



Tolerance Evaluation to Drought at the End of Growing Season in Wheat Cultivars and Identification of High-Yielding Genotypes

Bijan Haghighati*

Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran.

*Corresponding Author: bhaghighati@areeo.ac.ir

Keywords:

Drought stress, Genotypes, Yield

Extended abstract**Introduction**

Wheat (*Triticum aestivum* L.) holds a special place as one of the primary human foods and a key agricultural product. Due to the increasing population growth and the importance of food security, achieving self-sufficiency in this strategic product is increasingly important. Meanwhile, in recent years, climate change and the decline in water resources have become a serious challenge to the production of strategic crops, especially in arid and semi-arid regions. Among non-living environmental stresses, it can be said that drought stress is the most significant factor leading to a substantial reduction in crop yield, as it closes the stomata and consequently reduces photosynthesis. Drought stress is considered one of the most important factors limiting crop production and leads to a more than 50% reduction in average crop production worldwide. Drought has adverse effects on wheat growth and quality, and therefore, it is essential to investigate the sensitivity of different wheat cultivars and lines to drought stress.

Materials and Methods

The drought stress significantly impacts the quantity and quality of wheat yield. To assess the tolerance of new wheat cultivars and lines to this stress, a split-plot experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications over two

Received:

27 Nov 2024

Revised:

25 Dec 2024

Accepted:

25 Dec 2024

How to cite this article:

Haghighati, B. (2025). Tolerance Evaluation to Drought at the End of Growing Season in Wheat Cultivars and Identification of High-Yielding Genotypes. *Journal of Drought and Climate change Research* (JDCR), 3(11), 81-96. [10.22077/jdcr.2024.8494.1087](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.8494.1087)



years at the Chahartakhteh Research Station in Shahrekord. The Chahartakhteh Research Station is located 5 kilometers east of Shahrekord, with geographical coordinates of 18°32'N and 55°50'E, at an altitude of 2090 meters above sea level, and has a semi-humid regional climate with mild summers and very cold winters. Treatments included three levels of irrigation cessation as main plots (full irrigation, irrigation cut off at flowering, and grain filling stages) and seven wheat genotypes as subplots (Mihan, Heydari, Pishgam, CD-93-9, CD-93-10, CD-91-12, and CD-92-6).

Results and Discussion

The results showed that grain and total yield per unit area decreased with the reduction of irrigation water. However, severe stress causes a severe reduction in grain and total yield per unit area. It seems that in mild drought stresses, partial closure of stomata reduces transpiration more than photosynthesis, and as a result, the process of reducing dry matter production per unit area per unit decrease in water consumption is slower, but severe stresses cause complete closure of stomata, resulting in a decrease in plant photosynthesis, and ultimately, the production process is severely reduced. Also, results showed that irrigation cut-off significantly affected grain yield and vegetative characteristics at the 1% level. The highest grain yield of 10.26 tons per hectare was obtained under full irrigation conditions from the Mihan cultivar. The average grain yield under full irrigation, irrigation cessation at the grain filling stage, and irrigation cessation at the flowering stage were 8.74, 5.27, and 3.94 tons per hectare, respectively, indicating significant differences among treatments. Under irrigation cut-off at the flowering stage, the genotype CD-93-10 exhibited the highest grain yield of 4.44 tons per hectare, significantly differing from other genotypes. Therefore, in the event of irrigation cessation or reduced water consumption during the final growth stages, this genotype demonstrated a 6 to 25% higher yield potential compared to other genotypes and is recommended for cultivation in such conditions.

Conclusion

To optimally use water and increase production per unit of water consumed, it is essential to choose irrigation interruption management (discontinue irrigation when the grain becomes milky) and to modify and select appropriate plant varieties according to the environmental conditions of plant growth. Also, the use of drought-tolerant varieties is essential and inevitable in conditions of water shortage.



ارزیابی تحمل به خشکی انتهای فصل رشد در ارقام گندم و شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول

بیژن حقیقتی*

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.

*نویسنده مسئول: bhaghighati@areeo.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

تنش خشکی، ژنوتیپ، عملکرد

تنش خشکی انتهای فصل رشد، تأثیر قابل توجهی بر کیفیت و کمیت محصول گندم دارد. برای ارزیابی تحمل ارقام و لاین‌های جدید گندم نسبت به این تنش، آزمایشی به‌صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد اجرا شد. تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق شامل سه سطح قطع آبیاری به عنوان کرت‌های اصلی (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و مرحله پر شدن دانه) و هفت رقم و لاین گندم به عنوان کرت‌های فرعی (میهن، حیدری، پیشگام، CD-93-9، CD-93-10، CD-91-12 و CD-92-6) بودند. نتایج نشان داد که تأثیر قطع آبیاری بر عملکرد دانه و ویژگی‌های رویشی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل از تیمار رقم میهن به میزان ۱۰/۲۶ تن در هکتار به‌دست آمد. متوسط عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌ترتیب ۸/۷۴، ۵/۲۷ و ۳/۹۴ تن در هکتار بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی بیشترین عملکرد دانه به میزان ۴/۴۴ تن در هکتار مربوط به ژنوتیپ CD-93-10 بود که تفاوت معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها داشت. بنابراین، در صورت قطع آبیاری یا کاهش آب مصرفی در مراحل انتهایی رشد گندم این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از ۶ تا ۲۵ درصد پتانسیل عملکرد بالاتری برخوردار بوده و قابل توصیه برای کاشت در چنین شرایطی می‌باشد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۰۷

