

(OPEN ACCESS)

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

Ali Adineh Yami¹, Hossein Sharifan^{*2}, Hadi Afshar³,
Aboutaleb Hezarjaribi⁴

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. Faculty Member of 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 m² (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/m³, was recorded in the 12-hour irrigation treatment with three pulses, while the lowest value, 0.827 kg/m³, 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/m³). 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

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

علی آدینه یامی^۱ (id^۱)، حسین شریفان^{۲*} (id^۲)، هادی افشار^۳ (id^۳)، ابوطالب هزارجریبی^۴ (id^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. عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، 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	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	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
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۳ تاریخ ویرایش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۹	
واژه‌های کلیدی: آبیاری پالسی، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، گندم، مدیریت آب	

بررسی تأثیر تعداد و مدت زمان 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 ۶ روزه 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 در نظر گرفتن 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 ۱۸ ساعته با سه پالس به‌دست آمد، درحالی‌که کم‌ترین عملکرد دانه، معادل ۵۹۹۲/۷ کیلوگرم در هکتار، در تیمار آبیاری ۱۲ ساعته 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 ۱۲ ساعته با سه پالس ثبت شد، درحالی‌که کم‌ترین مقدار، برابر با ۰/۸۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب، در تیمار آبیاری ۱۸ ساعته 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، مورد استفاده 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



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات کلیدی برای امنیت غذایی جهان است که حدود ۳۶ درصد از غذای جمعیت جهان، یک چهارم کالری روزانه، پروتئین های رژیم غذایی و نزدیک به ۵۵ درصد از کربوهیدرات مورد نیاز انسان را تأمین می کند (۱). سالانه بیش از ۷۵۰ میلیون تن گندم در جهان تولید می شود، اما افزایش سریع جمعیت و تغییرات اقلیمی نیاز به بهبود تولید این محصول را بیش از پیش ضروری کرده است (۲). تنش های زیستی و غیرزیستی مانند بیماری، آفات، خشکی و شوری تولید گندم را به طور چشمگیری محدود می کنند (۳). خشکی به عنوان یکی از مهم ترین تنش های محیطی، به ویژه در مراحل حساس رشد مانند گرده افشانی و پر شدن دانه، می تواند عملکرد گندم را تا ۵۰ درصد کاهش دهد (۴). از طرفی بیش تر گندم های جهان در شرایط دیم تولید می شود، خصوصاً در مناطقی یا آب و هوای مدیترانه ای، جایی که محصول در طی پر شدن دانه با تنش خشکی روبرو می شود که منجر به کاهش عملکرد می شود (۵). در مناطق با اقلیم مدیترانه ای، مانند ایران که حدود ۶۶ درصد از گندم به صورت دیم کشت می شود، این تنش با افزایش روزهای خشک در سال های اخیر تشدید شده است (۶). اگرچه کشور ایران دارای تنوع فصلی زیاد است، اما در سال های گذشته افزایش فراوانی سالانه روزهای خشک در سراسر کشور مشاهده شده است (۷). مرحله جوانه زنی و رشد گیاهچه یکی از حساس ترین 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 جوانه زنی بذر تأثیر می گذارد و باعث تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در طول استقرار گیاه می شود و در نتیجه باعث کاهش رشد، نمو و بهره وری کلی می شود (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 سال های اخیر، استفاده از آبیاری قطره ای در مناطق خشک و نیمه خشک برای تولید غلات، به دلیل کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب و کود، رواج یافته است (۱۲). مطالعات نشان داده اند که آبیاری قطره ای نه تنها پایداری عملکرد را بهبود می بخشد، بلکه می تواند انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش دهد (۱۳). با این حال، آبیاری مداوم در این سیستم ممکن است تهویه خاک را مختل کند و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (۱۴). در این راستا، آبیاری پالسی با اعمال آب در چرخه های متناوب، شرایط بهتری برای تهویه خاک و رشد ریشه فراهم می کند و می تواند تا ۲۵ درصد در مصرف آب صرفه جویی کند (۱۵). روش آبیاری پالسی نسبت به روش کم آبیاری برتری دارد، زیرا تهویه خاک را بهبود می بخشد (۱۵). تلفات آب از تبخیر و نفوذ عمیق را کاهش می دهد (۱۶). جذب مواد مغذی را افزایش می دهد (۱۷). انعطاف پذیری بیشتری در مدیریت آب فراهم می کند (۱۸). پژوهش ها نشان داده اند که روش آبیاری پالسی عملکرد دانه را در مقایسه با آبیاری مداوم بهبود می بخشد و کارایی مصرف آب را افزایش می دهد (۱۹). در مطالعه ای 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 می تواند میزان رطوبت در اطراف قطره چکان 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 می کند (۲۰). در پژوهشی دیگر گیاهان تحت دو نوع آبیاری (پالسی و مداوم) در

