Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

(OPEN ACCESS)

The Effect of the Number and Duration of Drip Irrigation Pulses on the Performance of the Haydari Wheat Cultivar

Ali Adineh Yami[1], Hossein Sharifan[*2], Hadi Afshar[3], Aboutaleb Hezarjaribi[4]

1. Ph.D. Student in Irrigation and Drainage Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: aliadineh.7282@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: h_sharifan47@yahoo.com
3. Assistant Professor, Agricultual Engineering Research Depertment, Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran. E-mail: afsharch@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: hezab10@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 02.23.2025
Revised: 04.09.2025
Accepted: 05.09.2025

Keywords:
Grain yield,
Pulse irrigation,
Water management,
Water use efficiency,
Wheat

ABSTRACT

Background and Objectives: In recent decades, the water crisis has become one of the most significant barriers to sustainable agriculture, particularly in arid and semi-arid regions. This crisis is exacerbated by factors such as uneven distribution of water resources, unsustainable exploitation of groundwater, and widespread use of traditional and inefficient irrigation methods. These challenges pose a serious threat to water security and the sustainability of agricultural production. In countries like Iran, where a substantial portion of agricultural output depends on strategic crops such as wheat, this issue is of paramount importance. Wheat, as one of the most critical agricultural products, supplies approximately 36% of human food, a significant share of dietary proteins, and over half of the essential carbohydrates required by humanity, playing a central role in ensuring global food security. With the continuous rise in global population and the impacts of climate change on precipitation patterns and water resources, the need to optimize water use and improve wheat production methods has become increasingly evident. Therefore, developing and implementing modern irrigation techniques that ensure high crop performance with minimal water consumption is a top priority in agricultural research. Pulse (intermittent) irrigation, which applies water to the soil at specific, controlled intervals, facilitates better root zone aeration, reduces continuous soil saturation, and enhances root growth and nutrient uptake. This method is particularly effective in drip irrigation systems, which are widely adopted in arid regions due to their high precision, reduced water losses, and adaptability to dry conditions, thereby improving water use efficiency and crop performance. Given the growing adoption of drip irrigation systems for wheat cultivation in Iran and the lack of precise data on the effects of pulse irrigation, this study was designed to investigate the impact of the number and duration of irrigation pulses on the performance of the Haydari wheat cultivar under laboratory and field conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted during the 2022-2023 cropping season in Mashhad, Iran, using a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. The main factors included the number of irrigation pulses (one, two, and three pulses) as the primary factor and irrigation duration (12, 15, and 18 hours) as the secondary factor. Each experimental plot, covering an area of 30 m^2 (10 × 3 m), consisted of five rows of the Haydari wheat cultivar planted with a row spacing of 60 cm and a planting depth of 2-3 cm. To minimize edge effects and ensure uniform conditions, two border rows were planted in each plot. The physical and chemical properties of the soil were determined through random sampling at depths of 0-25 and 25-50 cm. The soil had a clay-silt-sand texture with specified levels of nitrogen, phosphorus, potassium, and electrical conductivity, as presented in the relevant tables. Irrigation was applied based on the plant's water requirements at a fixed 6-day interval. The required irrigation depth was calculated by measuring soil moisture at three depths (0-25, 25-50, and 50-75 cm). Soil samples were collected, and their gravimetric and volumetric moisture contents were determined using standard equations. Considering the 90% efficiency of the drip irrigation system, the gross irrigation depth for each treatment was calculated. The evaluated parameters included grain yield, thousand-grain weight, plant height, and water use efficiency, which were meticulously measured and recorded.

Results: The analysis of variance indicated that the number of irrigation pulses and irrigation duration, both individually and in interaction, had significant effects (at 1% and 5% probability levels) on the grain yield, yield components, and water use efficiency of the Haydari wheat cultivar. The highest grain yield, amounting to 7839.6 kg/ha, was achieved in the 18-hour irrigation treatment with three pulses, while the lowest grain yield, 5992.7 kg/ha, was observed in the 12-hour irrigation treatment with one pulse. The three-pulse irrigation method resulted in a 13.6% and 26.18% increase in grain yield compared to the two-pulse and one-pulse methods, respectively. Regarding water use efficiency, the highest value, 1.053 kg/m^3, was recorded in the 12-hour irrigation treatment with three pulses, while the lowest value, 0.827 kg/m^3, was observed in the 18-hour irrigation treatment with one pulse. These results highlight the superiority of the three-pulse method in improving water use efficiency, increasing it by 32.6% and 43.18% compared to the two-pulse and one-pulse methods, respectively. This enhanced performance and efficiency were attributed to more uniform water distribution in the soil, reduced losses due to deep percolation, and improved root zone aeration in the pulse irrigation method.

Conclusion: The findings of this study demonstrated that the effects of soil water filling and depletion phases are dependent on the number and duration of irrigation pulses. Shorter pulses, by reducing water losses through deep percolation and evaporation and improving soil aeration, had a more positive impact on wheat performance indicators. Pulse irrigation with three pulses improved yield components, such as the number of grains per spike, thousand-grain weight, and plant nutrient availability, significantly increasing the grain yield of the Haydari wheat cultivar and markedly enhancing water use efficiency. The three-pulse treatment with an 18-hour irrigation duration achieved the highest grain yield (7839.6 kg/ha), while the three-pulse treatment with a 12-hour irrigation duration resulted in the highest water use efficiency (1.053 kg/m^3). Overall, the three-pulse irrigation method, by creating intermittent irrigation cycles and

providing optimal soil aeration, enables more effective use of limited water resources. This approach can serve as a practical and sustainable solution for enhancing wheat production and optimizing water use in arid and semi-arid regions, particularly in Iran. The results of this study can contribute to policymaking in water resource management and the promotion of efficient irrigation practices in agriculture.

Cite this article: Adineh Yami, Ali, Sharifan, Hossein, Afshar, Hadi, Hezarjaribi, Aboutaleb. 2025. The Effect of the Number and Duration of Drip Irrigation Pulses on the Performance of the Haydari Wheat Cultivar. *Journal of Water and Soil Conservation*, 32 (2), 121-142.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2025.23130.3793
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹۴

تأثیر تعداد و مدت پالس‌های آبیاری قطره‌ای بر عملکرد گندم رقم حیدری

علی آدینه یامی[۱]، حسین شریفان*[۲]، هادی افشار[۳]، ابوطالب هزارجریبی[۴]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: aliadineh.7282@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: h_sharifan47@yahoo.com
۳. استادیار پژوهش ، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: afsharch@yahoo.com
۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hezab10@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۳/۱۲/۰۵
تاریخ ویرایش: ۰۴/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۰۴/۰۲/۱۹

واژه‌های کلیدی:
آبیاری پالسی،
عملکرد دانه،
کارایی مصرف آب،
گندم،
مدیریت آب

چکیده

سابقه و هدف: در دهه‌های اخیر، بحران آب به یکی از مهم‌ترین موانع پیش‌روی کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تبدیل شده است. این بحران با عواملی مانند توزیع نابرابر منابع آبی، بهره‌برداری غیراصولی از منابع زیرزمینی و استفاده گسترده از روش‌های آبیاری سنتی و ناکارآمد تشدید شده است. این چالش‌ها تهدیدی جدی برای امنیت آبی و پایداری تولیدات کشاورزی به‌شمار می‌روند. در کشورهایی مانند ایران، که بخش قابل‌توجهی از تولیدات کشاورزی آن به کشت محصولات استراتژیک مانند گندم وابسته است، این مسأله اهمیت دوچندانی دارد. گندم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی، حدود ۳۶ درصد از غذای موردنیاز انسان، بخش عمده‌ای از پروتئین‌های رژیم غذایی و بیش از نیمی از کربوهیدرات‌های ضروری بشر را تأمین می‌کند و نقش محوری در تضمین امنیت غذایی جهانی ایفا می‌کند. با افزایش روزافزون جمعیت جهان و تأثیرات تغییرات اقلیمی بر الگوهای بارش و منابع آبی، ضرورت اصلاح روش‌های تولید گندم و بهینه‌سازی مصرف آب بیش‌ازپیش آشکار شده است. در این راستا، توسعه و به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری که بتوانند عملکرد بالای محصول را با حداقل مصرف آب تضمین کنند، از اولویت‌های اصلی پژوهش‌های کشاورزی است. یکی از این روش‌ها، آبیاری پالسی (تناوبی) است که با اعمال آب به خاک در فواصل زمانی مشخص و کنترل‌شده، امکان تهویه بهتر محیط ریشه، کاهش اشباع مداوم خاک، و بهبود رشد ریشه و جذب مواد مغذی را فراهم می‌کند. این روش به‌ویژه در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، که به‌دلیل دقت بالا، کاهش تلفات آب و سازگاری با شرایط مناطق خشک کاربرد گسترده‌ای دارند، می‌تواند بهره‌وری آب و عملکرد محصول را به‌طور قابل‌توجهی ارتقا دهد. با توجه به گسترش روزافزون استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در کشت گندم در ایران و کمبود اطلاعات دقیق درباره اثرات آبیاری پالسی در این سیستم‌ها، پژوهش حاضر با هدف

