University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 4, pp. 685-701 (Winter 2025)

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6401.2212

Original article

Effect of different irrigation regimes in different growth stages on yield, yield components and some physiological traits of wheat cultivars in Aran va Bidghol province

S. Tarrah[1], H. Dehghanzadeh[2*], M. Jafarzadeh Kenarsary[3]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Naragh Branch, Islamic Azad University, Naragh, Iran.
2. Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension, Organization (AREEO), Isfahan, Iran
3. Department of Agronomy, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran

Received 21 May 2023; Accepted 23 August 2023

Extended abstract

Introduction

Drought stress, as the most important abiotic stress, plays an important role in reducing crop production. Wheat is the most important crop in Iran. In arid and semi-arid regions, it is very important to obtain cultivars that have more tolerance to water limitation and water deficit irrigation. By achieving such cultivars and determining their tolerance to low irrigation, it is possible to prevent the loss of water resources to a large extent and at the same time obtain a suitable yield in the conditions of water limitation. Although genetic improvements in grain yield under favorable and stress conditions have been clearly seen over the past few decades, the search for genetic differences and more effective selection criteria, especially under stress conditions, should be continued. Investigating the effects of different irrigation regimes in different phonological stages on wheat grain yield and introducing the best irrigation regime for this crop in the dry weather conditions of Aran Va Bidgol region are the main aims of this research.

Materials and methods

In order to evaluate the effect of drought stress on yield, yield components and some physiological traits of three bread wheat cultivars, the experiment was conducted during 2013-2014, in Aran va Bidgol province. A split factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was used. The main plots considered irrigation regimes (irrigation after 60, 95 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan), and sub-plots considered two growth stage (from elongation to heading and from heading to ripening) and three wheat cultivars (Sepahan, Roshan Back-Cross and Kavir) as factorial. Sowing was done by hand with a density of 400 seeds per square meter. Weeds were controlled by mechanical method. In the stages of elongation, heading, pollination and grain filling, the amount of water consumed in each irrigation was estimated for the main plots and was introduced to the plots during irrigation. The SPSS software was used to analyze the data. If the effect of the experimental factor was significant, the LSD test was used at the 5% probability level to compare the means.

* Corresponding author: Hamid Dehghanzadeh; E-Mail: H_dehghanzadeh@areeo.ac.ir

© 2025, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion

Results showed that delay in irrigation from 60 to 130 mm cumulative pan evaporation significantly reduced plant height, number tiller, yield and yield components, harvest index, relative water content, leaf chlorophyll content and increased the wax of coticule and water use efficiency. Irrigation after 90 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan decreased grain yield 12 and 41.8 percent compared controlled, respectively. The reduction of water consumption in mild and severe stress treatments compared to the control treatment was 20 and 43%, respectively. Applying drought stress from the heading to ripening, led to a greater decrease in grain yield and harvest index compared to applying stress from the elongation stage to heading. The Kavir, Sepahan and Back-cross Roshan cultivars had the highest to the lowest grain yield, with 3941, 3868 and 3757 kg. ha^{-1}, respectively. The Kavir cultivar had low plant height, high the wax of coticule (both control and stress conditions), resume high relative water content (both control and stress conditions), high leaf chlorophyll content, harvest index and water use efficiency, caused to higher grain yield.

Conclusion

It was concluded that by irrigation the Kavir wheat cultivar after 95 mm cumulative pan evaporation from elongation to heading, water could be saved by 20% with 12% loss in grain yield under these conditions.

Keywords: Drought Stress, Growth Stages, Relative Water Content, Yield

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6401.2212

مقاله پژوهشی

تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم در منطقه آران و بیدگل

سپیده طراح[۱]، حمید دهقان‌زاده[۲*]، مجتبی جعفرزاده کنارسری[۳]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران

۲. دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان. ایران

۳. گروه زراعت، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تنش خشکی
زیست‌توده
عملکرد
محتوای نسبی آب برگ
مراحل رشدی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۶/۰۱

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۳
۱۷(۴): ۶۸۵-۷۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام گندم، آزمایشی به‌صورت اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار در سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲ اجرا شد. تنش خشکی در سه سطح، شامل آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی (شاهد)، ۹۵ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (به ترتیب به‌عنوان تنش ملایم و تنش شدید) به‌عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری در دو مرحله رشدی S0 (آغاز رشد طولی ساقه تا ظهور گل‌آذین) و S1 (ظهور گل‌آذین تا رسیدگی) و ارقام گندم (سپاهان، بک کراس روشن و کویر) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی جای گرفتند. نتایج نشان داد خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، عملکرد و اجزای عملکرد دانه؛ شاخص برداشت، محتوای نسبی آب برگ و مقدار کلروفیل برگ پرچم و افزایش موم کوتیکول و راندمان مصرف آب گردید. کاهش عملکرد دانه در تیمار خشکی ملایم و شدید در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۲ و ۴۱/۸ درصد بود. میزان کاهش مصرف آب در تیمارهای تنش ملایم و شدید در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۰ و ۴۰ درصد بود. اعمال تنش خشکی از مرحله زایشی منجر به کاهش بیشتر عملکرد دانه و شاخص برداشت در مقایسه با اعمال تنش از مرحله رویشی گردید. ارقام کویر، سپاهان و بک کراس روشن به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین عملکرد دانه و به مقدار ۳۹۴۱، ۳۸۶۸ و ۳۷۵۷ کیلوگرم در هکتار بودند. رقم کویر به دلیل داشتن ارتفاع کمتر بوته، موم کوتیکول بالاتر (در شرایط تنش و شاهد)، حفظ محتوای نسبی آب برگ بالاتر (در شرایط تنش و شاهد)، کلروفیل برگ پرچم بیشتر، شاخص برداشت و راندمان مصرف آب بالاتر دارای عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با دو رقم دیگر بود؛ بنابراین می‌توان از رقم کویر و انجام آبیاری پس از ۹۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی و در مرحله آغاز رشد طولی تا ظهور گل‌آذین، ضمن صرفه‌جویی ۲۰ درصدی در آب مصرفی، تنها کاهش ۱۲ درصدی عملکرد دانه را داشت.

مقدمه

خشکی مهم‌ترین تنش غیر زیستی بوده و نقش مهمی در کاهش عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. خشک‌سالی سال‌های زراعی ۸۹ – ۱۳۹۰ در ایران به‌طور میانگین کاهش‌هایی در حدود ۲ میلیون هکتار در سطح کاشت و ۵ میلیون تن در تولید محصولات زراعی به‌جای گذاشت (Aminian et al., 2011). در مناطق خشک و نیمه‌خشک دستیابی به ارقامی که تحت شرایط محدودیت آب و کم‌آبیاری تحمل بیشتری داشته باشند، بسیار مهم است. با دستیابی به چنین ارقامی و تعیین حد تحمل آن‌ها به کم-آبیاری می‌توان تا حد زیادی از اتلاف منابع آب جلوگیری

* نگارنده پاسخگو: حمید دهقان زاده. پست الکترونیک: H_dehghanzadeh@areeo.ac.ir

نمود و درعین‌حال در شرایط محدودیت آب عملکرد مناسبی به دست آورد (Dehghanzadeh, 2016). سیدک و همکاران (Siddique et al., 2000) گزارش کردند که بهترین راه افزایش عملکرد، تولید پایداری محصول در شرایط کمبود آب و افزایش کاشت ارقام متحمل به خشکی است. پیشرفت‌هایی در عملکرد دانه گندم در طی سالیان گذشته صورت گرفته است، اما جستجو در مورد اختلافات ژنتیکی و معیارهای انتخاب مؤثر بیشتر، بخصوص تحت شرایط تنش باید ادامه یابد (Guttieri et al., 2001).

