

Evaluation of the Impact of Different Irrigation Deficit Treatments on the Yield, Yield Components, and Water Use Productivity of Autumn Wheat (Case Study: Shahrekord)

Bahman Naderi-Samani¹, Mahdi Ghobadinia^{1*} , Bijan Haghighati², Seyed MohammadReza Hosseini-Vardanjani³ and Abdulreza Ahmadpour-Samani¹

(Received: October 20-2024; Revised: November 23-2024; Accepted: December 22-2024)

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekod University, Shahrekord, Iran.
 2. Agricultural and Natural Resources Research Center of Chaharmahal Va Bakhtiari Province, Shahrekord, Iran.
 3. Department of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
- *: Corresponding author Email: mahdi.ghobadi@sku.ac.ir

Abstract

Awareness of the impact of water deficit stress on the quantitative and qualitative performance of agricultural products, considering the recent recurrent droughts and reduced precipitation, is essential for water consumption management. This study aimed to evaluate the effects of different irrigation deficit treatments on the yield, yield components, and water use efficiency of autumn wheat in the Shahrekord region. An experiment with three replications was conducted in a completely randomized block design at the Agricultural and Natural Resources Research Center of Chaharmahal Va Bakhtiari Province during 2023-2024. The experimental treatments included four irrigation levels: full irrigation (T100), 80% of full irrigation (T80), 60% of full irrigation (T60), and 40% of full irrigation (T40). The application of the T60 deficit irrigation treatment resulted in a reduction of more than 14% in grain yield, while the T80 treatment caused a more than 31% decrease in grain yield. Additionally, the T60 treatment exhibited the highest water use efficiency at 1.22 kg per cubic meter, while the water use efficiency for the T100, T80, and T40 treatments was 1.06, 1.12, and 1.19 kg per cubic meter, respectively. The results showed that water deficit irrigation significantly affected the grain yield, biomass, and water use efficiency of autumn wheat under the climatic conditions of the Shahrekord region. The results of this study indicated that the T80 deficit irrigation treatment could have a more acceptable performance in terms of water efficiency.

Keywords: Water efficiency, arid cold climate, Water management on the farm

How to cite this article: Naderi-Samani, B., Ghobadinia, M., Haghighati, B., Hosseini-Vardanjani, S., Ahmadpour-Samani, A. 2025. Evaluation of the Impact of Different Irrigation Deficit Treatments on the Yield, Yield Components, and Water Use Productivity of Autumn Wheat (Case Study: Shahrekord). *J. Water and Soil Sci.* 29(1):65-80. DOI: [10.47176/jwss.29.1.39511](https://doi.org/10.47176/jwss.29.1.39511)

Copyright © 2025 Naderi-Samani et al. Published by Isfahan University of Technology.



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

ارزیابی تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی گندم پاییزه (مطالعه موردی: شهرکرد)

بهمن نادری سامانی^۱، مهدی قبادی‌نیا^{۱*} , بیژن حقیقتی^۲، سید محمدرضا حسینی وردجانی^۳
و عبدالرضا احمدپور^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۲۹؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۹/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲)

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
 ۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران.
 ۳. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
- *: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mahdi.ghobadi@sku.ac.ir

چکیده

آگاهی از میزان تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی با توجه به خشکسالی‌های متناوب اخیر و کاهش بارندگی برای مدیریت مصرف آب ضروری است. هدف این پژوهش ارزیابی تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه گندم پاییزه در منطقه شهرکرد است. برای این منظور آزمایشی با سه تکرار در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار تیمار آبیاری کامل (T100)، ۸۰ درصد آبیاری کامل (T80)، ۶۰ درصد آبیاری کامل (T60) و ۴۰ درصد آبیاری کامل (T40) بودند. با اعمال تیمار کم‌آبیاری T60، عملکرد دانه گندم بیش از ۱۴ درصد و اعمال تیمار کم‌آبیاری T80، عملکرد دانه بیش از ۳۱ درصد کاهش یافت. همچنین دیده شد تیمار T60 دارای بیشترین بهره‌وری آب به میزان ۱/۲۲ کیلوگرم بر هر مترمکعب و تیمارهای T80، T100 و T40 به ترتیب دارای بهره‌وری آب ۱/۰۶، ۱/۱۲ و ۱/۱۹ کیلوگرم بر هر مترمکعب آب مصرفی بودند. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری بر عملکرد دانه، زیست‌توده و بهره‌وری آب مصرفی گندم پاییزه در شرایط آب‌وهوایی منطقه شهرکرد تأثیرگذار است. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار کم‌آبیاری T80 می‌تواند عملکرد قابل قبول‌تری از نظر بهره‌وری آب داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، اقلیم سرد خشک، مدیریت آب در مزرعه

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

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



مقدمه

بر اساس پیش‌بینی‌ها جمعیت جهان از تعداد ۷/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۹، با سناریو متوسط، می‌تواند به حدود ۸/۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰، ۹/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ و ۱۰/۹ میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ برسد (۱۴)؛ امروزه کشاورزی با چالش تولید مواد غذایی مواجه هست تا نیاز جمعیت فزاینده دنیا را فراهم کند (۱۰). آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۱۵). برای افزایش بهره‌وری مصرف آب، سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب باید تأثیر سناریوهای مختلف اعمال مقدار آبیاری، زمان و سایر عوامل مؤثر بر بهره‌وری مصرف آب را در شرایط و مقیاس‌های مختلف بررسی کنند. بهینه‌سازی راهبردهای آبیاری با هدف افزایش بهره‌وری مصرف آب و دستیابی به عملکرد زیاد، یک روش مهم زراعی برای افزایش امنیت غذایی است (۲۰). آبیاری کمتر از نیاز آبی کامل (کم آبیاری)، یکی از راهکارهای افزایش راندمان مصرف آب و بهره‌وری آب کشاورزی است. شرایط لازم برای موفقیت راهبرد کم آبیاری شامل تعیین میزان دقیق آب مورد نیاز گیاه در شرایط بدون تنش آبی، تعیین میزان بهینه آب در شرایط تنش کم آبی، تعیین وضعیت فیزیولوژیکی، فنولوژیکی و واکنش گیاه به تنش کم آبی و اطلاعات شرایط اقلیمی در دوره‌های تنش است (۱۱). گندم (*Triticum spp*) غذای اصلی در میان محصولات است که دانه آن‌ها به‌طور مستقیم به‌عنوان غذا توسط انسان مصرف می‌شود. تقریباً ۱۶ درصد از زمین‌های زراعی دنیا زیر کشت گندم است. تولید گندم در کشور از محصولات دیگر از جمله برنج، ذرت و سیب‌زمینی بیشتر است (۶). گندم بیشترین کالای کشاورزی تجاری معامله‌شده در سطح جهانی با حجم تجارت ۱۴۴ میلیون تن است که ارزش کل آن بالغ بر ۳۶ میلیارد دلار است. بسیاری از کشورهای در حال توسعه، در تولید گندم خودکفا نیستند و در نتیجه گندم مهم‌ترین کالای وارداتی این‌گونه کشورها به شمار می‌آید. بر اساس آخرین آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۰-۱۳۹۹) سطح زیر کشت گندم آبی با میزان ۴۱/۴۳ درصد، رتبه نخست را در میان محصولات زراعی آبی در کشور داشته است (۱۷).

