Cereal Biotechnology and Biochemistry

Online ISSN: 2783-5170

Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

Grain yield, its components and some physiologic characteristics of flag leaf in commercial wheat cultivars in response to post-anthesis drought stress

Mahmood Hadidi[1], Mokhtar Ghobadi[1,2] ✉, Mohsen Saeidi[1,2] & Mohammad Eghbal Ghobadi[1,2]

[1] Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

[2] Cereal Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran.

✉ Corresponding author. E-mail: ghobadi.m@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: Wheat ranks first among crops regarding cultivated area and production worldwide and in Iran. Drought stress is the most common abiotic stress that decreases the grain yield of crops. Physiologic characteristics with some traits related to grain yield and its components are used as indices to evaluate wheat cultivars under drought stress conditions. This experiment aimed to study the grain yield components and some physiologic characteristics of the flag leaf and their relationship with grain yield in commercial wheat varieties under post-anthesis drought stress conditions.

Materials and methods: This experiment was conducted at Razi University. The experiment was arranged as a split plot basis on a randomized complete block design with three replications. Two moisture treatments (no stress and post-anthesis drought stress) were placed in the main plots and 14 wheat cultivars were considered in the sub-plots. Traits related to grain yield (including biologic, grain and straw yields and harvest index), grain yield components (including number of spikes per square meter, number of grains per spike and 1000-grains weight) and some physiologic characteristics of flag leaf (including flag leaf area, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, chlorophyll a/b ratio and proline content) were measured.

Results: The effect of drought stress on biological yield, grain yield, harvest index, number of grains per spike, 1000-grain weight, flag leaf area, chlorophyll a/b ratio and flag leaf proline content was significant, but on straw yield, number of spikes per square meter, chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll was not significant. Wheat cultivars significantly differed in the mentioned characteristics (except for chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll). The damage of post-anthesis drought stress on the grain yield reduction was more than straw yield (41 vs. 9% reduction). Among the grain yield components, 1000-grain weight had greater damage than the number of grains per spike (35 vs. 11% reduction) in response to drought stress. Drought stress decreased the amount of chlorophyll but increased the chlorophyll a/b ratio and proline content of the flag leaf. Correlation analysis showed that under normal moisture conditions, harvest index and chlorophyll content in flag leaf had the highest positive correlation with grain yield. While, under post-anthesis drought stress conditions, the highest positive correlation belonged to the proline content of flag leaf and 1000-grain weight.

Conclusion: Some physiologic characteristics of flag leaf (such as proline) with grain yield components (such as 1000-grain weight) could be used to evaluate wheat cultivars under post-anthesis drought stress conditions.Keywords: 1000-grain weight, flag leaf area, harvest index, proline.

Keywords: Growing Degree days, Cold, Crown, Maximum Efficiency of Photosystem II, Soluble sugars.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 28 Mar 2023, **Revised:** 10 Apr 2023, **Accepted:** 03 May 2023, **Published online:** 22 Jun 2023

Cite this article: Hadidi, M., Ghobadi, M., Saeidi, M. & Ghobadi, M. E. (2023). Grain yield, its components and some physiologic characteristics of flag leaf in commercial wheat cultivars in response to post-anthesis drought stress. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *2*(2), 153-169. DOI: 10.22126/cbb.2023.9328.1050

© The Author(s).

10.22126/cbb.2023.9328.1050

Publisher: Razi University

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات
شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

عملکرد دانه، اجزای آن و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ پرچم در رقم‌های تجاری گندم در پاسخ به تنش خشکی پس از گرده‌افشانی

محمود حدیدی[۱]، مختار قبادی[۱و۲]✉، محسن سعیدی[۱و۲] و محمداقبال قبادی[۱و۲]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه ایران.
[۲] مرکز تحقیقات غلات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
✉نویسنده مسئول. رایانامه: ghobadi.m@razi.ac.ir

چکیده

مقدمه: در بین گیاهان زراعی، گندم در رتبه اول سطح زیر کشت در جهان و ایران قرار دارد. تنش خشکی رایج‌ترین تنش محیطی است که سبب کاهش عملکرد دانه در محصولات زراعی می‌گردد. از ویژگی‌های فیزیولوژیک به همراه صفات مربوط به عملکرد دانه و اجزای آن به عنوان شاخص‌هایی جهت ارزیابی رقم‌های گندم در شرایط تنش خشکی استفاده می‌شود. هدف از این آزمایش، مطالعه اجزای عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیک برگ پرچم و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه در ارقام تجاری گندم آبی در شرایط تنش خشکی انتهای فصل بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در دانشگاه رازی اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار پیاده شد. دو تیمار رطوبتی (عدم تنش و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی) در کرت‌های اصلی و ۱۴ رقم گندم آبی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. صفت‌های مربوط به عملکرد دانه (شامل عملکردهای بیولوژیک، دانه، کاه و شاخص برداشت)، اجزای عملکرد دانه (شامل تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) و برخی خصوصیات فیزیولوژیک برگ پرچم (شامل سطح برگ پرچم، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b و محتوای پرولین برگ پرچم) اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: اثر تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، سطح برگ پرچم، نسبت کلروفیل a/b و محتوای پرولین برگ پرچم معنی‌دار بود، اما بر عملکرد کاه، تعداد سنبله در متر مربع، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل غیرمعنی‌دار شد. رقم‌های گندم از نظر ویژگی‌های ذکر شده (به غیر از کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) اختلاف معنی‌دار با هم داشتند. خسارت تنش خشکی پس از گرده‌افشانی بر کاهش عملکرد دانه بیشتر از عملکرد کاه بود (۴۱ در مقابل ۹ درصد کاهش). در بین اجزای عملکرد دانه، وزن هزار دانه خسارت بیشتری نسبت به تعداد دانه در سنبله (۳۵ در مقابل ۱۱ درصد کاهش) در واکنش به تنش خشکی داشت. تنش خشکی باعث کاهش مقدار کلروفیل، اما افزایش نسبت کلروفیل a/b و محتوای پرولین برگ پرچم شد. تجزیه همبستگی نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، صفت‌های شاخص برداشت و محتوای کلروفیل a در برگ پرچم دارای بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه بودند. در حالی که در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، بالاترین همبستگی مثبت به محتوای پرولین برگ پرچم و وزن هزار دانه تعلق داشت.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد که از برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ پرچم (مثل پرولین) به همراه اجزای عملکرد دانه (مثل وزن هزار دانه) بتوان برای ارزیابی رقم‌های گندم آبی به هنگام شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، سطح برگ پرچم، شاخص برداشت، وزن هزار دانه.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۸ **اصلاح:** ۱۴۰۲/۰۱/۲۱ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۲/۱۳، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