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۰/۰۵

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum*. L) به عنوان یکی از اصلی ترین مواد غذایی بشر و مهم ترین محصول زراعی از جایگاه ویژه ای برخوردار است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و اهمیت امنیت غذایی، دستیابی به خودکفایی این محصول راهبردی روزبه روز افزایش می یابد. گزارشات حاکی از آن است که برای تغذیه حدود ۹ بیلیون بشر تا سال ۲۰۵۰، تولید گندم در جهان باید حدود ۶۰ درصد افزایش یابد (Borisjuk et al., 2019). این در حالی است که در سال های اخیر، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی به یکی از چالش های جدی تولید محصولات راهبردی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک تبدیل شده است. تغییرات آب و هوایی، کمبود آب سبز را تشدید، بهره وری کشاورزی را کاهش و در نهایت امنیت غذایی را با چالش مواجه می نماید. امروزه، در بسیاری از مناطق جهان کمبود منابع آب شیرین مشهود می باشد که این موضوع بر مسائل اجتماعی و اقتصادی نیز تأثیرگذار است و مهم تر آن که بزرگ ترین تهدید برای امنیت غذایی می باشد (He & Rosa, 2023). اگرچه الگوهای بارندگی به دلیل تغییرات اقلیمی تغییر کرده است، اما در این میان عوامل دیگری مانند مدیریت سنتی مصرف آب در بخش کشاورزی و مصرف غیراقتصادی منابع آب موجود نیز تأثیر قابل ملاحظه ای در بحران آب ایفا نموده است. با توجه به محدودیت دسترسی به منابع آب شیرین جهان، تقاضا برای این منابع محدود روز به روز افزایش می یابد. به همین منظور برای اطمینان از تأمین امنیت غذایی جمعیت روبه رشد، چاره ای جز ارتقا بهره وری آب کشاورزی نیست. از میان تنش های محیطی غیر زنده، شاید بتوان گفت تنش خشکی مهم ترین عاملی است که از طریق بستن روزنه ها و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز منجر به کاهش قابل ملاحظه ای در عملکرد محصولات می شود (Li et al., 2021). تنش خشکی از مهم ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات محسوب شده و منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی میانگین تولید محصولات زراعی در سرتاسر جهان می شود (Hussain et al., 2019). خشکی اثرات نامطلوبی بر رشد و کیفیت گندم دارد

(Wasaya et al., 2021) و از این رو بررسی حساسیت ارقام و لاین های مختلف گندم به تنش خشکی بسیار ضروری و حائز اهمیت می باشد. پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه از جمله سطح برگ، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب، پتانسیل آب برگ و محتوای کلروفیل به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می گیرند (Salim et al., 2021). خشکی تا حدودی بر عملکرد گندم در طول فصل رشد تأثیر می گذارد، اما کاهش عملکرد بیشتر در مراحل زایشی و پر شدن دانه اتفاق می افتد (Cappelli & Cini, 2021). گزینش ژنوتیپ ها در شرایط تنش خشکی یکی از اصلی ترین وظایف محققان برای شناسایی، استفاده از تنوع ژنتیکی و معرفی ارقام مقاوم به تنش است. در پژوهشی اظهار داشتند که چهار لاین شامل G116، G41، G123 و G199 لاین های برتر در تحمل به خشکی آخر فصل بودند و بنابراین پتانسیل معرفی به عنوان ارقام جدید گندم برای عرضه به کشاورزان مناطق مستعد خشکی آخر فصل رشد را دارند (Ahmadi et al., 2020). مطابق نتایج یک پژوهش، قطع آبیاری و اعمال تنش بر میزان گلیکوزینولات کلزا مؤثر بوده و با افزایش شدت تنش میزان آن به شدت تغییر می کند (Seyf Amiri et al., 2024). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد که محتوای رنگ دانه فتوسنتزی گندم تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می یابد؛ این در حالی است که ژنوتیپ های متحمل دارای مقادیر بالاتر کلروفیل و درصد کاهش کمتری بودند (Ahmed et al., 2020). همچنین مطالعات متعددی صورت گرفته که نشان می دهد عملکرد گندم را می توان از طریق توسعه ارقام مقاوم به تنش های زیستی و غیر زیستی تا ۲۵ درصد افزایش داد (Amanuel et al., 2019؛ Afzal et al., 2019؛ Nehe et al., 2019؛ Ali et al., 2022 & al., 2018).

راه حل اساسی برطرف کردن یا به حداقل رسانیدن اثر تنش های محیطی از جمله تنش خشکی، یافتن ژنوتیپ هایی می باشد که با داشتن مجموعه ای از صفات مطلوب و با قابلیت توارث پذیری بالا، بتوانند چنین تنش هایی را با حداقل کاهش عملکرد تحمل نمایند. با توجه به این که گندم، مهم ترین محصول زراعی در استان چهارمحال و بختیاری است و از

ساقه رفتن و قبل از خوشه در اختیار گیاه قرار گرفت. عناصر ریزمغذی آهن، روی، مس و منگنز به ترتیب از منبع سولفات آهن، سولفات روی، سولفات مس و سولفات منگنز تهیه و قبل از کاشت مصرف شد. عملیات کاشت در دهه اول آبان هر سال انجام، سپس پس از کاشت، لوله‌ها و تجهیزات آبیاری قطره‌ای نواری در مزرعه نصب شد. برای اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی، کنتور در محل ورودی آب نصب شد. مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری برای تیمارهای که باید در آن مرحله آبیاری شوند یکسان است. در این تحقیق، نیاز آبی گیاه با استفاده از شاخص‌های خاک (رطوبت خاک) به دست آمد. برای تعیین عمق خالص آبیاری در هر نوبت آبیاری با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی از رابطه زیر استفاده شد.

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \quad (1)$$

در این رابطه d : عمق خالص آبیاری (mm)، θ_i : رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، θ_{fc} : رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی، ρ_b : وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و Z_r : عمق ریشه (mm) است. زمان‌بندی آبیاری بر اساس محاسبات کاهش رطوبت در منطقه ریشه در حد رطوبت سهل‌الوصول انجام شد. مرز پایین رطوبت سهل‌الوصول (تخلیه مجاز) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\theta_m = [\theta_{fc} - MAD(\theta_{fc} - \theta_{pwp})] \quad (2)$$

که در آن θ_m : مرز پایین رطوبت سهل‌الوصول، θ_{fc} و θ_{pwp} به ترتیب رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی و MAD ضریب حداکثر تخلیه مجاز است که برای گیاه گندم ۵۰ درصد گزارش شده است (Allen et al., 1998).

در این تحقیق میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت خاک در زمان آبیاری و با توجه به مساحت هر کرت و اعمال راندمان آبیاری حجم آب مصرفی به دست آمد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه TDR استفاده شد. دور آبیاری برای همه تیمارها ثابت در تیمار آبیاری کامل و حداکثر