کاهش تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله گندم در شرایط خشکی توسط محققان گزارش شده است (Guttieri et al., 2001; Eidizadeh et al., 2016; Soleymani, 2016). گوتیری و همکاران (Guttieri et al., 2001) در آزمایشی با اعمال تیمارهای تنش خشکی شامل آبیاری کامل، تنش متوسط بعد از پنجه‌زنی و تنش شدید، اثر معنی‌داری از تیمارهای آبیاری بر تعداد دانه در سنبله را گزارش کردند. اسکندری و کاظمی (Eskandari and Kazemi, 2016) کاهش تعداد دانه در سنبلچه ارقام گندم را با اعمال تنش کمبود آب (قطع کامل آبیاری بعد از مرحله گرده‌افشانی) گزارش کردند. همچنین عیدی‌زاده و همکاران (Eidizadeh et al., 2016) با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری از مرحله دوبرگی تا پر شدن دانه گندم کاهش تعداد پنجه در واحد سطح، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله را گزارش کردند. سلیمانی (Soleymani, 2016) کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله در تیمارهای آبیاری بر اساس ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد را به دلیل تأثیر نامطلوب تنش خشکی بر روی فتوسنتز و تأثیر منفی کاهش میزان فتوسنتز بر روی تعداد دانه‌ها گزارش کرد.

کاهش وزن هزار دانه ارقام گندم در شرایط تنش خشکی را به‌واسطه کاهش ظرفیت ذخیره دانه و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه گزارش شده است (Golfam et al., 2022; Guler, 2002; Eskandari and Kazemi, 2016; Soleymani, 2016). اسکندری و کاظمی (Eskandari and Kazemi, 2016) کاهش وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبلچه و عملکرد دانه ارقام گندم را با اعمال تنش کمبود آب (قطع کامل آبیاری بعد از مرحله گرده‌افشانی) گزارش کردند. همچنین گولر (Guler, 2002) با اعمال چهار تیمار آبیاری شامل آبیاری صفر، آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر در مرحله کاشت، آبیاری ۲۰۰ میلی‌متر در مرحله کاشت و سنبله رفتن و تیمار آبیاری ۳۰۰ میلی‌متر در مراحل کاشت، سنبله رفتن و پر شدن دانه بر ارقام گندم، گزارش کرد که افزایش آب مصرفی موجب افزایش وزن هزار دانه در ارقام شد. گلفام و همکاران (Golfam et al., 2022) با اعمال تیمارهای آبیاری نرمال (حدود هر دو هفته یک‌بار و بر اساس نیاز آبی و شرایط محیطی) و تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و پیش از مرحله تشکیل دانه) کاهش وزن هزار دانه ارقام گندم در شرایط تنش خشکی را به دلیل کاهش ظرفیت ذخیره دانه و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه گزارش کردند.

میزان کلروفیل یکی از عوامل اصلی مؤثر در فرآیند فتوسنتزی بوده و نشان‌دهنده توانایی فتوسنتزی بافت‌های گیاهی است. کمک به ثبات فتوسنتز در شرایط تنش با حفظ غلظت کلروفیل برگ میسر می‌شود (Malek et al., 2019). نتایج آزمایش‌ها نشان داد که طی تنش خشکی محتوی کلروفیل برگ رقم‌های گندم کاهش می‌یابد و رقم‌های متحمل به تنش، کلروفیل برگ بیشتری را نگه داشتند (Gregersen and Holm, 2007).

گزارش‌هایی از افزایش غلظت موم کوتیکول در شرایط خشکی وجود دارد (Ullah et al. 2018; Ullah et al. 2017). قشر مومی روی برگ نفوذپذیری آن را برای آب و دی‌اکسید کربن کاهش می‌دهد و نیز میزان تابش جذب‌شده را کم می‌کند. بسیاری از گیاهان در نواحی خشک، ازنظر تشریحی برگ‌هایی با بشره ضخیم دارند. کوتیکول ضخیم به‌صورت عایقی در برابر تشعشع ورودی عمل می‌کند و درنتیجه تعرق را کاهش می‌دهد و به همراه آن از تبخیر کوتیکولی نیز می‌کاهد.

کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی در ارزن (Khorami and Tohidinejad, 2018)، کینوا (Mostafaee et al., 2023) جو (Siosemardeh et al., 2014) و کالارگراس (Hajmohammadnia Ghalibaf and Selahvarzi, 2012) گزارش گردید. اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه به‌عنوان یک شاخص مهم در شناسایی پاسخ گیاهان به تنش خشکی مطرح است، به‌طوری‌که زیاد بودن میزان آب نسبی برگ و کم بودن سرعت از دست رفتن آب نشان‌دهنده سازگاری به خشکی است و می‌تواند به‌عنوان یک معیار گزینش برای تحمل به خشکی مورداستفاده قرار گیرد (Mostafaee et al., 2023). تغییرات محتوایی رطوبت برگ به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و معیاری از توان

حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Ahmadi and Ceiocemardeh, 2004).

گزارش‌هایی از تأثیر خشکی بر کاهش عملکرد دانه گندم وجود دارد (Malek et al., 2019; Rajaie et al., 2016; Dehghanzadeh, 2019; Soleymani, 2016). دهقان‌زاده (Dehghanzadeh, 2016) کاهش عملکرد دانه گندم در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل نسبت به شاهد را گزارش کرد. این کاهش بیشتر از طریق کاهش تعداد دانه در سنبله ایجاد گردید. سلیمانی (Soleymani, 2016) گزارش کرد تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی کمترین تعداد سنبله بارور در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی در ارقام گندم را در مقایسه با شاهد تولید کردند و بااین‌حال اختلاف بین این دو تیمار تنش معنی‌دار نبود. ملک و همکاران (Malek et al., 2019) در آزمایشی با اعمال تیمارهای آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد، قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی کاهش معنی‌دار عملکرد دانه با افزایش تنش خشکی را گزارش کردند. پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad et al., 2009) با اعمال تیمارهای آبیاری بعد از ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک و در مراحل مختلف رشد گندم تفاوت بسیار معنی‌دار تیمارهای مختلف تنش خشکی نسبت به شاهد، ازنظر عملکرد و اجزای عملکرد گزارش و بیان کردند قطع آبیاری از مرحله‌ی گلدهی به بعد با ۶۴ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد، کمترین عملکرد دانه را سبب شد و کمترین افت عملکرد با ۱۹٪ کاهش نسبت به شاهد مربوط به آبیاری در ۶۰٪ تخلیه رطوبتی از ابتدای مرحله طویل شدن ساقه‌ها تا پایان دوره رشد بود. نصیری خلیل‌اللهی و همکاران (Nasiri Khalilelahi et al., 2020) کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل را ناشی از کاهش فتوسنتز جاری بیان کردند. رجایی و همکاران (Rajaie et al., 2016) هم گزارش کردند که عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی نسبت به آبیاری نرمال به‌واسطه کاهش فتوسنتز و همچنین کاهش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف اجزای گیاه کاهش یافت.

تنش خشکی باعث کاهش ماده خشک تولیدی به‌واسطه پیری و ریزش برگ‌های پایینی گندم می‌شود (Dehghanzadeh, 2019). تنش شدید خشکی می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردیده، این امر جذب CO_2 و فتوسنتز را کاهش داده، باعث کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Muhammad et al., 2016). بااین‌حال ناکاگامی و همکاران (Nakagami et al., 2004) گزارش کردند که با انجام آبیاری تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، ماده خشک کل، کاهش معنی‌داری نیافت که علت آن را کمی شدت تنش، افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای و سرعت فتوسنتز خالص بیشتر در این تیمار بیان نمودند. سالمی و افیونی (Salemi and Afiuni, 2005) هم گزارش کردند با مصرف آب آبیاری به میزان ۸۰ درصد تبخیر و تعرق، وزن هزار دانه ارقام گندم کاهش معنی‌داری نداشت، درحالی‌که با مصرف آب آبیاری به میزان ۶۰ درصد تبخیر و تعرق، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. دهقان‌زاده و همکاران (Dehghanzadeh et al., 2010) گزارش کردند تیمارهای آبیاری پس از ۷۵ و ۹۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی، در صفات مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری نداشتند و تأخیر در آبیاری از ۹۵ به ۱۱۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای آن در گندم گردید.