استناد: حدیدی، م.، قبادی، م.، سعیدی، م. و قبادی، م. ا. (۱۴۰۲). عملکرد دانه، اجزای آن و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ پرچم در رقم‌های تجاری گندم در پاسخ به تنش خشکی پس از گرده‌افشانی. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۲(۲)، ۱۵۳-۱۶۹. DOI: 10.22126/cbb.2023.9328.1050

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گندم به جنس *Triticum* تعلق دارد. گندم نان (*T. aestivum*) و گندم ماکارونی (*T. durum*) دو گونه مهم این جنس هستند (Konopatskaia *et al.*, 2016). گندم نان حدود ۹۵ درصد از تولید گندم در دنیا را تشکیل می‌دهد (Igrejas & Branlard, 2020). در بین گیاهان زراعی، بیشترین سطح زیر کشت در جهان مربوط به گیاه گندم است. در سال ۲۰۲۰ حدود ۷۶۱ میلیون تن دانه گندم در جهان تولید شده است (FAO, 2022). در ایران، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۸۹ حدود ۶/۲۶ میلیون هکتار گندم کشت شده که حدود ۱۱/۱۳ میلیون تن دانه گندم برداشت شده است. حدود ۶۹ درصد تولید گندم در ایران در مزارع آبی و ۳۱ درصد در مزارع دیم بدست آمده است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2022).

تنش خشکی، شایع‌ترین تنش محیطی در سطح دنیا است (Chaudhry & Sidhu, 2022). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که پدیده تغییر اقلیم، میزان بارندگی و وضعیت خشکی را در آینده از شرایط فعلی بدتر خواهد کرد (Malhi *et al.*, 2021). میانگین بارندگی در ایران سالیانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. لذا، ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب شده و به جزء نوار شمالی کشور، بقیه مناطق ایران با خشکی مواجه هستند (Nikkhah *et al.*, 2022).

تنش خشکی تقریباً روی تمام فرایندهای فیزیولوژیک گیاه و نهایتاً تولید محصول اثر دارد. تنش خشکی اندازه برگ، گسترش ساقه و ریشه را کاهش داده و روابط آبی گیاه را مختل می‌کند. گیاهان انواع واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی را در سطوح سلولی و کل ارگانیسم نسبت به تنش خشکی نشان می‌دهند (Farooq *et al.*, 2009).

ارزیابی عملکرد دانه گندم یک شاخص مهم در برنامه‌های اصلاحی برای مقاومت به خشکی در این گیاه است. با این حال، به علت وراثت‌پذیری پایین این صفت، ارزیابی صفات فیزیولوژیک مرتبط با تنش خشکی به همراه عملکرد دانه لازم است (Khadka *et al.*, 2020). رنگدانه کلروفیل نقش اصلی برای دریافت فوتون‌های خورشید و انجام فرایند فتوسنتز را بر عهده دارد (Simkin *et al.*, 2022). بنابراین، سنجش محتوای کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب برای برآورد قدرت منبع و ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی گیاه به کار رود (Ihuoma & Madromootoo, 2017). تجمع پرولین، یک پاسخ رایج گیاهان به تنش‌های محیطی است. معمولاً بین تجمع پرولین و سازگاری گیاه به تنش‌های خشکی و شوری همبستگی مثبت وجود دارد. حلالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها در گیاه توسط پرولین دستخوش تغییر شده و پرولین از تغییر ماهیت آن‌ها ممانعت می‌نماید (Vendruscolo *et al.*, 2007).

هدف آزمایش حاضر، مقایسه عملکرد دانه در ۱۴ رقم گندم آبی تجاری نان و ماکارونی در دو شرایط معمول و تنش

خشکی پس از گرده‌افشانی و همچنین مطالعه رابطه بین اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک برگ پرچم با عملکرد دانه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ اجرا گردید. این مزرعه در حاشیه شرقی شهر کرمانشاه با موقعیت طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا و در یک منطقه سرد و معتدل واقع شده است. کمینه، بیشینه و میانگین دما و رطوبت نسبی و همچنین میزان بارندگی در طی فصل رشد گیاه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- کمینه، بیشینه و میانگین دما و رطوبت نسبی و میزان بارندگی در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹

Table 1- Minimum, maximum and average of temperature and relative humidity and rainfall during 2010-11

بارندگی Rainfall (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)			دما Temperature (°C)			ماه Month
	میانگین Average	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	میانگین Average	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	
1.0	29.8	46.6	13.2	20.4	30.3	10.6	مهر October
31.0	44.8	66.8	22.8	13.2	21.9	4.5	آبان November
24.0	44.5	62.4	26.5	7.7	16.8	-1.5	آذر December
50.0	69.1	91.0	47.1	3.7	9.6	-2.2	دی January
65.0	73.2	94.2	52.1	2.7	8.0	-2.7	بهمن February
21.0	55.0	82.0	28.1	8.0	15.4	0.6	اسفند March
47.0	51.7	78.8	24.6	12.3	20.1	4.5	فروردین April
128.0	60.5	87.4	33.6	16.5	23.6	9.5	اردیبهشت May
0.0	31.2	51.1	11.3	23.3	33.8	12.8	خرداد June
0.0	19.4	32.1	6.6	27.8	38.5	17.1	تیر July

قبل از اجرای آزمایش، از خاک مزرعه از عمق های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر چند نمونه گرفته شد. خاک نمونه‌های مختلف هر عمق ترکیب شد و از هر عمق حدود یک کیلوگرم خاک مرکب به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات خاک مزرعه

Table 1- Characteristics of the farm soil

آهک Lime (%)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	پتاسیم K2O (ppm)	فسفر P2O5 (ppm)	کربن آلی OC (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture	عمق Depth (cm)
33	7.5	0.11	410	8.6	1.1	2	46	52	Clay-Silty	0-30
33	7.5	0.11	390	7.8	1.1	1	44	55	Clay-Silty	30-60