همچنین این محصول با تولید ۸/۱۸ میلیون تن (۱۴/۰۱ درصد)، رتبه دوم را بین محصولات زراعی مهم کشور از نظر تولید داشته است. پژوهش‌های مختلفی در سطح کشور و جهان در خصوص کم آبیاری انجام شده است. مطالعه‌ای با هدف مقایسه اثرهای آبیاری مرسوم و کم آبیاری بر عملکرد، مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب، تناوب کشت گندم زمستانه - ذرت بهاره در شمال چین انجام شد. آزمایش‌های مزرعه‌ای از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ انجام شد. کم آبیاری منجر به جلو افتادن تاریخ گلدهی ذرت، افزایش طول دوره پر شدن دانه ذرت، افزایش عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی ذرت شد (۱۹). جعفری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر روش‌های مختلف کم آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم رقم پارسی پرداختند. آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج اجرا شد. کم آبیاری در سه سطح شامل ۱۱۰۰: آبیاری بر اساس ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه، ۱۷۵: آبیاری بر اساس ۷۵٪ نیاز آبی گیاه و ۱۵۰: آبیاری بر اساس ۵۰٪ نیاز آبی گیاه در کرت‌های اصلی و روش آبیاری در سه سطح شامل M1 آبیاری جویچه‌ای معمول، M2 آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و M3 آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با مصرف ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و متغیر نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای معمول به‌ترتیب ۲۱/۸ و ۲۳/۷ درصد کاهش عملکرد دانه را به همراه داشتند (۷). زند-پارسا و همکاران (۱۳۹۹) به برآورد بهره‌وری و بازده مصرف آب گندم (رقم شیراز) در مقادیر مختلف کم آبیاری و کمبود نیتروژن پرداختند. تیمارهای آبیاری از صفر تا ۱۲۰ درصد عمق آبیاری کامل و تیمارهای کودی از صفر تا ۱۳۸ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که از بین معادله‌های ارائه‌شده در این پژوهش، معادله‌های واسنجی‌شده از طریق نسبت‌های بدون بعد مجموع آب آبیاری و بارندگی، تبخیر-تعرق و مجموع نیتروژن به‌کاررفته و باقی‌مانده در خاک نسبت به مقادیر آن‌ها در

از طرفی آب به عنوان یک عامل بسیار مهم، نقش قابل توجهی در رشد و نمو و عملکرد محصولات مختلف دارد؛ بنابراین هدف این پژوهش، انجام یک مطالعه مزرعه‌ای با کشت محصول گندم آبی پاییزه و ارزیابی تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و بررسی تأثیر آن‌ها بر مصرف آب در منطقه شهرکرد است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و ویژگی‌های اقلیمی

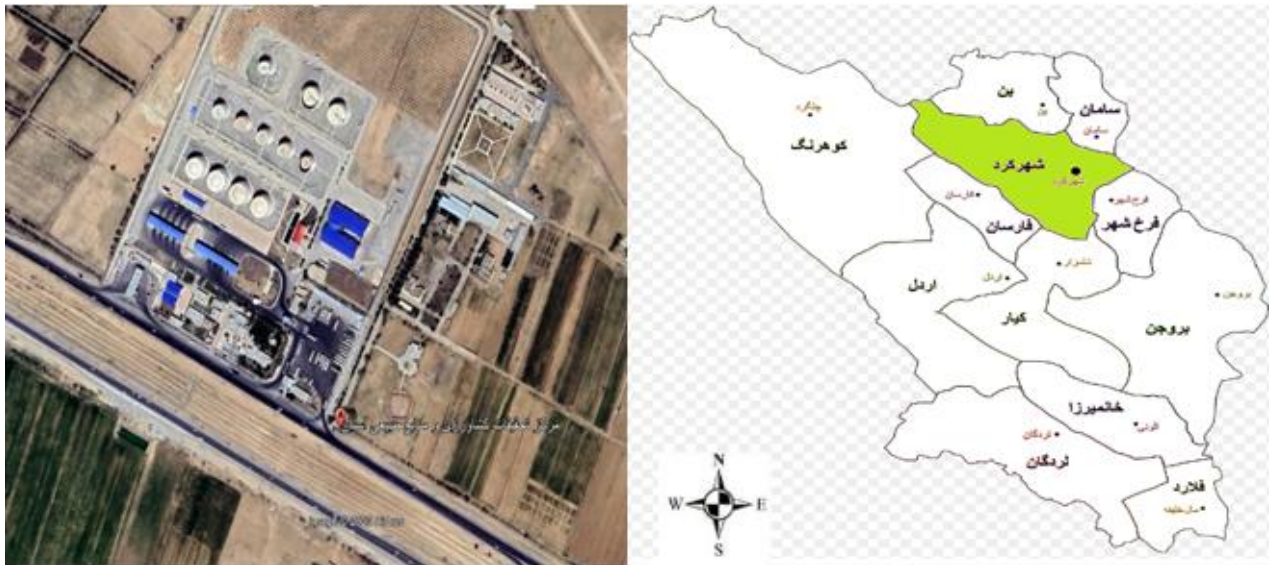
این مطالعه در مزرعه پژوهشی مرکز پژوهش‌های و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری واقع در محور شهرکرد - فرخ شهر انجام شد. این منطقه در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه و ۴۸ ثانیه، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه شمالی و ارتفاع متوسط ۲۰۷۲ متر از سطح دریا در ضلع شرقی شهرکرد قرار دارد. میانگین بارندگی ۳۲۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۱/۵ درجه سلسیوس است (۱۲). طبق نمایه آمبرژه اقلیم این منطقه خشک سرد است (۵). منطقه مطالعاتی در شکل ۱ ارائه شده است.

مطالعات پایه

برخی از ویژگی‌های خاک در دو عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر محدوده مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است (۴).

آزمایشی با سه تکرار در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی در سال ۱۴۰۲ - ۱۴۰۱ برای گندم پاییزه انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل چهار تیمار آبیاری کامل (T100)، ۸۰ درصد آبیاری کامل (T80)، ۶۰ درصد آبیاری کامل (T60) و ۴۰ درصد آبیاری کامل (T40) بودند. شکل ۲ نمای کلی از طرح اجرا شده را نشان می‌دهد. روش آبیاری در این پژوهش آبیاری کرتی بوده که اندازه کرت‌ها ۵*۲ متر و فاصله کرت‌ها ۲ متر از یکدیگر و شامل ۱۵ قطعه است.

آبیاری کامل و کود نیتروژن بیشینه برای محاسبه بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارندگی و بازده مصرف آب به عنوان مناسب‌ترین روش پیشنهاد شد و ضریب تعیین (R^2) برای آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۰/۹۳ و جذر میانگین مربعات خطای نرمال (Root mean square normalized error) برابر ۰/۲ و ۰/۱۳ بود که دقت خوبی را نشان می‌دهد (۲۱). در مطالعه‌ای در شرق استان اصفهان به بررسی اثر آبیاری و تاریخ کشت بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه گندم پرداخته شد. برای این منظور آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو فصل متوالی پاییز و زمستان در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. نتایج نشان داد تاریخ کشت نه تنها بر عملکرد گندم در دو مدیریت آبیاری سنتی و آبیاری تکمیلی بلکه بر بهره‌وری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد داشت (۸). آقایی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی عملکرد و بهره‌وری آب گندم در سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای - نواری در شرق اصفهان پرداختند. تیمارهای آزمایشی شامل دو نوع سامانه آبیاری (قطره‌ای - نواری و سطحی) و سه سطح آبیاری مختلف شامل آبیاری کامل (W1)، کم‌آبیاری با دو برابر دور و عمق مساوی با آبیاری کامل (W2) و دریافت نصف مقدار آب در تیمار آبیاری کامل و آبیاری همزمان با آبیاری کامل (W3) بودند. نتایج نشان داد که عملکرد در سامانه آبیاری قطره‌ای - نواری ۵۳۳۸.۴ کیلوگرم در هکتار و در سطحی ۵۷۷۲.۸ کیلوگرم در هکتار بود. تفاوت در الگوی خیس‌شدگی باعث شد تا در آبیاری قطره‌ای - نواری بیشترین کاهش محصول مربوط به W2 و در سطحی مربوط به W3 باشد. بهترین شاخص بهره‌وری آب $1/44 \text{ kg/m}^3$ برای W3 در قطره‌ای و $1/46 \text{ kg/m}^3$ برای W2 در سطحی به دست آمد. در آبیاری قطره‌ای - نواری، مدیریت کم‌آبیاری با دور ثابت و عمق متغیر مناسب‌تر است، درحالی‌که در آبیاری سطحی، کم‌آبیاری با دور متغیر و عمق ثابت توصیه می‌شود (۲). با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، یکی از اهداف مهم بخش در کشاورزی با توجه به خشکسالی‌های اخیر، کاهش بارندگی‌ها و افت شدید منابع آب زیرزمینی، افزایش تولید به‌ازای واحد مصرف آب است.



