۶۳۵۲/۴، ۶۱۷۲/۵ و ۶۱۰۵/۵ کیلوگرم در هکتار را تولید کردند و در گروه آماری برتر قرار گرفتند.

در مقابل، کمترین عملکرد مربوط به تیمار دور شش روز با ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی است که با ۲۵۱۸/۴ کیلوگرم در هکتار در پایین‌ترین گروه آماری قرار دارد. سایر ترکیب‌های تیماری در سطوح میانی طبقه‌بندی شدند (جدول ۵). بر اساس نتایج به‌دست آمده، در یک دور آبیاری ثابت می‌توان میزان آب مصرفی را تا سطح ۸۰ درصد نیاز آبی کاهش داد بی آنکه افت محسوسی در عملکرد دانه مشاهده شود؛ اما کاهش بیشتر آب آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز، افت شدید عملکرد را به دنبال دارد. به‌طور کلی در مدیریت مزرعه دور آبیاری می‌تواند تابع شرایط اقلیمی، بافت خاک و نوع گیاه باشد. بر این اساس، نتیجه‌گیری مطالعه نیز به شرایط همین آزمایش محدود است و نشان می‌دهد که در محدودهٔ مورد بررسی، ترکیب دور آبیاری پنج روزه با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی می‌تواند بدون افت معنی‌دار عملکرد، گزینه‌ای مناسب برای مدیریت بهینهٔ آب باشد. این توصیه به‌عنوان راهکار مدیریتی منطقه‌ای قابل تفسیر است، نه یک قاعده عمومی و ثابت برای تمامی شرایط زراعی. میزان کاهش عملکرد در تیمار ۶۰ درصد نسبت به ۸۰ درصد تأمین آب در دورهای چهار، پنج و شش روزه به‌ترتیب ۳۹/۹۴، ۴۱/۵۸ و ۳۴/۳۷ درصد برآورد شد. روند تغییرات عملکرد دانه در تیمارهای مختلف با الگوی تغییرات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همسوست که بیانگر نقش تعیین‌کنندهٔ این صفات در شکل‌گیری عملکرد نهایی است.

به‌طور کلی، افزایش فاصله بین آبیاری‌ها همراه با کاهش میزان تأمین آب موجب تشدید تنش خشکی و در نتیجه افت شاخص‌های رشدی و عملکردی شده است. نتایج این پژوهش با یافته‌های بهداد و همکاران (Behdad *et al.*, 2022) همخوانی دارد؛ این محققان در یک فراتحلیل ملی گزارش کردند که تنش خشکی اثر منفی و معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم در ایران دارد.

جدول ۵ - حجم آب مصرفی و مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دور و سطح آبیاری بر عملکرد دانه

Table 5- Water consumption and comparison of the average interaction effect of irrigation interval and water supply level on grain yield (kg/ha)

دور آبیاری Irrigation interval (day)	سطح آبیاری Water level (%)					
	100		80		60	
	عملکرد Yield (kg/ha)	حجم آب مصرفی Water consumption (m^3/ha)	عملکرد Yield (kg/ha)	حجم آب مصرفی Water consumption (m^3/ha)	عملکرد Yield (kg/ha)	حجم آب مصرفی Water consumption (m^3/ha)
۴	۶۳۵۲/۴^{a}	۵۷۷۴/۰	۶۱۷۲/۵^{a}	۴۶۲۰/۰	۳۷۰۶/۸^{d}	۳۴۶۱/۰
۵	۶۱۰۵/۵^{a}	۵۷۷۴/۰	۵۶۴۵/۰^{b}	۴۶۲۰/۰	۳۲۹۷/۷^{e}	۳۴۶۱/۰
۶	۴۱۰۴/۲^{c}	۵۷۷۴/۰	۳۸۳۷/۷^{cd}	۴۶۲۰/۰	۲۵۱۸/۴^{f}	۳۴۶۱/۰