پنج عمق آبیاری (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تبخیر و تعرق محصول) قرار گرفتند. نتایج نشان داد، آبیاری پالسی باعث افزایش فستوتز (۲۱٪)، راندمان مصرف آب (۱۷٪) و سطح برگ (۳۹٪) شد (۲۱). آبیاری پالسی به عنوان یک روش نوین در مدیریت منابع آبی، در سال‌های اخیر به دلیل توانایی در کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری در محصولات زراعی مورد توجه 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). با این حال، 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

به منظور 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 خرد شده بر پایه طرح بلوک

کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه مشهد (و در طول جغرافیایی $44^{\circ}16'59''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ}42'15''$ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۰۶) انجام شد. در این آزمایش سه تیمار آبیاری پالسی (یک، دو و سه پالس) به عنوان فاکتور اصلی و سه تیمار مدت آبیاری (۱۲، ۱۵ و ۱۸ ساعت) به عنوان 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، نمونه برداری از چندین نقطه و به صورت تصادفی و در دو عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متری انجام شد، خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. جهت محاسبه مقدار و عمق آبیاری ۲۴ ساعت قبل از آبیاری از دو کرت از سه عمق مختلف (۰-۲۵، ۲۵-۵۰ و ۵۰-۷۵ سانتی‌متری) با استفاده از اگر 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 نمونه برداری 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 کشت شده ۳۰ مترمربع (۳×۱۰)، 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.

$$Y_g = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، M_w وزن آب برحسب گرم، M_s وزن خاک خشک برحسب گرم، Y_g رطوبت وزنی برحسب درصد، Y_v رطوبت حجمی برحسب درصد و p_b وزن مخصوص ظاهری برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب.

$$Y_v = p_b \times Y_g \quad (2)$$



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.

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

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 طراحی شده 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 به‌دست‌آمد و باتوجه به این‌که راندمان سیستم آبیاری قطره‌ای ۹۰ درصد می‌باشد. از (رابطه ۳) عمق ناخالص آبیاری به‌دست‌آمد. 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 تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از رابطه $ET_0 = E_{pan} * K_{pan}$ به‌دست‌آمد. که در آن ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل، K_{pan} ضریب تشت تبخیر (۰/۸) و E_{pan} 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 تبخیر و تعرق واقعی ETC به‌دست‌آمد.

$$Dg = \frac{MAD}{0.9} \quad (3)$$

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 به‌منظور 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 کمابین طبق دستورالعمل اندازه‌گیری سیمیت برای گندم محاسبه شد. کارایی مصرف آب طبق رابطه ۴ نیز اندازه‌گیری شد.

$$WUE = \frac{Y}{I} \quad (4)$$

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).