شکل ۱. نقشه محل انجام طرح

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی پروفیل خاک محل انجام آزمایش (۴)

عمق خاک (cm)	بافت خاک	Pb (گرم بر سانتی متر مکعب)	درصد رطوبت وزنی F.C	درصد رطوبت وزنی P.W.P
۰ - ۳۰	لوم	۱/۳۴	۲۶/۸	۹/۱
۳۰ - ۶۰	لوم سیلتی	۱/۳۹	۲۳/۵۰	۸/۲

T40	T80	T0	T100	T60
T60	T100	T40	T0	T80
T100	T60	T80	T40	T0

شکل ۲. نمای کلی از نقشه طرح آزمایشی

فارو توسط تراکتور انجام شد. دور آبیاری با توجه به رطوبت خاک، میزان آب سهل الوصول تعیین و با اندازه‌گیری رطوبت خاک، حجم و زمان آبیاری مشخص و اجرا شد. البته گفتنی است که در مراحل اول رشد برای اطمینان از جوانه‌زنی بذرها آبیاری کمتری در نظر گرفته شد تا تنش آبی به گیاهان وارد نشود. آب در اولین آبیاری (خاکاب) به میزان ۱۳ میلی‌متر و یک گام پس از آن در ابتدای بهار تا استقرار کامل بوته‌ها به

برای آماده‌سازی مزرعه، در تاریخ ۱۴۰۱/۰۸/۱۰ شخم با تراکتور در زمین انجام شد. پس از شخم زدن، عملیات دیسک‌زنی برای نرم‌شدن و شکستن کلوخه‌ها صورت گرفت. سپس کود سوپر فسفات تریپل (ترکیبات به شرکت سازنده) در یک مرحله و به میزان ۱۸ کیلوگرم (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) به زمین داده شد. در تاریخ ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ بذر گندم رقم حیدری استریل شده آماده تحویل و پخش به صورت دستی در مزرعه مد نظر و کشیدن

به مزرعه داده شد که عبارتند از: ۱. کود پایه (۱۴۰۲/۰۸/۲۰)، مرحله ۲. شش برگی (۱۴۰۲/۰۱/۲۵) و مرحله ۳. شروع گلدهی (۱۴۰۲/۰۲/۳۰). اندازه‌گیری‌ها برای سه ویژگی گندم شامل اندازه‌گیری زیست‌توده از زمان ۱۱۰ روز بعد از کشت و دانه از زمان ۱۹۰ روز بعد از کشت و میزان آب مصرفی از ابتدای کشت انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD (Least Significant Difference) که یکی از پرکاربردترین آزمون‌ها برای مقایسه دو به دو میانگین گروه‌ها به شمار می‌رود و به معنی تفاوت حداقل معنی‌دار، یک روش یا آزمون آماری برای مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف است که پس از تحلیل واریانس (ANOVA) به کار می‌رود. همچنین آنالیزهای آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹.۴ و در دو سطح پنج و یک درصد تجزیه و تحلیل شدند.

بهره‌وری مصرف آب

بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های کلیدی و مهم مصرف بهینه آب آبیاری است که برای سنجش مصرف بهینه آب و تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود. مطابق با تعریف کلی بهره‌وری آب نسبتی است که در مخرج کسر آن آب کاربردی (آب آبیاری و بارش) و در صورت آن موارد متناهی از مفاهیم کلی از قبیل عملکرد محصول یا میزان درآمد قرار می‌گیرد (۱).

نتایج و بحث

عملکرد دانه

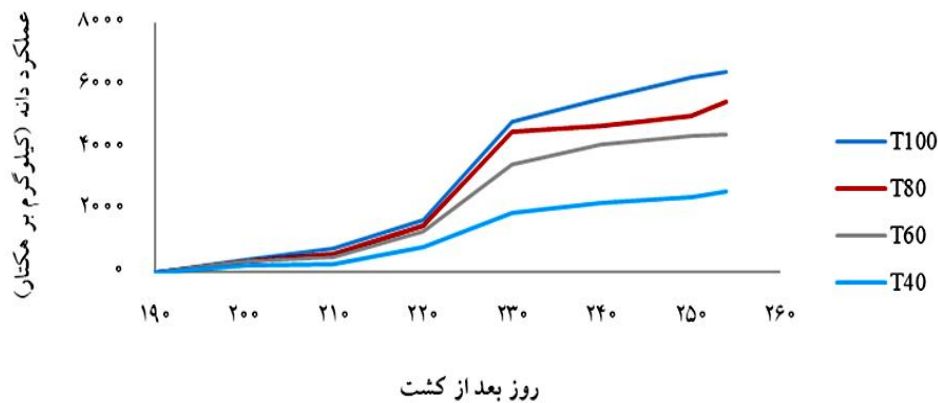
نمودار وزن خشک دانه گندم پاییزه در زمان‌های مختلف برای سطوح مختلف آبیاری در شکل ۳ ارائه شده است. باتوجه‌به شکل ۳، اوایل دوره ایجاد محصول، تفاوت چشمگیری بین تیمارها دیده نشد. با نزدیک شدن به پایان دوره رشد، اثر کم‌آبیاری بیشتر و تفاوت مابین تیمارهای مختلف برای

میزان ۲۲ میلی‌متر و عمق توسعه ریشه ۶۰ سانتی‌متر (عمق خالص، باتوجه‌به محاسبات و ظرفیت‌های ذخیره رطوبت در مورد ظرفیت محصول و زمان آبیاری) به آن به‌طور مساوی به کرت‌ها داده شد. در این چهار مرحله از کنتور حجمی برای اندازه‌گیری و کنترل میزان آبی که باید به کرت‌ها داده شود، استفاده شد. برای محاسبه حجم آب مورد نیاز برای ورود به هر کرت از معادلات (۱) و (۲) استفاده شد.