با توجه به کمبود آب در اصفهان و اختصاص آب آبیاری به محصولات اقتصادی‌تر نظیر صیفی‌جات، دستیابی به حد آستانه کاهش مصرف آب آبیاری، امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین با توجه به این‌که گندم جزو مهم‌ترین محصول زراعی استان اصفهان است و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی این استان، بررسی تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و مرحله رشدی اعمال کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم و معرفی متحمل‌ترین رقم به کم‌آبیاری در منطقه آران و بیدگل از اهداف این بررسی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در منطقه یحیی‌آباد شهرستان آران و بیدگل و در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام گرفت. منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقه است. ارتفاع محل آزمایش ۹۱۲ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۱۰۸/۲ میلی‌متر است. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

آزمایش به‌صورت اسپیلت فاکتوریل و طرح پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تنش خشکی در سه سطح، شامل آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی (شاهد)، ۹۵ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (به ترتیب به‌عنوان تنش ملایم و تنش شدید)

به‌عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. اعمال تیمارهای کم-آبیاری در دو مرحله رشدی S0 (آغاز رشد طولی ساقه تا ظهور گل‌آذین) و S1 (ظهور گل‌آذین تا رسیدگی) و ارقام گندم (سپاهان، بک‌کراس‌روشن و کویر) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کارایی مصرف آب آبیاری ۵۵ درصد در نظر گرفته شد (Mamanpoush et al., 2002). با توجه به مشخصات هواشناسی محل آزمایش، ضریب تشت با استفاده از روابط فائو ۰/۸ به دست آمد (Doorenbos and Pruitt, 1977). ضریب گیاهی نیز در طول فصل زراعی از ۰/۴ تا ۱/۳ متغیر بود. میزان ظرفیت ذخیره خاک (Fc-Pwp) از ۱۷ درصد در سطح تا ۱۵/۵ درصد وزنی در اعماق مختلف متغیر بود. درصد حجمی رطوبت خاک در حالت اشباع، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی به ترتیب ۳۶/۵، ۲۹/۶۷ و ۱۴/۰۶ درصد بود. درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری در تیمارهای شاهد، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۲۲/۵، ۱۷/۱ و ۱۳/۸ بود. هر کرت شامل ۱۴ خط کاشت شش متری با فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله کرت‌های اصلی دو متر بود. میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر با کود سوپر فسفات تریپل و مقدار ۶۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار قبل از کاشت و همچنین ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک و در هنگام شروع رشد طولی ساقه به زمین داده شد. تاریخ کاشت ۲۵ آبان و تراکم حدود ۴۰۰ بذر در واحد سطح بود. کنترل علف‌های هرز با دست صورت گرفت.

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش (۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1. Chemical and physical properties of soil at the depth of 0-30 cm

بافت خاک (Soil texture)	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیتروژن کل Total nitrogen	ماده آلی Organic matter	پتاسیم K	فسفر P	pH	هدایت الکتریکی Ec
	----------%----------					-------pm-------			$ds.m^{-1}$
Silty clay loam	40	35	25	0.034	0.2	220	10	7.5	2.7

در مراحل ساقه‌رفتن، گرده‌افشانی و پر شدن دانه، با استفاده از رابطه (۱) میزان آب مصرفی در هر آبیاری جهت کرت‌های اصلی برآورد و در هنگام آبیاری از طریق سرریز به کرت‌ها وارد گردید (Hassanli, 2000).

$$VW = [(FC-SM).\ Bd.\ D.\ A] \qquad [۱]$$

در این رابطه VW حجم آب مصرفی در هر آبیاری (برحسب مترمکعب)، FC درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، SM درصد وزنی رطوبت خاک در هنگام نمونه‌برداری، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D عمق توسعه ریشه گیاه (متر) و A مساحت کرت اصلی (مترمربع) است. مقدار آب مصرفی در تیمارهای شاهد، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۶۹۹۷، ۵۶۰۳ و ۳۹۶۵ مترمکعب در هکتار به دست آمد. برای مشخص کردن درصد وزنی رطوبت خاک به‌منظور محاسبه میزان آب موردنیاز، از سه قسمت مختلف هر کرت نمونه‌هایی تا عمق توسعه ریشه برداشت گردید. بلافاصله وزن مرطوب توزین و سپس به مدت ۱۲ ساعت در آون با حرارت ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد جهت تعیین وزن خشک آن قرار داده شد (Varavipour, 2011). در دو مرحله S0 و S1 محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۲) محاسبه شد (Schonfeld et al., 1988).

$$LRWC = \frac{W_F - W_D}{W_t - W_D} \times 100 \qquad [۲]$$

در این رابطه W_t وزن آماس نمونه‌های برگی، W_F وزن تازه برگ و W_D وزن خشک برگ برحسب گرم است. برای اندازه-گیری محتوای نسبی آب برگ، از هر کرت، تعداد ۱۰ برگ کاملاً توسعه‌یافته و جوان انتخاب و آن‌ها را داخل کیسه نایلونی قرار داده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید. از نمونه‌های برگی، دیسک‌هایی به مساحت ۰/۵ سانتیمترمربع انتخاب شد. سپس وزن تازه این دیسک‌ها را اندازه‌گیری و بلافاصله در پتری‌دیش و در آب مقطر به مدت شش ساعت و در تاریکی قرار داده شد تا به حالت آماس برسد. سپس با استفاده از یک پارچه، بدون اعمال هیچ گونه فشاری، رطوبت سطحی نمونه‌ها گرفته شده و توزین گردید تا وزن آماس به دست آید. سپس نمونه‌های برگی در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری موم کوتیکول، سه نمونه یک سانتی‌مترمربعی از برگ را در زمان اعمال تنش در مراحل مختلف (رشد رویشی و زایشی) جدا کرده، در یک ظرف حاوی ۱۰ میلی‌لیتر محلول تتراکلرید کربن به مدت ۳۰ ثانیه شستشو داده شد. سپس عصاره حاصل که حاوی موم بود را روی حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار

داده و تا آب آن تبخیر و باقیمانده موم برای هر سانتی‌مترمربع برحسب میلی‌گرم توزین شد (Ahmad et al., 2011). کلروفیل برگ پرچم در مراحل رویشی و زایشی و پس از اعمال تیمارهای آبیاری با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD ۵۰۲ Plus ساخت کمپانی Konica Minolta ژاپن تعیین گردید. در هنگام رسیدگی، از سطح یک مترمربع با حذف حاشیه گیاهان برداشت و ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، عملکرد و اجزای عملکرد دانه به دست آمد. با تقسیم عملکرد دانه به عملکرد کل، شاخص برداشت به دست آمد. از تقسیم عملکرد دانه به مقدار آب مصرفی بهره‌وری آب عملکرد دانه به دست آمد (Dehghanzadeh, 2016). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mstat-c تجزیه‌وتحلیل شد. از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

تأثیر تنش خشکی و رقم بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مرحله نموی اعمال خشکی بر ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و ارقام بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد بیشترین ارتفاع بوته در رقم بک‌کراس و تیمار شاهد و به میزان ۱۰۰/۷۵ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته برای رقم کویر در تیمار تنش خشکی شدید و به میزان ۷۳/۷۵ سانتی‌متر به دست آمده است (جدول ۳). کاهش ارتفاع بوته در ارقام بک‌کراس روشن، سپاهان و کویر در شرایط تنش شدید در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۰/۶، ۲۰/۸ و ۱۲/۲ درصد بود (جدول ۴). کاهش ارتفاع بوته در شرایط خشکی توسط سایر محققان گزارش گردید که با نتایج این بررسی همسو است (Aghcheli et al., 2021; Paknejad et al., 2009; Eidizadeh et al., 2016). افزایش ارتفاع در شرایط آبیاری کامل می‌تواند به دلیل رشد مناسب گیاه و دسترسی کافی ریشه به عناصر غذایی خاک در شرایط بدون تنش باشد (Eidizadeh et al., 2016). ارقام اختلاف معنی‌داری در ارتفاع بوته داشتند که با نتایج عیدی‌زاده و همکاران (Eidizadeh et al., 2016) و آقچه‌لی و همکاران (Aghcheli et al., 2021) همسو است.

