

Original Article

Journal of Drought and Climate Change Research (JDCR)

DOI: [10.22077/jdcr.2024.8494.1087](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.8494.1087)

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

Bijan Haghighati^{1,*}

1. 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@yahoo.com

Extended abstract

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) has a special place as one of the main human foods and the most important agricultural products. 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 important factor that leads to a significant reduction in crop yield by closing the stomata, and as a result, reducing the amount of 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 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.

Keywords: Drought stress, Genotypes, Yield.

فصلنامه علمی پژوهشی
پایه علمی دانش کشاورزی

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

محصول

بیژن حقیقتی^{۱*}

۱- 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@yahoo.com

چکیده

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 به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته 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 پرشدن 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 بدست آمد. متوسط عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و قطع آبیاری در مرحله گلدهی به ترتیب ۸/۷۴، ۵/۲۷ و ۳/۹۴ تن در هکتار بود که از لحاظ آماری تفاوت بسیار 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.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، ژنوتیپ، عملکرد.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به عنوان یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی بشر و مهم‌ترین محصول زراعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و اهمیت امنیت غذایی، دستیابی به خودکفایی این محصول راهبردی روزبه‌روز افزایش می‌یابد. 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 سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی به یکی از چالش‌های جدی تولید محصولات راهبردی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است. تغییرات آب و هوایی، کمبود آب سبز را تشدید، بهره‌وری کشاورزی را کاهش و در نهایت امنیت غذایی را با چالش مواجه می‌نماید. امروزه، در بسیاری از مناطق جهان کمبود منابع آب شیرین مشهود می‌باشد که این موضوع بر مسائل اجتماعی و اقتصادی نیز تأثیرگذار است و مهم‌تر آن که بزرگ‌ترین تهدید برای امنیت غذایی می‌باشد (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 ملاحظه‌ای 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 می‌یابد. به همین منظور برای اطمینان از تأمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد، چاره‌ای جز ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی نیست. از میان تنش‌های محیطی غیر زنده، شاید بتوان گفت تنش خشکی مهم‌ترین عاملی است که از طریق بستن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد محصولات می‌شود (Li et al., 2021). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات محسوب شده و منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی میانگین تولید محصولات زراعی در سرتاسر جهان می‌شود (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 لاین‌های مختلف گندم به تنش خشکی بسیار ضروری و حائز اهمیت می‌باشد. 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 می‌گیرند (Salim et al., 2021). خشکی تا حدودی بر عملکرد گندم در طول فصل رشد تأثیر می‌گذارد، اما کاهش عملکرد بیشتر در مراحل زایشی و پر شدن دانه اتفاق می‌افتد (Cappelli & Cini, 2021). گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین وظایف محققان برای شناسایی، استفاده از تنوع ژنتیکی و معرفی ارقام مقاوم به تنش است. در پژوهشی اظهار داشتند که چهار لاین شامل G41, G116, G123 و G199 لاین‌های 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 می‌کند (Seyf Amiri et al., 2024). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد که محتوای رنگدانه فتوسنتزی گندم تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد؛ این در حالی است که ژنوتیپ‌های متحمل دارای مقادیر بالاتر کلروفیل و درصد کاهش کمتری بودند (Ahmed et al., 2020). همچنین مطالعات متعددی صورت گرفته که نشان می‌دهد عملکرد گندم را می‌توان از طریق توسعه ارقام مقاوم به تنش‌های زیستی و غیرزیستی تا ۲۵ درصد افزایش داد (Afzal et al., 2019; Nehe et al., 2019; Ali et al., 2022 and Amanuel et al., 2018).

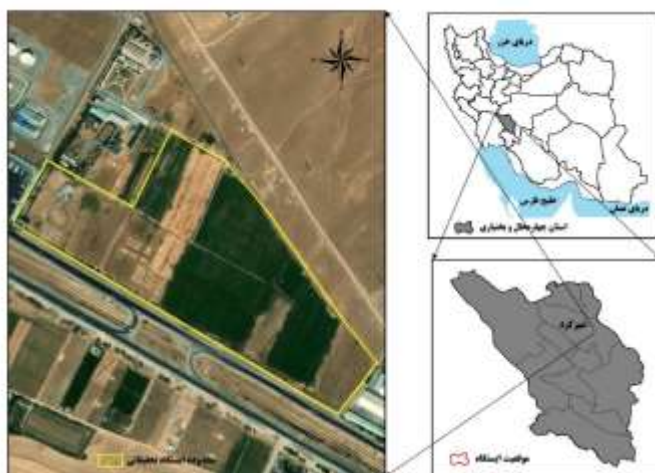
راه حل اساسی برطرف کردن یا به حداقل رسانیدن اثر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، یافتن ژنوتیپ‌هایی می‌باشد که با داشتن مجموعه‌ای از صفات مطلوب و با قابلیت توارث پذیری بالا، بتوانند چنین تنش‌هایی را با حداقل کاهش عملکرد تحمل نمایند. با توجه به این که گندم، مهم‌ترین محصول زراعی در استان چهارمحال و بختیاری است و از طرفی کمبود منابع آبی به ویژه 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 به منظور افزایش تولید به ازای 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

منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته 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).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه - ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته شهرکرد
Fig. 1. Studied area - Shahrekord Four-Fold research station

روش تحقیق:

به منظور تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین آزمون خاک به منظور اطلاع از میزان کوددهی، 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 به منظور 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، مرحله پنجه زنی، 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) به‌دست

آمد. برای تعیین عمق خالص آبیاری در هر نوبت آبیاری باهدف 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 dn : 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. زمان بندی آبیاری بر اساس محاسبات کاهش رطوبت در منطقه ریشه در حد رطوبت سهل الوصول انجام شد. مرز پایین رطوبت سهل الوصول (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 سهل الوصول، 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 اندازه گیری رطوبت خاک در زمان آبیاری و با توجه به مساحت هر کرت و اعمال راندمان آبیاری حجم آب مصرفی به دست آمد. برای اندازه گیری رطوبت خاک از دستگاه TDR استفاده شد. دور آبیاری برای همه تیمارها ثابت در تیمار آبیاری کامل و حداکثر میزان تبخیر و تعرق روزانه محل آزمایش ۷ روزه در نظر گرفته شد به طوری که تنشی به گیاه وارد نشود و همیشه در زمان آبیاری مقدار رطوبت خاک بیشتر از مقدار رطوبت سهل الوصول بود.

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
۰/۰۸۱	۲۶۵	۶/۳	۰/۸۳۸	۷/۷۳	۰/۷۰۹	لوم	۰ - ۳۰	سال اول (First year)
۰/۰۸۶	۳۸۴	۹/۱	۰/۹۱۲	۷/۷۷	۰/۸۰۱	لوم	۰ - ۳۰	سال دوم (Second year)

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

به منظور مقایسه ارقام و لاین های جدید گندم از نظر تحمل تنش خشکی آخر فصل آزمایشی به صورت کرت های خرد شده پلات در قالب طرح بلوک های 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 می باشد.

در این پژوهش، کرت های اصلی شامل زمان قطع آبیاری می باشند که عبارتند 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 گل دهی (عدم انجام چهار آبیاری آخر). تعداد آبیاری و میزان کل مصرف آب برای هر تیمار آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است. تیمارهای فرعی ارقام و لاین های جدید گندم شامل رقم میهن (V1)، رقم حیدری (V2)، لاین امید بخش CD-91-12 (V3)، لاین امید بخش CD-92-6 (V4)، لاین امید بخش CD-93-9 (V5)، لاین امید بخش CD-93-10 (V6) و رقم پیشگام (V7) می باشند. بنابراین، در این پژوهش ۲۱ تیمار در سه تکرار وجود داشت که در مجموع ۶۳ کرت آزمایشی را تشکیل دادند. ابعاد کرت های فرعی ۴×۲ متر در نظر گرفته می شود. کرت های فرعی با فاصله ۱ متر، کرت های اصلی با فاصله ۱ متر و تکرارها با فاصله ۳ متر از هم دیگر جدا می شود. در دهه اول آبان ماه بذرها با تراکم ۴۰۰ پذر در مترمربع پس از ضد عفونی در کرت هایی به مساحت ۸ مترمربع بصورت خطی با فاصله خطوط

۱۵ سانتی متر 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 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.

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) Full irrigation (I1)	۱۱	۲۸ خرداد ماه	۴۳۲۵
قطع آب بعد از مرحله پرشدن دانه (I2) Water is cut off after the grain filling stage (I2)	۹	۱۴ خرداد ماه	۳۵۴۰
قطع آب بعد از مرحله گل دهی (I3) Stop watering after the flowering stage (I3)	۷	۳۱ اردیبهشت	۲۷۵۰

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 به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده گندم در دو سال زراعی

Table 3. Results of the combined analysis of variance of measured wheat traits in two crop years