در هر ستون حروف متفاوت روی اعداد به معنای وجود اختلاف معنا دار است

ارتفاع بوته

تأثیر سال بر ارتفاع بوتهٔ گندم معنادار نیست، اما دورهای آبیاری، درصد تأمین آب و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد مؤثرند (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته (۷۴/۸ سانتی‌متر) مربوط به دور آبیاری چهار روزه است در حالی که میانگین ارتفاع در دورهای پنج و شش روز به ترتیب ۷۰/۷ و ۶۷/۰ سانتی‌متر است (جدول ۴). درصد کاهش ارتفاع بوته در تیمارهای دور آبیاری پنج و شش روز آبیاری، نسبت به تیمار دور آبیاری چهار روز، به ترتیب برابر ۵/۴۸ و ۱۰/۴۲ درصد است. بنابراین افزایش فاصله بین آبیاری‌ها سبب کاهش ارتفاع بوته شده است. برای هر روز افزایش دور آبیاری کاهش تقریباً پنج درصد گزارش شد که ناشی از

افزایش تنش خشکی و کاهش رشد سلولی گیاه است (Ehdaie *et al*., 1994). اثر درصد تأمین آب نشان داد که تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری بیشترین ارتفاع (۷۴/۹ و ۷۲/۳ سانتی‌متر) را دارند و کاهش تأمین آب تا ۲۰ درصد تأثیر معناداری ندارد. کمترین ارتفاع (۶۵/۲ سانتی‌متر) در تیمار ۶۰ درصد تأمین آب مشاهده شد و کاهش ارتفاع نسبت به آبیاری کامل و ۸۰ درصد به ترتیب ۱۲/۹۵ و ۹/۸۲ درصد است (Shahbaz Panahi *et al*., Hajiabadi *et al*., 2021 .(Keykhaei & Ganji Khorramdel 2017. 2012

بررسی اثر متقابل دور آبیاری و درصد تأمین آب نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۷۹/۸ سانتی‌متر) در دور چهار روزه با تأمین آب ۱۰۰ درصد دیده می‌شود در حالی که کوتاه‌ترین بوته (۶۲/۶ سانتی‌متر) مربوط به دور شش روزه با ۶۰ درصد تأمین آب است و کاهش ۲۱/۵۵ درصد را نشان می‌دهد (جدول ۶). کاهش تأمین آب در دورهای مختلف با افزایش فاصله بین آبیاری‌ها، منجر به کاهش ارتفاع بوته شده است. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که رژیم‌های آبیاری به طور معناداری بر ارتفاع گندم تأثیر می‌گذارند (Thompson & Chase 1992 Eidizadeh *et al*., 2016).

جدول ٦ – مقایسه میانگین اثر متقابل دور و سطح آبیاری بر ارتفاع بوته گندم (سانتی‌متر)

Table 6- Comparison of the average interaction effect of irrigation interval and water supply level on plant height (cm)

دور آبیاری Irrigation interval (day)	سطح آبیاری Water level (%)		
	100	80	100
۴	۷۹/۸ a	۷۷/۰ b	۶۷/۸ f
۵	۷۴/۹ c	۷۱/۸ d	۶۵/۵ g
۶	۷۰/۱ e	۶۸/۱ f	۶۲/۶ h