تعداد پنجه بارور در بوته

تأثیر تنش خشکی و مرحله نموی اعمال تنش بر تعداد پنجه معنی‌دار بود (جدول ۲). بااین‌حال ارقام اختلاف معنی‌داری در تعداد پنجه نداشتند (جدول ۲). اثر متقابل تنش خشکی × مرحله نموی و تنش خشکی × رقم بر تعداد پنجه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد پنجه در رقم کویر در تیمار شاهد و به تعداد ۳/۸۵ و کمترین در رقم سپاهان و در تنش شدید و به تعداد ۱/۹۵ مشاهده گردید (جدول ۴). بااین‌حال کاهش تعداد پنجه در شرایط تنش ملایم و تنش شدید در رقم کویر بیشتر از دو رقم دیگر بود (جدول ۴). مقایسه اثرات متقابل تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی نشان داد آبیاری پس از ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر و از ساقه‌رفتن تا سنبله‌دهی و آبیاری پس از ۹۵ میلی‌متر تبخیر و از مرحله تشکیل گل‌آذین تا رسیدگی به ترتیب منجر به بیشترین و کمترین کاهش تعداد پنجه در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۵). کاهش تعداد پنجه‌های بارور در شرایط خشکی با نتایج آقچه‌لی و همکاران (Aghcheli et al., 2021)، عیدی‌زاده و همکاران (Eidizadeh et al., 2016) و سلیمانی (Soleymani, 2016) همسو است که بیان داشتند در شرایط رطوبت مناسب، به دلیل دسترسی کافی به آب در مرحله پنجه‌زنی و جذب بیشتر عناصر غذایی، تعداد پنجه بیشتری در مقایسه با تنش خشکی تولید می‌شود. تنش در مرحله رویشی منجر به کاهش بیشتر تعداد پنجه در مقایسه با مرحله زایشی گردید که با نتایج صنوبر و همکاران (Senobar et al., 2011) همسو است. آن‌ها بیان داشتند در اوایل دوره رشد به دلیل عدم محدودیت رطوبتی خاک، تعداد پنجه‌های زیادی تولید شد، ولی در ادامه روند رشد، تخلیه رطوبت خاک توسط پنجه‌ها و تنش آبی اعمال‌شده (بخصوص در تیمارهای رطوبتی با فواصل آبیاری بیشتر) منجر به اتلاف رطوبت و از بین رفتن درصد بالاتری از پنجه‌ها می‌گردد.

تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله

تأثیر تنش خشکی و مرحله نموی اعمال تنش بر تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲). بااین‌حال ارقام اختلاف معنی‌داری در تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله نداشتند (جدول ۲). با افزایش خشکی تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله کاهش معنی‌داری داشت به‌طوری‌که کاهش تعداد سنبلچه در سنبله در تنش ملایم و شدید در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۲/۴ و ۴۵/۷ درصد و کاهش تعداد دانه در سنبله در تنش ملایم و

شدید در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۰/۰ و ۵۰ درصد بود (جدول ۳). تعداد سنبلچه در سنبله در اعمال تنش در مرحله رویشی ۲۹/۲ درصد کمتر از اعمال تنش در مرحله زایشی بود (جدول ۳). همچنین تعداد دانه در سنبله در اعمال تنش در مرحله زایشی ۲۰/۳ درصد کمتر از اعمال تنش در مرحله رویشی بود (جدول ۳). کاهش تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش خشکی به‌واسطه دلیل تأثیر نامطلوب تنش خشکی بر روی فتوسنتز و تأثیر منفی کاهش میزان فتوسنتز بر روی تعداد دانه در سنبله توسط اسکندری و کاظمی (Eskandari and Kazemi, 2016) گوتیری و همکاران (Guttieri et al., 2001) و دهقان‌زاده (Dehghanzadeh, 2010) گزارش گردید که با نتایج این تحقیق همسو است. تنش در مرحله رشد زایشی منجر به کاهش بیشتر تعداد دانه در سنبله گردید. کاهش رطوبت در مراحل بحرانی رشد ازجمله مرحله گرده‌افشانی (لقاح) و حساسیت دانه‌های گرده به کمبود رطوبت منجر به کاهش تعداد دانه تولیدی در هر سنبله (ظرفیت مقصد) می‌گردد (Senobar et al., 2011).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه تحت تأثیر شدت تنش، مرحله اعمال تنش و رقم قرار گرفت (جدول ۲). اثر متقابل تنش خشکی × مراحل نموی × رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار شاهد در مرحله رویشی در رقم کویر و به میزان ۵۴/۴ گرم و کمترین وزن هزار دانه در رقم سپاهان و تنش شدید و اعمال تنش در مرحله زایشی و به میزان ۳۰ گرم به دست آمد (شکل ۱). خشکی به‌واسطه کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها، کاهش ظرفیت ذخیره دانه و اختلال در راندمان جذب و تأثیرپذیری ریشه‌ها و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه باعث کاهش وزن دانه گردید که با نتایج سایر محققان (Golfam et al., 2022; Rajaie et al., 2016; Malek et al., 2019) همسو است.

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام گندم تحت تیمارهای آبیاری مختلف و مراحل مختلف نموی

Table 2. Analysis of variance for yield and yield components of wheat cultivars under different irrigation regimes and different growth stages

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	کلروفیل برگ پرچم Flag leaf chlorophyll	وزن هزار دانه 1000-grain weight	تعداد دانه در سنبله Number grain per spike	تعداد سنبلچه در سنبله Number spikelet per spike	تعداد پنجه بارور در بوته Number tiller	ارتفاع بوته Plant height
تکرار Replication	2	28.48	0.858	0.297	2.755	1.777	58.77
تیمارهای آبیاری Irrigation regimes (I)	2	449.021**	10.935**	11.856**	189.397**	7.497**	910.52**
خطای الف Error A	2	7.512	1.481	0.196	0.335	0.337	10.36
مرحله‌ی نمو Growth stage (G)	1	35.323*	1.345**	3.115**	3.156*	0.284*	13.44^{ns}
ارقام Cultivars (C)	2	19.109*	0.228**	0.081^{ns}	1.226^{ns}	0.031^{ns}	301.19**
آبیاری × مرحله نمو I × G	2	10.917*	0.011^{ns}	0.044^{ns}	0.747^{ns}	0.297*	3.69^{ns}
آبیاری × ارقام I × C	4	0.0075^{ns}	0.014^{ns}	0.076 ^{ns}	0.417^{ns}	0.206*	44.77**
مرحله نمو × ارقام G × C	2	0.008^{ns}	0.009^{ns}	0.014^{ns}	1.870^{ns}	0.071^{ns}	1.19^{ns}
تنش×مرحله‌نمو×ارقام I × G × C	4	0.063^{ns}	0.033*	0.002^{ns}	0.319^{ns}	0.069^{ns}	1.44^{ns}
خطای ب Error B	32	1.321	0.721	1.24	0.097	0.121	2.31
ضریب‌تغییرات(%) CV	-	*2.1*	*2.2*	*3.0*	*17.5*	*12.8*	*1.8*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	بهره‌وری آب WUE	شاخص برداشت HI	ماده خشک کل Total dry matter	عملکرد دانه Grain yield	محتوای نسبی آب برگ RWC	مقدار موم کوتیکول Coticule wax
تکرار Replication	2	0.09 ^{ns}	26.33^{ns}	3693802.7^{ns}	16343.3^{ns}	0.05^{ns}	0.028^{ns}
تیمارهای آبیاری Irrigation regimes (I)	2	0.1506*	1148.78**	9189810.7*	6676540.1**	1448.78**	15.1**
خطای الف Error A	2	0.1029	3.813	1447890.1	32290.7	3.812	0.035
مرحله‌ی نمو Growth stage (G)	1	0.0931*	8.151**	1538426.6^{ns}	28506.6*	8.155**	0.017*
ارقام Cultivars (C)	2	0.1198*	16.384**	103973.7*	310380.1**	16.38**	0.35**
آبیاری × مرحله نمو I × G	2	0.0150^{ns}	0.0201^{ns}	77945.1^{ns}	4830.7^{ns}	0.201*	0.0089^{ns}
آبیاری × ارقام I × C	4	0.290**	0.273^{ns}	17252.1^{ns}	7405.1^{ns}	0.273*	0.0081*
مرحله‌نمو × ارقام G × C	2	0.0217^{ns}	0.130^{ns}	17681.4^{ns}	3508.5^{ns}	0.13^{ns}	0.001^{ns}
تنش×مرحله نمو× ارقام I × G × C	4	0.0425*	0.002^{ns}	26374.3^{ns}	12351.1^{ns}	0.002^{ns}	0.0014^{ns}
خطای ب Error B	32	0.0151	1.431	143241	12331.7	0. 931	0.009
ضریب تغییرات CV (%)	-	*17.2*	*3.2*	*3.6*	*2.8*	*1.3*	*1.3*