بررسی تأثیر تعداد و مدت‌زمان پالس‌های آبیاری بر عملکرد گندم رقم حیدری در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای طراحی شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در منطقه مشهد، با استفاده از طرح کرت‌های خردشده بر پایه بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. عوامل اصلی مورد بررسی شامل تعداد پالس‌های آبیاری (یک، دو و سه پالس) به‌عنوان فاکتور اصلی و مدت‌زمان آبیاری (۱۲، ۱۵ و ۱۸ ساعت) به‌عنوان فاکتور فرعی بود. هر کرت آزمایشی با مساحت ۳۰ مترمربع (۱۰ × ۳ متر) شامل پنج ردیف کاشت گندم رقم حیدری با فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۲ تا ۳ سانتی‌متر بود. برای کاهش اثرات حاشیه‌ای و اطمینان از یکنواختی شرایط، دو ردیف کناری در هر کرت نیز کشت شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه از طریق نمونه‌برداری تصادفی در دو عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متر تعیین شد. خاک منطقه دارای بافت رسی-سیلتی-شنی با مقادیر مشخصی از نیتروژن، فسفر، پتاسیم، و هدایت الکتریکی بود که نتایج آن در جداول مربوطه ارائه شده است. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و با دور ثابت ۶روزه انجام شد. عمق آبیاری موردنیاز با اندازه‌گیری رطوبت خاک در سه عمق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، و ۵۰-۷۵ سانتی‌متر محاسبه شد. برای این منظور، نمونه‌های خاک جمع‌آوری و رطوبت جرمی و حجمی آن‌ها با استفاده از معادلات استاندارد تعیین گردید. با درنظرگرفتن راندمان ۹۰ درصدی سیستم آبیاری قطره‌ای، عمق ناخالص آبیاری برای هر تیمار محاسبه شد. شاخص‌های مورد ارزیابی در این مطالعه شامل عملکرد دانه، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته، و کارایی مصرف آب بود که به‌صورت دقیق اندازه‌گیری و ثبت شدند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که تعداد پالس‌های آبیاری و مدت‌زمان آبیاری، به‌صورت جداگانه و در تعامل با یکدیگر، تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد) بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد، و کارایی مصرف آب گندم رقم حیدری داشتند. بالاترین عملکرد دانه، معادل ۷۸۳۹/۶ کیلوگرم در هکتار، در تیمار آبیاری ۱۸ساعته با سه پالس به‌دست آمد، درحالی‌که کم‌ترین عملکرد دانه، معادل ۵۹۹۲/۷ کیلوگرم در هکتار، در تیمار آبیاری ۱۲ساعته با یک پالس مشاهده شد. روش آبیاری با سه پالس در مقایسه با دو پالس و یک پالس به‌ترتیب ۱۳/۶ و ۲۶/۱۸ درصد افزایش عملکرد دانه را به همراه داشت. از نظر کارایی مصرف آب، بالاترین مقدار، برابر با ۱/۰۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب، در تیمار آبیاری ۱۲ساعته با سه پالس ثبت شد، درحالی‌که کم‌ترین مقدار، برابر با ۰/۸۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب، در تیمار آبیاری ۱۸ساعته با یک پالس به‌دست آمد. این نتایج نشان‌دهنده برتری روش سه پالس در بهبود کارایی مصرف آب بود، به‌طوری‌که این روش کارایی مصرف آب را به‌ترتیب ۳۲/۶ و ۴۳/۱۸ درصد نسبت به روش‌های دو پالس و یک پالس افزایش داد. این بهبود عملکرد و کارایی به دلیل توزیع یکنواخت‌تر آب در خاک، کاهش تلفات ناشی از نفوذ عمقی، و بهبود شرایط تهویه ریشه در روش آبیاری پالسی بود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که اثر فازهای پر شدن و تخلیه آب در خاک به تعداد و مدت‌زمان پالس‌های آبیاری وابسته است. استفاده از پالس‌های کوتاه‌تر با کاهش تلفات

آب از طریق نفوذ عمقی و تبخیر و هم‌چنین بهبود تهویه خاک، تأثیر مثبت‌تری بر شاخص‌های عملکرد گندم داشت. آبیاری پالسی با سه پالس، با بهبود اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و افزایش دسترسی گیاه به مواد مغذی، نه‌تنها عملکرد دانه گندم رقم حیدری را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد، بلکه کارایی مصرف آب را نیز به شکل چشمگیری بهبود بخشید. تیمار سه پالس با مدت‌زمان آبیاری ۱۸ ساعت بالاترین عملکرد دانه (۷۸۳۹/۶ کیلوگرم در هکتار) را به همراه داشت، در حالی‌که تیمار سه پالس با ۱۲ ساعت آبیاری بالاترین کارایی مصرف آب (۱/۰۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) را نشان داد. به‌طورکلی، روش آبیاری پالسی با سه پالس، با ایجاد چرخه‌های متناوب آبیاری و فراهم کردن شرایط بهینه برای تهویه خاک، امکان استفاده مؤثرتر از منابع آبی محدود را فراهم می‌کند. این روش می‌تواند به‌عنوان یک راهکار عملی و پایدار برای افزایش تولید گندم و بهینه‌سازی مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در ایران، مورداستفاده قرار گیرد. نتایج این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاری در مدیریت منابع آبی و ترویج روش‌های آبیاری کارآمد در کشاورزی کمک کند.

استناد: آدینه یامی، علی، شریفان، حسین، افشار، هادی، هزارجریبی، ابوطالب (۱۴۰۴). تأثیر تعداد و مدت پالس‌های آبیاری قطره‌ای بر عملکرد گندم رقم حیدری. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۲ (۲)، ۱۴۲-۱۲۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2025.23130.3793

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات کلیدی برای امنیت غذایی جهان است که حدود ۳۶ درصد از غذای جمعیت جهان، یک‌چهارم کالری روزانه، پروتئین‌های رژیم غذایی و نزدیک به ۵۵ درصد از کربوهیدرات موردنیاز انسان را تأمین می‌کند (۱). سالانه بیش از ۷۵۰ میلیون تن گندم در جهان تولید می‌شود، اما افزایش سریع جمعیت و تغییرات اقلیمی نیاز به بهبود تولید این محصول را بیش‌ازپیش ضروری کرده است (۲). تنش‌های زیستی و غیرزیستی مانند بیماری، آفات، خشکی و شوری تولید گندم را به‌طور چشمگیری محدود می‌کنند (۳). خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی، به‌ویژه در مراحل حساس رشد مانند گرده‌افشانی و پر شدن دانه، می‌تواند عملکرد گندم را تا ۵۰ درصد کاهش دهد (۴). از طرفی بیش‌تر گندم‌های جهان در شرایط دیم تولید می‌شود، خصوصاً در مناطقی یا آب‌وهوای مدیترانه‌ای، جایی که محصول در طی پر شدن دانه با تنش خشکی روبرو می‌شود که منجر به کاهش عملکرد می‌شود (۵). در مناطق با اقلیم مدیترانه‌ای، مانند ایران که حدود ۶۶ درصد از گندم به‌صورت دیم کشت می‌شود، این تنش با افزایش روزهای خشک در سال‌های اخیر تشدید شده است (۶). اگرچه کشور ایران دارای تنوع فصلی زیاد است، اما در سال‌های گذشته افزایش فراوانی سالانه روزهای خشک در سراسر کشور مشاهده شده است (۷). مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه یکی از حساس‌ترین مراحل در رشد گیاه است که بیانگر اهمیت تحمل گیاه به خشکی در مراحل اولیه رشد است (۸ و ۹). در گندم، کمبود آب در طول دوره کاشت بر روی جوانه‌زنی بذر تأثیر می‌گذارد و باعث تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در طول استقرار گیاه می‌شود و درنتیجه باعث کاهش رشد، نمو و بهره‌وری کلی می‌شود (۱۰ و ۱۱).