در هر ستون حروف متفاوت روی اعداد به معنای وجود اختلاف معنا دار است

تعداد دانه در سنبله

تجزیهٔ واریانس نشان داد که تعداد دانه در سنبله به طور معنادار (یک درصد) تحت تأثیر دورهای آبیاری قرار دارد (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که تیمارها در سه گروه آماری قرار دارند. بیشترین تعداد دانه (۴۴ عدد) مربوط به دور آبیاری چهار روزه و کمترین تعداد دانه (۳۵ عدد) مربوط به دور شش روزه است (جدول ۴). کاهش تعداد دانه در دورهای پنج و شش روز نسبت به دور چهار روز به ترتیب ۹/۱۵ و ۱۹/۹ درصد و کاهش دور شش روز نسبت به ۵ روز ۱۱/۸۳ درصد است؛ به طور متوسط هر روز افزایش فاصله آبیاری منجر به کاهش سه دانه در سنبله (معادل ۶/۱۸ درصد) می‌شود. افزایش فاصلهٔ آبیاری محدودیت رطوبتی خاک را شدت می‌بخشد و طول دور تنش خشکی را افزایش می‌دهد که در مراحل ساقه رفتن و پیش از لقاح سبب کاهش تعداد دانه و افزایش سنبله‌های عقیم می‌شود (Dolferus, *et al., 2013* & Karimi Dastgerdi, *et al.*, 2021).

درصد تأمین آب نیز به طور معناداری (یک درصد) بر تعداد دانه مؤثر است (جدول ۳). تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری با ۴۵ و ۴۲ دانه در سنبله بیشترین تعداد را داشتند و تفاوت آماری معناداری نداشتند، در حالی که تیمار ۶۰ درصد آبیاری با ۳۱ دانه کمترین مقدار را نشان داده است (جدول ۴). کاهش ۲۰ درصد تأمین آب نسبت به آبیاری کامل از لحاظ آماری اثر معنی‌داری نداشته است، اما کاهش به ۶۰ درصد موجب کاهش چشمگیر تعداد دانه شده است (Hajiabadi *et al*., 2021 & Ebrahimi *et al*., 2018). این اثر ناشی از کاهش رشد ریشه، کاهش هدایت آب، محدود شدن فتوسنتز و کاهش گلچه‌های بارور است (Martinez *et al*., 2007). بررسی اثر متقابل دور و درصد تأمین آب نشان می‌دهد که بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمارهای دور چهار روزه با ۱۰۰ و ۸۰ درصد تأمین آب و دور پنج روزه با ۱۰۰ درصد آب است (به ترتیب ۴۹، ۴۷ و ۴۶ دانه) و کمترین تعداد دانه مربوط به دورهای پنج و شش روزه با ۶۰

درصد تأمین آب است (۳۱ و ۲۸ دانه) (جدول ۷). روند تغییرات نشان می‌دهد در یک دور ثابت، کاهش درصد تأمین آب منجر به کاهش تعداد دانه می‌شود، که در تیمار ۶۰ درصد آب شدت بیشتری دارد.

جدول ۷ – مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دور و سطح آبیاری بر تعداد دانه در سنبله

Table 7- Comparison of the average interaction effect of irrigation interval and water supply level on seed number per spike

دور آبیاری Irrigation interval (day)	سطح آبیاری Water level (%)		
	100	80	100
۴	۴۹ a	۴۷a	۳۵c
۵	۴۶a	۴۲b	۳۱d
۶	۴۱b	۳۶c	۲۸d