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

Ns, *, **: Non significant and significant at the 5 and 1% level of probability respectively

جدول ۳. اثر ساده تیمارهای آبیاری و مراحل نموی عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی ارقام گندم

Table 3. The simple effect of irrigation regimes and growth stage on yield components and morphological traits of whet cultivars

تیمارهای آزمایش Treatments		شاخص برداشت HI	عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در سنبله Number grain per spike	سنبلچه در سنبله Number spikelet per spike
		%	Kg.ha^{-1}	Kg.ha^{-1}		
Irrigation	آبیاری					
Controlled	شاهد	41.37^{a}	11378^{a}	4707^{a}	48.4^{a}	17.4^{a}
I_1	تنش ملایم	36.73^{b}	10693^{b}	4131^{b}	38.2^{b}	13.5^{b}
I_2	تنش شدید	32.62^{c}	8975^{c}	2738^{c}	24.1^{c}	9.4^{c}
Growth stage	مرحله رشدی					
S0	رویشی	37.57^{a}	10458^{a}	3930^{a}	40.3^{a}	11.4^{b}
S1	زایشی	36.77^{b}	10308^{b}	3791^{b}	33.1^{b}	15.7^{a}
Cultivar	رقم					
Roshan- back-cross	بک‌کراس روشن	37.1^{b}	10129^{b}	3757^{b}	37.1^{a}	13.7^{a}
Sepahan	سپاهان	35.9^{c}	10774^{a}	3868^{ab}	36.9^{a}	13.2^{a}
Kavir	کویر	38.2^{a}	10170^{ab}	3941^{a}	36.7^{a}	13.2^{a}

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون با حداقل در یک حرف مشترک با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

All means followed by the same letter(s) in column are not significantly different at the 5% probability level by LSD test. 1: Controlled, I_1 and I_2: irrigation after 60, 95 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan. Respectively. 2: S_0: From elongation to heading phase; S_1: From heading to ripening phase

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

Treatments	تیمارهای آزمایش	بهره‌وری آب WUE	محتوای نسبی آب برگ RWC	موم کوتیکول Cuticle wax	کلروفیل برگ Leaf chlorophyll
		----------%----------		---------mg. g-1. fresh weight----------	
Irrigation	**آبیاری**				
Controlled	**شاهد**	0.69b	81.93a	5.86c	60.37a
I1	**تنش ملایم**	0.72a	73.95b	7.47b	55.84b
I2	**تنش شدید**	0.72a	62.47c	8.02a	48.26c
2Growth stage	**مرحله رشدی**				
S0	**رویشی**	0.72a	74.32a	7.24a	55.89a
S1	**زایشی**	0.70b	71.24b	6.98b	53.86b
Cultivar	**رقم**				
Roshan- back-cross	**بک کراس روشن**	0.69b	72.70ab	7.11ab	54.30b
Sepahan	**سپاهان**	0.71ab	71.64b	6.95b	53.33b
Kavir	**کویر**	0.73a	73.98a	7.29a	56.82a

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

All means followed by the same letter(s) in column are not significantly different at the 5% probability level by LSD test. 1: Controlled, I_1 and I_2: irrigation after 60, 95 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan. Respectively. 2: S_0: From elongation to heading phase; S_1: From heading to ripening phase

جدول ۴. اثر متقابل تیمارهای آبیاری و رقم بر برخی صفات مورد مطالعه ارقام گندم

Table 4. The interaction effects of irrigation regimes and wheat cultivars on some traits of wheat

تیمار آبیاری Irrigation tratments	رقم Cultivar	موم کوتیکول Cuticle wax	محتوای نسبی آب برگ RWC	تعداد پنجه Number tiller	ارتفاع بوته Plant height
		mg.g-1 fresh weight	%		cm
شاهد Controlled	**بک کراس روشن Roshan- back-cross**	8.56de	81.82ab	3.6ab	100.75a
	سپاهان Sepahan	5.66e	80.52b	3.25b	97.0ab
	کویر Kavir	6.08d	83.45a	3.85a	84.0c
تنش ملایم I1	**بک کراس روشن Roshan- back-cross**	7.48c	73.94cd	2.65c	88.5b
	سپاهان Sepahan	7.35c	72.94d	2.45cd	82.75cd
	کویر Kavir	7.60bc	74.96c	2.7c	79.0d
تنش شدید I2	**بک کراس روشن Roshan- back-cross**	8.01ab	62.39ef	2.0d	80.0d
	سپاهان Sepahan	7.86b	61.48f	1.95d	76.75de
	کویر Kavir	8.21a	63.54e	2.02d	73.75e

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

All means followed by the same letter(s) in column are not significantly different at the 5% probability level by LSD test1: Controlled, I_1 and I_2: irrigation after 60, 95 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan. respectively

رقم کویر که در شرایط نرمال دارای بالاترین وزن هزار دانه بود در تیمارهای تنش شدید و ملایم و در هر دو مرحله اعمال تنش خشکی نیز نسبت به دو رقم دیگر بالاترین وزن هزار دانه را داشت. تفاوت وزن هزار دانه ارقام در شرایط

مختلف رطوبتی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Senobar et al., 2011; Afyooni et al., 2015; Eskandari and Kazemi, 2016).

محتوای نسبی آب برگ

تأثیر تنش خشکی، مرحله اعمال خشکی و رقم و اثرات متقابل تنش خشکی × مرحله اعمال تنش و تنش خشکی × رقم بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × مرحله اعمال تنش نشان داد بالاترین میزان محتوای نسبی آب برگ در شرایط بدون تنش در مرحله‌ی رویشی (۸۲/۲۸) و کمترین میزان مربوط به تنش شدید در مرحله‌ی زایشی (۶۱/۹۹) به دست آمده است (جدول ۵).

جدول ۵. اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مرحله نموی برخی صفات موردمطالعه ارقام گندم

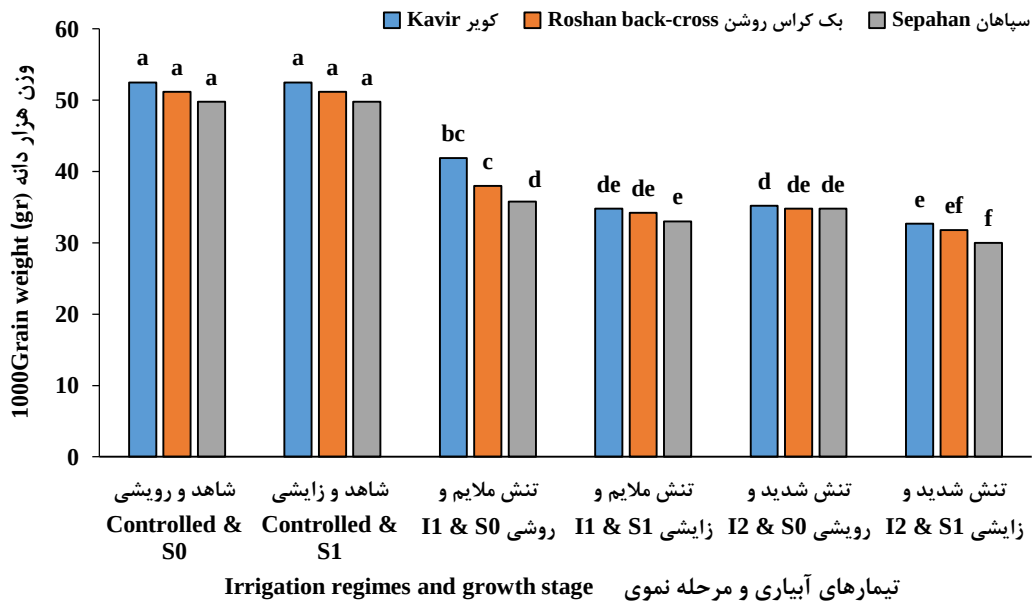
Table 5. The interaction effects of irrigation regimes and growth stage on some traits of wheat cultivars

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments[1]	مرحله رشدی Growth stage[2]	محتوای نسبی آب برگ RWC	کلروفیل برگ Leaf chlorophyll	تعداد پنجه Number tiller
		%	mg.g-1 Wet weight	
شاهد Controlled	S_0 رویشی	82.28^{a}	61.96^{a}	3.83^{a}
	S_1 زایشی	81.58^{a}	58.79^{b}	3.30^{ab}
تنش ملایم S_0	S_0 رویشی	74.55^{b}	55.95^{c}	2.16^{c}
	S_1 زایشی	73.34^{b}	55.73^{c}	2.63^{b}
تنش شدید S_1	S_0 رویشی	62.94^{c}	49.76^{d}	1.83^{d}
	S_1 زایشی	61.99^{c}	46.77^{e}	2.56^{bc}

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

All means followed by the same letter(s) in column are not significantly different at the 5% probability level by LSD test.