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار پیاده شد. دو فاکتور رطوبتی (عدم تنش و تنش رطوبتی پس از گرده‌افشانی) در کرت‌های اصلی و ۱۴ رقم گندم در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در تیمار بدون تنش خشکی، در طول دوره رشد گیاه آبیاری معمول منطقه انجام گرفت، اما در تیمار تنش خشکی، از ابتدای گرده‌افشانی (کد ۶۰ زادوکس) تا انتهای دوره رشد گیاه، آبیاری قطع شد. چهارده رقم گندم شامل مرودشت، زرین، نیک‌نژاد، مهدوی، شهریار، توس، شیراز، بهار، پیشتاز، آریا، دنا، پیشگام، پارسی و سیوند بودند. دو رقم آریا و دنا جزء ارقام گندم دوروم و بقیه رقم‌ها جزء گندم‌های نان هستند. رقم شهریار دارای تیپ رشد زمستانه، رقم‌های زرین، مهدوی، توس و پیشگام، دارای تیپ رشد بینابین و رقم‌های مرودشت، نیک‌نژاد، شیراز، بهار، پیشتاز، آریا، دنا، پارسی و سیوند دارای تیپ رشد بهاره می‌باشند. بذر رقم‌های گندم مورد نظر، از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه تهیه شدند.

هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول سه متر، فاصله ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۵۰ بذر در مترمربع بود. عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار در اواخر تابستان و خرد کردن کلوخه‌ها با دیسک در پاییز انجام شد. در تاریخ چهارم آبان ۱۳۸۹ به کاشت مبادرت گردید. بر اساس نتایج آزمون خاک، مقدار ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره به صورت پایه و قبل از عملیات دیسک زنی به خاک اضافه شد. کود سرک اوره در مرحله ابتدای رشد طولی ساقه (کد ۳۱ زادوکس) به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. وجین دستی علف‌های هرز انجام شد. آفت در طی رشد گیاه مشاهده نشد. آبیاری به روش بارانی انجام شد. برداشت نهایی دانه در تاریخ هشتم تیر ۱۳۹۰ انجام گرفت. در این آزمایش، صفات مربوط به عملکرد دانه (شامل عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد کاه و شاخص برداشت)، اجزای عملکرد دانه (شامل تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) و برخی صفات فیزیولوژیک مربوط به برگ پرچم (شامل سطح برگ پرچم، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b) به شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

عملکرد دانه و اجزای آن: بوته‌های واقع در یک متر مربع از وسط کرت با حذف اثر حاشیه، از سطح خاک کف‌بر شدند. با توزین کل ماده خشک برداشت شده، عملکرد بیولوژیک به دست آمد. پس از خرمن‌کوبی، دانه‌های آن توزین شد و عملکرد دانه حاصل گردید. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک ضربدر عدد ۱۰۰ به دست آمد. سپس سنبله‌های بارور شمارش گردید. دو نمونه ۵۰۰ عددی از دانه‌های برداشت شده از هر کرت توزین شد و به عنوان وزن هزار دانه لحاظ شد. تعداد دانه در سنبله با شمارش دانه‌های ۱۰ سنبله متعلق به ساقه اصلی به دست آمد.

خصوصیات فیزیولوژیک برگ پرچم: اندازه‌گیری این صفات، از برگ پرچم متعلق به ساقه اصلی و در مرحله ابتدای رشد خمیری دانه (کد ۸۳ زادوکس) انجام گرفت. تعداد ۱۰ برگ پرچم متعلق به ساقه اصلی از محل زبانک قطع شد و سطح آنها با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مشخص شد. غلظت کلروفیل a، b و کل بر اساس روش آرنون و همکاران (Arnon, 1949) استخراج شده و میزان جذب نور توسط عصاره استخراج شده با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر تعیین شد. مجموع کلروفیل a و b به عنوان کلروفیل کل در نظر گرفته شد. همچنین، از تقسیم مقدار کلروفیل a بر کلروفیل b، نسبت آنها بدست آمد. برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ پرچم، تعدادی برگ پرچم متعلق به ساقه اصلی به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شوند. تعیین غلظت پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) انجام گرفت.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش، با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکردهای دانه، بیولوژیک، کاه و شاخص برداشت

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی پس از گرده‌افشانی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت از نظر آماری معنی‌دار بود، اما تأثیر معنی‌داری روی عملکرد کاه نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین مربعات اثر تنش خشکی و ارقام گندم بر عملکرد دانه و اجزای آن

Table 3- Mean squares the effects of drought stress and wheat cultivars on grain yield and its components

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد سنبله در متر مربع Spike/m^2	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه 1000- grain weight
تکرار Replication	2	1009204^{ns}	2092^{ns}	183614^{ns}	430.6^{ns}	190277^{**}	371.5^{ns}	33.0^{ns}
تنش خشکی Drought (D)	1	24891185^{*}	1301811^{**}	223990^{ns}	1687.4^{*}	1312^{ns}	4793^{*}	4180.2^{**}
خطا Error	2	359100	5894.9	89216	78.6	9084	119.7	95.8
رقم Cultivar (C)	13	409540^{**}	64232^{**}	95387^{**}	237.1^{**}	20085^{**}	124.5^{**}	107.0^{**}
خشکی×رقم D×C	13	79421^{ns}	23933^{**}	17556^{ns}	81.1^{ns}	8242^{ns}	49.6^{ns}	32.0^{ns}
خطا Error	52	58275	1340	11499	47.7	6156	27.7	27.3
ضریب تغییرات CV (%)		16.5	7.6	10.9	20.5	17.7	13.4	15.8

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at 5 and 1%, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای ساده تنش خشکی و ارقام گندم بر عملکرد دانه و اجزای آن

Table 4- Mean comparison the effects of drought stress and wheat cultivars on grain yield and its components

وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	تعداد سنبله در متر مربع Spike/m^2	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد کاه Straw yield (g/m^2)	عملکرد دانه Grain yield (g/m^2)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g/m^2)		
39.9^{a}	41.4^{a}	447^{a}	38.1^{a}	1024^{a}	605^{a}	1629^{a}	شرایط نرمال Normal	شرایط رطوبتی Moisture conditions
25.8^{b}	36.6^{b}	430^{a}	26.2^{b}	929^{a}	356^{b}	1285^{b}	تنش خشکی Drought	
28.9^{de}	49.8^{a}	410^{def}	42.0^{ab}	829^{efg}	564^{c}	1393^{bc}	مرودشت Marvdasht	
34.0^{bcd}	39.7^{c}	349^{f}	35.5^{bc}	783^{g}	423^{fg}	1206^{c}	زرین Zarin	
30.8^{cd}	36.3^{cd}	390^{ef}	33.3^{cd}	843^{d-g}	416^{fgh}	1260^{c}	نیک‌نژاد Niknejad	
30.1^{cde}	37.1^{cd}	433^{c-f}	34.7^{bc}	909^{c-f}	484^{de}	1393^{bc}	مهدوی Mahdavi	
25.3^{e}	41.4^{bc}	418^{def}	23.4^{e}	948^{cde}	281^{i}	1230^{c}	شهریار Shahriar	
29.1^{cde}	39.3^{c}	461^{a-e}	26.5^{de}	1024^{c}	386^{h}	1410^{bc}	توس Toos	
32.5^{bcd}	40.8^{bc}	413^{def}	31.4^{cde}	863^{d-g}	380^{h}	1243^{c}	شیراز Shiraz	ارقام Cultivars
33.3^{bcd}	36.5^{cd}	482^{a-d}	32.3^{cd}	926^{c-f}	447^{ef}	1373^{bc}	بهار Bahar	
32.5^{bcd}	31.8^{d}	532^{ab}	31.9^{cd}	998^{c}	441^{ef}	1440^{bc}	پیشتاز Pishtaz	
43.1^{a}	36.1^{cd}	467^{b-e}	36.7^{abc}	967^{cd}	576^{bc}	1543^{b}	آریا Arya	
35.1^{bc}	46.2^{ab}	410^{def}	41.5^{ab}	815^{fg}	567^{c}	1383^{bc}	دنا Dena	
34.4^{bcd}	38.3^{c}	394^{def}	33.3^{cd}	867^{d-g}	612^{ab}	1480^{bc}	پیشگام Pishgam	
34.3^{bcd}	37.7^{cd}	519^{abc}	43.9^{a}	1282^{b}	651^{a}	1933^{a}	پارسی Parsi	
36.9^{b}	35.4^{cd}	543^{a}	23.9^{e}	1617^{a}	496^{d}	2113^{a}	سیوند Sivand	

در هر ستون و بین دو خط افقی، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in each column and between two horizontal lines are not significantly different by LSD test at the 5% probability level.

تنش خشکی پس از گرده‌افشانی سبب کاهش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت شد. تأثیر منفی تنش خشکی پس از گرده‌افشانی بر عملکرد دانه به مراتب بیشتر از عملکرد کاه بود. به طوری که، تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، عملکرد دانه و کاه را به ترتیب به مقدار ۴۱ و ۹ درصد کاهش داد. علت آن است که تنش خشکی در مرحله ابتدای گرده‌افشانی اعمال گردید و عملکرد کاه که عمدتاً از رشد رویشی گیاه ناشی می‌شود تا قبل از گرده‌افشانی شکل

می‌گیرد. لذا، عملکرد کاه به مقدار کمتری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. این عامل همچنین سبب شد که تأثیر منفی تنش خشکی پس از گرده‌افشانی روی شاخص برداشت بیشتر از عملکرد بیولوژیک باشد؛ به طوری که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به ترتیب به مقدار ۲۱ و ۳۱ درصد کاهش یافتند (جدول ۴).

در تجزیه واریانس مشخص شد که اثر رقم‌های گندم بر عملکردهای بیولوژیک، دانه و کاه و همچنین شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین ارقام مورد مطالعه نشان داد که رقم‌های سیوند و پارسی به ترتیب با ۲۱۱۳ و ۱۹۳۳ گرم در مترمربع، از عملکرد بیولوژیک بالاتری برخوردار بودند. بالاترین عملکرد دانه (۶۵۱ گرم در مترمربع) مربوط به رقم پارسی بود. رقم پارسی همچنین دارای بالاترین شاخص برداشت (۴۳/۹ درصد) بود (جدول ۴). هر چند رقم سیوند، عملکرد بیولوژیک بیشتری داشت اما عملکرد دانه آن در حد متوسط بود. این رقم همچنین از شاخص برداشت پایینی برخوردار بود. این مطلب نشان می‌دهد که رقم سیوند در توزیع آسیمیلات‌های فتوسنتزی به مخزن اقتصادی (دانه) موفق عمل ننموده و آسیمیلات بیشتری را به اندام رویشی (کاه) اختصاص داده است. به طوری که، این رقم از بیشترین عملکرد کاه (به مقدار ۱۶۱۷ گرم در مترمربع) برخوردار بودند.

اثر متقابل تنش خشکی × رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار، اما روی عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه و شاخص برداشت غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، رقم پارسی دارای بالاترین عملکرد دانه (۸۳۴ گرم در مربع) بود. اما در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، رقم‌های دنا (۴۷۵ گرم در متربع) و پارسی (۴۶۷ گرم در مترمربع) عملکرد دانه بیشتری داشتند (جدول ۵). خسارت تنش خشکی بر عملکرد دانه در رقم‌های شیراز، توس و بهار (به ترتیب ۶۳، ۵۸ و ۵۷ درصد) بیشتر از رقم‌های دیگر بود. همچنین رقم‌های زرین و سیوند (به ترتیب با ۱۴ و ۱۶ درصد کاهش عملکرد دانه)، خسارت کمتری از تنش خشکی متحمل شدند.

میزان کاهش عملکرد دانه گندم در اثر تنش خشکی بستگی به شدت و مدت تنش و مرحله رشد گیاه دارد (Dong *et al.*, 2017). یک متا آنالیز از ۶۰ مطالعه منتشر شده نشان داد که تنش خشکی عملکرد دانه گندم را به طور متوسط ۲۷/۵ درصد کاهش داد (Zhang *et al.*, 2018). مطالعه مشابهی که شامل مقالات بررسی شده از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ بود، کاهش عملکرد دانه گندم در اثر تنش خشکی را ۲۰/۶ درصد گزارش نمود (Daryanto *et al.*, 2016). حفظ عملکرد دانه بالا در شرایط تنش خشکی در یک رقم گندم، نشان‌دهنده پتانسیل بالای عملکرد دانه و قابلیت رقم مربوطه در بهره‌مندی از محیط، به‌خصوص از رطوبت خاک می‌باشد (Farshadfar *et al.*, 2013). حصول عملکرد دانه بالا در شرایط تنش خشکی، به دلیل بروز و ظهور حداقل

یکی از ساز و کارهای مقاومت به تنش خشکی شامل فرار، اجتناب و تحمل است (Fang & Xiong, 2015).