میانگین مربعات							منابع تغییرات
متوسط طول خوشه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	ارتفاع بوته	عملکرد زیستی	عملکرد دانه در سطح	درجه آزادی	
Average cluster length	Thousand-grain weight	Harvest index	Plant height	Biological performance	Grain yield at the surface	Degree of freedom	Sources of changes
۰/۴۹ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۵۸/۴۳ ^{ns}	۱۳۰/۸۶ ^{ns}	۶۱۳۳ ^{ns}	۱	سال (y)
							Year (y)
۰/۱۷	۱/۷۵	۰/۰۰	۱/۱۳	۱۰۷۹	۴۴۹	۴	خطا y
							Error y
۲/۴۰ ^{**}	۲۱۱۹ ^{**}	۰/۱۵ ^{**}	۸۰۳ ^{**}	۵۹۱۸۷۵۷ ^{**}	۲۵۸۳۹۳۸ ^{**}	۲	قطع آبیاری
							Irrigation interruption
۰/۴۵ ^{ns}	۰/۸۷ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۵/۴۷ ^{ns}	۲۰۹۴ ^{ns}	۸۹۵۳ ^{ns}	۲	سال×قطع آبیاری
							Year × Irrigation cut-off
۰/۰۲	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۵۲	۴۲۴۷	۸۷۷	۸	(خطای a)

۱/۳۲ ^{ns}	۲/۳۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۲۵۱/۰۳ ^{ns}	۳۷۷۳۷ ^{ns}	۱۲۹۲۲ ^{ns}	۶	رقم	(error a)
۰/۷۷ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۱۸/۰۹ ^{ns}	۸۳۲۹ ^{ns}	۸۰۲ ^{ns}	۶	سال × رقم	variety
۰/۱۰ ^{ns}	۱۴/۶۶ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۲۷/۵۱ ^{ns}	۵۰۵۷۷ ^{ns}	۲۰۶۳۵ ^{ns}	۱۲	سال × رقم × قطع آبیاری	Year × variety
۰/۱۹ ^{ns}	۱/۱۴ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۱۷/۶۶ ^{ns}	۱۱۱۷۹ ^{ns}	۲۴۶۳ ^{ns}	۱۲	سال × رقم × قطع آبیاری × قطع آبیاری × رقم	Irrigation cut-off × variety
۰/۱۰	۰/۸۱	۰/۰۰	۳/۶۷	۱۲۸۴	۸۴۰	۷۲	سال × رقم × قطع آبیاری × رقم × قطع آبیاری × رقم × قطع آبیاری × رقم	Irrigation cut-off × variety × year
							(خطای b)	(b)
							(Error b)	
۳/۱۷	۲/۷۸	۵/۵۰	۲/۱۹	۲/۴۹	۴/۸۴		ضریب تغییرات	

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشد

عملکرد دانه

عملکرد دانه مهم ترین معیار انتخاب برای تحمل به خشکی گندم می باشد. نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) نشان داد که اثر سال بر روی عملکرد دانه در واحد سطح معنی دار نشد. اثر قطع آبیاری بر روی عملکرد دانه در واحد سطح یک درصد معنی دار بود. بیشینه و کمینه عملکرد دانه در واحد سطح به ترتیب برابر با ۸/۷۴ و ۳/۹۴ تن در هکتار مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی می باشد (جدول ۴). عملکرد گیاه نتیجه ترکیبی از پاسخ های زیستی گیاه است و هر متغیری که بر سوخت و ساز گیاه در هر مرحله ای از رشد تأثیر گذار باشد می تواند عملکرد را دستخوش تغییر نماید. تنش خشکی با اختلالاتی که در چرخه رشد گیاه ایجاد می کند تأثیر بسزایی بر روی رشد و عملکرد محصولات دارد (Iqbal et al., 2023). همچنین، تنش خشکی به طور چشمگیری بر تمامی اجزای عملکرد دانه گندم اثرات منفی دارد (Ghanem & Al-Farouk, 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 معنی دار نشد. بیشینه و کمینه عملکرد دانه در واحد سطح به ترتیب برابر با ۶/۳۰ و ۵/۵۲ تن در هکتار مربوط به رقم میهن و لاین CD-91-12 تن در هکتار بود که از نظر آماری در سطح یک درصد با هم اختلافی نداشتند (جدول ۴).