$$I = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (\theta_{fc} - \theta_{Bi}) \right) * \rho_b * Z_r}{E_a} \quad (1)$$

$$V = I * A \quad (2)$$

که در این معادلات θ_{fc} و θ_{Bi} به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک در رطوبت ظرفیت زراعی خاک و قبل از آبیاری، D_i عمق توسعه ریشه، ρ_b وزن مخصوص ظاهری $\left(\frac{g}{cm^3} \right)$ ، E_a راندمان آبیاری، I ارتفاع ناخالص آب آبیاری بر حسب میلی‌متر، A مساحت کرت (مترمربع) و V حجم هر کرت مترمکعب است (۴ و ۹). پس از محاسبه نیاز آبیاری تیمار شاهد، حجم آب مورد نیاز برای آبیاری سایر تیمارها به‌عنوان ضریب حجم آب مورد نیاز برای آبیاری تیمار شاهد در نظر گرفته شد. مبنای محاسبه نیاز آبی تیمار شاهد برای کلیه مراحل آبیاری شامل نمونه‌برداری رطوبت خاک در سه نوبت و از دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری (باتوجه‌به گسترش و عمق ریشه در مراحل گفته‌شده) قبل از آبیاری، محاسبه درصد حجمی. رطوبت در آن زمان و رساندن رطوبت خاک به ظرفیت زراعی مزرعه است. گفتنی است که برای اعمال دقیق، از ابتدای اجرای تیمارها (آبیاری دوم)، آبیاری با استفاده از شلنگ و کنتور با دقت ۰/۱ لیتر انجام شده است. کودهای استفاده‌شده در مزرعه شامل دو نوع سوپر فسفات تریپل و اوره بود که مقدار آن بر اساس مطالعات خاکشناسی قبلی انجام شده و توصیه کارشناسان تولیدات گیاهی آن مرکز مصرف شد. کود اوره در سه مرحله با الگوی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) به مقدار ۳/۶ کیلوگرم به‌صورت سرک در مراحل مختلف فنولوژیکی رشد گیاه گندم



شکل ۳. مقایسه روند تجمع وزن خشک دانه در اثر اعمال کم آبیاری در طول دوره رشد گندم رقم حیدری در کاشت پاییزه

نسبت به درجه دو دارد؛ اما در تابع تولید محصول نسبت به آب تابع درجه دو متداول تر است و برای بهینه سازی آب مصرفی بهتر نتیجه می دهد. تابع تولید باتوجه به داده ها این آزمایش به صورت معادله (۳) است.

$$y = -0.000002 * W^2 + 1.0052 * W + 522.77 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.9895$$

که در این تابع Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم بر هکتار، W آب مصرفی مترمکعب در هکتار و R^2 ضریب تعیین هستند. هر چند که برای تعیین تابع تولید نیازمند بود که نقاطی با آب مصرفی بیشتر نیز در اندازه گیری ها قرار داده شود. جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می دهد که تفاوت بین تیمارها برای عملکرد دانه برای تیمارهای مختلف آبیاری در سطح یک درصد معنی دار است و کم آبیاری باعث کاهش محسوس در عملکرد دانه شده است.

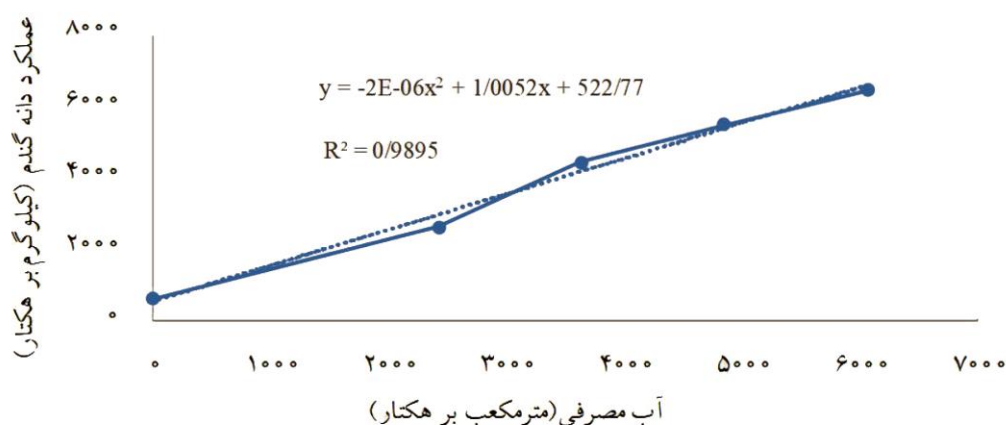
جدول ۴ نتیجه مقایسه میانگین عملکرد دانه به روش LSD برای تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می دهد. نتایج بیانگر این است که با افزایش میزان آب آبیاری، عملکرد دانه افزایش یافت؛ به طوری که هریک از تیمارهای کم آبیاری، در گروه آماری متفاوتی قرار گرفتند. با کاهش ۲۰ درصدی آب آبیاری، عملکرد دانه بیش از ۱۴ درصد کاهش یافت و ۶۰ درصد کاهش آب آبیاری موجب کاهش بیش از ۶۰ درصدی عملکرد دانه شد. بر اساس جدول ۴ و مقایسه میانگین های اثر آبیاری بر عملکرد دانه نشان داده می شود که اثر تیمارهای

صفت وزن خشک دانه گندم بیشتر می شود؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که پایان دوره رشد زمان بحرانی برای عملکرد دانه در گندم پاییزه است. مینا و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد دانه، آب مصرفی و کارایی مصرف آب گندم در کشور هندوستان پرداختند. برای سه سال متوالی تحت ۱۳ تیمار آبیاری مختلف که بیشترین میزان عملکرد محصول (۵۳۷۲/۴ کیلوگرم بر هکتار) تحت تیمار آبیاری کامل به دست آمد و عملکرد تحت تیمار ۲۵ درصد کم آبیاری اختلاف معنی داری با عملکرد در حالت آبیاری کامل از لحاظ آماری نداشت. در تیمار آبیاری کامل بهره وری مصرف آب ۱/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در تیمار ۲۵ درصد کم آبیاری ۲/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با توجه به نتایج به دست آمده، تیمار ۲۵ درصد کم آبیاری به عنوان روش برتر آبیاری در این منطقه توصیه شد (۱۳). عملکرد دانه و آب مصرفی و بهره وری فیزیکی در تیمارهای مختلف در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است.

تابع تولید بیانگر رابطه بین ورودی ها و خروجی ها در یک فرایند کشاورزی است. در مورد کشت گندم ورودی ها شامل میزان آب مصرفی، میزان مصرف کود و شرایط اقلیمی و خروجی این تابع مقدار عملکرد گندم و زیست توده گندم تولید شده به ازای آب مصرف شده است. در این قسمت باتوجه به داده های آب مصرفی و عملکرد دانه، تابع تولید تعیین شد. باتوجه به نتایج، تابع تولید درجه سه ضریب همبستگی بهتری

جدول ۲. عملکرد دانه و آب مصرفی و بهره وری فیزیکی در تیمارهای مختلف

تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار)	بهره وری فیزیکی آب (kg/m ³)
T100	۶۴۱۵	۶۰۵۵/۴	۱/۰۶
T80	۵۴۶۰	۴۸۴۴/۳	۱/۱۳
T60	۴۴۱۵	۳۶۳۲/۲	۱/۲۲
T40	۲۵۹۸	۲۴۲۲/۱	۱/۰۷



شکل ۴. نمودار تولید دانه گندم به ازای آب مصرفی در تیمارهای مختلف

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر عملکرد دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
تکرار	۲	۲۷۵۵۸۲*	۱۳۷۷۹۱	۹/۹	۰/۰۲۱۶
تیمار	۳	۲۱۱۷۰۷۵**	۷۰۵۸۳۵۸	۵۰۶/۸۸	۰/۰۰۰۱
خطا	۶	۸۳۵۵۰	۱۳۹۲۵		
کل	۱۱	۲۱۵۳۴۲۰۷			

ns غیرمعنی دار، ** معنی دار در سطح ۱ درصد و * معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار آبیاری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد نسبی	درصد کاهش	گروه تیمار
T100	۶۴۱۵	۱۰۰	۰	A
T80	۵۴۶۰	۸۵/۱۱	۱۴/۸۹	B
T60	۴۴۱۵	۶۸/۸۲	۳۱/۱۷	C
T40	۲۵۹۸	۴۰/۵۰	۵۹/۵	D

D,C,B,A بیانگر این است که تیمارها از لحاظ مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های متفاوت قرار گرفتند.