اجزای عملکرد دانه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر خشکی بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه معنی‌دار، اما بر روی تعداد سنبله در متر مربع غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد سنبله بارور در متر مربع حاصل تراکم بوته در مترمربع و تعداد پنجه بارور در هر بوته می‌باشد. در این آزمایش، تراکم بوته برای تمام کرت‌ها یکسان (۴۵۰ بذر در مترمربع) لحاظ شد. لذا، تفاوت در تعداد سنبله بارور در متر مربع، به تفاوت در قدرت پنجه‌زنی مرتبط می‌باشد. عدم تأثیرپذیری تعداد سنبله در متر مربع از تنش خشکی به این دلیل است که اعمال تنش خشکی در زمان ابتدای مرحله گرده‌افشانی بوده است، در حالی که تشکیل پنجه‌ها در ابتدای رشد طولی ساقه خاتمه می‌یابد. در بین دو جزء دیگر عملکرد دانه که تنش خشکی روی آنها اثر معنی‌دار داشت، تأثیر تنش روی وزن هزار دانه بیشتر از تعداد دانه در سنبله بود؛ به طوری که تنش خشکی پس از گرده‌افشانی موجب کاهش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه به ترتیب به مقدار ۱۱ و ۳۵ درصد شد (جدول ۴).

تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اجزای عملکرد دانه گندم را تشکیل می‌دهند. شکل‌گیری اجزای عملکرد دانه در مراحل متفاوتی از نمو گیاه گندم انجام می‌گیرد؛ به طوری که، شکل‌گیری تعداد سنبله در مترمربع از ابتدای پنجه‌زنی تا ظهور برجستگی دوگانه، شکل‌گیری تعداد سنبلچه در سنبله از ظهور برجستگی دوگانه تا ظهور سنبلچه انتهایی، شکل‌گیری تعداد دانه در سنبلچه از ظهور برجستگی دوگانه تا مرحله سبز بودن بساک، و شکل‌گیری وزن هزار دانه از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک دانه می‌باشد (Vahamidis *et al*., 2014). وقوع تنش خشکی در هر مرحله از رشد گیاه، غالباً روی جزئی از عملکرد اثر می‌گذارد که نمو آن جزء در آن مرحله در حال انجام است (Cakir, 2004). گزارش شده که وقوع تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی سبب عقیم شدن دانه‌های گرده در گیاه گندم می‌گردد (Onyemaobi *et al*., 2017) که می‌تواند سبب کاهش تعداد دانه در سنبله گندم شود. دلیل دیگر کاهش تعداد دانه در سنبله گندم در چنین شرایطی این است که تداوم تنش خشکی انتهای فصل سبب کاهش شدید وزن تعدادی از دانه‌ها به‌ویژه دانه‌های واقع در انتهای سنبله می‌گردد، به نحوی که این دانه‌ها غالباً در حین خرمن کوبی خرد شده و یا به دلیل ریز بودن، از غربال‌های کمباین عبور کرده و باد آن‌ها را از دانه جدا می‌کند (Dastfal *et al*., 2009). کاهش وزن هزار دانه گندم در مواجهه با تنش خشکی پس از گرده‌افشانی می‌تواند به دلیل تشدید پیری برگ (کاهش منبع) و کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه (کاهش مخزن) باشد. در چنین شرایطی، هر چند سرعت پر شدن دانه اندکی افزایش

می‌یابد، اما قادر به جبران کاهش مدت دوره پر شدن دانه نخواهد بود (Shahgholi *et al*., 2023).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرمتقابل تنش خشکی × ارقام گندم بر خصوصیات مورد بررسی

Table 5- Mean comparison the interaction effect of drought stress × wheat cultivars on measured characteristics

شرایط رطوبتی Moisture conditions	ارقام گندم Wheat cultivars		عملکرد دانه Grain yield (g/m^2)	سطح برگ پرچم Flag leaf area (cm^2)	پرولین Proline (mMol/g dry weight)
شرایط نرمال Normal	Marvdasht	مرودشت	687^{c}	65.9^{ab}	0.011^{k}
	Zarin	زرین	401^{jki}	65.4^{ab}	0.019^{k}
	Niknejad	نیک‌نژاد	507^{gh}	45.5^{i-n}	0.027^{jk}
	Mahdavi	مهدوی	664^{cd}	52.8^{e-i}	0.035^{ijk}
	Shahriar	شهریار	342^{lm}	53.7^{d-h}	0.043^{hij}
	Toos	توس	545^{fg}	70.2^{a}	0.051^{g-j}
	Shiraz	شیراز	551^{fg}	59.3^{b-e}	0.059^{f-i}
	Bahar	بهار	624^{de}	46.4^{h-m}	0.067^{e-h}
	Pishtaz	پیشتاز	582^{ef}	54.7^{d-g}	0.075^{d-g}
	Arya	آریا	761^{b}	56.9^{f-k}	0.083^{c-f}
	Dena	دنا	661^{cd}	51.3^{e-j}	0.091^{a-e}
	Pishgam	پیشگام	767^{b}	49.7^{j-n}	0.090^{a-d}
	Parsi	پارسی	834^{a}	40.7^{lmn}	0.100^{abc}
	Sivand	سیوند	540^{fg}	53.7^{d-h}	0.115^{ab}
تنش خشکی Drought Stress	Marvdasht	مرودشت	441^{ijk}	61.1^{bcd}	0.093^{a-e}
	Zarin	زرین	345^{lm}	64.4^{abc}	0.076^{d-g}
	Niknejad	نیک‌نژاد	326^{mn}	41.9^{k-n}	0.048^{g-i}
	Mahdavi	مهدوی	304^{mn}	53.3^{d-i}	0.090^{a-e}
	Shahriar	شهریار	221^{op}	37.8^{n}	0.084^{c-f}
	Toos	توس	226^{op}	38.5^{mn}	0.086^{b-f}
	Shiraz	شیراز	209^{p}	46.4^{h-m}	0.083^{c-f}
	Bahar	بهار	270^{no}	43.9^{j-n}	0.100^{a-d}
	Pishtaz	پیشتاز	301^{mn}	44.7^{j-n}	0.083^{c-f}
	Arya	آریا	390^{kl}	49.7^{c-f}	0.089^{a-e}
	Dena	دنا	475^{hi}	48.0^{g-l}	0.100^{a-d}
	Pishgam	پیشگام	458^{hij}	43.3^{f-k}	0.099^{a-d}
	Parsi	پارسی	467^{hi}	38.7^{mn}	0.108^{abc}
	Sivand	سیوند	452^{hij}	40.5^{lmn}	0.131^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by LSD test at the 5% probability level.