1: Controlled, I_1 and I_2: irrigation after 60, 95 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan. Respectively. 2: S_0: From elongation to heading phase; S_1: From heading to ripening phase



شکل ۱. اثر متقابل تیمارهای آبیاری، مرحله نموی و رقم بر وزن هزار دانه

Fig. 1. The interaction effect of irrigation regimes, growth stage and cultivar in 1000-grain weight. Controlled, I_1 and I_2: irrigation after 60, 95 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan. Respectively. S_0: From elongation to heading phase; S_1: From heading to ripening phase

همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × رقم نشان داد بالاترین میزان محتوای نسبی برگ در تیمار بدون تنش و در رقم کویر (۸۳/۴۵) و کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار تنش شدید در رقم سپاهان (۶۱/۴۸) به دست آمده است (جدول ۴). کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی در ارزن (Khorami and Tohidinejad, 2018)، کینوا (Mostafaee et al., 2023)، جو (Siosemardeh et al., 2014)، کالارگراس (Hajmohammadnia Ghalibaf and Selahvarzi, 2012) گزارش گردید. موسی (Mussa, 2006) بیان نمود که تنش باعث تخریب غشای سلول، افزایش نشت مواد محلول به بیرون و درنتیجه کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود. تغییر محتوایی رطوبت برگ به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Ahmadi and Ceiocemardeh, 2004).

موم کوتیکول

تأثیر تنش خشکی، مرحله اعمال خشکی، رقم و اثر متقابل تنش خشکی × رقم بر مقدار موم کوتیکول معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه اثر متقابل خشکی × رقم نشان داد کمترین میزان موم کوتیکول در تیمار بدون تنش خشکی در رقم سپاهان و به مقدار ۵/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و بالاترین میزان موم کوتیکول در تیمار تنش خشکی شدید در رقم کویر و به میزان ۸/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده گردید (جدول ۴). افزایش شدت تنش خشکی و همچنین اعمال خشکی از مرحله رویشی باعث افزایش موم کوتیکول گردید که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Ullah et al., 2018; Ullah et al., 2017; Ahmad et al., 2011). توجه به اینکه تبخیر و تعرق گیاهی هم از طریق روزنه‌های برگ و هم مقداری از آن از طریق کوتیکول صورت می‌گیرد، می‌توان چنین بیان نمود که گیاه گندم در شرایط تنش خشکی جهت جلوگیری از خروج آب از طریق برگ، باوجود آسیب به غشای سلولی، اقدام به کاهش تبخیر و تعرق از طریق کوتیکول به واسطه افزایش موم کوتیکول می‌نماید (Ullah et al., 2017). معمولاً تلفات از کوتیکول کم است، ولی در شرایط تنش خشکی همین مقدار اندک می‌تواند نقش مؤثری به‌خصوص در مراحل بحرانی رشد گیاه داشته باشد. لذا باید به‌عنوان یک هدف این تلفات را به حداقل خود کاهش داد. تحقیقات خزاعی و کافی (Khazaei and Kafi, 2003) نشان داده که کوتیکول ضخیم‌تر و مومی‌تر باعث کاهش این تلفات می‌شود.

کلروفیل برگ پرچم

تأثیر تنش خشکی، مرحله اعمال خشکی، رقم و اثر متقابل تنش خشکی × مرحله اعمال تنش بر مقدار کلروفیل برگ پرچم معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین میزان کلروفیل برگ پرچم در تیمار بدون تنش خشکی در مرحله‌ی رویشی و به میزان ۶۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین میزان کلروفیل برگ در تیمار تنش خشکی شدید در مرحله‌ی زایشی و به میزان ۴۶/۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمده است (جدول ۵). همچنین ارقام کویر، بک‌کراس روشن و سپاهان به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین مقدار کلروفیل برگ پرچم بودند (جدول ۳). این ارقام به ترتیب دارای بیشترین مقدار موم کوتیکول و محتوای نسبی آب برگ هم بودند (جدول ۳). کلروفیل برگ پرچم تحت تنش کاهش یافت که با نتایج سایر محققان همسو است (Malek et al., 2019; Gregersen and Holm, 2007). حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند. نتایج آزمایش‌ها ملک و همکاران (Malek et al., 2019) نشان داد طی تنش خشکی محتوی کلروفیل برگ رقم‌های گندم کاهش یافتد. محققان نشان دادند که رقم‌های متحمل به تنش، کلروفیل برگ بیشتری را نگه داشتند (Gregersen, and Holm, 2007). دلیل کاهش کلروفیل در شرایط تنش به آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده که این آنزیم در ساخت مجدد پروتئین برای گیاهی که با تنش مواجه شده نقش دارد و پروتئین‌هایی که با کلروفیل کمپلکس تشکیل داده‌اند را برای ساخت پروتئین‌های جدید موردنیاز گیاه از آن جدا و باعث تخریب آن کلروفیل می‌شود (Severino and Auld, 2013). به‌طورکلی می‌توان گفت کاهش مقادیر کلروفیل تحت تنش خشکی به علت تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتز آن است (Afshar Mohamadian et al., 2018). در یک بررسی مشابه روی اثر تنش خشکی انتهای فصل در ارقام گندم مشخص شد مقدار کلروفیل و کاروتنوئید تحت شرایط تنش آبی در هر دو رقم گندم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Gupta et al., 2012).

عملکرد دانه

تأثیر تنش خشکی، مرحله اعمال خشکی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین عملکرد دانه در تیمار بدون تنش و کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار تنش شدید به دست آمده است (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه در تیمارهای خشکی ملایم و خشکی شدید در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۲ و ۴۱/۸ درصد بود (جدول ۳). همچنین اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی در مقایسه با مرحله رویشی منجر به کاهش بیشتر عملکرد دانه گردید (جدول ۳). اختلاف ارقام در عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). ارقام کویر، سپاهان و بک‌کراس روشن به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین عملکرد دانه بودند (جدول ۳). این ارقام به ترتیب داری بیشترین تا کمترین تعداد پنجه بارور، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزار دانه بودند (جدول ۳). همچنین بالاتر بودن عملکرد دانه رقم کویر را می‌توان به بالاتر بودن کلروفیل برگ پرچم، موم کوتیکول و محتوای نسبی بالاتر آب برگ نسبت به دو رقم دیگر نسبت داد (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه تحت شرایط خشکی با تحقیقات سایر محققان (Dehghanzadeh, 2016; Malek et al., 2019; Golfam et al., 2022; Rajaie et al., 2016) مطابقت دارد. عیدی‌زاده و همکاران (Eidizadeh et al., 2016) گزارش کردند که عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی به‌واسطه کاهش تعداد پنجه در واحد سطح، تعداد سنبله در واحد سطح و وزن هزار دانه کاهش یافت. رجایی و همکاران (Rajaie et al., 2016) هم گزارش کردند که عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی نسبت به آبیاری نرمال به‌واسطه کاهش فتوسنتز و همچنین کاهش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف اجزای گیاه کاهش یافت. همچنین دهقان‌زاده (Dehghanzadeh, 2016) کاهش عملکرد دانه گندم در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل نسبت به شاهد را گزارش کرد. این کاهش بیشتر از طریق کاهش تعداد دانه در سنبله ایجاد گردید، درحالی‌که نورمند و همکاران (Nourmand et al., 2001) کاهش وزن دانه را علت اصلی کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش گزارش کردند. این اختلاف‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت در شرایط و مواد آزمایشی باشد. رقم کویر دارای عملکرد دانه بالاتری بود. این رقم دارای بیشترین موم کوتیکول در برگ بود که منجر به حفظ محتوای نسبی بالای آب و کلروفیل برگ پرچم شود. این عوامل منجر به حفظ ظرفیت فتوسنتزی این رقم و درنتیجه بیشتر بودن تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت و نهایتاً بالاتر بودن عملکرد دانه گردید.