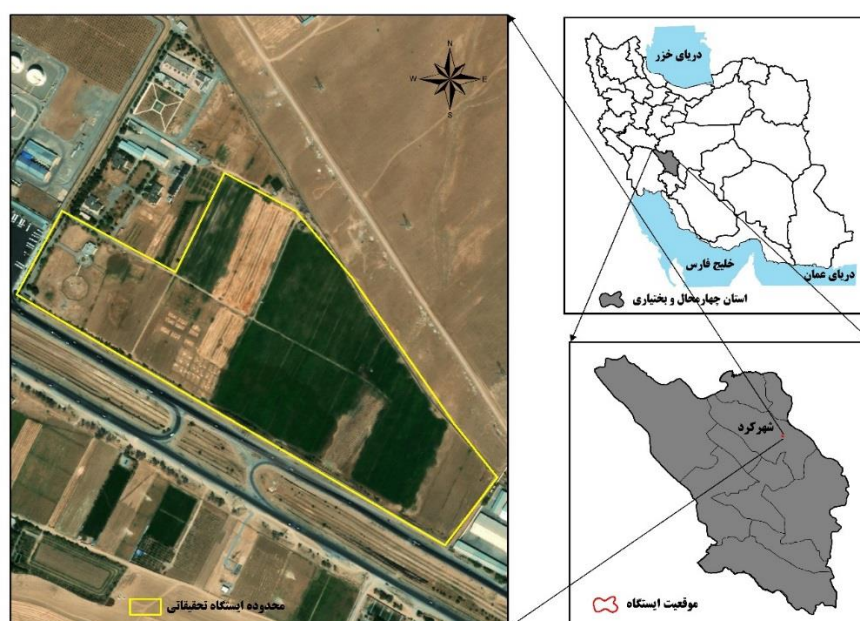
طرفی کمبود منابع آبی به‌ویژه در مراحل آخر رشد گندم یکی از چالش‌های جدی تولید این محصول در استان چهارمحال و بختیاری محسوب می‌شود، در چنین شرایطی لازم است تا روش‌های متعددی به‌منظور افزایش تولید به‌ازای آب مصرفی مورد بررسی قرار گیرد. از طرف دیگر ارقام مختلف گندم در استان در حال کشت و تعدادی ارقام نیز در حال بررسی و آزاد شدن بوده ولی اطلاعات جامعی در زمینه تفاوت واکنش این ارقام به آب وجود ندارد. بررسی واکنش ارقام مناسب با پتانسیل عملکرد بالا و کیفیت مناسب نسبت به اعمال تنش خشکی برای رسیدن به مدیریتی مناسب و کاربردی برای این محصول در برنامه‌ریزی آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب آبیاری که چالش اساسی و مهم در کشاورزی فاریاب است ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در ۵ کیلومتری شرق شهرکرد با مختصات جغرافیایی $32^{\circ}18'$ عرض شمالی و $50^{\circ}55'$ طول شرقی با ارتفاع ۲۰۹۰ متر از سطح دریا و با اقلیم منطقه‌ای نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد به اجرا درآمد (شکل ۱). به‌منظور تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین آزمون خاک به‌منظور اطلاع از میزان کود دهی، قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، در اوایل مهرماه دو سال، نمونه‌های مرکب از خاک محل اجرای طرح برداشت شد (جدول ۱). برای آماده‌سازی زمین، عملیات شخم و دیسک بر روی زمین محل اجرای آزمایش انجام شد. قبل از کاشت به‌منظور تسطیح زمین، عملیات ماله‌کشی نیز انجام شد. مقادیر و نوع کودهای مورد استفاده در هر دو سال آزمایش با توجه به آزمون خاک به زمین اضافه گردید. فسفر و پتاسیم مورد نیاز به ترتیب از منبع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم و قبل از کشت به زمین داده شد. نیتروژن مورد نیاز از منبع اوره و در چهار مرحله: قبل از کشت، مرحله‌ی پنجه زنی،

و همیشه در زمان آبیاری مقدار رطوبت خاک بیشتر از مقدار رطوبت سهل الوصول بود.

میزان تبخیر و تعرق روزانه محل آزمایش ۷ روزه در نظر گرفته شد به طوری که تنشی به گیاه وارد نشود



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه - ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد

Fig 1. Studied area - Shahrekord Four-Fold research station

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the case study

N	K ava.	P ava.	OC	pH	EC	بافت خاک	عمق	سال
%	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	%		dS.m ⁻¹	Soil texture	Depth (cm)	Year
0.081	265	6.3	0.838	7.73	0.709	لوم	0-30	سال اول (First year)
0.086	284	9.1	0.928	7.77	0.801	لوم	0-30	سال دوم (Second year)

EC= هدایت الکتریکی OC= مواد آلی P= فسفر K= پتاسیم N= نیتروژن

مصرف آب برای هر تیمار آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است. تیمارهای فرعی ارقام و لاین‌های جدید گندم شامل رقم میهن (V1)، رقم حیدری (V2)، لاین امید بخش CD-91-12 (V3)، لاین امید بخش CD-92-9 (V4)، لاین امید بخش CD-93-9 (V5)، لاین امید بخش CD-93-10 (V6) و رقم پیشگام (V7) می‌باشند. بنابراین، در این پژوهش ۲۱ تیمار در سه تکرار وجود داشت که در مجموع ۶۳ کرت آزمایشی را تشکیل دادند. ابعاد کرت‌های فرعی ۲×۴ متر در نظر گرفته می‌شود. کرت‌های فرعی با فاصله ۱ متر، کرت‌های اصلی با فاصله ۱ متر و تکرارها با فاصله ۳ متر از هم دیگر جدا می‌شود. در دهه اول آبان ماه بذرها

به‌منظور مقایسه ارقام و لاین‌های جدید گندم از نظر تحمل تنش خشکی آخر فصل آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. در مجموع تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق شامل: ۱- هفت رقم و لاین گندم ۲- سه زمان قطع آبیاری می‌باشد. در این پژوهش، کرت‌های اصلی شامل زمان قطع آبیاری می‌باشند که عبارت‌اند از: I1= آبیاری کامل در طول فصل رشد (بدون تنش)، I2= قطع آبیاری در مرحله پر شدن شدن دانه (عدم انجام دو آبیاری آخر) و I3= قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (عدم انجام چهار آبیاری آخر). تعداد آبیاری و میزان کل

طرح آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه واریانس ساده و مرکب قرار گرفت و برای انجام مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد تا در نهایت متحمل‌ترین ژنوتیپ به شرایط قطع آب آبیاری در آخر فصل برای استفاده در شهرستان شهرکرد و مناطق مشابه، شناسایی و معرفی گردد.