هکتار، W آب مصرفی مترمکعب بر هکتار و R^2 ضریب تعیین هستند. جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان می‌دهد که تفاوت بین تیمارها برای عملکرد زیست‌توده برای تیمارهای مختلف آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار است و کم آبیاری باعث کاهش محسوس در عملکرد زیست‌توده شده است.

جدول ۷ نتیجه مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده به روش LSD برای تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد.

نتایج ثبت‌شده در جدول ۷ نیز تأیید می‌کند که عملکرد زیست‌توده با کاهش مقدار آب آبیاری کاهش یافته است؛ به‌طوری که با کاهش ۲۰ درصدی میزان آب آبیاری حدود ۱۰ درصد از عملکرد زیست‌توده کم شده است و با ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری عملکرد زیست‌توده به میزان بیش از ۲۰ درصد کاهش یافت. با توجه به جدول ۱۱، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بین تیمارهای آبیاری وجود دارد. رجبی و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی اثر کم آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب گندم در دشت بردسیر پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین تولید در تیمار آبیاری کامل به‌دست می‌آید و در حالت محدودیت آب با کاهش ۱۵ درصدی آب مصرفی، بهره‌وری آب بیشینه می‌شود. همچنین مشخص شد در کم آبیاری تنش‌های خشکی متوسط و زیاد باعث کاهش معنی‌دار عملکرد کاه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب می‌شود (۱۶).

درصد پوشش سبز اندام هوایی

نتایج مربوط به درصد پوشش سبز قسمت‌های هوایی تیمارهای آبیاری در شکل ۷ ارائه شده است.

در اوایل دوره رشد، بین تیمارهای با آبیاری کمتر از میزان آب کامل از لحاظ میزان درصد پوشش سبز اندام هوایی گیاه گندم زمستانه تفاوت معنی‌داری دیده نشد. به تدریج با اثربخشی تیمارها، تفاوت بین آن‌ها از نظر میزان پوشش سبز اندام هوایی گیاه گندم زمستانه بیشتر شده است. در اواخر دوره رشد، این اختلاف کمتر شده است. علت نتیجه به‌دست‌آمده این است که سطوح بیشتر کم آبیاری باعث کاهش شدیدتر رشد برگ‌ها می‌شود؛

آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده و آبیاری کامل بیشترین عملکرد را به همراه دارد؛ اما در شرایط فعلی باتوجه‌به محدودیت منابع آب بیشترین عملکرد به‌ازای واحد آب مصرفی و کسب سود خالص بیشتر ملاک انتخاب تیمار برتر است. کیخایی و خرم‌دل (۱۳۹۵)، به بررسی تأثیر کم آبیاری با دو روش نواری و شیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم هامون پرداختند. نتایج نشان داد که تیمار ۷۵ درصد آبیاری کامل در روش آبیاری نواری با کارایی مصرف آب ۱/۱۵ و عملکرد ۴۰۴۰ کیلوگرم در هکتار بهترین گزینه برای اعمال کم آبیاری در منطقه سیستان است (۱۱).

عملکرد زیست‌توده

چگونگی تغییر عملکرد زیست‌توده گندم پاییزه در طول دوره رشد برای تیمارهای مختلف کم آبیاری در شکل ۵ نمایش داده شده است.

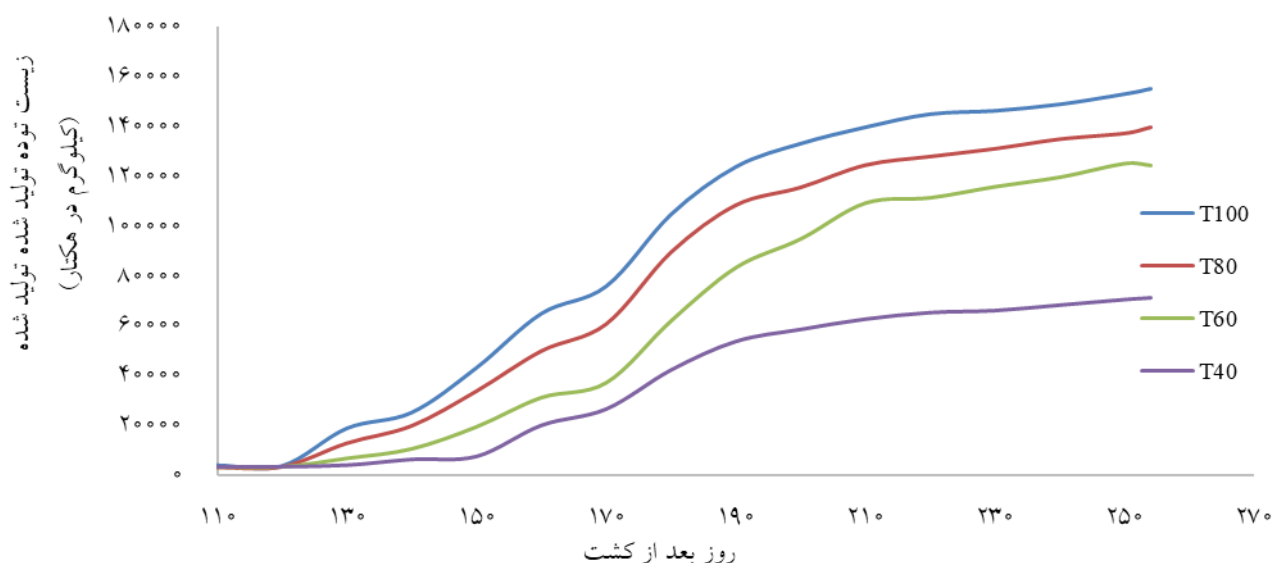
بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمار شاهد (آبیاری کامل) بود. تا حدود اواسط دوره رشد، تفاوت چشمگیری بین تیمارها از لحاظ عملکرد زیست‌توده گیاه گندم زمستانه دیده نشد. ولی از اواسط دوره رشد به بعد اختلاف بین تیمارها نمایان شد و تا برداشت محصول ادامه پیدا کرد. عملکرد زیست‌توده که به جمع وزن اندام‌های هوایی (قسمت‌های مختلف) گفته می‌شود، تا اواسط دوره رشد تنها شامل قسمت رشد رویشی محصولات می‌شود. اما از ابتدای گلدهی که محصولات مربوط به رشد تولید مثلی به عملکرد زیست‌توده اضافه شده است، تفاوت بین تیمارها افزایش یافته است. عملکرد زیست‌توده و آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی در تیمارهای مختلف در جدول ۵ و شکل ۶ ارائه شده است.