برای مقابله با سناریوهای تغییر اقلیم، توجه به فرکانس و میزان آب در دسترس، علاوه بر مقدار کل آب، اهمیت دارد. در سال‌های اخیر، استفاده از آبیاری قطره‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای تولید غلات، به‌دلیل کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب و کود، رواج یافته است (۱۲). مطالعات نشان داده‌اند که آبیاری قطره‌ای نه‌تنها پایداری عملکرد را بهبود می‌بخشد، بلکه می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد (۱۳). بااین‌حال، آبیاری مداوم در این سیستم ممکن است تهویه خاک را مختل کند و رشد گیاه را تحت‌تأثیر قرار دهد (۱۴). در این راستا، آبیاری پالسی با اعمال آب در چرخه‌های متناوب، شرایط بهتری برای تهویه خاک و رشد ریشه فراهم می‌کند و می‌تواند تا ۲۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کند (۱۵). روش آبیاری پالسی نسبت به روش کم‌آبیاری برتری دارد، زیرا تهویه خاک را بهبود می‌بخشد (۱۵). تلفات آب از تبخیر و نفوذ عمیق را کاهش می‌دهد (۱۶). جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد (۱۷). انعطاف‌پذیری بیش‌تری در مدیریت آب فراهم می‌کند (۱۸). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که روش آبیاری پالسی عملکرد دانه را در مقایسه با آبیاری مداوم بهبود می‌بخشد و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (۱۹). در مطالعه‌ای که جهت بررسی تأثیر آبیاری پیوسته و پالسی با استفاده از سطوح مختلف نیتروژن بر روی رطوبت خاک، انتقال و انباشتگی نیتروژن در منطقه توسعه ریشه انجام شد، نتایج نشان داد که آبیاری پیوسته می‌تواند میزان رطوبت در اطراف قطره‌چکان را افزایش دهد و باعث کاهش حرکت افقی رطوبت در مقایسه با آبیاری پالسی شود که این امر به رشد بهتر ریشه و افزایش اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در سنبله کمک می‌کند (۲۰). در پژوهشی دیگر گیاهان تحت دو نوع آبیاری (پالسی و مداوم) در

پنج عمق آبیاری (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تبخیروتعرق محصول) قرار گرفتند. نتایج نشان داد، آبیاری پالسی باعث افزایش فتوسنتز (۲۱٪)، راندمان مصرف آب (۱۷٪) و سطح برگ (۳۹٪) شد (۲۱). آبیاری پالسی به‌عنوان یک روش نوین در مدیریت منابع آبی، در سال‌های اخیر به دلیل توانایی در کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری در محصولات زراعی موردتوجه قرار گرفته است. این روش با اعمال آب در چرخه‌های متناوب، شرایط بهتری برای تهویه خاک و رشد ریشه فراهم می‌کند و تلفات آب از طریق تبخیر و نفوذ عمیق را کاهش می‌دهد (۱۲). در پژوهشی بر روی گندم در مناطق خشک، استفاده از آبیاری پالسی در سیستم قطره‌ای منجر به افزایش عملکرد دانه تا ۱۱/۸ درصد و صرفه‌جویی ۲۰/۱ درصدی در مصرف آب نسبت به آبیاری مداوم شد (۲۲). اثرات مثبت آبیاری پالسی بر کارایی مصرف آب نیز در مطالعات متعدد تأیید شده است، آبیاری قطره‌ای با توزیع متناوب آب و نیتروژن، کارایی مصرف آب و جذب مواد مغذی را در گندم زمستانه به‌ویژه در خاک‌های با ظرفیت نگهداری پایین بهبود می‌بخشد (۱۴). بااین‌حال، کمبود اطلاعات در مورد اثرات آبیاری پالسی بر گندم در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران، مانند منطقه مشهد، هم‌چنان یک چالش است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کارایی آبیاری پالسی در سیستم آبیاری قطره‌ای از لحاظ میزان تأثیر آن بر بهره‌وری آب و عملکرد گندم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری تناوبی (پالسی) بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گندم رقم حیدری آزمایش تحقیقاتی در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱، در قالب طرح کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه مشهد (و در طول جغرافیایی "۴۴°۱۶'۵۹ شرقی وعرض جغرافیایی "۱۵°۴۲'۳۶ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۰۶) انجام شد. در این آزمایش سه تیمار آبیاری پالسی (یک، دو و سه پالس) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه تیمار مدت آبیاری (۱۲، ۱۵ و ۱۸ ساعت) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، گندم رقم حیدری به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک منطقه مشهد، عملکرد مطلوب در سیستم‌های آبیاری نوین، و اهمیت محلی آن انتخاب شد. این رقم با تحمل نسبی به تنش خشکی و پاسخ مناسب به رطوبت متناوب، شرایط مناسبی برای ارزیابی اثر آبیاری پالسی بر بهره‌وری آب و عملکرد فراهم کرد. به منظور تعیین ویژگی‌های خاک محل اجرای طرح، نمونه‌برداری از چندین نقطه و به‌صورت تصادفی و در دو عمق ۲۵-۰ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متری انجام شد، خصوصیات خاک منطقه موردمطالعه در جدول ۱ آمده است. جهت محاسبه مقدار و عمق آبیاری ۲۴ ساعت قبل از آبیاری از دو کرت از سه عمق مختلف (۲۵-۰، ۵۰-۲۵ و ۷۵-۵۰ سانتی‌متری) با استفاده از آگر نمونه خاک تهیه و بلافاصله وزن مرطوب اندازه‌گیری شد سپس به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و وزن خشک اندازه‌گیری و مقدار رطوبت جرمی خاک محاسبه گردید (رابطه ۱). هم‌چنین با توجه به وزن مخصوص ظاهری خاک مقدار رطوبت حجمی برای هر آبیاری به دست آمد (رابطه ۲). حداکثر عمق نمونه‌برداری ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد زیرا نفوذ آب و ریشه گندم به عمقی بیش از این مقدار با توجه به مشاهدات و منابع غیرمتحمل ارزیابی می‌شود. مساحت هر کرت کشت‌شده ۳۰ مترمربع (۱۰×۳)، که شامل ۵ ردیف گندم با فاصله ۶۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳-۲ سانتی‌متر بود. دو ردیف کناری به منظور حذف اثر حاشیه‌ای، کشت گردیدند.

$$Y_g = \frac{Mw}{Ms} \times 100 \quad (۱)$$

$$Y_v = p_b \times Yg \quad (۲)$$

که در آن، Mw وزن آب برحسب گرم، Ms وزن خاک خشک برحسب گرم، Yg رطوبت وزنی برحسب درصد، Yv رطوبت حجمی برحسب درصد و p_b وزن مخصوص ظاهری برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب.

شکل ۱- مراحل اجرای طرح، رشد و برداشت اجزاء عملکرد گندم در روش آبیاری پالسی.

Figure 1. Steps of implementation, growth, and harvesting of yield components of wheat in pulse irrigation method.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک.

Table 1. Soil test results.

نمونه Sample	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	کربن C (%)	بافت خاک Soil texture		
							رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0-25	0.147	14.1	250	6.7	2.4	1.53	42	38	20
25-50	0.124	13.3	241.3	6.9	2.5	1.43	40	40	20

آزمایش با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) انجام شد که به‌طور خاص برای کشت گندم رقم حیدری در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک منطقه مشهد طراحی‌شده بود. نوارهای قطره‌ای از نوع نوار تیپ با ضخامت ۲۰۰ میکرون و جنس پلی‌اتیلن انتخاب شدند که به دلیل دوام و انعطاف‌پذیری در خاک‌های رسی-سیلتی-شنی مناسب هستند. فاصله قطره‌چکان‌ها روی نوار ۲۰ سانتی‌متر بود تا توزیع یکنواخت آب در ردیف‌های کاشت گندم (با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها) تضمین شود. دبی هر قطره‌چکان ۱/۶ لیتر بر ساعت در فشار کاری ۱ بار تنظیم شد، آبیاری متناسب با نیاز گیاه در طول دوره کشت و با دور ۶ روز اعمال شد. اختلاف ظرفیت زراعی مزرعه (۲۶ درصد) از مقدار رطوبت حجمی (Yv) به‌دست‌آمده قبل از هر آبیاری مقدار کمبود درصد رطوبت به‌دست آمد و باتوجه به این‌که راندمان سیستم آبیاری‌قطره‌ای ۹۰ درصد می‌باشد. از (رابطه ۳) عمق ناخالص آبیاری به‌دست آمد. هم‌چنین جهت مقایسه مقدار رطوبت خاک جهت آبیاری از داده‌های تشتک تبخیر کلاس A استفاده گردید. بدین‌ترتیب که ۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به‌عنوان زمان مناسب آبیاری در نظر گرفته شد و میزان تبخیروتعرق پتانسیل با استفاده از رابطه ET0 = Epan* Kpan به‌دست آمد. که در آن ET0 تبخیروتعرق پتانسیل، Kpan ضریب تشت تبخیر (۰/۸) و Epan میزان تبخیر از تشت تبخیر است. هم‌چنین ضرایب گیاهی (KC) مطابق با ماه رشد در نظر گرفته شدند. با استفاده از مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب گیاهی مربوط به ماه‌های اسفند، فرودین، اردیبهشت و خرداد، میزان تبخیروتعرق واقعی ETC به‌دست آمد.

$$Dg = \frac{MAD}{0.9} \qquad (۳)$$

که در آن، Dg عمق ناخالص آبیاری برحسب میلی‌متر، MAD کمبود درصد رطوبت و ۰/۹ راندمان سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشند.