با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع پس از ضد عفونی در کرت‌هایی به مساحت ۸ مترمربع به‌صورت خطی با فاصله خطوط ۱۵ سانتی‌متر کشت شد. صفات مورد بررسی در این پژوهش شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، طول خوشه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه بود. در پایان داده‌های حاصله براساس

جدول ۲. تعداد آبیاری، زمان و میزان کل مصرف آب برای هر تیمار آبیاری

Table 2. Number of irrigations, time, and total water consumption for each irrigation treatment

تیمار آبیاری	تعداد آبیاری	آخرین آبیاری زمان	مقدار کل آب مصرفی (m ³ /ha)
Irrigation treatment	Number of irrigations	Last irrigation time	Total amount of water consumed
آبیاری کامل (I1)	11	28 خرداد ماه June 18	4325
قطع آب بعد از مرحله پر شدن دانه (I2)	9	14 خرداد ماه June 4	3540
قطع آب بعد از مرحله گل‌دهی (I3)	7	31 اردیبهشت May 21	2750
Stop watering after the flowering stage (I3)			

را دستخوش تغییر نماید. تنش خشکی با اختلالاتی که در چرخه‌ی رشد گیاه ایجاد می‌کند تأثیر به‌سزایی بر روی رشد و عملکرد محصولات دارد (Iqbal *et al.*, 2023). همچنین، تنش خشکی به‌طور چشمگیری بر تمامی اجزای عملکرد دانه گندم اثرات منفی دارد (Ghanem & AlFarouk, 2024). Teimouri *et al.*, 2020. اظهار داشتند که قطع آبیاری در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش ۴۰ درصدی عملکرد دانه گندم شده است. همچنین پژوهش Ahmadi *et al.*, 2020، نشان داد که متوسط عملکرد دانه در شرایط آبیاری بهینه ۸/۵۵ تن در هکتار بود و در تنش خشکی آخر فصل به ۶/۳۲ تن در هکتار کاهش یافت.

اثر رقم بر روی عملکرد دانه در واحد سطح در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد. بیشینه و کمینه عملکرد دانه در واحد سطح به‌ترتیب برابر با ۶/۳۰ و ۵/۵۲ تن در هکتار مربوط به رقم میهن و لاین ۱۲-۹۱-CD تن در هکتار بود که از نظر آماری در سطح یک درصد با هم اختلافی نداشتند (جدول ۴ و شکل ۲).

نتایج اثر متقابل ارقام گندم در مدیریت‌های مختلف قطع آبیاری بر روی عملکرد دانه در واحد سطح

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده و همچنین میانگین عملکرد دانه و کل، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و طول خوشه گندم در دو سال زراعی به‌ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

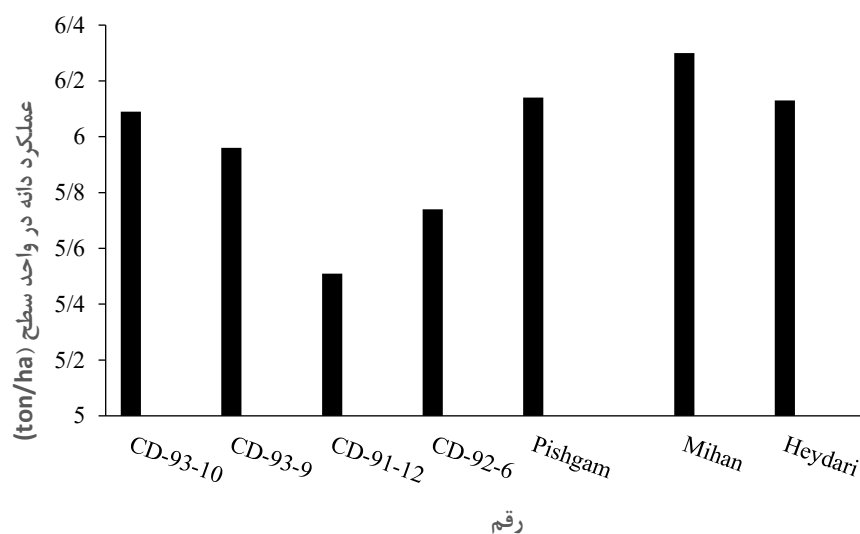
عملکرد دانه

عملکرد دانه مهم‌ترین معیار انتخاب برای تحمل به خشکی گندم می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) نشان داد که اثر سال بر روی عملکرد دانه در واحد سطح معنی‌دار نشد. اثر قطع آبیاری بر روی عملکرد دانه در واحد سطح در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشینه و کمینه عملکرد دانه در واحد سطح به‌ترتیب برابر با ۸/۷۴ و ۳/۹۴ تن در هکتار مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی می‌باشد (جدول ۴). عملکرد گیاه نتیجه‌ی ترکیبی از پاسخ‌های زیستی گیاه است و هر تغییری که بر سوخت‌وساز گیاه در هر مرحله‌ای از رشد تأثیرگذار باشد می‌تواند عملکرد

جدول ۴. میانگین عملکرد دانه و کل، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و طول خوشه گندم در دو سال زراعی
Table 4. Average and total yield of grain, plant height, harvest index, weight of thousand-grain, and wheat spike's length in two crop years

متوسط طول خوشه (cm) Average cluster length	وزن هزار دانه (gr) Thousand-grain weight	شاخص برداشت (gr) Harvest index	ارتفاع بوته (cm) Plant height	عملکرد زیستی (ton/ha) Biological performance	عملکرد دانه در واحد سطح (ton/ha) Grain yield at the surface	میانگین صفات Average traits	تیمار treatment
9.8 ^a	32.4 ^a	0.41 ^a	88.3 ^a	14.49 ^a	6.05 ^a	سال اول First year	سال (Year)
9.7 ^a	32.3 ^a	0.4 ^a	87 ^a	14.29 ^a	5.91 ^a	سال دوم Second year	
10 ^a	39.5 ^a	0.47 ^a	91.8 ^a	18.54 ^a	8.74 ^a	زمان پردازش کامل Full processing time	قطع آبیاری Irrigation cut-off
9.7 ^a	32.2 ^b	0.39 ^b	88 ^b	13.42 ^b	5.27 ^b	پر شدن دانه Grain filling	
9.7 ^a	25.3 ^c	0.35 ^c	83.1 ^c	11.22 ^c	3.94 ^c	آخر گلدهی End of flowering	
9.5 ^c	32.5 ^b	0.41 ^a	93.7 ^a	14.66 ^b	6.09 ^b	CD-93-10	رقم variety
10 ^{ab}	32.3 ^b	0.4 ^a	90.31 ^b	14.57 ^{bc}	5.96 ^b	CD-93-9	
9.8 ^b	32.5 ^b	0.4 ^a	88.3 ^c	13.55 ^c	5.51 ^d	CD-91-12	
10.1 ^a	31.9 ^b	0.4 ^a	88.4 ^c	14.07 ^d	5.74 ^c	CD-92-6	
9.4 ^c	32.2 ^b	0.4 ^a	86.1 ^d	14.39 ^c	6.14 ^{ab}	Pishgam	
9.8 ^b	33 ^a	0.42 ^a	83.6 ^c	14.93 ^a	6.3 ^a	Mihan	
9.9 ^b	32.1 ^b	0.42 ^a	83.1 ^c	14.60 ^{bc}	6.13 ^{ab}	Heydari	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن ندارند ($P < 5\%$).