ماده خشک کل

تأثیر تنش خشکی و رقم بر ماده خشک کل معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش ملایم و شدید به ترتیب منجر به کاهش ۶ و ۲۱ درصدی ماده خشک کل در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شاهد دلیل این کاهش بود (جدول ۳). ارقام تفاوت معنی‌داری در عملکرد بیولوژیکی داشتند به‌طوری‌که ارقام سپاهان، کویر و بک‌کراس روشن به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین عملکرد بیولوژیکی بودند (جدول ۳). کاهش زیست‌توده تحت شرایط خشکی توسط سایر محققان گزارش گردید (Dehghanzadeh, 2019; Abdoli et al., 2013; Paknejad et al., 2009) تنش خشکی باعث کاهش ماده خشک تولیدی بواسطهٔ پیری و ریزش برگ‌های پایینی گندم می‌شود (Dehghanzadeh, 2019). تنش شدید خشکی می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردد، این امر جذب CO_2 و فتوسنتز را کاهش داده، باعث کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Muhammad et al., 2016).

شاخص برداشت

شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی، مرحله اعمال خشکی و رقم قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش خشکی از شاهد به تنش ملایم و تنش شدید، شاخص برداشت به ترتیب ۱۱/۱، ۲۱/۱ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داشت (جدول ۳). همچنین اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی منجر به کاهش ۲/۱ درصدی شاخص برداشت در مقایسه با مرحله رویشی گردید (جدول ۳). ارقام تفاوت معنی‌داری در شاخص برداشت داشتند و ارقام کویر، بک‌کراس روشن و سپاهان به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین شاخص برداشت بودند (جدول ۳). تنش خشکی باعث کاهش شاخص برداشت گردید که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Eidizadeh et al., 2016; Senobar et al., 2011; Eskandari and Kazemi, 2016) مطابقت دارد. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک هر دو در اثر تنش خشکی کاهش نشان داد، اما چون شدت این کاهش در عملکرد دانه بیشتر از عملکرد بیولوژیک بود، کاهش شاخص برداشت را در پی داشت

(Afyooni et al., 2015). رقم کویر دارای بیشترین شاخص برداشت بود. این رقم ازنظر بسیاری از شاخص‌ها ازجمله عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد سنبلچه در سنبله، موم کوتیکول، محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل برگ پرچم نسبت به دو رقم دیگر برتری داشت. افیونی و همکاران (Afyooni et al., 2015) هم تفاوت در شاخص برداشت لاین‌ها و ارقام گندم را به‌واسطه اختلاف در عملکرد دانه و سایر اجزای مؤثر در عملکرد دانه گزارش کردند.

بهره‌وری آب

تأثیر تنش خشکی، مرحله اعمال تنش و رقم بر بهره‌وری آب معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش فاصله آبیاری از شاهد به تنش شدید، بهره‌وری آب افزایش یافت. افزایش بهره‌وری آب در تیمارهای تنش ملایم و شدید در مقایسه با شاهد ۴/۴ درصد بود (جدول ۳). بین تیمارهای تنش شدید و ملایم تفاوت معنی‌داری در بهره‌وری آب مشاهده نگردید (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین بهره‌وری آب در مراحل رشدی اعمال تنش خشکی نشان داد اعمال تنش در مرحله رویشی منجر به افزایش بهره‌وری آب به میزان ۲/۷ درصدی در مقایسه با مرحله زایشی گردید (جدول ۳). ارقام تفاوت معنی‌داری در بهره‌وری آب داشتند به‌طوری‌که ارقام کویر، سپاهان و بک‌کراس روشن به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین بهره‌وری آب بودند (جدول ۳). تأثیر تنش خشکی بر بهره‌وری آب بسته به گونه گیاهی، مرحله فنولوژیکی مواجهه با تنش و شدت تنش متفاوت است (Keshavars et al., 2012). در شرایط تنش ملایم افزایش میزان بسته شدن روزنه‌ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود (Kafi et al., 2010). افزایش بهره‌وری آب همراه با کم شدن میزان آب مصرفی در پنبه و ذرت در نتایج داگدلن و همکاران (Dagdelen et al., 2006) گزارش شده است، درحالی‌که کاهش بهره‌وری آب با اعمال کم‌آبیاری در ذرت (Nakhjavani Moghaddam et al., 2013)، ارزن دم‌روباهی (Ghasemi et al., 2019) را به‌واسطه کاهش عملکرد دانه گزارش شده است. گزارش‌های بسیاری از تنوع ژنتیکی در بین ارقام مختلف گیاهان زراعی ازنظر بهره‌وری آب وجود دارد (Slafer and Whitechurch, 2001; Sadeghinejad et al., 2014). اختلاف ارقام در بهره‌وری آب به توانایی آن‌ها ازنظر گسترش سیستم ریشه‌ای، جذب رطوبت خاک و قابلیت آن‌ها در تقسیط بیشتر ماده خشک به دانه‌ها وابسته است (Sadeghinejad et al., 2014).

نتیجه‌گیری نهایی

تیمارهای آبیاری پس از ۶۰ و ۹۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی، ازنظر اکثر صفات اندازه‌گیری شده مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند. اعمال تنش خشکی از مرحله زایشی منجر به کاهش بیشتر عملکرد دانه و شاخص برداشت در مقایسه با اعمال تنش از مرحله رویشی گردید. رقم کویر به دلیل داشتن ارتفاع کمتر بوته، موم کوتیکول بالاتر (در شرایط تنش و شاهد)، حفظ محتوای نسبی آب برگ بالاتر (در شرایط تنش و شاهد)، کلروفیل برگ پرچم بیشتر، شاخص برداشت و بهره‌وری آب بالاتر، دارای عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با دو رقم دیگر بود؛ بنابراین می‌توان از رقم کویر و انجام آبیاری پس از ۹۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی (تنش ملایم) و در مرحله رشد طولی ساقه تا سنبله‌دهی، ضمن صرفه‌جویی ۲۰ درصدی در آب مصرفی، تنها کاهش ۱۲ درصدی عملکرد دانه را شاهد بود.

منابع

Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S., Eghbal-Ghobadi, M., 2013. Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationships with yield and its components in some improved wheat cultivars under post-anthesis water deficit. Environmental Stresses in Crop Sciences, 6, 47-63. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2013.137

Afshar Mohamadian, M., Omidipour, M., Jamal Omidi, F., 2018. Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 31, 511-525. [In Persian with English summary]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1397.31.3.3.3

Afyooni, D., Allahdadi, E., Akbari, G., Najafian, G., 2015. Evaluation of tolerance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to terminal drought stress based on some agronomic traits, Journal of Arid Biome, 5, 1-17. [In Persian with English summary].

https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008790.1394.5.1.1.7

Aghcheli, S., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E., Gholizadeh Rezaei, M., 2021. Evaluation of drought stress on grain yield and yield components in some winter cereals under controlled conditions. Crop Science Research in Arid Regions, 3, 177-187. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22034/csrar.2021.296830.1110

Ahmad, M., Hassen. F., Qadeer, U., Aslam, A., 2011. Silicon application and drought the tolerance mechanism of sorghum. African Journal of Agricultural Research, 6, 594-607.

Ahmadi, A., Ceiocemardeh, A., 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian Journal Agriculture Science, 35, 753-763. [In Persian with English summary].

Aminian, R., Mohammadi, S., Hooshmand, S., Khodambashi, M., 2011. Chromosomal analysis of photosynthesis rate and stomatal conductance and their relationships with grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water-stressed and well-watered conditions. Acta Physiologiae Plantarum. 33, 755-764. https://doi.org/10.1007/s11738-010-0600-0

Dagdelen, N., Yilmaz, E., Sezgin, F., Gurbuz, T., 2006. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypicum hirisutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. Agriculture. Water Management, 82, 63-85.

Dehghanzadeh, H., Khajehpour, M., Heidari Sharif Abad, H., Soleimani, A. 2010. Effect of deficit irrigation regimes on yield, yield components and determination of the best drought resistance evaluation index of three bread wheat cultivars, Agroecology Journal, 5, 12-18. [In Persian with English summary].