مقایسه میانگین رقم‌های گندم از نظر اجزای عملکرد دانه نشان داد که تعداد سنبله در متر مربع در رقم سیوند (۵۴۳ سنبله) و پیشتاز (۵۳۲ سنبله) بیشتر از رقم‌های دیگر به دست آمد. رقم‌های زرین، مهدوی و پیشگام (به ترتیب ۳۴۹، ۳۹۰ و ۳۹۴ سنبله) کمترین تعداد سنبله را داشتند. رقم مرودشت (۴۹/۸ دانه در سنبله) بیشترین و رقم پیشتاز

(۳۱/۸ دانه در سنبله) کمترین تعداد دانه در سنبله را تولید کردند. سنگین‌ترین وزن دانه متعلق به رقم آریا (وزن هزار دانه ۴۳/۱ گرم) و سبک‌ترین وزن دانه به رقم‌های شهریار و مرودشت (وزن هزار دانه به ترتیب ۲۵/۳ و ۲۸/۹ گرم) تعلق داشت (جدول ۴).

جدول ۶- ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات مورد بررسی

Table 6- Correlation coefficients of grain yield with measured traits

	عملکرد بیولوژیک Biol. Yield	عملکرد کاه Straw Yield	شاخص برداشت HI	سنبله در متر مربع Spike/ m^2	دانه در سنبله Grain/ spike	وزن هزار دانه 1000 GW	سطح برگ Leaf area	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کلروفیل a/b Chl a/b	پرولین Proline
شرایط نرمال Normal	0.67**	0.31^{ns}	0.71**	0.54*	-0.22^{ns}	0.44^{ns}	0.46^{ns}	0.69**	-0.19^{ns}	0.06^{ns}	0.49*	0.46^{ns}
تنش خشکی Drought	0.48^{ns}	0.28^{ns}	0.70**	0.03^{ns}	0.21^{ns}	0.71**	0.18^{ns}	0.26^{ns}	-0.20^{ns}	-0.15^{ns}	0.36^{ns}	0.74**

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at 5 and 1 % probability levels, respectively.

محاسبه ضرایب همبستگی نشان داد که در بین صفات مربوط به عملکرد دانه و اجزای آن در شرایط بدون تنش، صفت شاخص برداشت دارای بالاترین همبستگی با عملکرد دانه بود. در حالی که، بالاترین همبستگی با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی به وزن هزار دانه تعلق داشت (جدول ۶). پیش‌تر، در مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داده شد که در بین اجزای عملکرد دانه، وزن هزار دانه بیشترین خسارت را از شرایط تنش خشکی انتهای فصل تجربه نمود. بنابراین، به نظر می‌رسد رقم‌هایی از گندم که در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، کاهش کمتری در وزن هزار دانه داشته باشند قادر به حفظ عملکرد دانه خواهند بود. در گزارش نقوی و همکاران (Naghavai *et al.*, 2015) نیز مشاهده شد که در گندم، وزن هزار دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی بود.

ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ پرچم

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده تنش خشکی و رقم و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر سطح برگ پرچم معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × رقم نشان داد که اثر تنش خشکی روی کاهش سطح برگ پرچم در رقم مهدوی کمترین (بدون تغییر) و در رقم توس بیشترین مقدار (۴۵ درصد کاهش) بود (جدول ۵). برگ پرچم که بالاترین برگ در گندم است دیرتر از سایر برگ‌ها تشکیل می‌شود. در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، برگ پرچم نقش محوری در تسهیم آسیمیلات‌ها در بین مخزن‌های گیاه و نهایتاً تشکیل عملکرد دانه دارد

(Sattar *et al*., 2020). تنش خشکی معمولاً با تحمیل تنش گرما همراه است. همراهی تنش گرما با تنش خشکی به طور قابل توجهی بر روی هدایت روزنه‌ای برگ، سطح برگ (به‌ویژه سطح برگ پرچم) و کارایی مصرف آب اثر گذاشته و روابط آبی گیاه را به‌هم می‌زند (Zandalinas *et al*., 2018). چنین شرایطی، با تأثیر منفی بر کارایی فتوسنتزی، همچنین روی مدت زمان عرضه آسیمیلات‌ها تأثیر گذاشته و سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Sharma *et al*., 2015). چنین شرایطی، همچنین مسئول آسیب تنش اکسیداتیو از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، به ویژه در کلروپلاست‌ها در غیاب سیستم دفع آن است. مولکول‌های کلروفیل به دلیل دمای بالا بیش از حد تحریک شده که منجر به تولید ROS می شود. تولید ROS به وضوح در فرآیند پیری برگ مشارکت می‌نماید (Chen *et al*., 2012).

جدول ۷- میانگین مربعات اثر تنش خشکی و ارقام گندم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ پرچم

Table 7- Mean squares the effects of drought stress and wheat cultivars on physiologic characteristics of flag leaf

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	سطح برگ پرچم Flag leaf area	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll a/b ratio	پرولین Proline
تکرار Replication	2	484198^{ns}	21.24^{ns}	1371^{ns}	1077^{ns}	0.044^{ns}	0.001^{ns}
تنش خشکی(D) Drought	1	8043632**	87.34^{ns}	5092^{ns}	3932^{ns}	0.078*	0.14**
خطا Error	2	11995	58.17	2101	1529	0.003	0.001
رقم Cultivar (C)	13	3024729**	3.63^{ns}	68.2^{ns}	63.6^{ns}	0.026**	0.003**
خشکی×رقم D×C	13	1510536**	4.86^{ns}	169.1^{ns}	154^{ns}	0.003^{ns}	0.003**
خطا Error	52	244116	5.44	116.5	92.3	0.002	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		9.7	9.8	22.1	13.1	8.8	23.2

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at 5 and 1 % probability levels, respectively.