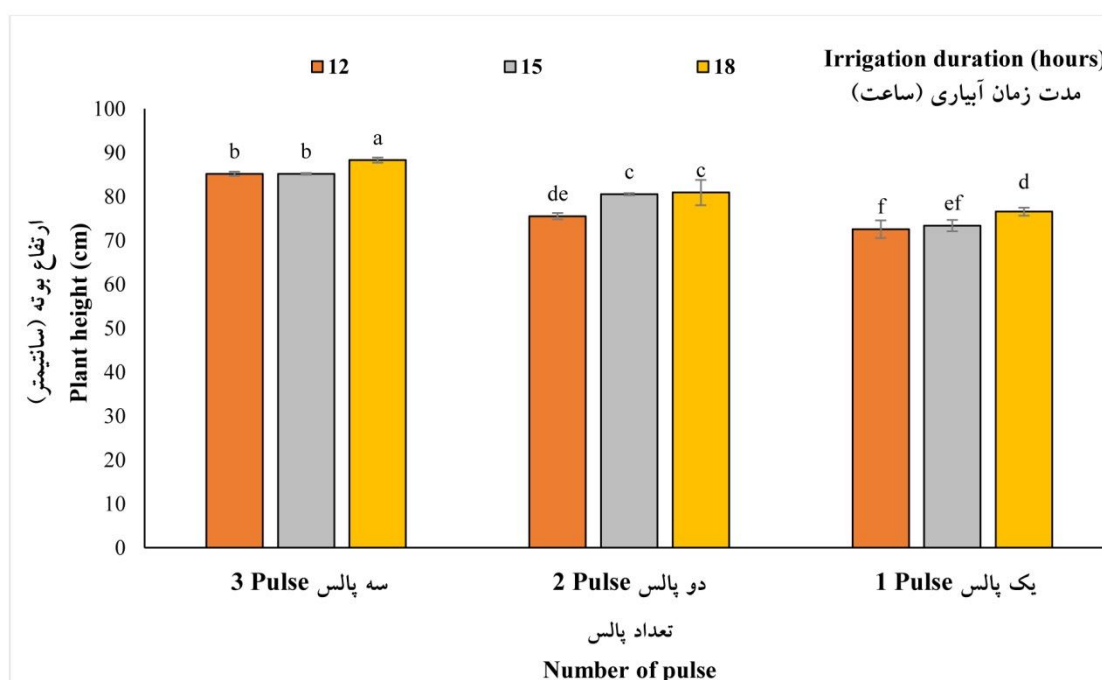
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر روش آبیاری تناوبی (پالسی) در مدت زمان آبیاری مختلف بر صفات مختلف گندم.

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) × مدت زمان آبیاری بر ارتفاع بوته در گندم.

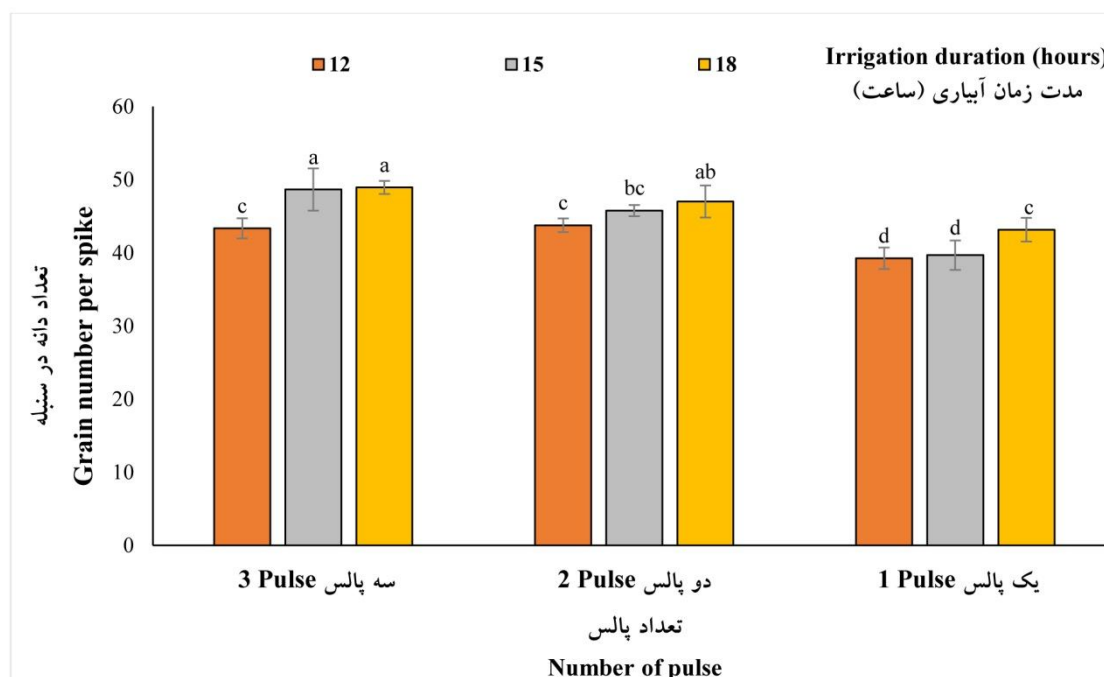
Figure 2. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method × irrigation duration on plant height in wheat.