تابع تولید باتوجه‌به میزان تولید زیست‌توده گندم و آب مصرف‌شده و اعمال تیمارهای مختلف به‌صورت معادله (۴) بیان می‌شود.

$$y = -0.0002 * W^2 + 3.455 * W + 946.05 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.9895$$

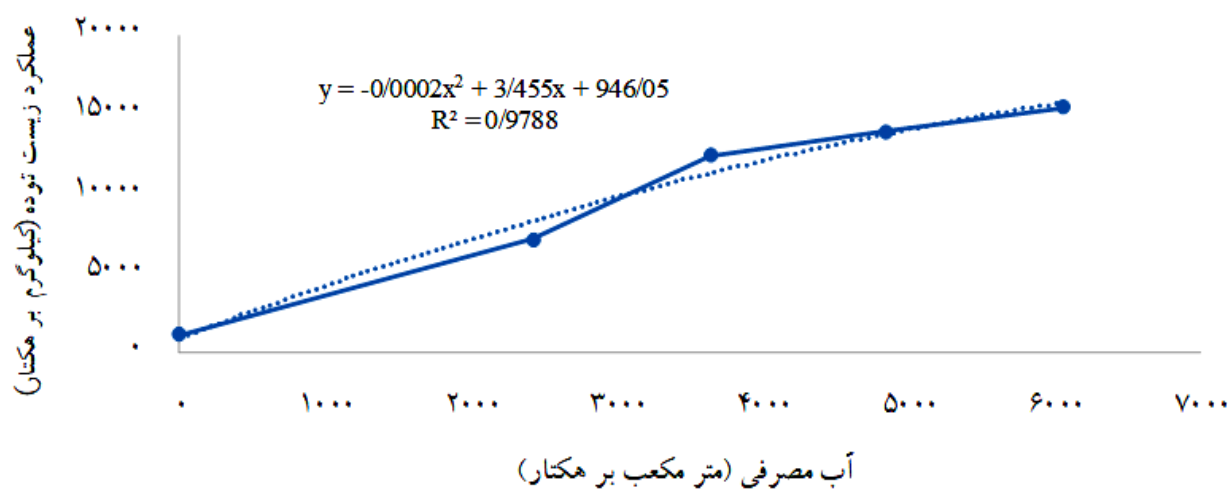
که در این معادله Y عملکرد زیست‌توده برحسب کیلوگرم بر



شکل ۵. مقایسه عملکرد زیست توده در اثر اعمال کم آبیاری در طول در طول دوره رشد گندم رقم حیدری کاشت پاییزه

جدول ۵. عملکرد زیست توده و آب مصرفی و بهره وری فیزیکی در تیمارهای مختلف

تیمار	عملکرد زیست توده (کیلوگرم بر هکتار)	آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار)	بهره وری فیزیکی آب (kg/m ³)
T100	۱۵۴۷۰	۶۰۵۵/۴	۲/۵۵
T80	۱۳۹۴۰	۴۸۴۴/۳	۲/۸۸
T60	۱۲۴۵۰	۳۶۳۲/۲	۳/۴۲
T40	۷۱۲۲	۲۴۲۲/۱	۲/۹۴



شکل ۶. نمودار تولید عملکرد زیست توده گندم به ازای آب مصرفی در تیمارهای مختلف

جدول ۶. تجزیه و تحلیل انحراف معیار اثر تیمارها بر عملکرد زیست توده

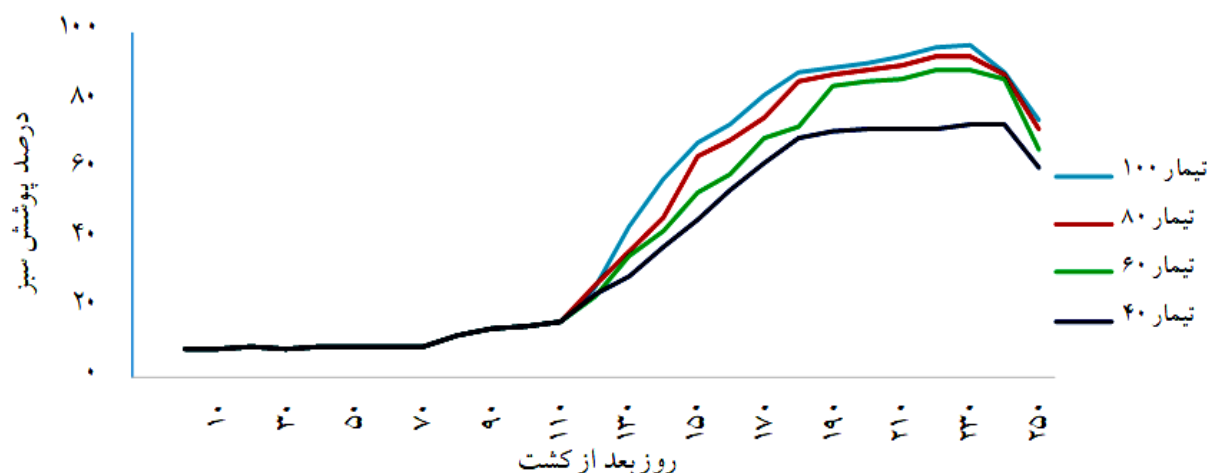
شرح تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
تکرار	۲	۱۱۶۵۴/۲ ^{ns}	۵۶۲۷	۰/۰۶	۰/۹۴۱۱
تیمار	۳	۱۱۸۶۵۷۸۵۶ ^{**}	۳۹۵۵۲۶۱۸	۱۴۹/۹۸	۰/۰۰۰۱
خطا	۶	۵۷۰۴۶۲	۹۵۰۷۷		
کل	۱۱	۱۱۹۲۳۹۹۷۳			

ns غیر معنی دار، ** معنی دار در سطح ۱ درصد و * معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۷. مقایسه عملکرد میانگین زیست توده برای تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار آبیاری	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد نسبی	درصد کاهش	گروه
T100	۱۵۴۷۰	۱۰۰	۰	A
T80	۱۳۹۴۰	۹۰/۱۱	۱۰	B
T60	۱۲۴۲۰	۸۰/۲۸	۲۰	C
T40	۷۱۲۲	۴۶/۰۴	۵۴	D

A، B، C و D بیانگر این است که تیمارها از لحاظ مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های متفاوت قرار گرفتند



شکل ۷. مقایسه درصد پوشش سبز اندام هوایی برای تیمارهای مختلف کم آبیاری در طول دوره رشد گیاه گندم زمستانه

زرد شدن برگ‌ها برای همه گیاهان اتفاق می‌افتد، اما اگر به دلیل عدم برآورد آب مورد نیاز گیاه باشند، فرایند پیری گیاه زودتر رخ می‌دهد و با شدت و سرعت بیشتری رخ می‌دهد؛ بنابراین کاهش درصد پوشش سبز اندام‌های هوایی شدیدتر است. همان‌گونه که در شکل ۸ نشان داده شده

زیرا اولین اثر تنش خشکی بر گیاه کاهش رشد سلولی و در نهایت رشد اندام‌های گیاهی است. به تدریج با افزایش سن گیاه گندم زمستانه، برگ‌ها هم شروع به زرد شدن می‌کنند و حتی ممکن است باعث ریزش برگ‌ها شود؛ بنابراین درصد پوشش سبز قسمت‌های هوایی کاهش پیدا می‌کند. پیری و

آب مصرف شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری در جدول ۱۱ ارائه شده است.

مقایسه بهره‌وری آب نسبت به عملکرد زیست‌توده برای تیمارهای مختلف آبیاری در جدول ۱۲ گفته شده است.

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش و جدول ۱۲ نشان می‌دهد که بیشترین بهره‌وری آب نسبت به عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمار T60 به میزان ۳/۴۴ کیلوگرم به‌ازای یک مترمکعب آب مصرفی و سپس به‌ترتیب تیمارهای T40، T80 و T100 هرکدام با بهره‌وری آب ۲/۹۵، ۲/۸۸ و ۲/۵۵ کیلوگرم بر هر مترمکعب آب مصرف شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس بهره‌وری آب نسبت به عملکرد زیست‌توده در تیمارهای مختلف آبیاری جدول ۱۳ ارائه شده است.