شکل ۲. اثر رقم بر عملکرد دانه در واحد سطح
Fig 2. Effect of cultivar on grain yield per unit area

جدول ۵. برهمکنش قطع آبیاری و رقم بر برخی از صفات کمی گندم

Table 5. Interaction of irrigation interruption on some quantitative traits of wheat

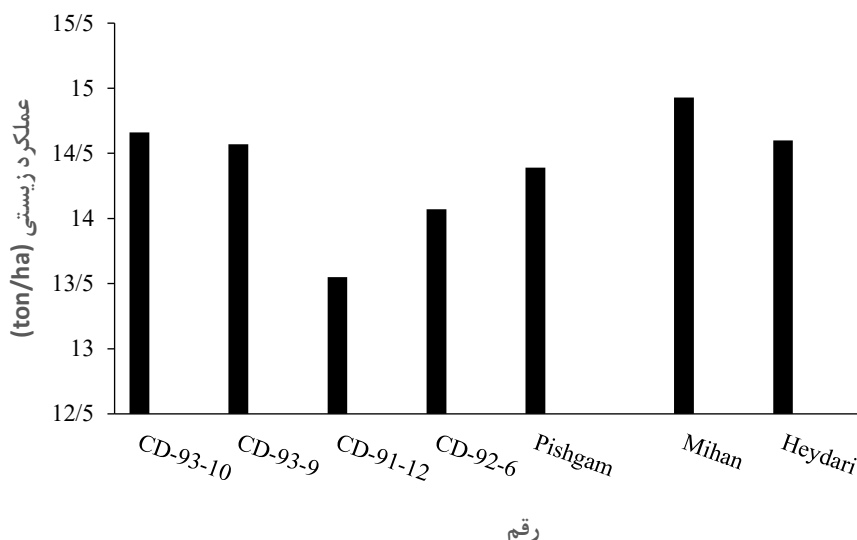
وزن هزار دانه (gr) Thousand-grain weight	عملکرد زیستی (ton/ha) Biological performance	عملکرد دانه در واحد سطح (ton/ha) Grain yield at the surface	نام رقم یا لاین variety or line name	تیمار آبیاری Irrigation treatment
38.4 ^c	17.84 ^c	8.47 ^c	CD-93-10	آبیاری کامل Full irrigation
38.2 ^{cd}	17.76 ^c	8.43 ^c	CD-93-9	
38 ^d	16.82 ^d	7.68 ^d	CD-91-12	
38.5 ^c	17.83 ^c	7.89 ^d	CD-92-6	
40.5 ^{ab}	19.39 ^b	9.23 ^b	Pishgam	
42.9 ^a	20.3 ^a	10.26 ^a	Mihan	
40.5 ^{ab}	19.84 ^{ab}	9.22 ^b	Heydari	
33.5 ^a	14.01 ^a	5.34 ^a	CD-93-10	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Stop irrigation during the seed filling stage.
32.9 ^b	13.84 ^{ab}	5.27 ^{ab}	CD-93-9	
32.3 ^{bc}	13.02 ^c	5.18 ^c	CD-91-12	
31.2 ^d	13.03 ^c	5.37 ^a	CD-92-6	
31.9 ^c	13.32 ^b	5.34 ^a	Pishgam	
31.9 ^c	13.26 ^b	5.1 ^d	Mihan	
31.6 ^{cd}	13.47 ^b	5.26 ^{ab}	Heydari	
27.6 ^a	12.13 ^a	4.44 ^a	CD-93-10	قطع آبیاری در مرحله گلدهی Stop watering during the flowering stage.
25.8 ^b	12.11 ^a	4.18 ^{ab}	CD-93-9	
25.3 ^c	10.81 ^c	3.69 ^{bc}	CD-91-12	
26 ^b	11.33 ^b	3.98 ^b	CD-92-6	
24.1 ^d	10.46 ^c	3.84 ^b	Pishgam	
24.3 ^d	11.25 ^b	3.53 ^c	Mihan	
24.3 ^d	10.48 ^c	3.9 ^b	Heydari	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن ندارند ($P < 5\%$).

عملکرد زیستی در واحد سطح

به‌طور کلی نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) نشان داد که اثر سال بر روی عملکرد زیستی در واحد سطح معنی‌دار نشد. اثر قطع آبیاری بر عملکرد کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشینه و کمینه عملکرد کل در واحد سطح به‌ترتیب برابر با ۱۸/۵۴ و ۱۱/۲۳ تن در هکتار مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی می‌باشد (جدول ۴). اثر رقم بر روی عملکرد کل در واحد سطح نیز در سطح یک درصد معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین مقدار عملکرد کل در واحد سطح مربوط به رقم میهن (۱۴/۹۴ تن در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۳). نتایج اثر متقابل ارقام گندم در مدیریت‌های مختلف قطع آبیاری بر روی عملکرد کل در واحد سطح معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه عملکرد کل در ارقام گندم تحت مدیریت‌های

مختلف قطع آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد کل در واحد سطح در رقم میهن در تیمار آبیاری کامل به میزان ۲۰/۳۰ تن در هکتار به دست آمد ولی در شرایط تنش در دو تیمار قطع آبیاری در زمان گلدهی و پر شدن دانه بیشترین عملکرد کل مربوط به دو لاین CD- 93-9 و CD- 93-10 بود (جدول ۵). بنابراین در شرایط تنش خشکی انتهای فصل و کمبود آب، لاین‌های CD- 93-9 و CD- 93-10 مقاوم‌تر بوده و عملکرد کل بالاتری دارند. Salehi et al., 2023، ضمن مطالعات خود تأثیر تنش خشکی بر کاهش وزن‌تر و خشک بوت‌ه ذرت را گزارش کردند. همچنین در پژوهش Mohammadi et al., 2011، تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک ارقام گندم شد. به‌طوری‌که، متوسط عملکرد بیولوژیک از ۲۰۱۷ گرم در مترمربع در آبی به ۱۵۷۶ گرم در مترمربع در شرایط تنش رسید.