در طول دوره رشد به‌منظور کوددهی و جلوگیری از تنش تغذیه‌ای عناصر لازم برای رشد حداکثر گندم کوددهی براساس آزمون خاک استفاده گردید. به‌منظور کوددهی با استفاده از نتایج آزمون خاک به‌ترتیب ۲۰۰، ۸۵ و ۸۵ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم از منبع اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم در زمان شخم و در طول فصل رشد به خاک اضافه شد. در طول فصل رشد جهت مبارزه با علف‌های هرز از علف‌کش توفوردی (D-۲/۴) استفاده گردید. پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری از گیاه به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های گیاهی طی سه دوره ابتدایی پنجه‌زنی گندم، دوره میانی و دوره پایانی برداشت انجام شد که در هر یک از تیمارها از با استفاده از کوادرات از زیر تیپ و کنار تیپ دو نمونه در هر دوره نمونه‌برداری شد (میانگین این دو نمونه به‌عنوان نمونه اصلی گزارش شد. بعد از رسیدگی کامل تعداد ۲۰ بوته جهت اندازه‌گیری صفات جدا شد و صفات ارتفاع بوته (pH، سانتی‌متر)، وزن هزاردانه (TKW، گرم)، تعداد دانه در سنبله (GN)، وزن سنبله (SW، گرم)، اندازه‌گیری شد هم‌چنین به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه (GY، کیلوگرم در هکتار) کل عملکرد کرت توسط کمباین طبق دستورالعمل اندازه‌گیری سیمیت برای گندم محاسبه شد. کارایی مصرف آب طبق رابطه ۴ نیز اندازه‌گیری شد.

$$WUE = \frac{Y}{I} \qquad (۴)$$

که در آن، WUE کارایی مصرف آب برحسب (kg/m^3)، Y عملکرد محصول برحسب (kg/m^3) و I میزان آب مصرفی (m^3/ha).

در پایان جهت تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از نرم‌افزار SAS 9.4، و رسم نمودارها از Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر مدت آبیاری و روش آبیاری تناوبی (پالسی) در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر ارتفاع بوته گندم است (جدول ۲). براساس نتایج بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته (۸۸/۳۰ سانتی‌متر) در تیمار مدت‌زمان آبیاری ۱۸ ساعت با سه پالس و کم‌ترین میزان آن (۷۲/۵۵ ۷۲/۳۹ سانتی‌متر) در تیمار مدت‌زمان آبیاری ۱۲ و ۱۵ ساعت با یک پالس به‌دست آمد. آبیاری تناوبی با سه پالس نسبت به یک پالس در تیمارهای مدت آبیاری ۱۲، ۱۵ و ۱۸ ساعت به ترتیب ارتفاع بوته گندم را ۱۷/۴۰، ۱۶/۰۴ و ۱۵/۳۳ درصد افزایش داد. روش آبیاری تناوبی سه پالس ارتفاع بوته گندم را نسبت به دو و یک پالس به‌ترتیب ۹/۲۲ و ۱۶/۲۶ درصد افزایش داد (شکل ۲). افزایش ارتفاع بوته در تیمارهای آبیاری پالسی با تعداد پالس بیش‌تر و مدت‌زمان طولانی‌تر، به بهبود شرایط رطوبتی و تهویه خاک نسبت داده می‌شود که رشد طولی گیاه را تسهیل می‌کند. رانک و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند آبیاری پالسی با ایجاد چرخه‌های متناوب رطوبت و تخلیه، تهویه خاک را بهبود می‌بخشد و رشد ریشه و اندام‌های هوایی را تقویت می‌کند. در این پژوهش، تیمار سه پالس با ۱۸ ساعت آبیاری، با تأمین آب کافی و کاهش اشباع مداوم خاک، شرایط بهینه‌ای برای افزایش ارتفاع بوته فراهم کرد، که این امر با افزایش ۱۵/۳۳ درصدی نسبت به یک پالس تأیید می‌شود. (۱۲).

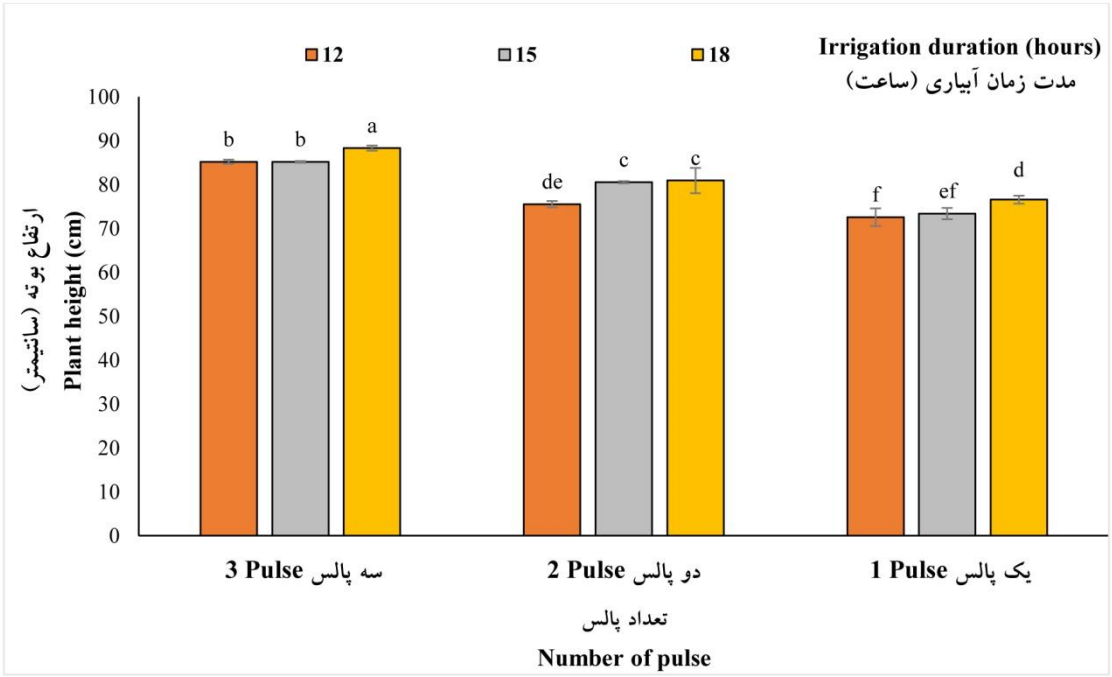
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر روش آبیاری تناوبی (پالسی) در مدت زمان آبیاری مختلف بر صفات مختلف گندم.

Table 2. Variance analysis of the effect of periodic irrigation method (pulse) in different irrigation durations on different wheat traits.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزاردانه 1000-kernel weight	تعداد دانه در سنبله Grain number per spike	وزن سنبله Spike weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک Block	2	0.645^{ns}	4.222^{ns}	11.425^{ns}	0.006^{ns}	118133^{ns}	175897.5^{ns}	0.0024^{ns}
آبیاری تناوبی (پالسی) Intermittent irrigation (pulse)	2	48.314**	54.238**	144.438**	0.984**	3988586**	142.5619.7**	0.0809**
خطای a Error a	4	3.109	0.704	1.588	0.006	48657	748066.4	0.0008
مدت زمان آبیاری Irrigation duration	2	113.87**	45.494**	70.144**	0.911**	1898311**	16277006.4**	0.0175**
اثر متقابل Interaction	4	4.389*	9.148**	7.092*	0.037*	144407*	1389708.1*	0.0027*
خطای b Error a	12	1.595	1.216	2.711	0.011	45383.6	347086.2	0.0010
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	1.61	3.29	13.8	3.82	3.15	13.99	3.2

^{ns}، *، ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد

^{ns}, *, ** indicate non-significance and significance at the probability level of 1 and 5%, respectively



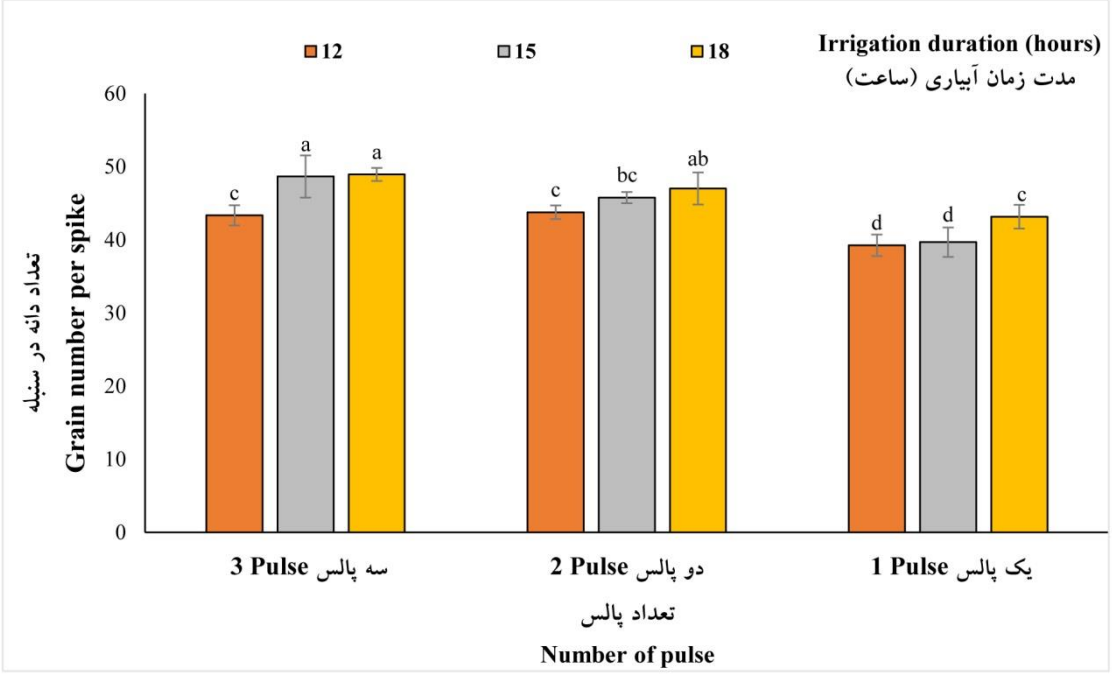
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت‌زمان آبیاری بر ارتفاع بوته در گندم.