در هر ستون حروف متفاوت روی اعداد به معنای وجود اختلاف معنا دار است

افزایش فاصله آبیاری و کاهش تأمین آب تنش خشکی مستمر ایجاد می‌کند. این تنش در مرحلهٔ تقسیم میوز باعث افزایش سنبله‌های عقیم و کاهش سنبله‌های بارور می‌شود. در مرحلهٔ گرده‌افشانی، تنش خشکی باعث آسیب به غشای سلولی و افزایش سقط دانه گرده می‌شود (Mohammadi *et al*., 2006 ؛ Saneoka *et al*., 2004). کاهش رطوبت ریشه سبب فعال شدن هورمون آبسیزیک اسید می‌شود و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز را به دنبال دارد که در نهایت تعداد گلچه‌های بارور کاهش می‌یابد (Li *et al*., 2010).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه تحت تأثیر دورهای آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفته است (جدول ۳). بیشترین مقدار این صفت مربوط به دور چهار روزه با میانگین ۳۷/۵ گرم است در حالی که دورهای پنج و شش روز به ترتیب با میانگین ۳۵/۵ و ۳۱/۹ گرم در گروه‌های آماری دیگر قرار دارند (جدول ۴). کاهش وزن هزار دانه در دور پنج روز نسبت به دور چهار روز ۲/۳ گرم (۶/۱۳ درصد) و در دور شش روز نسبت به دور پنج روز ۳/۳ گرم (۹/۳۷ درصد) است و به عبارتی هر روز افزایش فاصله آبیاری به طور متوسط ۱/۸۶ گرم (۴/۹۷ درصد) وزن دانه کاهش می‌یابد. اگرچه عمق آب آبیاری در هر نوبت بر اساس نیاز آبی گیاه تنظیم شد، اما تأمین آب در سامانهٔ آبیاری به‌صورت دوره‌ای است. بنابراین در دورهای آبیاری طولانی‌تر، به‌ویژه تیمار شش‌روزه، رطوبت خاک در فاصلهٔ بین دو آبیاری به‌تدریج کاهش می‌یابد و در روزهای پایانی دوره، تنش موقت رطوبتی برای گیاه ایجاد می‌شود. این وضعیت لزوماً ناشی از کمبود کل آب مصرفی نیست، بلکه به نوسان بیشتر پتانسیل آب خاک مربوط می‌شود که می‌تواند فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین، به دلیل بافت لومی شنی خاک و ظرفیت پایین نگهداری آب، بخشی از آب آبیاری سریع‌تر از ناحیهٔ ریشه خارج می‌شود؛ در نتیجه در دورهای آبیاری طولانی‌تر، احتمال بروز تنش کوتاه‌مدت آبی افزایش می‌یابد و می‌تواند بر فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و در نهایت وزن دانه اثرگذار باشد (Ahmadi Mondal *et al*., 1978 & Backer 2001).

درصد تأمین آب نیز به طور معنی‌دار (یک درصد) بر وزن هزار دانه تأثیر داشته است (جدول ۳). تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد تأمین آب با وزن هزار دانه ۳۷/۸ و ۳۶/۴ گرم بیشترین مقدار را داشتند و تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند، هم‌ارزی آماری بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد تأمین آب از نظر وزن هزار دانه، نشان‌دهنده این موضوع است که گندم در شرایط این آزمایش دارای تحمل نسبی به کم‌آبی ملایم بوده است. این نتیجه را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که در سطح ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی، اگرچه مقدار آب ورودی کاهش یافته است، اما این کاهش به حدی نبوده که منجر به ایجاد تنش شدید در مراحل حساس رشد (به‌ویژه گلدهی و پر شدن

دانه) شود. در حالی که تیمار ۶۰ درصد تأمین آب با میانگین ۳۰/۴ گرم کمترین مقدار را نشان داده است (جدول ۴). کاهش درصد تأمین آب باعث کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه می‌شود که کاهش وزن دانه را تشدید می‌کند (Hajiabadi *et al*., 2021 & Keykhaei & Ganji Khorramdel 2017). اثر متقابل دور و درصد تأمین آب نیز در سطح یک درصد بسیار معنی‌دار است (جدول ۳). میانگین وزن هزار دانه در کل تیمارها ۳۴/۸۷ گرم و در محدوده ۲۸/۴ تا ۴۰/۶ گرم است. بیشترین وزن مربوط به دور چهار روزه با ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی (۴۰/۶ و ۳۹/۸ گرم) و کمترین وزن مربوط به دور شش روزه با ۶۰ درصد نیازآبی (۲۸/۴ گرم) است (جدول ۸). کاهش درصد تأمین آب تا ۸۰ درصد در یک دور ثابت اثر زیادی بر وزن نداشته است، اما کاهش به ۶۰ درصد موجب کاهش چشمگیر وزن شده است. کاهش وزن هزار دانه در تیمار ۸۰ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد در دورهای چهار، پنج و شش روز به ترتیب ۰/۸، ۱/۹ و ۱/۴ گرم (۱/۹۷، ۴/۹۴ و ۴/۰۶ درصد) و در تیمار ۶۰ درصد به ترتیب ۸/۶، ۷/۶ و ۶ گرم (۲۱/۱۸، ۱۷/۷۹ و ۱۷/۴۴ درصد) است.