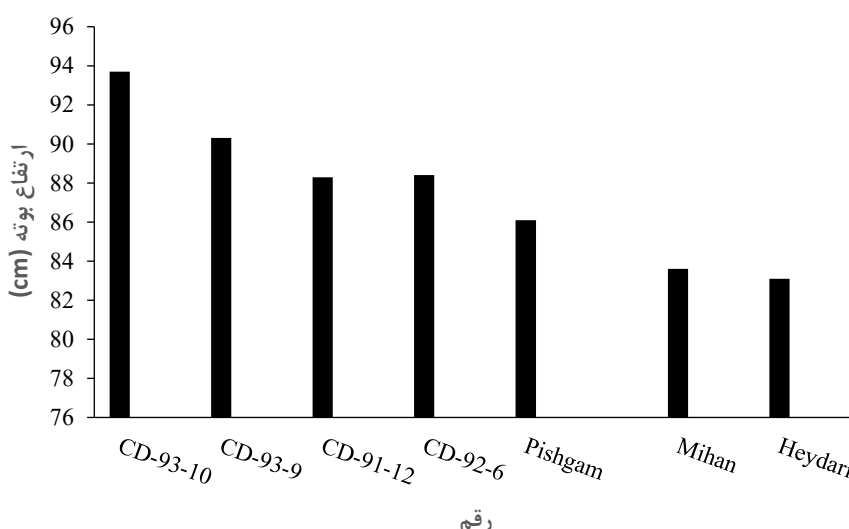
شکل ۳. اثر رقم بر عملکرد زیستی در واحد سطح

Fig 3. Effect of cultivar on biological yield per unit area

تمامی مراحل رشدی گیاه موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه گندم (ارقام یاواروس و بهرنک) شد. پژوهش (Nabati et al., 2022)، نشان داد که ارتفاع بوته در سطوح مختلف آبیاری با افزایش تراکم بوته افزایش یافت. بالاترین میزان ارتفاع بوته در تراکم ۶۰۰ بوته در مترمربع برای سه تیمار تنش خشکی حاصل شد؛ به‌طوری‌که در بین همه تیمارهای آزمایش بالاترین میزان ارتفاع بوته به میزان ۸۷ سانتی‌متر در تیمار ۶۰۰ بوته در مترمربع و در سطح تیمار بدون تنش خشکی حاصل شد.

ارتفاع بوته

به‌طورکلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر روی ارتفاع بوته معنی‌دار نشد اگرچه اثر قطع آبیاری و رقم بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳)، به‌طوری‌که بلندترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار آبیاری کامل (۹۱/۸ سانتی‌متر) و رقم CD-93-10 (۹۳/۷ سانتی‌متر) می‌باشد (جدول ۴ و شکل ۴). کاهش رشد رویشی و تکمیل سریع دوره رشد برای کاهش اثرات کم آبی دلیل اصلی کاهش ارتفاع بوته نسبت به شرایط معمول می‌باشد. et al., Ghaed Amini 2021 بیان کردند که قطع آبیاری در

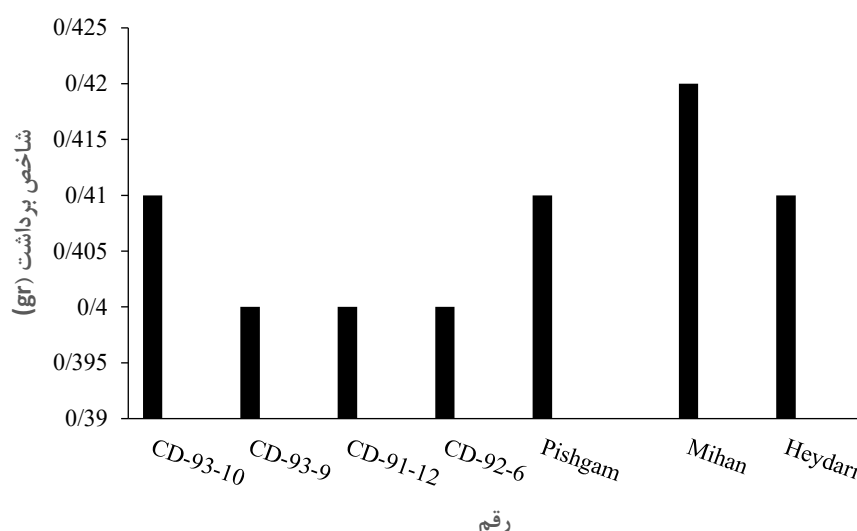


شکل ۴. اثر رقم بر ارتفاع بوته

Fig 4. Effect of cultivar on plant height

شاخص برداشت

به‌طور کلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر روی شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد اثر قطع آبیاری بر روی شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین شاخص برداشت در تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌ترتیب برابر ۰/۴۷ و ۰/۳۵ حاصل شد (جدول ۴). اثر رقم بر روی شاخص برداشت در سطح یک درصد



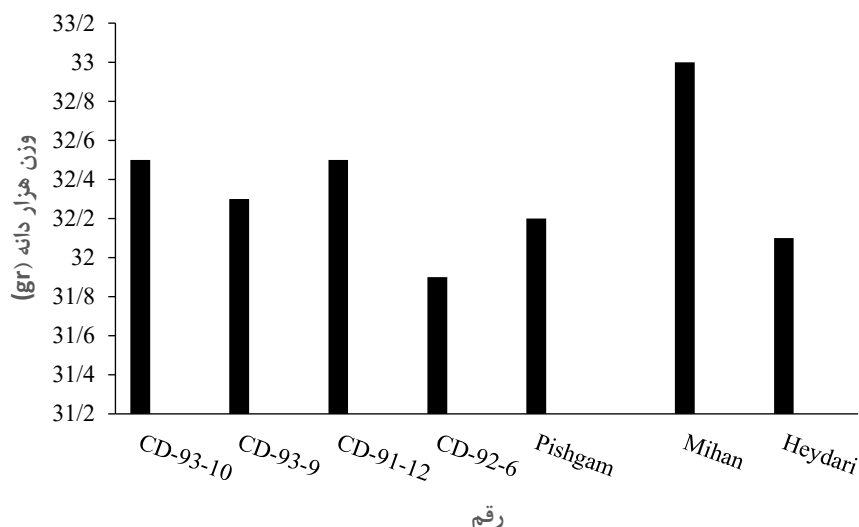
شکل ۵. اثر رقم بر شاخص برداشت

Fig 5. Effect of cultivar on harvest index

شده است. اثر رقم بر روی وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم میهن بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل ارقام گندم در مدیریت‌های مختلف قطع آبیاری بر روی وزن هزار دانه در واحد سطح معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه وزن هزار دانه در ارقام گندم تحت مدیریت‌های مختلف قطع آبیاری نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در رقم میهن در تیمار آبیاری کامل به میزان ۴۲/۹ گرم به دست آمد ولی در شرایط تنش در دو تیمار قطع آبیاری در زمان گلدهی و شیری شدن دانه بیشترین وزن هزار دانه مربوط به دو لاین CD-93-9 و CD-93-10 بود (جدول ۵ و شکل ۶).