اثر خشکی روی کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار نبود، اما روی نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار بود (جدول ۷). در واکنش به تنش خشکی انتهای فصل، تغییر چندانی در کلروفیل a مشاهده نگردید، اما محتوای کلروفیل b حدود ۲۸ درصد کاهش یافت هر چند که کاهش آن معنی‌دار نبود (جدول ۸). لذا به نظر می‌رسد که در آزمایش حاضر، کلروفیل b حساس‌تر از کلروفیل a بوده است. این در حالی است که در آزمایش شریفی و محمدخانی (Sharifi

& Mohammadkhani, 2016) کلروفیل a حساس‌تر از کلروفیل b بود و در معرض تنش خشکی، به مقدار بیشتری کاهش یافت. رقم‌های گندم از نظر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل اختلاف معنی‌دار نداشتند اما رقم پیشگام به طور معنی‌دار دارای نسبت کلروفیل a/b بیشتری بود (جدول ۸). یکی از شاخص‌های فیزیولوژیک مهم به هنگام محدودیت رطوبتی، حفظ محتوای کلروفیل برگ است (Ihuoma & Madromootoo, 2017). وضعیت رطوبتی گیاه بر محتوای کلروفیل برگ اثر دارد. کاهش محتوای کلروفیل برگ در اثر تنش خشکی، با بالا رفتن سطح تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول در ارتباط است. رادیکال‌های آزاد موجب پراکسیداسیون و تخریب کلروفیل برگ می‌شوند. همچنین افزایش کلروفیلاز در چنین شرایطی، سبب تجزیه کلروفیل و کاهش محتوای کلروفیل برگ می‌گردد (Nourzad *et al*., 2015). در آزمایش حاضر، در شرایط بدون تنش خشکی، در بین صفات فیزیولوژیک برگ پرچم، صفت میزان کلروفیل a در برگ دارای بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه بود (جدول ۶). همبستگی مثبت عملکرد دانه با کلروفیل a در آزمایش جواد و همکاران (Javed *et al*., 2022) نیز مشاهده شد.

اثر تنش خشکی بر محتوای پرولین برگ معنی‌دار بود (جدول ۷)؛ به طوری که تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، محتوای پرولین برگ را به میزان ۴۱ درصد افزایش داد (جدول ۸). رقم‌های گندم نیز از نظر محتوای پرولین برگ تفاوت معنی‌داری داشتند و رقم‌های سیوند و پارسی از پرولین بیشتری برخوردار بودند (جدول ۸). در مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی × رقم مشخص شد که در هر دو شرایط مطلوب و تنش خشکی، رقم سیوند دارای محتوای پرولین برگ بالاتری بود. در رقم مرودشت، بیشترین مقدار افزایش پرولین در اثر تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۵). اسید آمینه پرولین، نقش مهمی در حفظ متابولیسم و رشد گیاهان در مواجهه با شرایط تنش غیرزنده دارد. پرولین به دلیل داشتن رفتار پیام‌رسان برای فعال‌کردن عملکردهای خاص ژن که برای بازیابی گیاه از تنش بسیار مهم است، عمل می‌کند. افزایش پرولین در سلول‌های گیاهی به تنظیم اسمزی، جذب آب و تعادل ردوکس برای بازگرداندن ساختارهای سلولی و کاهش آسیب اکسیداتیو کمک می‌نماید (Ghosh *et al*., 2022; Blum, 2017). افزایش محتوای پرولین برگ گندم (Abdalla & El-Khoshiban, 2007) و ماش (Gurumurthy *et al*., 2019) در شرایط تنش خشکی نیز گزارش شده است. در بین صفات فیزیولوژیک در آزمایش حاضر، بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، به صفت محتوای پرولین برگ تعلق داشت (جدول ۶). در آزمایشی که ۹۶ لاین گندم برای ارزیابی همبستگی عملکرد دانه با صفات فنوتیپی و فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در طی دو سال مورد مطالعه قرار گرفتند، نتایج نشان داد که در بین صفات فنوتیپی و فیزیولوژیک، محتوای

پرولین برگ دارای بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه بود. این در حالی بود که صفات زراعی دارای همبستگی پایینی با عملکرد دانه بودند. لذا، پیشنهاد شد که در شرایط تنش خشکی، تجمع پرولین می‌تواند به عنوان ابزاری برای انتخاب مؤثر ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی در نظر گرفته شود (Mwadzingeni *et al*., 2016).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرهای ساده تنش خشکی و ارقام گندم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ پرچم

Table 8- Mean comparison the effects of drought stress and wheat cultivars on physiologic characteristics of flag leaf

پرولین Proline (mMol/g dry w)	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll a/b ratio	کلروفیل کل Total Chlorophyll (µg/g dry w)	کلروفیل b Chlorophyll b (µg/g dry w)	کلروفیل a Chlorophyll a (µg/g dry w)	سطح برگ پرچم Flag leaf area (cm^2)		
0.063^{b}	0.40^{b}	80.0^{a}	56.5^{a}	22.7^{a}	53^{a}	شرایط نرمال Normal	شرایط رطوبتی Moisture conditions
0.089^{a}	0.61^{a}	66.3^{a}	40.5^{a}	24.8^{a}	47^{b}	تنش خشکی Drought	
0.05^{gh}	0.45^{b}	77.0^{a}	52.6^{a}	23.6^{a}	63^{a}	مرودشت Marvdasht	ارقام Cultivars
0.04^{gh}	0.50^{ab}	66.2^{a}	43.6^{a}	21.9^{a}	64^{a}	زرین Zarin	
0.03^{h}	0.48^{ab}	73.2^{a}	49.0^{a}	23.5^{a}	43^{d}	نیک‌نژاد Niknejad	
0.06^{efg}	0.45^{b}	75.9^{a}	51.9^{a}	23.2^{a}	53^{b}	مهدوی Mahdavi	
0.06^{c-f}	0.50^{ab}	73.6^{a}	48.5^{a}	24.3^{a}	45^{cd}	شهریار Shahriar	
0.06^{c-f}	0.45^{b}	77.1^{a}	52.7^{a}	23.5^{a}	54^{b}	توس Toos	
0.07^{c-f}	0.47^{ab}	73.9^{a}	49.9^{a}	23.2^{a}	52^{b}	شیراز Shiraz	
0.08^{bcd}	0.51^{ab}	72.3^{a}	47.3^{a}	24.2^{a}	45^{cde}	بهار Bahar	
0.07^{bcd}	0.45^{b}	76.3^{a}	52.0^{a}	23.6^{a}	49^{bc}	پیشتاز Pishtaz	
0.08^{bc}	0.54^{ab}	70.0^{a}	44.9^{a}	24.4^{a}	53^{b}	آریا Arya	
0.09^{ab}	0.51^{ab}	72.2^{a}	47.4^{a}	24.1^{a}	49^{bc}	دنا Dena	
0.09^{ab}	0.59^{a}	68.8^{a}	42.9^{a}	25.2^{a}	46^{cd}	پیشگام Pishgam	
0.10^{a}	0.52^{ab}	71.8^{a}	46.7^{a}	24.4^{a}	39^{e}	پارسی Parsi	
0.11^{a}	0.44^{b}	76.3^{a}	52.3^{a}	23.2^{a}	47^{cd}	سیوند Sivand	