افزایش دور آبیاری و کاهش درصد تأمین آب شدت و مدت تنش خشکی را افزایش می‌دهد که موجب کاهش آماس سلولی و کاهش رشد برگ‌ها می‌شود. کاهش رشد سلول منجر به محدود شدن اندازهٔ اندام و کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود. وزن دانه تحت تأثیر مدت و سرعت پر شدن دانه قرار دارد و تنش خشکی از طریق تسریع پیری برگ و کاهش دورهٔ پر شدن دانه باعث کاهش وزن می‌گردد (Hajiabadi *et al*., 2021& Ahmadi & Backer 2001 & Senobar *et al*., 2011 & Royo *et al*., 2004).

جدول ۸- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دور و سطح آبیاری بر وزن هزار دانه (گرم)

Table 8- Comparison of the average interaction effect of irrigation interval and water supply level on thousand grain weight (gr)

دور آبیاری Irrigation interval (day)	سطح آبیاری Water level (%)		
	100	80	100
۴	۴۰/۶ a	۳۹/۸a	۳۲/۰e
۵	۳۸/۴b	۳۶/۵c	۳۰/۸f
۶	۳۴/۴d	۳۳/۰e	۲۸/۴g

**در هر ستون حروف متفاوت روی اعداد به معنای وجود اختلاف معنا دار است

شاخص برداشت

شاخص برداشت نیز در سطح ۱ درصد تحت تأثیر معنادار دورهای آبیاری و درصد تأمین آب قرار گرفته است (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت مربوط به دورهای چهار و پنج روز با ۴۳/۸ و ۴۱/۳ درصد بود و کمترین مقدار در دور ۶ روز با ۳۵/۲ درصد مشاهده می‌شود (جدول ۴). کاهش شاخص برداشت با افزایش دور آبیاری ناشی از شدت و تداوم تنش خشکی است (Ebrahimi *et al*., & Senobar *et al*., 2011 2018).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل دور و سطح آبیاری بر شاخص برداشت

Table 9- Comparison of the average interaction effect of irrigation interval and water supply level on harvest index

دور آبیاری Irrigation interval (day)	سطح آبیاری Water level (%)		
	100	80	100
۴	۴۹/۹ a	۴۸/۵ab	۳۳/۰ef
۵	۴۷/۴ab	۴۴/۲bc	۳۲/۳f
۶	۴۰/۸cd	۳۶/۸de	۲۸/۱f

** در هر ستون حروف متفاوت روی اعداد به معنای وجود اختلاف معنا دار است

سطوح تأمین آب ۱۰۰ و ۸۰ درصد بیشترین شاخص برداشت (۴۶/۰ و ۴۳/۲ درصد) را داشته‌اند و تیمار ۶۰ درصد کمترین مقدار (۳۱/۳ درصد) را نشان داده است. کاهش شدید شاخص برداشت در تیمار ۶۰ درصد ناشی از کاهش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه است. اثر متقابل دور و درصد تأمین آب نیز معنی‌دار است و بیشترین شاخص برداشت مربوط به دور چهار روز با ۱۰۰ و ۸۰ درصد و دور پنج روز با ۱۰۰ درصد نیاز آبی است در حالی که کمترین شاخص برداشت به دور شش روز با ۶۰ درصد نیاز آبی تعلق دارد (جدول ۹). نتایج این پژوهش در شرایط آزمایش نشان داد که افزایش فاصلهٔ آبیاری منجر به کاهش شاخص برداشت می‌شود. با این حال، در محدوده شرایط مورد بررسی، کاهش سطح تأمین آب از ۱۰۰ به ۸۰ درصد در یک دور آبیاری ثابت، تفاوت آماری معنی‌داری در شاخص برداشت ایجاد نکرد(Karimi Dastgerdi, *et al.*, 2021؛ Behdad *et al.*, 2022). بنابراین می‌توان استنباط کرد که در شرایط اقلیمی و مدیریتی این آزمایش، امکان کاهش نسبی آب آبیاری بدون تغییر معنی‌دار در شاخص برداشت وجود داشته است؛ هرچند تعمیم این نتیجه به سایر شرایط نیازمند بررسی‌های تکمیلی در محیط‌های مختلف است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت دور آبیاری و سطح تأمین آب تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گندم دارد. افزایش فاصلهٔ آبیاری و کاهش میزان آب مصرفی، به‌ویژه در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و سایر اجزای عملکرد شده که بیانگر حساسیت گندم به تنش آبی شدید است.

بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای دور آبیاری چهار و پنج روزه همراه با تأمین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شده است و این تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته‌اند. در مقابل، تیمار دور آبیاری شش روزه همراه با تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی کمترین عملکرد را داشته است که نشان‌دهندهٔ اثر منفی همزمان افزایش فاصلهٔ آبیاری و کاهش شدید آب مصرفی بر رشد و عملکرد گیاه است. نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که ترکیب دور آبیاری کوتاه‌تر با سطوح مناسب تأمین آب، شرایط مطلوب‌تری برای رشد و تولید گندم فراهم می‌کند. همچنین مشخص شد که کاهش تأمین آب از ۱۰۰ به ۸۰ درصد نیاز آبی، افت عملکرد قابل توجهی ایجاد نمی‌کند، در حالی‌که کاهش بیشتر آب آبیاری تا ۶۰ درصد، سبب افت شدید عملکرد می‌شود. این موضوع بیانگر آن است که اعمال کم‌آبیاری ملایم می‌تواند بدون کاهش محسوس عملکرد، در صرفه‌جویی مصرف آب مؤثر باشد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که در سامانهٔ بارانی تاشو، استفاده از دور آبیاری پنج روزه همراه با تأمین حدود ۸۰ درصد نیاز آبی، ضمن کاهش مصرف آب، قادر است عملکرد دانه و اجزای عملکرد را در سطح قابل قبول حفظ کند. بنابراین، این تیمار را می‌توان به‌عنوان راهکاری مناسب برای مدیریت بهینه مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب در شرایط محدودیت منابع آبی پیشنهاد کرد. با این حال، این نتایج محدود به شرایط این آزمایش است و تعمیم آن به سایر مناطق به خصوص با اقلیم و بافت خاک متفاوت نیازمند مطالعات تکمیلی است. تفاوت بین دورهای آبیاری چهار، پنج و شش‌روزه صرفاً ناشی از اختلاف زمانی یک تا دو روزه نیست، بلکه به تغییر در الگوی تأمین رطوبت و شدت تنش دوره‌ای خاک مربوط می‌شود. در خاک لومی شنی منطقه، با افزایش فاصله آبیاری، رطوبت قابل دسترس گیاه در روزهای پایانی دوره کاهش می‌یابد و نوسان‌های پتانسیل آب خاک بیشتر می‌شود. این شرایط، به‌ویژه در مراحل حساس رشد گندم مانند گلدهی و پر شدن دانه، می‌تواند فرآیندهایی مانند فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و تشکیل دانه را تحت تأثیر قرار دهد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده مقاله را خوانده و با انتشار آن موافقت کرده است.

تقدیر و تشکر

نویسنده بر خود لازم می‌داند از تمامی شرکت‌کنندگان در مطالعه حاضر تشکر و قدردانی نماید.