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

میانگین صفات	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	ارتفاع بوته	شاخص برداشت	وزن هزار	متوسط طول خوشه
Average traits	در واحد سطح (ton/ha)	(ton/ha)	(cm)	(gr)	دانه (gr)	(cm)
	Grain yield at the surface	Biological performance	Plant height	Harvest index		
تیمار						
treatment						

Average cluster length	Thousand-grain weight					
۹/۸a	۳۲/۴a	۰/۴۱a	۸۸/۳ a	۱۴/۴۹a	۶/۰۵a	سال اول First year
۹/۷ a	۳۲/۳ a	۰/۴۰a	۸۷/۰۰ a	۱۴/۲۹ a	۵/۹۱ a	سال دوم Second year
۱۰/۰ a	۳۹/۵a	۰/۴۷a	۹۱/۸ a	۱۸/۵۴a	۸/۷۴a	زمان پردازش کامل Full processing time
۹/۷a	۳۲/۲b	۰/۳۹b	۸۸/۰ b	۱۳/۴۲b	۵/۲۷b	پر شدن دانه Grain filling
۹/۷ a	۲۵/۳c	۰/۳۵c	۸۳/۱ c	۱۱/۲۲c	۳/۹۴c	آخر گلدهی End of flowering
۹/۵ c	۳۲/۵b	۰/۴۱ a	۹۳/۷ a	۱۴/۶۶ b	۶/۰۹b	CD-93-10
۱۰/۰ ab	۳۲/۳b	۰/۴۰ a	۹۰/۳۱ b	۱۴/۵۷ bc	۵/۹۶b	CD-93-9
۹/۸ b	۳۲/۵b	۰/۴۰ a	۸۸/۳ c	۱۳/۵۵ e	۵/۵۱ d	CD-91-12
۱۰/۱a	۳۱/۹ b	۰/۴۰ a	۸۸/۴ c	۱۴/۰۷ d	۵/۷۴ c	CD-92-6
۹/۴ c	۳۲/۲ b	۰/۴۱ a	۸۶/۱ d	۱۴/۳۹ c	۶/۱۴ ab	Pishgam
۹/۸b	۳۳/۰a	۰/۴۲	۸۳/۶ e	۱۴/۹۳ a	۶/۳۰ a	Mihan
۹/۹b	۳۲/۱b	۰/۴۱ a	۸۳/۱ e	۱۴/۶۰ bc	۶/۱۳ ab	Heydari

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

نتایج اثر متقابل ارقام گندم در مدیریت‌های مختلف قطع آبیاری بر روی عملکرد دانه در واحد سطح معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه عملکرد دانه در ارقام گندم تحت مدیریت‌های مختلف قطع آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح در رقم میهن در تیمار آبیاری کامل به‌میزان ۱۰/۲۶ تن در هکتار به دست آمد ولی در شرایط تنش در دو تیمار قطع آبیاری در زمان گلدهی و پر شدن دانه بیشترین عملکرد دانه 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 دانه بالاتری دارند. در پژوهش Ahmadi Lahijani and Emam (2013)، محاسبه ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی نشان داد که عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی با کلیه صفات به‌جز وزن هزاردانه، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Emam et al., 2007).

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)	عملکرد زیستی (ton/ha)	عملکرد دانه در واحد سطح (ton/ha)	نام رقم یا لاین variety or line name	تیمار آبیاری Irrigation treatment
Thousand-grain weight	Biological performance	Grain yield at the surface		
۳۸/۴c	۱۷/۸۴c	۸/۴۷c	CD-93-10	آبیاری کامل Full irrigation
۳۸/۲cd	۱۷/۷۶c	۸/۴۳c	CD-93-9	
۳۸/۰d	۱۶/۸۲d	۷/۶۸d	CD-91-12	

۳۸/۵c	۱۷/۸۳c	۷/۸۹d	CD-92-6	
۴۰/۵ab	۱۹/۳۹b	۹/۲۳b	Pishgam	
۴۲/۹a	۲۰/۳۰a	۱۰/۲۶a	Mihan	
۴۰/۵ab	۱۹/۸۴ab	۹/۲۲b	Heydari	
۳۳/۵a	۱۴/۰۱a	۵/۳۴a	CD-93-10	
۳۲/۹b	۱۳/۸۴ab	۵/۲۷ab	CD-93-9	قطع آبیاری در مرحله
۳۲/۳bc	۱۳/۰۲c	۵/۱۸c	CD-91-12	پر شدن دانه
۳۱/۲d	۱۳/۰۳c	۵/۳۷a	CD-92-6	Stop irrigation during the seed filling stage.
۳۱/۹c	۱۳/۳۲b	۵/۳۴a	Pishgam	
۳۱/۹c	۱۳/۲۶b	۵/۱۰d	Mihan	
۳۱/۶cd	۱۳/۴۷b	۵/۲۶ab	Heydari	
۲۷/۶a	۱۲/۱۳a	۴/۴۴a	CD-93-10	
۲۵/۸b	۱۲/۱۱a	۴/۱۸ab	CD-93-9	قطع آبیاری در مرحله
۲۵/۳c	۱۰/۸۱c	۳/۶۹bc	CD-91-12	گلدهی
۲۶/۰b	۱۱/۳۳b	۳/۹۸b	CD-92-6	Stop watering during the flowering stage.
۲۴/۱d	۱۰/۴۶c	۳/۸۴b	Pishgam	
۲۴/۳d	۱۱/۲۵b	۳/۵۳c	Mihan	
۲۴/۳d	۱۰/۴۸c	۳/۹b	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 به ترتیب 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) به دست آمد. 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 وزن تر 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.