وزن هزار دانه

به‌طور کلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر روی وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج نشان داد اثر قطع آبیاری بر روی وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیشینه وزن هزار دانه (۳۹/۵ گرم) مربوط به تیمار آبیاری کامل و کمینه وزن هزار دانه (۲۵/۳ گرم) مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌دست آمد (جدول ۴). کمبود رطوبت در اواخر فصل رشد به خصوص قطع آبیاری در مراحل گلدهی موجب می‌شود تا عمل تشکیل دانه و پر شدن آن به‌خوبی صورت نگیرد که نتیجه آن چروکیدگی دانه و به‌دنبال آن کاهش وزن هزار دانه می‌باشد. et al., 2022, Direkvandy بیان کردند که قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی موجب کاهش وزن هزار دانه گندم



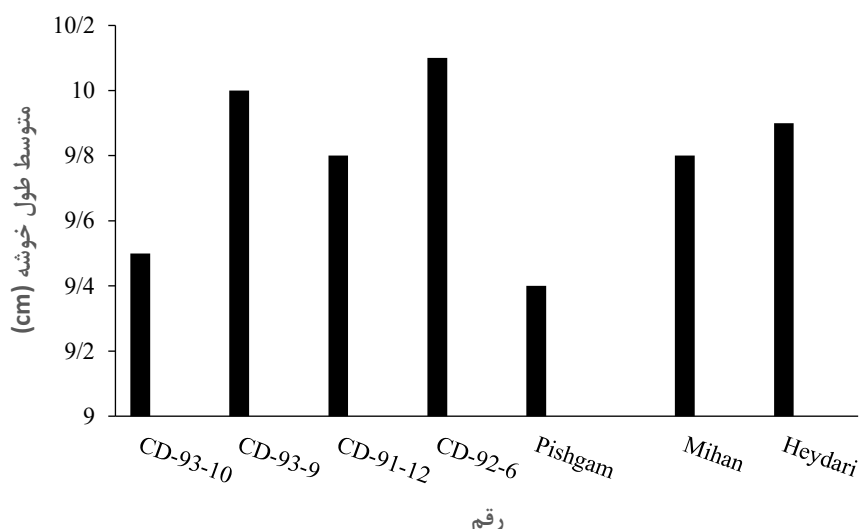
شکل ۶. اثر رقم بر وزن هزار دانه

Fig 6. Effect of cultivar on thousand-grain weight

تغییرات زیستی در گیاه ایجاد می‌شود که موجب کاهش طول خوشه گیاه می‌شود. Ghanemand, Alfaro, 2024, طی مطالعات خود نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار طول خوشه می‌شود. اثر رقم بر روی متوسط طول خوشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بلندترین طول خوشه مربوط به لاین CD-92-6 (۱۰/۱۰ سانتی‌متر) و کوتاه‌ترین طول خوشه مربوط به رقم پیشگام (۹/۴ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۴ و شکل ۷).

متوسط طول خوشه

به‌طور کلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر روی متوسط طول خوشه معنی‌دار نشد (جدول ۳). اثر قطع آبیاری بر متوسط طول خوشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که بلندترین طول خوشه مربوط به تیمار آبیاری کامل (۱۰/۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۴). تنش خشکی بر جذب آب توسط اندام‌های گیاهی تأثیرگذار است که به‌دنبال جذب کمتر آب یکسری



شکل ۷. اثر رقم بر طول خوشه

Fig 7. Effect of cultivar on panicle length

نتیجه‌گیری

یکی از جنبه‌های مهم برنامه‌ریزی دستیابی به توسعه‌ی پایدار، اعمال مدیریت حفاظتی از منابع آب می‌باشد. از جمله روش‌های ممکن در حفاظت از منابع آبی موجود، استفاده بهینه از منابع آبی از طریق معرفی رقم یا رقم‌هایی است که نسبت به کاهش آبیاری حساسیت کمتری داشته و قابلیت عملکردی قابل قبول در شرایط کم‌آبیاری داشته باشند. نتایج نشان داد که با کاهش میزان آب آبیاری، عملکرد دانه و کل در واحد سطح کاهش پیدا کرد. ولی تنش شدید باعث کاهش شدید عملکرد دانه و کل در واحد سطح می‌شود. به نظر می‌رسد در تنش‌های خشکی ملایم، بسته شدن جزئی روزنه‌ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش می‌دهد و در نتیجه روند کاهش تولید ماده خشک در واحد سطح در ازای هر واحد کاهش در آب مصرفی آهسته‌تر است اما تنش‌های شدید باعث بسته شدن کامل روزنه‌ها و در نتیجه پایین آمدن فتوسنتز گیاه شده و در نهایت فرایند تولید به شدت کاهش پیدا می‌کند. بنابراین قطع آبیاری در زمان گلدهی توصیه نمی‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که لاین CD-93-10 در صورت قطع آبیاری یا کاهش آب مصرفی در مراحل رشد گندم نسبت به دیگر ارقام و لاین‌های مورد آزمایش از ۶ تا ۲۵ درصد پتانسیل عملکرد بالاتر برخوردار بوده و قابل توصیه برای کاشت در مناطقی است که با کمبود آب در اواخر فصل رشد روبه‌رو هستند. بنابراین برای استفاده بهینه از آب و افزایش تولید به‌ازای هر واحد آب مصرفی انتخاب مدیریت قطع آبیاری (قطع آبیاری در زمان شیری شدن دانه)، اصلاح و انتخاب ارقام مناسب گیاهی با توجه به شرایط محیطی رشد گیاه امری ضروری است.

منابع

- Agricultural and Horticultural Products, 3 (9), 163-175 [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1392.3.9.13.6>
- Afzal, F., Li, H., Gul, A., Subhani, A., Ali, A., Mujeeb-Kazi, A., Ogbonnaya, F., Trethowan, R., Xia, X., & He, Z. (2019). Genome-wide analyses reveal footprints of divergent selection and drought-adaptive traits in synthetic-derived wheats. *G3 Genes, Genomes, Genetics*, 9(6), 1957-1973. DOI: [10.1534/g3.119.400010](https://doi.org/10.1534/g3.119.400010)
- Ahmadi, Gh., Siosemarde, A., Sohrabi, Y. & Jalal Kamali, M. R. (2020). Evaluation of the response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). lines to terminal drought stress *Applied Research in Field Crops*. 33 (1), 23-43 [In Persian]. DOI: [10.22092/aj.2019.125259.1384](https://doi.org/10.22092/aj.2019.125259.1384)
- Ahmed, H. G. M. D., Zeng, Y., Yang, X., Anwaar, H. A., Mansha, M. Z., Hanif, C. M. S. & Alghanem, S. M. S. (2020). Conferring drought-tolerant wheat genotypes through morpho-physiological and chlorophyll indices at seedling stage. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27, 2116-2123. DOI: [10.1016/j.sjbs.2020.06.019](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.019)
- Allen R., Pereira L.A., Raes D. & Smith M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper NO. 56. FAO, Rome, Italy.
- Ali, I., Khan, A., Ali, A., Ullah, Z., Dai, D. Q., Khan, N., Khan, A., Al-Tawaha, A. R., & Sher, H. (2022). Iron and zinc micronutrients and soil inoculation of *Trichoderma harzianum* enhance wheat grain quality and yield. *Frontiers in Plant Science*, 13, 960948. DOI: [10.3389/fpls.2022.960948](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.960948)
- Ahmadi Lahijani, A. & Emam, Y. (2013). Investigating the response of wheat genotypes to drought stress at the end of the season using physiological indicators. *Journal of Production and Processing of*