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 تحت تأثیر 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 (۳۹/۶۷ و ۳۹/۲۴) در تیمار مدت زمان 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 مدت زمان آبیاری ۱۵ ساعت مشاهده شد (شکل ۳).

تعداد دانه در سنبله: تعداد دانه در سنبله گندم تحت تأثیر 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 (۳۹/۶۷ و ۳۹/۲۴) در تیمار مدت زمان آبیاری ۱۲ و ۱۵ ساعت با یک پالس به‌دست آمد. در کل نتایج نشان داد که آبیاری تناوبی



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

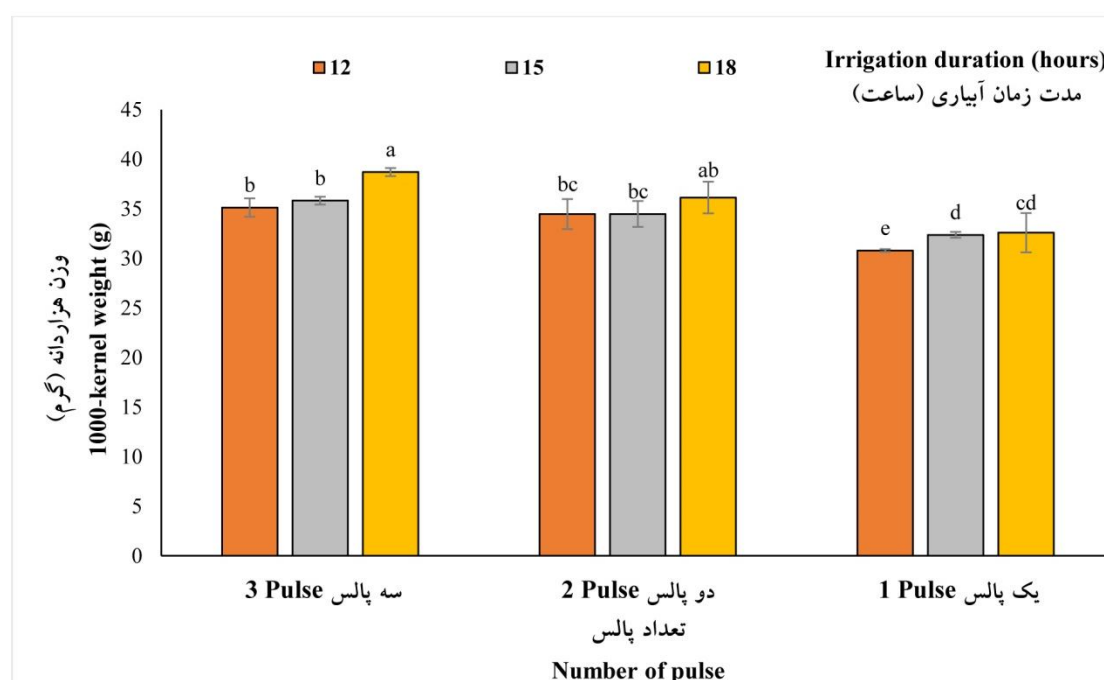
Figure 3. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method × irrigation duration on grain number per spike in wheat.