Figure 2. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method×irrigation duration on plant height in wheat.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

تعداد دانه در سنبله: تعداد دانه در سنبله گندم تحت‌تأثیر اثر متقابل مدت آبیاری در روش آبیاری پالسی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله (۴۸/۹۲ و ۴۸/۶۴) در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۸ و ۱۵ ساعت با سه پالس و کم‌ترین میزان آن (۳۹/۲۴ و ۳۹/۶۷) در تیمار مدت‌زمان آبیاری ۱۲ و ۱۵ ساعت با یک پالس به‌دست آمد. در کل نتایج نشان داد که آبیاری تناوبی سه پالس نسبت به آبیاری تناوبی دو و یک پالس تعداد دانه در سنبله را بهبود می‌بخشد به‌طوری‌که نتایج نشان داد روش آبیاری تناوبی سه پالس تعداد دانه در سنبله گندم را نسبت به دو و یک پالس به‌ترتیب ۳/۱۳ و ۱۵/۴۸ درصد افزایش داد. بیش‌ترین درصد افزایش تعداد دانه در سنبله با ۲۲/۶ درصد در تیمار سه پالس نسبت به یک پالس در مدت‌زمان آبیاری ۱۵ ساعت مشاهده شد (شکل ۳).



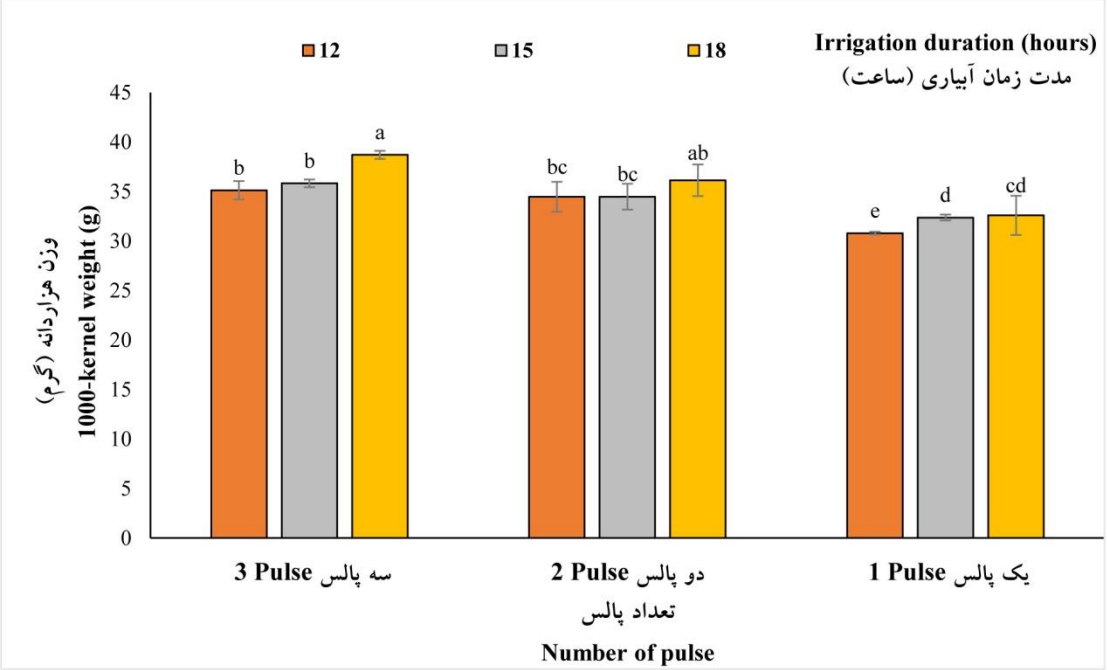
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت‌زمان آبیاری بر تعداد دانه در سنبله در گندم.

Figure 3. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method×irrigation duration on grain number per spike in wheat.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

وزن هزاردانه: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر متقابل اثر مدت‌زمان آبیاری در روش آبیاری تناوبی (پالسی) در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزاردانه گندم بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن هزاردانه گندم (۳۸/۷۰ گرم) در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۸ ساعت با سه پالس و کم‌ترین میزان آن با ۳۰/۷۹ گرم در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۲ ساعت با یک پالس مشاهده شد. آبیاری تناوبی با سه پالس نسبت به یک پالس در تیمارهای مدت آبیاری ۱۲، ۱۵ و ۱۸ ساعت به ترتیب وزن هزاردانه گندم را ۱۴/۱، ۱۰/۶ و ۱۸/۸ درصد افزایش داد. روش آبیاری تناوبی سه پالس به ترتیب ۴/۳۱ و ۱۴/۴۹ درصد وزن هزاردانه گندم را نسبت به دو و یک پالس بهبود بخشید (شکل ۴).



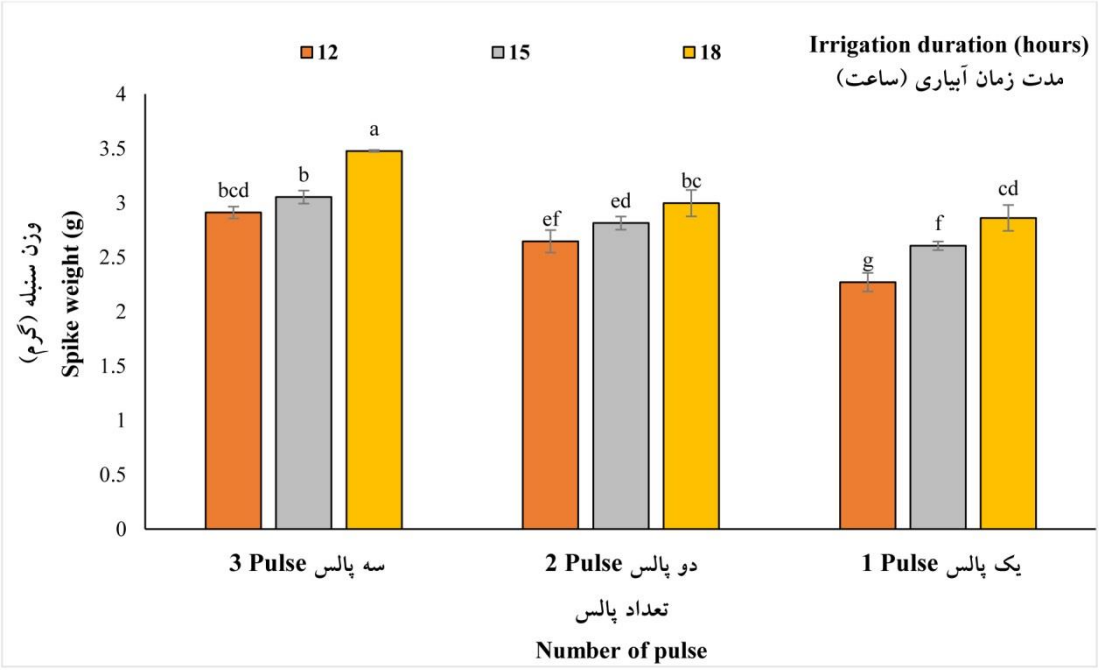
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت‌زمان آبیاری بر وزن هزاردانه در گندم.

Figure 4. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method×irrigation duration on 1000-kernel weight in wheat.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

وزن سنبله: اثر متقابل مدت آبیاری در روش آبیاری پالسی در سطح احتمال ۵ درصد بر وزن سنبله گندم معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیش‌ترین وزن سنبله (۳/۴۸ گرم) در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۸ ساعت با سه پالس و کم‌ترین میزان آن (۲/۲۷ گرم) در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۲ ساعت با یک پالس به‌دست آمد. نتایج نشان داد که آبیاری تناوبی سه پالس نسبت به آبیاری تناوبی دو و یک پالس وزن سنبله گندم را افزایش داد که این افزایش در روش آبیاری تناوبی سه پالس نسبت به دو و یک پالس به ترتیب ۱۱/۵۱ و ۲۲/۳۱ درصد بود. بیش‌ترین درصد افزایش وزن سنبله با ۲۸ درصد در تیمار سه پالس نسبت به یک پالس در مدت‌زمان آبیاری ۱۲ ساعت مشاهده شد (شکل ۵). کم‌ترین میزان ارتفاع و اجزای عملکرد در تیمارهای با آبیاری مداوم مستقیماً به این واقعیت مربوط می‌شود که کمبود آب باعث رشد بیش‌تر و انبساط سیستم ریشه برای لایه‌های عمیق‌تر و مرطوب‌تر خاک می‌شود و باعث جابجایی بخش زیادی از فتوسیمیلات‌های تولیدشده برای تشکیل بیش‌تر این اندام‌ها می‌شود. برعکس در آبیاری پالسی ناحیه ریشه با شرایط بهتر رطوبت، تبخیر کم‌تر و تلفات نفوذ عمیق قرار می‌گیرد درنتیجه موجب افزایش ارتفاع و افزایش عملکرد می‌شود (۲۳). باکیر و همکاران (۲۰۰۹)، با مطالعه تأثیر آبیاری پالسی بر محصول سیب‌زمینی، به این نتیجه رسیدند که با جایگزینی ۱۰۰ درصد رطوبت موردنیاز، حجم خاک مرطوب در آبیاری پالسی در ۴۸ درصد بیش‌تر از کاربرد مداوم است. که درنهایت موجب بهتر صفات عملکردی باشد (۲۴).