- A., Gharineh, M.H. & Lotfi JalalAbadi, A. (2021). Effect of irrigation cut and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of two durum wheat cultivars. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 12 (48), 47-62 [In Persian]. <http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1404-fa.html>
- Ghanem, H. & Al-Farouk, M.O. (2024). Wheat drought tolerance: Morpho-Physiological criteria, Stress indexes, and yield Responses in Newly Sand Soils. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43, 2234–2250. DOI:10.1007 / s00344-024-11259-1
- He, L. & Rosa, L. (2023). Solutions to agricultural green water scarcity under climate change. *PNAS Nexus*, 2, 1–11. DOI: 10.1093/pnasnexus/pgad117
- Hussain, S., Hussain, S., Qadir, T., Khaliq, A., Ashraf, U. & Parveen, A. (2019). Drought stress in plants: an overview on implications, tolerance mechanisms, and agronomic mitigation strategies. *Plant Science Today*, 6, 389–402. DOI:10.14719/pst.2019.6.4.578
- Iqbal, B., Li, G., Alabbosh, KF., Hussain, H., Khan, I., Tariq, M., Javed, Q., Naeem, M & Ahmad, NM. (2023). Advancing environmental sustainability through microbial reprogramming in growth improvement, stress alleviation, and phytoremediation. *Plant Stress*, 1, 100283. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100283
- Li, M., Yang, Y., Raza, A., Yin, S., Wang, H., Zhang, Y., Dong, J., Wang, G., Zhong, C. & Zhang, H. (2021). Heterologous expression of Arabidopsis thaliana rty
- Amanuel, M., Gebre, D., & Debele, T. (2018). Performance of bread wheat genotypes under different environment in lowland irrigated areas of Afar region, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 13 (17), 927-933. DOI:10.5897/AJAR2017.12669
- Borisjuk, N., Kishchenko, O., Eliby, S., Schramm, C., Anderson, P., Jatayev, S. & Shavrukov, Y. (2019). Genetic modification for wheat improvement: from transgenesis to genome editing. *BioMed Research International*, 10, 6216304. DOI: 10.1155/2019/6216304
- Cappelli, A., & Cini, E. (2021). Challenges and opportunities in wheat flour, pasta, bread, and bakery product production chains: A systematic review of innovations and improvement strategies to increase sustainability, productivity, and product quality. *Sustainability*, 13 (5), 2608. DOI: 10.3390/su13052608
- Direkvandy, S., eisvand, H., azizi, K. & Akbarpour, O. (2022). Investigating the effects of the application of silicon nanoparticles and mycorrhiza on the quantitative and qualitative yield of wheat under drought stress at the end of the growing season. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 14 (54), 83-103 [In Persian]. DOI:10.1007/s42976-024-00526-2
- Emam, Y., Ranjbari, A.M. & Bahrani, M.J. (2007). Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought stress. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 11, 317-328 [In Persian].
- Ghaeadi Amini, M., Fathi, Gh., Siyahpoosh,

- [article-1-1373-fa.html](https://doi.org/10.1016/j.aos.2021.12.003)
- Salim, BBM., Abou El-Yazied, A., Salama, Y.A.M., Raza, A. & Osman, H.S. (2021). Impact of silicon foliar application in enhancing antioxidants, growth, lowering, and yield of squash plants under deficit irrigation condition. *Annals of Agricultural Sciences*, 66, 176–183. [DOI:10.1016/j.aos.2021.12.003](https://doi.org/10.1016/j.aos.2021.12.003)
- Seifamiri, S., Yarnia, M., Mirshekari, B., Farahvash, F. & Rashidi, V. (2024). Effect of irrigation cutting stress on fatty Acids, glycosinolate, and some agronomic traits in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 16 (61), 29-46 [In Persian]. <http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1303-en.html>
- Teimouri, N., Saeidi, M., Ghobadi, M.E. & Sasani, S. (2020). The effect of the cut of irrigation at the end of the growing season on grain yield and some physiological characteristics of bread wheat cultivars. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 12 (46), 111-129 [In Persian]. <http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1296-en.html>
- Wasaya, A., Manzoor, S., Yasir, T.A., Sarwar, N., Mubeen, K., Ismail, I.A., Raza, A., Rehman, A., Hossain, A., & Sabagh, A.E.L. (2021). Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water, and chlorophyll content, and yield attributes under drought stress. *Sustainability*, 13, 4799. [DOI:10.3390/su13094799](https://doi.org/10.3390/su13094799)
- gene in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) improves drought tolerance. *BMC Plant Biol*, 21, 1–20. [DOI:10.21203/rs.3.rs-34565/v3](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-34565/v3)
- Mohammadi, H., Ahmadi, A., Moradi, F., Abbasi, A., Joudi, M. & Fatehi, F. (2011). Evaluation of critical traits for improving wheat yield under drought stress. *Iranian journal of crop plant sciences*, 42, 373-385 [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1390.42.2.16.4>
- Nabati, E., Farnia, A., Jafarzadeh Kenarsari, M., & Nakhjavan, S. (2022). The effect of drought stress and plant density on yield and yield components of irrigated wheat cultivars in the temperate region of Lorestan province. *Journal of Plant Ecophysiology*, 14, 1-16 [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1401.14.1.1.2>
- Nehe, A., Akin, B., Sanal, T., Evlice, A. K., Unsal, R., Dinçer, N., Demir, L., Geren, H., Sevim, I., & Orhan, S. (2019). Genotype × environment interaction and genetic gain for grain yield and grain quality traits in Turkish spring wheat released between 1964 and 2010. *Plos One*, 14, e0219432. [DOI: 10.1371/journal.pone.0219432](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219432)
- Salehi, M., Zare, M., Bazrafshan, F., Aien, A. & Amiri, B. (2024). Morpho-physiological and biochemical response of different maize cultivars to zeolite application under drought stress conditions. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 15 (60), 89-104 [In Persian]. <http://cpj.ahvaz.iau.ir/>