از نظر صفت یادشده اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ بین تیمارهای آبیاری وجود دارد. باتوجه به وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها و بیشترین مقدار آن برای تیمار ۶۰٪ کم آبیاری به میزان ۳/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب، اگر هدف دستیابی به بیشترین میزان بهره‌وری آب نسبت به زیست‌توده باشد، می‌توان راهبرد کم آبیاری را برای محصول گندم زمستانه در شرایط آب و هوایی شهرکرد به کار برد. بر اساس نتایج این پژوهش، کم آبیاری بر عملکرد دانه، زیست‌توده و بهره‌وری آب مصرفی گندم زمستانه در شرایط آب‌وهوایی منطقه شهرکرد تأثیر داشت. با کاهش بیست درصد از حجم آب مورد نیاز آبیاری نسبت به تیماری که با آب آبیاری کامل به‌کار رفته، عملکرد دانه گندم را بیش از ۱۴ درصد کاهش داد. همچنین با کاهش ۴۰ درصدی آب آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل، عملکرد دانه بیش از ۳۱ درصد کاهش یافت. همچنین دیده شد تیمار ۶۰٪ و ۸۰٪ کم آبیاری دارای بهره‌وری آب ۱/۲۲ و ۱/۱۹ کیلوگرم در هر مترمکعب و تیمارهای T100 و T40 به‌ترتیب دارای بهره‌وری آب ۱/۰۶ و ۱/۱۹ کیلوگرم در هر مترمکعب آب مصرفی بود. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین تولید

است، درصد پوشش سبز اندام هوایی در اوایل دوره رشد، کم و بعد از رسیدن به میزان بیشینه در اواسط دوره رشد (۲۳۰ روز از تاریخ کاشت)، دوباره روند کاهشی رخ می‌دهد. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر درصد پوشش سبز اندام هوایی در جدول ۸ ارائه شده است.

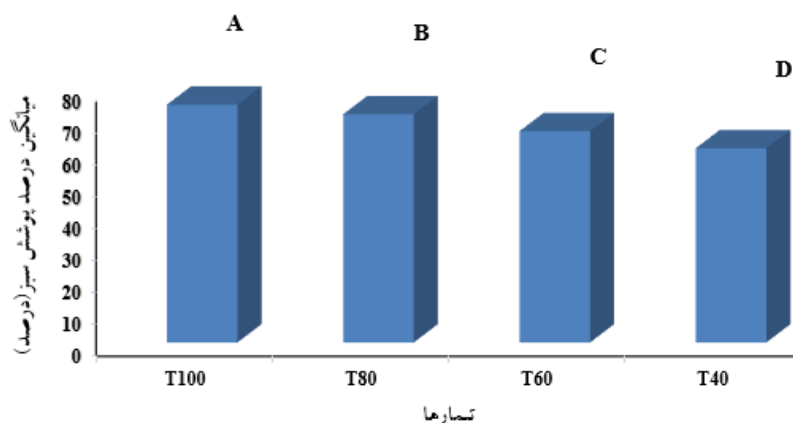
باتوجه به جدول ۸ بین تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) و سایر تیمارها (T80، T60 و T40)، از نظر درصد پوشش سبز اندام هوایی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. جدول ۹ و شکل ۷ نتیجه مقایسه میانگین درصد پوشش سبز اندام‌های هوایی به روش LSD برای تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد.

عملکرد نسبی بیانگر مقایسه درصد پوشش سبز اندام‌های هوایی در سطوح مختلف آبیاری نسبت به آبیاری کامل است. نتایج بیانگر این است که با کاهش میزان آب آبیاری، درصد پوشش سبز اندام‌های هوایی کاهش یافت؛ به‌طوری که هریک از تیمارهای کم آبیاری در گروه آماری متفاوتی قرار گرفتند. با کاهش ۲۰ درصدی آب آبیاری، درصد پوشش سبز اندام‌های هوایی بیش از ۳ درصد کاهش یافت و ۶۰ درصد کاهش آب آبیاری موجب کاهش بیش از ۲۳ درصدی درصد پوشش سبز اندام‌های هوایی شد.

بهره‌وری آب

برای بهره‌وری آب بهینه و بهبود عملکرد دانه گندم، نیاز است تا تمامی عوامل مؤثر را در نظر گرفته و روی همه جوانب کشت و مدیریت کشاورزی تمرکز کرد. مقایسه بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه برای تیمارهای مختلف آبیاری در جدول ۱۰ بیان شده است.

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش و جدول ۱۰ نشان می‌دهد که بیشترین بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه مربوط به تیمار T60 به میزان ۱/۲۲ کیلوگرم به‌ازای یک مترمکعب آب مصرفی و سپس به‌ترتیب تیمارهای T40، T80 و T100 هرکدام با بهره‌وری آب ۱/۱۹، ۱/۱۳ و ۱/۰۶ کیلوگرم بر هر مترمکعب



شکل ۸. میانگین درصد پوشش سبز اندام هوایی

جدول ۸. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر درصد پوشش سبز اندام هوایی

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
تکرار	۲	۴/۶۶۷ ^{ns}	۲/۳۳	۴/۲	۰/۰۷۲
تیمار	۳	۳۲۶/۹۲ ^{**}	۱۰۸/۹۷	۱۹۶/۱۵	۰/۰۰۰۱
خطا	۶	۳/۳۳	۰/۵۵		
کل	۱۱	۳۳۴/۹۲			

^{ns} غیرمعنی دار، ^{**} معنی دار در سطح ۱ درصد و * معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۹. مقایسه پیشینه درصد پوشش سبز اندام هوایی برای تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار آبیاری	پیشینه درصد پوشش سبز اندام هوایی	عملکرد نسبی (m ²)	درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری کامل	گروه
T100	۹۶/۰۰	۱۰۰/۰۰	۰	A
T80	۹۲/۶۷	۹۶/۵۳	۳/۴۷	B
T60	۸۹/۳۳	۹۳/۰۶	۶/۹۴	C
T40	۷۳/۳۳	۷۶/۳۹	۲۳/۶۱	D

A، B، C و D بیانگر این است که تیمارها از لحاظ مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های متفاوت قرار گرفتند.

جدول ۱۰. مقایسه بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه برای تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار آبیاری	میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	بهره‌وری آب (عملکرد دانه) (kg/m ³)	درصد کاهش یا افزایش سطوح مختلف آبیاری نسبت به آبیاری کامل
T100	۶۰۵۵/۴	۱/۰۶	۰
T80	۴۸۴۴/۳	۱/۱۳	۷
T60	۳۶۳۳/۲	۱/۲۲	۱۵
T40	۲۴۲۲/۱	۱/۱۹	۱۲

جدول ۱۱. تجزیه واریانس بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
تکرار	۲	۰/۰۱۴۵*	۰/۰۰۷۲	۹/۳	۰/۰۱۴۵
تیمار	۳	۰/۰۳۹۹*	۰/۰۱۳۳	۱۷/۱۱	۰/۰۰۰۲۴
خطا	۶	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۰۷۷		
کل	۱۱	۰/۰۵۹			

ns غیرمعنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

جدول ۱۲. مقایسه بهره‌وری آب نسبت به عملکرد زیست‌توده برای تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار آبیاری	میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	بهره‌وری آب (عملکرد زیست‌توده)	درصد افزایش
T100	۶۰۵۵/۴	۲/۵۵	۰
T80	۴۸۴۴/۳	۲/۸۸	۱۲/۹۴
T60	۳۶۳۳/۲	۳/۴۴	۳۴/۹
T40	۲۴۲۲/۱	۲/۹۵	۱۵/۶۹

جدول ۱۳. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر بهره‌وری آب نسبت به عملکرد زیست‌توده

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲۵	۰/۰۱	۰/۹۹۴۶
تیمار	۳	۱/۱۳۴**	۰/۳۷۸	۸۸/۳۱	۰/۰۰۰۱
خطا	۶	۰/۰۲۸	۰/۰۰۴۶		
کل	۱۱	۱/۱۶			

ns غیرمعنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

سطوح مختلف آبیاری به صورت کم آبیاری با ۵۰ (II)، کم آبیاری با ۷۵ (I2) و آبیاری کامل با ۱۰۰ (I3) درصد نیاز آبی گیاه در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در منطقه مغان انجام شد. نتایج نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای نواری سطحی (TS) با تیمارهای سطح کم آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (I2) و آبیاری کامل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (I3) به ترتیب در شرایط محدودیت آب و عدم محدودیت آب می‌توانند گزینه مناسبی برای تولید محصول گندم در منطقه مغان باشند (۱۸).