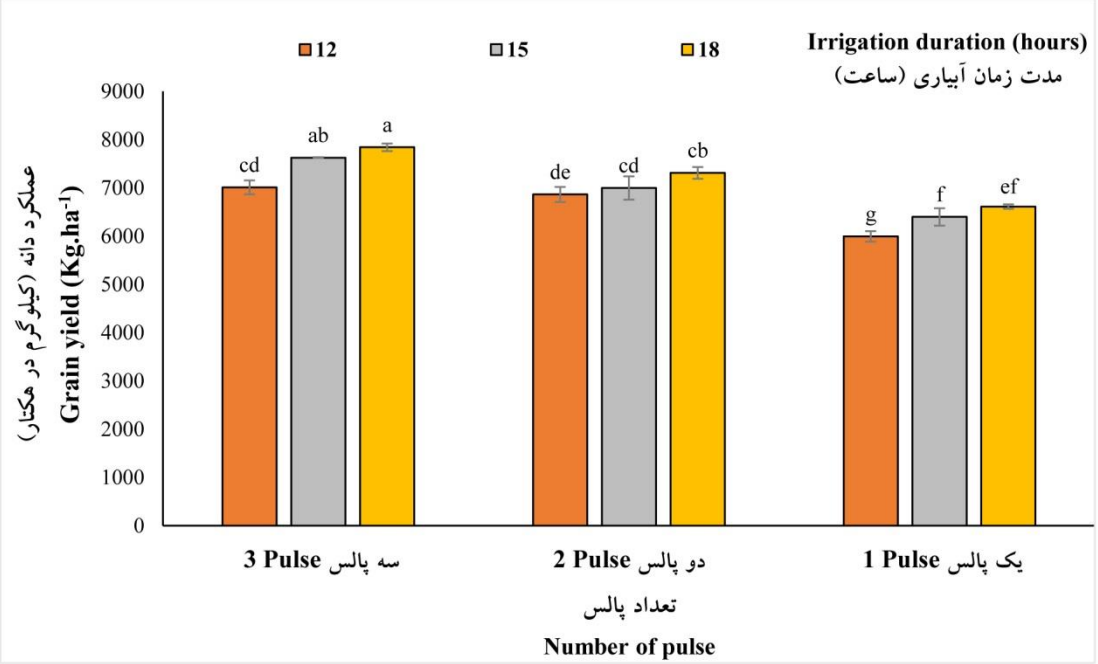
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت‌زمان آبیاری بر وزن سنبله در گندم.

Figure 5. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method×irrigation duration on spike weight in wheat.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

عملکرد دانه: عملکرد دانه گندم تحت‌تأثیر اثر متقابل مدت آبیاری در روش آبیاری پالسی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان عملکرد دانه گندم (۷۸۳۹/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۸ با سه پالس و کم‌ترین میزان آن (۵۹۹۲/۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مدت‌زمان آبیاری ۱۲ ساعت با یک پالس به‌دست آمد. در کل نتایج نشان داد که آبیاری تناوبی سه پالس نسبت به آبیاری تناوبی دو و یک پالس عملکرد دانه گندم را بهبود می‌بخشد به‌طوری‌که نتایج نشان داد روش آبیاری تناوبی سه پالس عملکرد دانه گندم را نسبت به دو و یک پالس به ترتیب ۶/۱۳ و ۱۸/۲۶ درصد افزایش داد. بیش‌ترین درصد افزایش عملکرد دانه گندم با ۱۹/۲۳ درصد در تیمار سه پالس نسبت به یک پالس در مدت‌زمان آبیاری ۱۵ ساعت مشاهده شد (شکل ۶). مطالعات دیگر مزایای مشابهی را با استفاده از آبیاری پالس گزارش کردند و دریافتند که تولید را به‌طور متوسط ۲۵۲۰ کیلوگرم در هکتار در توت‌فرنگی (۲۵)، ۳۳۵ کیلوگرم در هکتار در لوبیا سبز (۲۶)، ۶۶۳۰ کیلوگرم در هکتار در کاهو (۲۷)، ۱۹۷ کیلوگرم در هکتار در ذرت (۲۸)، ۸۳۸۲ کیلوگرم در هکتار در پیاز (۲۹)، ۵۶۸۸ کیلوگرم در هکتار در پرتقال (۳۰)، ۷۱۲ کیلوگرم در هکتار در سیب‌زمینی (۲۴) و ۱۱۸ کیلوگرم در هکتار در سویا افزایش داد (۳۱).



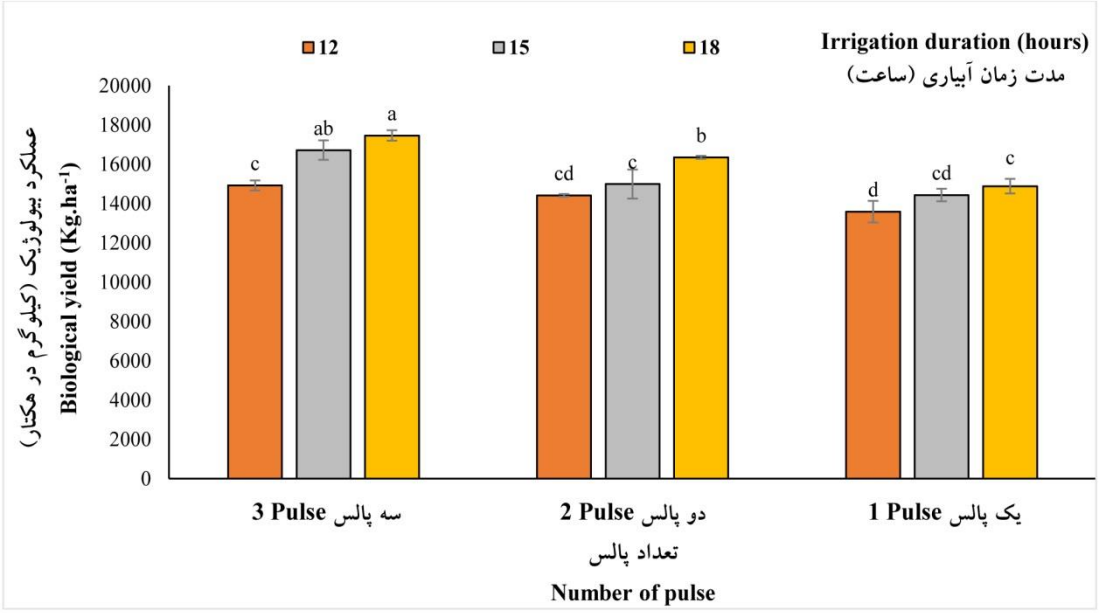
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت‌زمان آبیاری بر عملکرد دانه در گندم.

Figure 6. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method×irrigation duration on grain yield in wheat.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر مدت آبیاری و روش آبیاری تناوبی (پالسی) در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد بیولوژیک گندم است (جدول ۲). براساس نتایج بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک گندم (۱۷۴۶۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مدت‌زمان آبیاری ۱۸ ساعت با سه پالس و کم‌ترین میزان آن (۱۳۵۸۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۲ ساعت با یک پالس به‌دست آمد. آبیاری تناوبی با سه پالس نسبت به یک پالس در تیمارهای مدت آبیاری ۱۲، ۱۵ و ۱۸ ساعت به ترتیب عملکرد بیولوژیک گندم را ۹/۸، ۱۵/۸ و ۱۷/۳ درصد افزایش داد. در کل روش آبیاری تناوبی سه پالس عملکرد بیولوژیک گندم را نسبت به دو و یک پالس به ترتیب ۷/۲۷ و ۱۴/۳۲ درصد افزایش داد (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت‌زمان آبیاری بر عملکرد بیولوژیک در گندم.