ارتفاع بوته

به‌طور کلی 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 سانتی متر) و رقم CD-93-10 (۹۳/۷ سانتی متر) می‌باشد (جدول ۴). کاهش رشد رویشی و تکمیل سریع دوره رشد برای کاهش اثرات کم آبی دلیل اصلی کاهش ارتفاع بوته نسبت به شرایط معمول می‌باشد. Ghaed Amini et al., 2021، بیان کردند که قطع آبیاری در تمامی مراحل رشدی گیاه موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه گندم (ارقام یاواروس و بهرنگ) شد. پژوهش Nabati et al., (2022)، نشان

نمودارهای این عناوین بندهارو هم بزرارین : [M1] Commented
در مقاله عملکرد ارتفاع بوته و وزن....

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؛ به طوری که در بین همه تیمارهای آزمایش بالاترین میزان ارتفاع بوته به میزان ۸۷ سانتی متر در تیمار ۶۰۰ بوته در مترمربع و در سطح تیمار بدون تنش خشکی حاصل شد.

شاخص برداشت

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

در پژوهش Mohammadi et al., 2011، مقدار شاخص برداشت طی دو سال زراعی در شرایط فاریاب از ۲۳ تا ۴۹ درصد و در شرایط تنش از ۸ تا ۳۷ درصد متغیر بود. عواملی که باعث تنوع در شاخص برداشت می شوند، متفاوت هستند. این عوامل از طریق تأثیر بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و یا هر دوی آن ها باعث افزایش یا کاهش شاخص برداشت می شوند.

وزن هزار دانه

به طور کلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر روی وزن هزار دانه معنی دار نشد (جدول ۳). نتایج نشان داد اثر قطع آبیاری بر روی وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی دار بود به طوری که 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 بدست آمد (جدول ۴). کمبود رطوبت در اواخر فصل رشد به خصوص قطع آبیاری در مراحل گلدهی موجب می شود تا عمل تشکیل دانه و پر شدن آن به خوبی صورت نگیرد که نتیجه آن چروکیدگی دانه و به دنبال آن کاهش وزن هزار دانه می باشد. Direkvandy et al., 2022 بیان کردند که قطع آبیاری در مرحله ی گلدهی موجب کاهش وزن هزار دانه گندم شده است. اثر رقم بر روی وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی دار نبود (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم میهن بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل ارقام گندم در مدیریت های مختلف قطع آبیاری بر روی وزن هزار دانه در واحد سطح معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه وزن هزار دانه در ارقام گندم تحت مدیریت های 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).

متوسط طول خوشه

به طور کلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر روی متوسط طول خوشه معنی دار نشد (جدول ۳). اثر قطع آبیاری بر متوسط طول خوشه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳)، به طوری که بلندترین طول خوشه مربوط به تیمار آبیاری کامل (۱۰/۰ سانتی متر) به دست آمد (جدول ۴). تنش خشکی بر جذب آب توسط اندام های گیاهی تأثیرگذار است که به دنبال جذب کمتر آب یکسری تغییرات زیستی در گیاه ایجاد می شود که موجب کاهش طول خوشه گیاه می شود. Ghanemand Al-Farouk., 2024، طی مطالعات خود نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش معنی دار طول خوشه می شود. اثر رقم بر روی متوسط طول خوشه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). بلندترین طول خوشه مربوط به لاین CD-92-6 (۱۰/۱۰ سانتی متر) و کوتاه ترین طول خوشه مربوط به رقم پیشگام (۹/۴ سانتی متر) به دست آمد (جدول ۴).

نتیجه گیری

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 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 ۹۳-۱۰ CD- 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 به ازای 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

- Ahmadi Lahijani, & 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 agricultural and horticultural products*, 3 (9), 163-175 [In Persian]. <http://dori.net/dor/201001.1.22518517.1392.3.9.13.6>
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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. and 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, 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.4.578)

Iqbal, B., Li, G., Alabbosh, K.F., 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](https://doi.org/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 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/article-1-1373-fa.html>

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 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)