منابع

Afshar, H. (2025). Investigating the Yield and Water Productivity of Wheat in Different Planting Arrangements in Drip Irrigation (Case Study of Torbat Heydarieh). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 18(6): 963-970. (in Persian)

Ahmadi, A., Backer, D.A. (2001). The effect of water stress on grain filling processes in wheat. *Journal of Agriculture Science*. 136: 257-269.

Anonymous. (2017). Report on Semnan province agricultural water productivity, Semnan province agriculture-jahad organization. (in Persian)

Anonymous. (2024). Statistics of the agricultural year 2022-2023. Volume one crops, Office of Statistics and information technology of the deputy minister of planning and economy of agriculture-jahad ministry. (in Persian)

Azizi Zehan, A.A., Shahabifar, M. & Ebrahimipak, N.A. (2014). Evaluation of water use efficiency in Iran and the world. *The First National Soil and Water Management Conference in Wheat Production*. Soil and water research institute. Karaj, Iran. (in Persian)

Behdad, M., Paknejad, F., Mahdavi Damghani, A., Vazan, S. & Moarrefi, M. (2022). Effects of drought stress on agronomical traits of wheat *(Triticum aestivum L.)*: A meta-analysis. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 15(1): 53-65. (in Persian)

Dolferus, R., Powell, N., Ji, X., Ravash, R., Edlington, J., Oliver, S., Van Dongen, J. & Shiran, B. (2013). The physiology of peproductive-ptageabiotic stress tolerance in cereals. *Molecular Stress Physiology of Plants*. Springer India. 193-216.

Ebrahimi, M., Dastan, S. & Yadi, R. (2018). Life cycle assessment of ecological footprint of water in wheat production under effect of irrigation regimes with application nano-silicon and nano-potassium chelate in Boushehr region. *Crop Production*. 11(4): 71-88. (in Persian)

Ebrahimipak, N.A., Tafteh, A., Abbasi, F. & 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. (in Persian)

Ehdaie, B., Nourmohamadi, GH. & Vala, A. (1994). Environmental sensitivity and correlation analysis of grain yield and its components in Khuzestan tetraploid genotypes under favorable and unfavorable environmental conditions. *The Scientific Journal of Agriculture*. 31(17): 15-17. (in Persian)

Eidizadeh, Kh., Ebrahimpour, F. & Ebrahimi, M.A. (2016.). Effect of different irrigation regimes on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum L.*) cultivars in Ramin climate. *Environmental Stresses in Crop Sciences.* 9(1): 29-36. (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. (in Persian)

Hajiabadi, F., Hassanpour, F., Yaghoobzadeh, M., Hammami, H. & Seyyedi, S.M. (2021). The effect of deficit irrigation and saline water treatments on growth and yield responses of Sirvan bread wheat cultivar. *Journal of Crop Production and Processing*. 11(2): 51-63. (in Persian)

Iran Meteorological Organization (IMO). (2022). Long-term climatic statistics of Shahroud–Bastam synoptic station, Semnan Province. *Iran Meteorological Organization*. Tehran, Iran.

Kamkar, B., Daneshmand, F., Ghooshchi, A.H. & SafahaniLangeroudi, A.R. (2011). The effect of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under semiarid environment. *Agricultural Water Management*. 98: 1005-1012.

Karimi Dastgerdi, Z., Mohammady, SH., Hoshmand, S. & Rabiei, M. (2021). Effects of water stress conditions on Yield, Harvest Index, and Sterility in Wheat Genotypes (*Triticum aestivum*). *Crop Production.* 4(3): 27-42. (in Persian)

Keykhaei, F. & Ganji Khorramdel, N. (2017). Effect of Deficit Irrigation in Corrugation and Border Methods on Yield and Water Use Efficiency of Wheat cv. Hamoon. *Journal of Water Research in Agriculture*. 3(2): 139-149. (in Persian)

Kiani, A.R. & kalateharabi, M. (2009). Assessment of water production function of wheat under supplementary irrigation. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 3(2): 112-122. (in Persian)

Li, F., Wei, C., Zhang, F., Zhang, J., Nong, M. & Kang, S. (2010). Water use efficiency and physiological responses of maize under partial root-zone irrigation. *Agricultural Water Management*. 97:1156-1164.