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.

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).

وزن هزاردانه: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر متقابل اثر مدت زمان 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



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

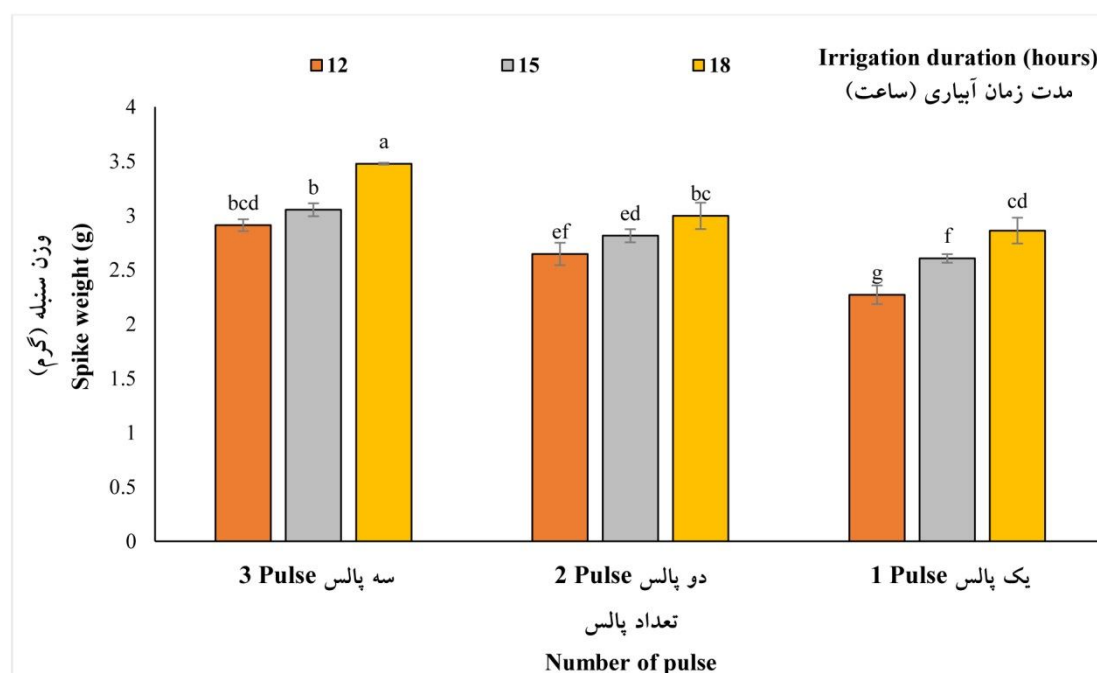
Figure 4. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method × irrigation duration on 1000-kernel weight in wheat.

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.

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 فتوسیمپلات‌های 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 در نتیجه 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 مورد نیاز، حجم خاک مرطوب در آبیاری پالسی در ۴۸ درصد بیش‌تر از کاربرد مداوم است. که در نهایت موجب بهتر صفات عملکردی باشد (۲۴).

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 به دست 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 مدت زمان آبیاری ۱۲ ساعت مشاهده شد (شکل ۵). کم‌ترین میزان ارتفاع و اجزای عملکرد در تیمارهای