نتایج کلی نشان می‌دهد که با اعمال کم آبیاری بر گندم، بیشترین تولید در حالت آبیاری کامل به دست می‌آید؛ ولی در

در حالت آبیاری کامل به دست می‌آید؛ ولی در این حالت بهره‌وری نسبت به تیمارهای کم آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد کمتر است. در تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد کم آبیاری با کاهش ۴۰ و ۲۰ درصدی آب آبیاری به حالت بیشینه می‌رسد. شیرین زاده و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تأثیر کم آبیاری و روش آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد گندم پرداختند. آزمایشی به صورت طرح کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با سه تیمار اصلی شامل روش آبیاری قطره‌ای نواری سطحی (TS)، آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی (TSS) و آبیاری فارو (F) و سه تیمار فرعی شامل

این حالت بیشترین بهره‌وری حاصل نمی‌شود. تیمار ۸۰ درصد کم آبیاری با صرف آب کمتری برای تولید و رشد و نمو محصول، عملکرد و سودآوری مطلوب و بهترین بهره‌وری را برجای گذاشته و در این منطقه توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی تیمارهای مختلف کم آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه گندم پاییزه در یک اقلیم سرد خشک پرداخته شد. نتایج نشان داد که تنش آبی بر بیشتر صفات گیاهی گندم پاییزه تأثیر داشته است. یکی از صفات مهم گیاهی در بحث تصمیم‌گیری در خصوص روش‌های کم آبیاری، عملکرد دانه است که تحت تأثیر تیمار کم آبیاری قرار گرفت؛ به‌طوری که با افزایش میزان تنش آبی،

عملکرد دانه کاهش یافت. عملکرد زیست‌توده که بیشتر آن از اندام‌های ذخیره‌سازی تشکیل شده است نیز تحت تأثیر تنش آب قرار گرفت. تفاوت بین تیمارهای کم آبیاری برای صفت یادشده معنی‌دار بود. در خصوص ویژگی درصد پوشش سبز اندام‌های هوایی نیز تفاوت بین تیمارهای کم آبیاری معنی‌دار بود. باتوجه‌به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد که کم آبیاری در کشت گندم زمستانه باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، توصیه می‌شود که در برنامه‌ریزی آبیاری گندم پاییزه، استفاده از کم آبیاری و اجرای مناسب تیمارهای آبیاری مدیریت‌شده در نظر گرفته شود. همچنین تیمار ۸۰ درصد کم آبیاری برای گیاه گندم در مراحل مختلف رشد و نمو و دستیافتن به عملکرد دانه مطلوب و بهترین بهره‌وری مصرف آب برای منطقه سرد و خشک شهرکرد قابل توصیه است.

References

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F. and N. abbasi. 2017. Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Journal of Water and Sustainable Development* 4(1): 141-144.
2. Aghaei S., M. Gheysari and M. Shayannejad. 2023. Yield and Water Productivity of Wheat under Drip-Tape and Surface Irrigation System in East of Isfahan. *Journal of Water and Soil Science* 27(2): 151-162 (in Farsi).
3. Fereres, E., and M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 147-159.
4. Haghighati, B. 2021. Comparison of new Wheat varieties and lines for tolerance of drought stress in Shahrekord. Agriculture and Natural Resources Research Center of Chaharmahal va Bakhtiari province, Pages 57 (in Farsi).
5. <http://www.chbmet.ir>.
6. Jalal Kamali, M. R., T. Najafi Mirek and H. Kamali. 2011. Wheat: research and management strategies in Iran. Ministry of Jihad Agriculture. Organization of research, education and extension of agriculture, research institute for improvement and preparation of seedlings and seeds. Karaj (in Farsi).
7. Jafari, N., F. Aghayari and F. Paknejad. 2018. Effect of Different Deficit-Irrigation Methods on Yield and Water Use Efficiency of Wheat (Parsi Cultivar). *Ecophysiology of Agricultural Plants* 48(12): 581-598 (in Farsi).
8. Khosravi Fard, M., M. Gheysari and M. Shayannejad. 2022. Yield and Water Productivity of Wheat for Two Planting Dates Under Supply-Oriented Water Management in The East of Isfahan. *Journal of Soil and Plant Interactions* 12(4): 107-193 (in Farsi).
9. Khoshrovesh, M. and M. Pourgholam-Amiji. 2023. The effect of irrigation with Magnetically effluent on soil chemical properties, water productivity and heavy metals uptake by maize. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 54(6): 877-893 (in Farsi).
10. Kannan, N. and A. Anandhi. 2020. Water management for sustainable food production, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. *Water* 12(3): 778.
11. Keykhaei, F., and N. ganjikhorrandel. 2016. Effect of deficit irrigation in corrugation and Border methods on yield and water use efficiency of wheat cv. Hamoon. *Journal of Water Research in Agriculture* 30(1): 1-11 (in

- Farsi).
12. Maaroufnejad, A. and S. ghasami. 2016. Analysis of changes Using the method of Mann-Kendall (Case Study of Four townships of Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Original Research* 37(10): 149 – 166 (in Farsi).
 13. Meena, R. P., V. Karnam, S.C. Tripathi, A. Jha, R. K. Sharma and G. P. Singh. 2019. Irrigation management strategies in wheat for efficient water use in the regions of depleting water resources. *Agricultural Water Management*. 214: 38-46.
 14. Nations, U. 2019. World population prospects 2019:highlights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.
 15. Panahi, F., I. Malek-Mohammadi, M. Chizari and J. Samani. 2009. The role of optimizing agricultural water resource management to livelihood poverty abolition in rural Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3(4): 3841-3849.
 16. Rajabi, M., N. Jalalkamali and M. Naghizade. 2021. The Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of wheat: a case study of Bardsir plain. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 15(3): 701-709 (in Farsi).
 17. Statistics of the Ministry of Jihad of Agriculture. 2022. Report on the level, production and performance of crops in the crop year 2021-2022. Information and Communication Technology Center of the Ministry of Jihad and Agriculture, second volume, 98 pages (in Farsi).
 18. Shirinzadeh, N., M. H. Biglouei, K. Akhavan and A. Mohammadi. 2022. The effect of deficit irrigation and irrigation method on water productivity, yield, and yield components of wheat. *Journal of Crops Improvement* 24(2): 283-296.
 19. Wang, Y., Y. Zhang, R. Zhang, J. Li, M. Zhang, S. Zhou and Z. Wang. 2018. Reduced irrigation increases the water use efficiency and productivity of winter wheat-summer maize rotation on the North China Plain. *Science of the Total Environment* 618: 112-120.
 20. Zhao, J., T. Han, C. Wang, H. Jia, A. W. Worqlul, N. Norelli, Z. Zeng and Q. Chu. 2020. Optimizing irrigation strategies to synchronously improve the yield and water productivity of winter wheat under interannual precipitation variability in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 240: 106298.
 21. Zand-parsa, S., F. Ghasemi Saadat Abadi, M. Mahbod and A. R. Sepaskhah. 2020. Estimation of Wheat Water Productivity and Water Use Efficiency (Shiraz Cultivar) under Different Amounts of Deficit Irrigation and Nitrogen Deficiencies. *Journal of Water and Soil Science* 24(2) :181-195 (in Farsi).