Liu, H., Yu, L., Luoa, Y., Wang, X. & Huang, G. (2011). Responses of winter wheat (Triticum aestivum L.) evapotranspiration and yield to sprinkler irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. doi:10.1016/j. agwat.2010.09.006.

Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J. F. & Pinto, M. (2007). Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *European Journal of Agronomy*. 26: 30- 38.

Mohammadi, Sh., Sadatinejad, S.J. & Shiran B.B. (2006). Which one is responsible for apical sterility in wheat under water–stress conditions, ovule or pollen. *Pakistan Journal of Biological Science*. 15(9): 2808- 2811.

Mohtadi, M., Albaji, M. & Broomand nasab, S. (2017). Investigation of Water Productivity of Wheat in Some Irrigation and Drainage Networks of Khuzestan. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*. 40(1): 239-248. (in Persian)

Mondal, M.H., Burn, W.A., Brenner, M.L. (1978). Effects of sink removal on photosynthesis and senescence in leaves of soybean plants. *Plant Physiol*. 61:394-397.

Naderi, N. & Ghadami Firouzabadi, A. (2022). Irrigation Efficiency, Water Requirement and Water Productivity in Surface Irrigation Method in Apricot and Grape Gardens. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 12(4): 125-140. (in Persian)

Naderi, N., Ghadami Firouzabadi, A. & Froumadi, M. (2018). Technical Evaluation of Different Sprinkler Irrigation Systems in Field Condition. *Journal of Water Research in Agriculture*. 32(3): 429-439. (in Persian)

Nakhjavanimoghaddam, M.M., Ashrafi, S. & Sepehri, S. (2024). Wheat Water Management Indicators in Both Surface and Sprinkler Irrigation Systems (Case Study Upstream of Karkheh Basin). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 18(2): 217-225. (in Persian)

Nasseri, A. (2018). Energy use and economic analysis for wheat production by conservation tillage along with sprinkler irrigation. *Science of the total Environment*. 648 (15): 450-459.

Neysi, B., Ranjbar, GH. & Najafi Zarini, H. (2026). The Evaluation of Yield and Some Morphological Traits in the Double Haploid Line of Bread Wheat Genotypes (*Triticum aestivum L.*) under Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding*. 18(1): 163-176. (in Persian)

Roodbarani, J., Mozaffari, J. & Mohseni Movahed, S.A. (2021). Comparison of bean yield in Furrow, Tape and Rain flat irrigation systems. *Journal of Water and Soil Conservation*. 28(2): 195-210. (in Persian)

Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., Villegas, D. (2004). Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*. 69: 231-233

Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S. & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in Agrostis palustris Huds. *Environmental and Experimental Botany*. 52: 131–138.

Senobar, A., Tabatabayi, S.A. & Dehghani, F. (2011). Effect of irrigation intervals on grain yield, yield components and harvest index of bread wheat cultivars in Yazd region. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 3(2): 95-104. (in Persian)

Shahbaz Panahi, B., Paknejad, F., Habibi, D., Sadegh Shoae, Nasri, M & Pazoki, A. (2012). Evaluation of irrigation regimes on yield and yield components in different cultivars of wheat. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8(2): 185-197. (in Persian)

Thompson, J.A. & Chase, D.L. (1992). Effect of limited irrigation on growth and yield of semi dwarf wheat in Southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 32, 725-730 (Field Crop Absracts. 4721; 1994).

Zarei, G., Salemi, H.R. & Sharifi, H.R. (2018). Optimal nitrogen fertilizer consumption under sprinkler irrigation system in different seeding density and wheat cultivars in Karaj. *Journal of water and soil resources conservation*. 8(1): 89-103. (in Persian)