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

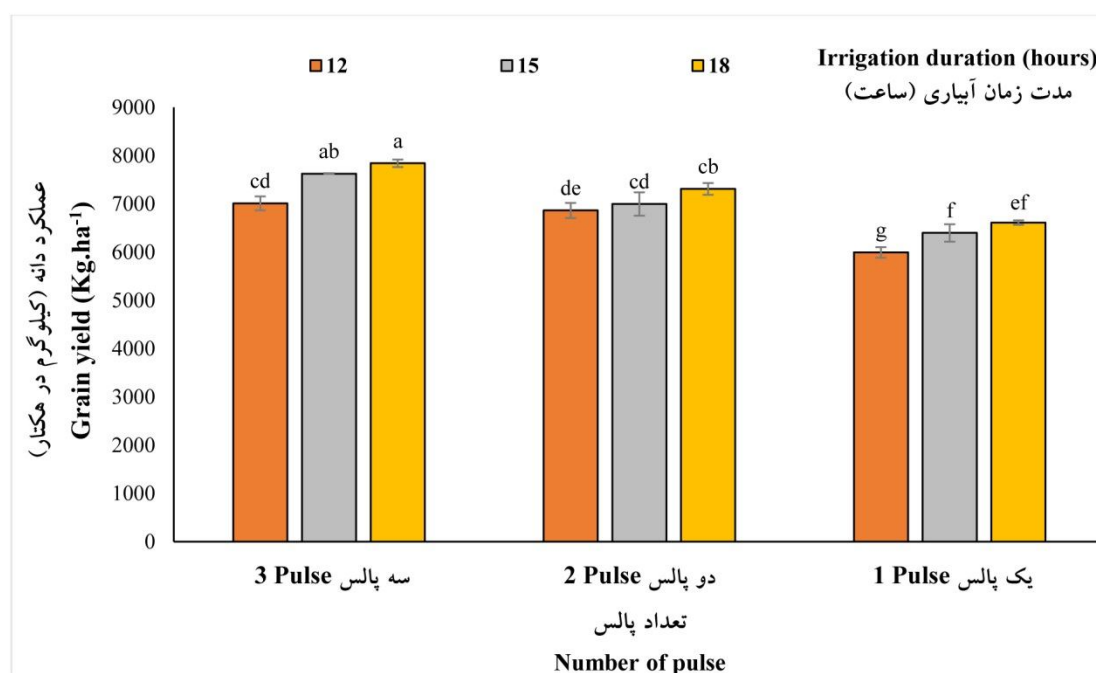
Figure 5. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method × irrigation duration on spike weight in wheat.

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.

درصد افزایش داد. بیش‌ترین درصد افزایش عملکرد دانه گندم با ۱۹/۲۳ درصد در تیمار سه پالس نسبت به یک پالس در مدت زمان 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).

عملکرد دانه: عملکرد دانه گندم تحت تأثیر 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 مدت زمان 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



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

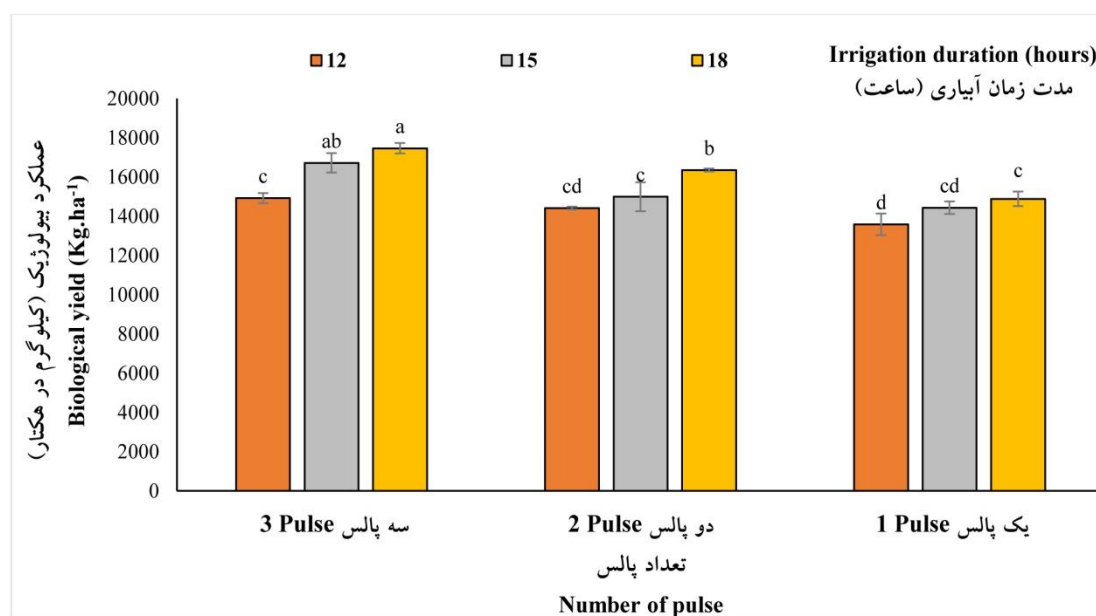
Figure 6. Comparison of the average interaction effect of periodic (pulse) irrigation method × irrigation duration on grain yield in wheat.