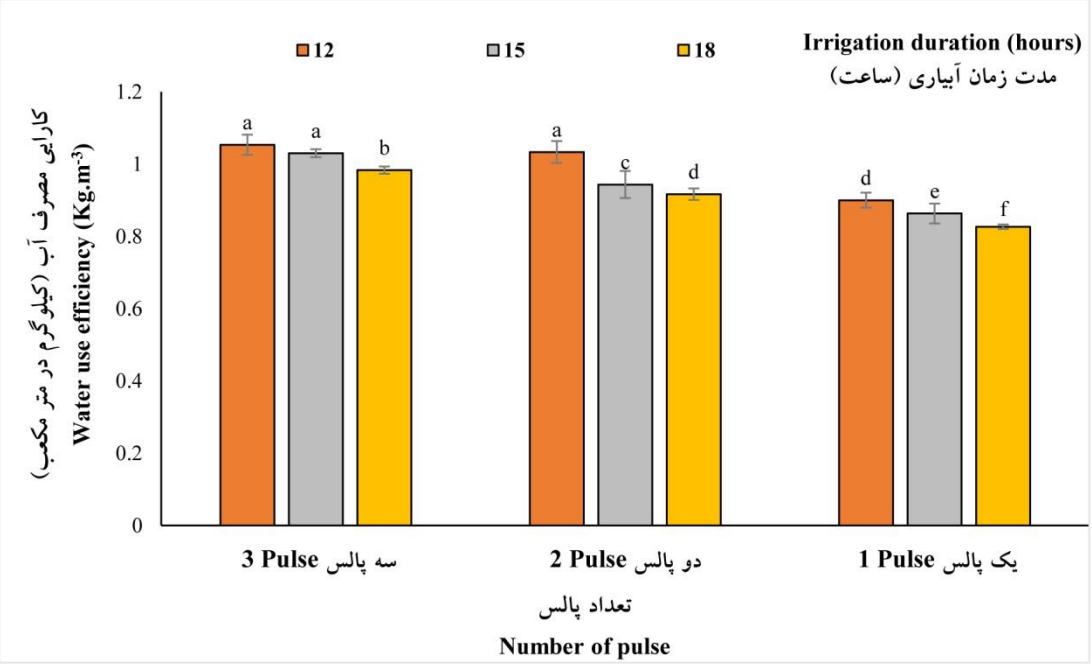
Figure 7. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method×irrigation duration on biological yield in wheat.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

کارایی مصرف آب: کارایی مصرف آب گندم تحت‌تأثیر اثر متقابل مدت آبیاری در روش آبیاری پالسی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب گندم (۱/۰۵۳ و ۱/۰۳۳ کیلوگرم در مترمکعب) در تیمار مدت‌زمان آبیاری ۱۲ ساعت با سه و ۲ پالس و کم‌ترین میزان آن (۰/۸۲۷ کیلوگرم در مترمکعب) در تیمار مدت‌زمان آبیاری ۱۸ ساعت با یک پالس به‌دست آمد. این نتایج بیانگر آن است که هرچند افزایش مدت‌زمان آبیاری منجر به بهبود معنی‌دار برخی اجزای عملکرد شد، اما این افزایش همواره با افزایش کارایی مصرف آب همراه نبوده است. در واقع، در تیمار ۱۸ ساعت، علی‌رغم بهبود نسبی عملکرد، حجم بالای مصرف آب باعث کاهش شاخص WUE گردید. کاهش WUE در این تیمار (آبیاری ۱۸ ساعت با یک پالس)، ناشی از تلفیقی از عوامل فیزیکی (افزایش تلفات)، فیزیولوژیکی (اختلال در جذب) و مدیریتی (عدم زمان‌بندی مناسب پالس‌ها) بوده و نشان می‌دهد که طراحی سامانه آبیاری باید بر اساس نیاز آبی لحظه‌ای گیاه و رفتار هیدرولیکی خاک بهینه‌سازی شود. در کل نتایج نشان داد که آبیاری تناوبی سه پالس نسبت به آبیاری تناوبی دو و یک پالس در همان مدت زمان آبیاری کارایی مصرف آب گندم را بهبود می‌بخشد. نتایج به‌طور میانگین در سه شرایط زمانی آبیاری (۱۲، ۱۵ و ۱۸ ساعت) نشان داد که آبیاری تناوبی سه پالس، نسبت به آبیاری‌های دو و یک پالس در مدت‌زمان‌های مشابه، به‌ترتیب موجب افزایش کارایی مصرف آب گندم به میزان ۶/۳۲ و ۱۸/۴۳ درصد شده است. بیش‌ترین درصد افزایش کارایی مصرف آب گندم با ۱۹/۳۵ درصد در تیمار سه پالس نسبت به یک

پالس در مدت‌زمان آبیاری ۱۵ ساعت مشاهده شد (شکل ۷). مدت‌زمان پالس آبیاری در انواع خاک‌ها اهمیت زیادی دارد. به‌طورکلی، پالس‌های آبیاری کوتاه‌مدت با تلفات آب کم‌تر همراه است (۳۱ و ۳۲). در یک آزمایش مزرعه‌ای، فرکانس آبیاری بالا منجر به عملکرد معادل یا بهبودیافته و افزایش بهره‌وری آب شد (۳۳ و ۳۴). مطالعات قبلی نیز نقش مثبت آبیاری قطره‌ای پالسی را در افزایش راندمان آبیاری نشان داده است (۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت‌زمان آبیاری بر کارایی مصرف آب در گندم.

Figure 8. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method×irrigation duration on water use efficiency in wheat.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در یک مدت زمان آبیاری مشخص، افزایش تعداد پالس‌ها (از یک به سه پالس) موجب بهبود عملکرد و همچنین افزایش کارایی مصرف آب گندم شده است. به‌طور مثال، در مدت‌زمان ۱۸ ساعت، تیمار سه پالس عملکرد بالاتری نسبت به تیمارهای یک و دو پالس داشت. بنابراین، اثر مثبت تعداد پالس‌ها بر همه شاخص‌ها، در چارچوب مقایسه‌هایی با مدت‌زمان ثابت و کنترل‌شده می‌باشد. افزایش تعداد پالس‌ها در آبیاری پالسی (تناوبی) از یک به سه، تأثیر معنی‌داری بر بهبود عملکرد دانه گندم رقم حیدری داشته در تیمار سه پالس با مدت‌زمان آبیاری ۱۸ ساعت، عملکرد دانه به بیش‌ترین مقدار خود یعنی ۷۸۳۹/۶ کیلوگرم در هکتار رسید، درحالی‌که در تیمار یک پالس با ۱۲ ساعت آبیاری، این مقدار با ۵۹۹۲/۷ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین بود که نشان‌دهنده افزایش ۱۸/۲۶ درصدی است. این افزایش به دو عامل بهبود تهویه خاک و

تقویت رشد و توسعه ریشه بستگی دارد. آبیاری پالسی با اعمال آب در چرخه‌های متناوب (سه پالس)، از اشباع مداوم خاک جلوگیری می‌کند و فازهای تخلیه کوتاه‌مدت را ایجاد می‌کند که اکسیژن‌رسانی به ریشه را افزایش می‌دهد. افزایش اکسیژن در ناحیه ریشه، تنفس سلولی را بهبود می‌بخشد و متابولیسم گیاه را تقویت می‌کند، که به‌نوبه خود، توسعه ریشه را تسهیل کرده و جذب آب و مواد مغذی (مانند نیتروژن و پتاسیم) را افزایش می‌دهد. در مقابل، تیمار یک پالس با تأمین مداوم آب در یک نوبت، مدت‌زمان اشباع خاک را طولانی‌تر کرده و تهویه را کاهش می‌دهد، که نتیجه آن محدود شدن رشد ریشه و کاهش عملکرد است. هم‌چنین تیمار سه پالسی در مقایسه با یک و دو پالس، به دلیل ایجاد تعادل بهینه بین رطوبت و اکسیژن در خاک، برتری قابل‌توجهی از خود نشان داد. در این پژوهش، میانگین عملکرد دانه در تیمار دو پالس با ۱۸ ساعت آبیاری ۷۱۴۸/۹ کیلوگرم در هکتار و در یک پالس با همان مدت‌زمان ۶۳۶۸/۸ کیلوگرم در هکتار بود، که به ترتیب ۹/۶۵ و ۱۸/۲۶ درصد کم‌تر از سه پالس است. در مقابل، یک و دو پالس به دلیل تهویه ناکافی و توزیع نابرابر آب، نتوانستند شرایط مشابهی ایجاد کنند. بااین‌حال، استفاده از آبیاری پالسی ممکن است به افزایش شوری موضعی در اطراف قطره‌چکان‌ها منجر شود، به‌ویژه در خاک‌های با زهکشی متوسط و آب آبیاری شور، که می‌تواند در طولانی‌مدت رشد ریشه و عملکرد را تحت‌تأثیر قرار دهد. برای مدیریت این چالش، شستشوی دوره‌ای خاک با آب اضافی در پایان فصل، استفاده از آب با شوری کم‌تر ۰/۷ ds/m و تنظیم فاصله قطره‌چکان‌ها یا دبی نوارهای قطره‌ای پیشنهاد می‌شود تا تجمع املاح کاهش یابد و پایداری سیستم حفظ شود. استفاده از روش آبیاری پالسی با سه پالس در سطح وسیع، ازنظر مدیریت اجرا، پتانسیل بالایی برای افزایش عملکرد و صرفه‌جویی آب دارد، اما موفقیت آن به زیرساخت‌های قوی (خودکارسازی، پمپاژ، فیلتراسیون)، آموزش نیروی کار و مدیریت شوری وابسته است. در مزارع کوچک تا متوسط، اجرا آسان‌تر است، اما در مقیاس بزرگ، هزینه‌های اولیه بالا و نیاز به تقسیم‌بندی و پایش مداوم، چالش‌هایی هستند که با پشتیبانی فنی و اقتصادی قابل رفع‌اند. به‌طورکلی، این یافته‌ها تأیید می‌کنند که آبیاری پالسی با سه پالس، به‌عنوان یک روش مؤثر و کارآمد، می‌تواند تولید پایدار گندم را در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند مشهد بهبود بخشد، مشروط بر این‌که مدیریت کیفیت آب‌وخاک با دقت انجام شود. این روش نه‌تنها عملکرد و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد، بلکه با کاهش تنش‌های محیطی و بهینه‌سازی شرایط رشد، راهکاری عملی برای مقابله با محدودیت‌های آبی در کشاورزی ارائه می‌دهد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان‌رضوی در راستای همکاری و مساعدت در انجام این پژوهش و هم‌چنین از داوران مقاله که با نظرات سازنده خود به بهبود متن کمک کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مرتبط با پایان‌نامه دوره دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است. دسترسی به داده‌ها و اطلاعات با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله، طرح تحقیق و مشارکت در آنالیزها.