Dehghanzadeh, H., 2016. Effect of irrigation regimes on some quantity and quality traits of three bread wheat cultivars in Isfahan province. Journal of Plant Ecophysiology, 8, 25-34. [In Persian with English summary]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1395.8.24.3.8

Dehghanzadeh, H., 2019. Evaluation of some physiological growth indices effective on growth and grain yield of three wheat cultivars under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 365-375. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1394.1300

Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements: Irrigation and Drainage. FAO. Rome. Paper: 18-34.

Eidizadeh, K., Ebrahimpour, F., Ebrahimi, MA. 2016. Effect of different irrigation regimes on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Ramin climate. Environmental Stresses in Crop Sciences, 9, 29-36. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.1395.297

Eskandari, H., Kazemi, K., 2016. Response of yield and source activity of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to post anthesis water deficit. Environmental Stresses in Crop Sciences, 9, 303-306. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2016.420

Golfam, R., Kiarostami, K., Lohrasebi, T., Hasrak, S., Razavi, K., 2022. Effect of drought stress on some seed characteristics of two bread wheat cultivars with two different qualities. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 1, 194-209. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22126/cbb.2022.7669.1010

Gregersen, PL., Holm, P.B., 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. Plant Biotechnology Journal, 5, 192-206. https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2006.00232x

Guler, M., 2002. Irrigation effects on quality characteristics of durum wheat. Canadian Journal of Plant Science, 83, 327-331. https://doi.org/10.4141/P02-099

Gupta, S., Gupta, NK., Arora, A., Agarwal, VP., Purohit, A.K., 2012. Effect of water stress on photosynthetic attributes, membrane stability and yield in contrasting wheat genotypes. Indian Journal of Plant Physiology, 17, 22-27.

Guttieri, M.J., Stark, J.C., O'Brien, K., Souza, E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science, 41, 327-335. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412327x

Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Selahvarzi, Y., 2012. The effect of drought and salinity stresses on morphophysiological properties of kallar grass (*Leptochloa fusca* L. kunth) under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 10, 179-188. https://doi.org/10.22067/gscv10i1.14504

Hassanli, A.M. 2000. Different methods of water measurement. Shiraz University Publication. 345 pp. [In Persian].

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., Nabati, J., 2010. Physiology of environmental stress in plant. Ferdowsi University of Mashhad publication. 502p. [In Persian with English summary].

Keshavars, L., Farahbakhsh, H., Golkar, P., 2013. Effects of different irrigation and superabsorbent levels on physio-morphological traits and forage yield of Millet. American-Eurasian Journal Agriculture and environment Science, 13, 1012-1018.

Khazaei, H.R., Kafi, M., 2003. Effect of drought stress on root growth and dry matter partitioning between roots and shoots of winter wheat. Iranian Journal of Field Crops Research, 1, 33-42. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/gsc.v1i1.1199

Khorami, A., Tohidinejad, E., 2018. Effects of drought stress on yield of three common millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences, 11, 11-21. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.671

Ghasemi, A., Khazaei, M., Fanaei, H.R., 2019. Effect of drought stress on yield and some physiological characteristics of foxtial millet (*Setaria italica* L.) in different planting dates. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12, 401-413. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1332.1273

Malek, MM., galavi, M., ramroudi, M., Nakhzari Moghaddam, A., 2019. Evaluation of drought tolerance of wheat cultivars under water deficiency stress after flowering. Journal of Crop Production, 12, 123-136. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.15545.2161

Mamanpoush, A.R., Abbasi, F., Mousavi, S.F. 2002. Evaluation of application efficiency in surface irrigation of some field in Isfahan province. Journal of Agricultural Engineering Research, 2, 43-58. Available from: https://sid.ir/paper/28205/fa. [In Persian with English summary].

Mostafaee, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M., Shahidi, A., 2023. Investigation of physiological and yield characteristics of quinoa as affected by different levels of irrigation and plant density. Iranian Journal of Field Crops Research, 21, 29-46. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74044.1126

Muhammad, Z.I., Fathy, S.E., Saleh, M.I., 2016. Wheat phonological development and growth studies as affected by drought and late season high temperature stress under arid environment. Frontiers in Plant Science, 7,1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00795

Mussa, H.R., 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea Mays* L.). Agriculture and Biology Journal, 2: 293-297.

Nakagami, K., Okawa, T.O., Hirasawa, T., 2004. Effect of a reduction in soil moisture from one month before flowering through ripening on dry matter production and Eco physiological characteristics of wheat plants. Plant Production Science, 7, 143-154. https://doi.org/10.1626/pps.7.143

Nakhjavani Moghaddam, M.M., Farhadi, E., Sadreghaen, S., Najafi, E., 2013. Effects of water and plant density on grain yield and morphological characteristics of new maize hybrid (CN. KSC.500) in Karaj region. Iranian Journal of Field Crops Research, 11, 13-22. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/gsc.v11i1.24030

Nasiri Khalilelahi, S., Sasani, S., Ahmadi, G.H., Daneshvar, M., 2020. Effect of terminal drought stress on some agronomic traits of 20 elite bread wheat genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences, 13, 683-699. . [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2226.1564

Nourmand, F., Rostami, M.A., Ghannadha, M.R., 2001. A study of morpho-physiological traits of bread wheat, relationship with grain yield under normal and drought stress conditions. Iranian Journal of Agriculture Science, 32, 785-794. [In Persian with English summary].

Paknejad, F., Jami Al-Ahmadi, M., Pazoki, A., Nasri, M., 2009. Investigation of the drought stress effects on yield and yield components in wheat cultivars. Environmental Stresses in Crop Sciences, 1, 1-15. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2009.1

Rajaie, M., Tahmasebi, S., Bidadi, M., Zare, J., Sarfarazi, S., 2016. The effect of terminal drought stress on yield and yield components of wheat genotypes. Cereal Research, 5, 341-352.

[In Persian with English summary]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1394.5.4.4.1

Sadeghinejad, A.A., Modarres Sanavi, S.A.M., Tabatabaei, S.A., Modares Vameghi, S.M., 2014. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Water and Soil Science, 24 (2), 53-64. [In Persian with English summary].

Salemi, H.R., Afiuni, D., 2005. The impact of limited irrigation on grain yield and yield components of several new wheat varieties. Journal of Agricultural Science and Natural Resource, 12, 11-20. https://sid.ir/paper/9765/en. [In Persian with English summary].

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., Mornhinweg, D.W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicator. Crop Science. 28, 526-531. https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x

Senobar, A., Tabatabayi, S.A., Dehghani, F., 2011. Effect of irrigation intervals on grain yield, yield components and harvest index of bread wheat cultivars in Yazd region. Environmental Stresses in Crop Science, 3, 95-104. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2011.86

Severino, L.S., Auld, D.L., 2013. Seed yield and yield components of castor influenced by irrigation. Industrial Crops and Products, 49:52-60. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.012

Siddique, M.R.B., Hamid, A. and Islam, M. S., 2000. Drought stress effects on water relation of wheat. Botanical Bulletin of Academia Sinica. 41, 35-39.

Siosemardeh, A., Fateh, H. Badakhshan, H., 2014. Responses of photosynthesis, cell membrane stability and antioxidative enzymes to drought stress and nitrogen fertilizer in two barley (*Hordeum vulgar* L.) cultivars under controlled condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 12, 215-228. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i2.39151

Slafer, GA., Whitechurch, E.M., 2001. Manipulation wheat development to improve adaptation. In: Reynolds M. P., Ortiz-Monasterio J. I., and McNab A. (eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT. pp: 160-170.

Soleymani, A., 2016. Effect of drought stress on yield and yield components of wheat by ET-HS model. Environmental Stresses in Crop Sciences, 9, 205-215. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2016.412

Ullah, A., Mushtaq, H., Fahad, S., Shah, A., Chaudhary, H.J., 2017. Plant growth promoting potential of bacterial endophytes in novel association with Olea ferruginea and Withania coagulans. Microbiology. 86, 119–127. https://doi.org/10.1134/S0026261717010155

Ullah, A., Sun, H., Yang, X., Zhang, X., 2018. A novel cotton WRKY gene, GhWRKY6-like, improves salt tolerance by activating the ABA signaling pathway and scavenging of reactive oxygen species. Physiologia Plantarum, 162:439– 454. https://doi.org/10.1111/ppl.12651

Varavipour, M. 2011. Soil Science. Payame Noor University Press. [In Persian].