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.

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).

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 مدت زمان آبیاری ۱۸ ساعت با سه پالس و کم‌ترین میزان آن (۱۳۵۸۸ کیلوگرم در هکتار) در



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری تناوبی (پالسی) × مدت زمان 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.

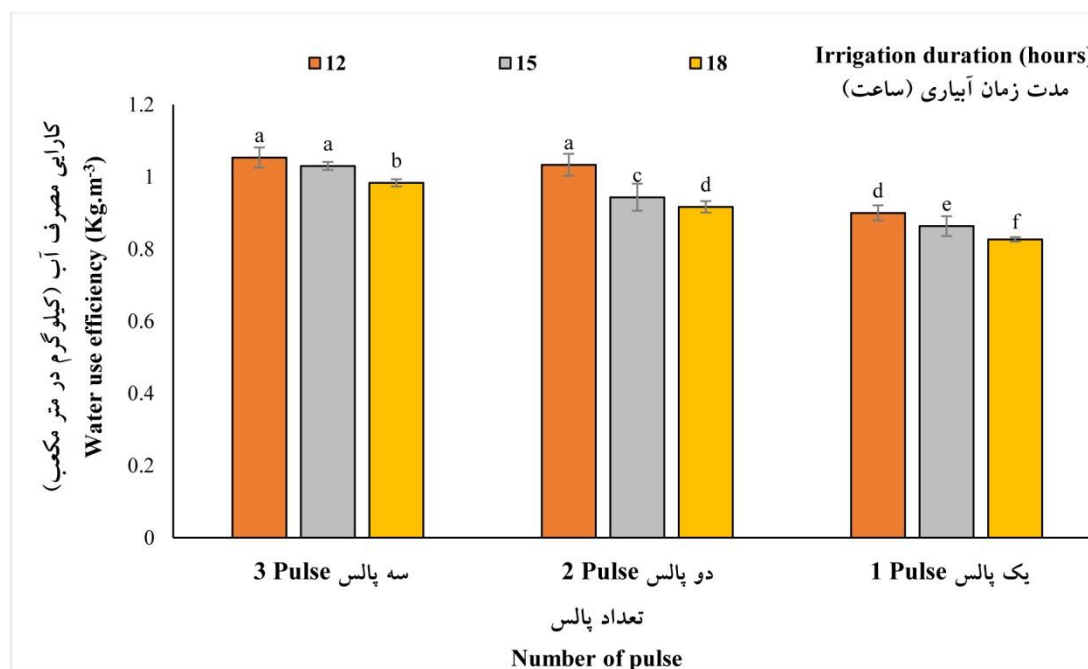
ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.
Columns that have at least one letter in common do not have a significant difference based on Duncan's test at the 5% probability level.

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

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

عملکرد معادل یا بهبود یافته 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).

پالس در مدت‌زمان آبیاری ۱۵ ساعت مشاهده شد (شکل ۷). مدت‌زمان پالس آبیاری در انواع خاک‌ها اهمیت زیادی دارد. به‌طور کلی، پالس‌های آبیاری کوتاه‌مدت با تلفات آب کم‌تر همراه است (۳۱ و ۳۲). در یک آزمایش مزرعه‌ای، فرکانس آبیاری بالا منجر به



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.