نویسنده دوم: اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نظارت تحقیق.

نویسنده سوم: مشارکت در طرح و روش تحقیق، بازبینی مقاله.

نویسنده چهارم: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها و اطلاعات، بازبینی مقاله.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع خراسان رضوی جهت انجام پژوهش صورت گرفته است.

منابع

1. Ahmadi, S. H., Mosavi, S. B., & Sepaskhah, A. R. (2023). Wheat as a global staple: Nutritional value and contribution to food security under changing climates. *Journal of Cereal Science*, 109, 103-112.
2. Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Mostashari, M. M., Moghaddam, M. E., Mohammadi, V., & Alipour, H. (2023). Applying genetic biofortification for screening of Iranian bread wheat genotypes with high grain yield and nutritional quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 1235-1253.
3. Zarei, M., & Hosseini, S. (2023). Enhancing wheat yield under climate change: Challenges and opportunities for sustainable production. *Annals of Applied Biology*, 182(1), 45-58.
4. Mohammadi, R., & Pour, H. (2023). Drought stress impacts on wheat yield: Mechanisms and mitigation strategies in semi-arid environments. *Agricultural Water Management*, 278, 108-119.
5. Wolny, E., Betekhtin, A., Rojek, M., Braszewska-Zalewska, A., Lusinska, J., & Hasterok, R. (2018). Germination and the early stages of seedling development in Brachypodium distachyon. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 2916.
6. Hosseini, S. J., Mozafari, V., & Karimzadeh, G. (2024). Climate change and its effects on rain-fed wheat cultivation in Mediterranean climates: A case study from Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 245-258.
7. Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Mohammadi, V., Alipour, H., & Cammarano, D. (2022). Imaging-based screening of wheat seed characteristics towards distinguishing drought responsive Iranian landraces and cultivars. *Crop and Pasture Science*, 73(4), 337-355.
8. Wolny, E., Betekhtin, A., Rojek, M., Braszewska-Zalewska, A., Lusinska, J., & Hasterok, R. (2018). Germination and the early stages of seedling development in Brachypodium distachyon. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 2916.
9. Reddy, Y. N., Reddy, Y. P., Ramya, V., Suma, L. S., Reddy, A. N., & Krishna, S. S. (2021). Drought adaptation: Approaches for crop improvement. *In Millets and pseudo cereals*, 1, 143-158.
10. Kızılgeçi, F., Tazebay, N., Namlı, M., Albayrak, Ö., & Yıldırım, M. (2017). The drought effect on seed germination and seedling growth in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 1(1), 33-37.
11. Mahpara, S., Zainab, A., Ullah, R., Kausar, S., Bilal, M., Latif, M. I., ... &

Zuan, A. T. K. (2022). The impact of PEG-induced drought stress on seed germination and seedling growth of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *PloS One*, 17(2), e0262937.

12. Si, Z., Zain, M., Li, S., Liu, J., Liang, Y., Gao, Y., & Duan, A. (2021). Optimizing nitrogen application for drip-irrigated winter wheat using the DSSAT-CERES-Wheat model. *Agricultural Water Management*, 244, 106592.
13. Rahimi, S., Moradi, P., & Rezaei, M. (2023). Drip irrigation adoption in arid regions: Enhancing water use efficiency in cereal production. *Irrigation Science*, 41(4), 387-399.
14. Li, X., Zhang, Y., & Wang, Q. (2022). Drip irrigation reduces greenhouse gas emissions while sustaining crop yields: Evidence from wheat fields in North China. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133-145.
15. Rank, P. H., & Vishnu, B. (2021). Pulse drip irrigation: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 125-130.
16. Almeida, W. F. D., Lima, L. A., & Pereira, G. M. (2015). Drip pulses and soil mulching effect on American crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, 35, 1009-1018.
17. Li, J., Xu, X., Lin, G., Wang, Y., Liu, Y., Zhang, M., ... & Zhang, Y. (2018). Micro-irrigation improves grain yield and resource use efficiency by co-locating the roots and N-fertilizer distribution of winter wheat in the North China Plain. *Science of the Total Environment*, 643, 367-377.
18. Rahimi, S., & Moradi, P. (2023). Flexible irrigation scheduling in drip systems: Impacts on wheat productivity. *Irrigation Science*, 41(3), 305-317.
19. Silva, J., Costa, R., & Pereira, L. (2024). Pulse irrigation systems: Water savings and soil health benefits in dryland agriculture. *Agricultural Water Management*, 285, 106-115.
20. Khan, A., Ahmad, N., & Siddiqui, M. (2023). Pulse versus continuous irrigation: Comparative effects on wheat grain yield and water productivity. *Field Crops Research*, 292, 108-120.
21. Huang, L., Yang, P., Ren, S., & Cui, H. (2018). Effects of continuous and pulse irrigation with different nitrogen applications on soil moisture, nitrogen transport and accumulation in root systems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(5), 139-149.
22. de Menezes, S. M., da Silva, G. F., da Silva, M. M., de Oliveira Filho, R. A., Jardim, A. M. D. R. F., Silva, J. R. I., ... & dos Santos, M. A. L. (2024). Pulse Drip Irrigation Improves Yield, Physiological Responses, and Water-Use Efficiency of Sugarcane. *Water Conservation Science and Engineering*, 9(1), 25.
23. Dar, E. A., Brar, A. S., Mishra, S. K., & Singh, K. B. (2017). Simulating response of wheat to timing and depth of irrigation water in drip irrigation system using CERES-Wheat model. *Field Crops Research*, 214, 149-163.
24. Zamora, V. R. O., da Silva, M. M., da Silva, G. F., Santos, J. A., Menezes, D., & Menezes, S. M. D. (2019). Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. *Horticultura Brasileira*, 37, 22-28.
25. Bakeer, G. A. A., El-Ebabi, F. G., El-Saidi, M. T., & Abdelghany, A. R. E. (2009). Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 26(2), 736-765.
26. Gendron, L., Létourneau, G., Cormier, J., Depardieu, C., Boily, C., Levallois, R., & Caron, J. (2018). Using pulsed water applications and automation technology to improve irrigation practices in strawberry production. *HortTechnology*, 28(5), 642-650.

27. Sezen, S. M., Yazar, A., Akyildiz, A., Dasgan, H. Y., & Gencel, B. (2008). Yield and quality response of drip irrigated green beans under full and deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 117(2), 95-102.
28. Almeida, W. F. D., Lima, L. A., & Pereira, G. M. (2015). Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, 35, 1009-1018.
29. El-Abedin, T. Z. (2006). Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 23, 1032-1050.
30. Madane, D. A., Mane, M. S., Kadam, U. S., & Thokal, R. T. (2018). Study of white onion (*Alium Cepa* L.) on yield and economics under pulse irrigation (drip) for different irrigation levels. *Hind Agri-Horticultural Society*, 11, 128-134.
31. Abdelraouf, R. E., Azab, A., Tarabye, H. H. H., & Refaie, K. M. (2019). Effect of pulse drip irrigation and organic mulching by rice straw on yield, water productivity and quality of orange under sandy soils conditions. *Plant Archives*, 19, 2613-2621
32. Eid, A. R., Bakry, B. A., & Taha, M. H. (2013). Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences*, 4, 249-261.
33. Coolong, T., Surendran, S., & Warner, R. (2011). Evaluation of irrigation threshold and duration for tomato grown in a silt loam soil. *HortTechnology*, 21(4), 466-473.
34. Segal, E., Ben-Gal, A., & Shani, U. (2006). Root water uptake efficiency under ultra-high irrigation frequency. *Plant and Soil*, 282, 333-341.
35. Dukes, M. D., Simonne, E. H., Davis, W. E., Studstill, D. W., & Hochmuth, R. (2003). Effect of sensor-based high frequency irrigation on bell pepper yield and water use. In *Proceedings of 2nd International Conference on Irrigation and Drainage*, 2, 12-15.
36. Vázquez, N., Pardo, A., Suso, M. L., & Quemada, M. (2006). Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(4), 313-323.
37. Zotarelli, L., Scholberg, J. M., Dukes, M. D., Munoz-Carpena, R., & Icerman, J. (2009). Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural water management*, 96(1), 23-34.
38. Lozano, D., Ruiz, N., Baeza, R., Contreras, J. I., & Gavilán, P. (2020). Effect of pulse drip irrigation duration on water distribution uniformity. *Water*, 12(8), 2276.