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

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در یک مدت‌زمان 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

برای افزایش عملکرد و صرفه جویی آب دارد، اما موفقیت آن به زیرساخت های قوی (خودکارسازی، پمپاژ، فیلتراسیون)، آموزش نیروی کار و مدیریت شوری وابسته است. در مزارع کوچک تا متوسط، اجرا آسان تر است، اما در مقیاس بزرگ، هزینه های اولیه بالا و نیاز به تقسیم بندی و پایش مداوم، چالش هایی هستند که با پشتیبانی فنی و اقتصادی قابل رفع اند. به طور کلی، این یافته ها تأیید می کنند که آبیاری پالسی با سه پالس، به عنوان یک روش مؤثر و کارآمد، می تواند تولید پایدار گندم را در مناطق خشک و نیمه خشک مانند مشهد بهبود بخشد، مشروط بر این که مدیریت کیفیت آب و خاک با دقت انجام شود. این روش نه تنها عملکرد و کارایی مصرف آب را افزایش می دهد، بلکه با کاهش تنش های محیطی و بهینه سازی شرایط رشد، راهکاری عملی برای مقابله با محدودیت های آبی در کشاورزی ارائه می دهد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم دانسته از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی 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 می کنند.

داده ها، اطلاعات و دسترسی

داده های این پژوهش مرتبط با پایان نامه دوره دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است. دسترسی به داده ها و اطلاعات با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی است.

تعارض منافع

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

تقویت رشد و توسعه ریشه بستگی دارد. آبیاری پالسی با اعمال آب در چرخه های متناوب (سه پالس)، از اشباع مداوم خاک جلوگیری می کند و فازهای تخلیه کوتاه مدت را ایجاد می کند که اکسیژن رسانی به ریشه را افزایش می دهد. افزایش اکسیژن در ناحیه ریشه، تنفس سلولی را بهبود می بخشد و متابولیسم گیاه را تقویت می کند، که به نوبه خود، توسعه ریشه را تسهیل کرده و جذب آب و مواد مغذی (مانند نیتروژن و پتاسیم) را افزایش می دهد. در مقابل، تیمار یک پالس با تأمین مداوم آب در یک نوبت، مدت زمان اشباع خاک را طولانی تر کرده و تهویه را کاهش می دهد، که نتیجه آن محدود شدن رشد ریشه و کاهش عملکرد است. هم چنین تیمار سه پالسی در مقایسه با یک و دو پالس، به دلیل ایجاد تعادل بهینه بین رطوبت و اکسیژن در خاک، برتری قابل توجهی 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 مدت زمان ۶۳۶۸/۸ کیلوگرم در هکتار بود، که به ترتیب ۹/۶۵ و ۱۸/۲۶ درصد کم تر از سه پالس است. در مقابل، یک و دو پالس به دلیل تهویه ناکافی و توزیع نابرابر آب، نتوانستند شرایط مشابهی ایجاد کنند. با این حال، استفاده از آبیاری پالسی ممکن است به افزایش شوری موضعی در اطراف قطره چکان ها منجر شود، به ویژه در خاک های با زهکشی متوسط و آب آبیاری شور، که می تواند در طولانی مدت رشد ریشه و عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد. برای مدیریت این چالش، شستشوی دوره ای خاک با آب اضافی در پایان فصل، استفاده از آب با شوری کم تر 0.7 ds/m و تنظیم فاصله قطره چکان ها یا دبی نوارهای قطره ای پیشنهاد می شود تا تجمع املاح کاهش یابد و پایداری سیستم حفظ شود. استفاده از روش آبیاری پالسی با سه پالس در سطح وسیع، از نظر مدیریت اجرا، پتانسیل بالایی

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

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kızılgöç, F., Tazebay, N., Namli, 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.
- 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., & 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.