در هر ستون و بین دو خط افقی، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in each column and between two horizontal lines are not significantly different by LSD test at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری

در آزمایش حاضر، ۱۴ رقم گندم تجاری (نان و ماکارونی) در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و شرایط نرمال رطوبتی مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که رقم‌های مربوطه از نظر اکثر صفات مورد بررسی (به غیر از کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) دارای اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بودند. در شرایط بدون تنش، رقم پارسی از بالاترین عملکرد دانه (۸۳۴ گرم در متر مربع) برخوردار بود. در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، رقم‌های دنا و پارسی (به ترتیب ۴۷۵ و ۴۶۷ گرم در متر مربع) دارای عملکرد دانه بیشتری بودند. تنش خشکی پس از گرده‌افشانی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک (۲۱ درصد)، عملکرد دانه (۴۱ درصد)، عملکرد کاه (۹ درصد)، شاخص برداشت (۳۱ درصد)، تعداد سنبله در متر مربع (۳/۸ درصد)، تعداد دانه در سنبله (۱۱ درصد)، وزن هزار دانه (۳۵ درصد) و سطح برگ پرچم (۱۱ درصد) گردید، اما در مقابل، محتوای پرولین برگ پرچم را افزایش (۴۱ درصد) داد. تجزیه همبستگی نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، صفت‌های شاخص برداشت، محتوای کلروفیل a برگ پرچم و عملکرد بیولوژیک به ترتیب دارای بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه بودند. در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، صفت‌های محتوای پرولین برگ پرچم و وزن هزار دانه به ترتیب از بالاترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه برخوردار بودند. بنابراین، در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، مطالعه برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ پرچم (مثل محتوای پرولین) و همچنین اجزای عملکرد دانه (مثل وزن هزار دانه) برای ارزیابی رقم‌های گندم مفید می‌باشد. لذا، پیشنهاد می‌گردد که برای مناطقی که با شرایط تنش خشکی انتهای فصل مواجه هستند رقم‌هایی از گندم در نظر گرفته شوند که توانایی حفظ وزن هزار دانه در آن‌ها بالاتر باشد.

References

Abdalla, M. M., & El-Khoshiban N. H. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. Journal of Applied Science Research, 3 (12), 2062-2074.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Poly phenol oxide in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24, 1-15.

Bates. L., Waldren, R. P., & Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39, 205-207.

Blum, A. 2017. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. Plant, Cell & Environment, 40 (1), 4-10.

Cakir, R. 2044. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research, 89 (1), 1-16. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005

Chaudhry, S., & Sidhu, G. P. S. 2022. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. Plant Cell Reports, 41 (1), 1-31.

Chen, J., Xu, W., Velten, J., Xin, Z., & Stout, J. 2012. Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. Journal of Soil and Water Conservation, 67, 354–64.

Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. PLoS One, 11:e0156362. doi:10.1371/journal.pone.0156362

Dastfal, M., Brati, V., Navabi, F., & Haghighatnia, H. 2009. Effect of terminal drought stress on grain yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in dry and warm conditions in south of fars province. Seed and Plant Production, 25 (3), 329-344. [In Persian]

Dong, B., Zheng, Z., Liu, H., Able, J. A., Yang, H., Zhao, H., Zhang, M., Qiao, Y., Wang, Y. & Liu, M. 2017. Effects of drought stress on pollen sterility, grain yield, abscisic acid and protective enzymes in two winter wheat cultivars. Frontiers in Plant Science, 8: 1008, https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01008

Fang Y. & Xiong, L. 2015. General mechanisms of drought response and their application drought resistance improvement in plants. Cellular and Molecular Life Sciences, 72, 673-689.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. 2009. Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. In: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S., Alberola, C. (eds) Sustainable Agriculture. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8-12

Farshadfar, E., Moradi, F., & Mohammadi, R. 2013. Evaluation of bread wheat genotypes for drought torlerance using agro-physiological traits. Iranian Dryland Agronomy Journal, 2 (1), 63-84. [In Persian]

Food and Agriculture Organization. Wheat production in 2020 from pick lists: Crops/World regions/Production quantity. UN Food and Agriculture Organization, Statistics Division, FAOSTAT. 2022. Retrieved 7 March 2022.

Ghosh, U. K., Islam, M. N., Siddiqui, M. N., Cao, X., & Khan, M. A. R. 2022. Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: understanding the physiological mechanisms, Plant Biology, 24 (2), 227-239.

Gurumurthy, S., Sarkar, B., Vanaja, M., Lakshmi, J., Yadav, S. K. & Maheswari, M. 2019. Morpho-physiological and biochemical changes in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) genotypes under drought stress at flowering stage. Acta Physiologiae Plantarum, 41 (3), 42-51.

Igrejas, G., & Branlard, G. 2020. The Importance of wheat. In: Igrejas, G., Ikeda, T., Guzmán, C. (eds) Wheat quality for improving processing and human health. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34163-3_1

Ihuoma, S. O., & Madramootoo, C. A. 2017. Recent advances in crop water stress detection. Computers and Electronics in Agriculture, 141, 267-275. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.026

Javed, A., Ahmad, N., Ahmad, J., Hameed, A., Ashrf, M. A., Zafar, S. A., Maqbool, A., Ll-Amrah, H., Alatawi, H.A., Al-Harbi, M.S., & Ali, E.F. 2022. Grain yield, chlorophyll and protein contents of elite wheat genotypes under drought stress. Journal of King Saud University Science, 34 (7), 102279, https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102279

Khadka, K., Earl, H. J., Raizada, M., & Navabi, A. 2020. A physio-morphological trait-based approach for breeding drought tolerant wheat. Frontiers in Plant Science, 11 (715), 1-26.

Konopatskaia, I., Vavilova, V., Blinov, A., & Goncharov, N. P. 2016. Spike morphology genes in wheat species (*Triticum* L.). Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B, 6 (705), 345-355. DOI: https://doi.org/10.1515/prolas-2016-0053

Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. 2021. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. Sustainability, 13 (3), 1318.

Ministry of Agriculture-Jahad. 2022. Agricultural statistics. First volume: Crops. Tehran. [in Persian]

Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Tesfay, S., & Tsilo, T. J. 2016. Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. Frontiers in Plant Science, 7, 1276, doi:10.3389/fpls.2016.01276

Naghavi, M. R., Toorchi, M., Moghadam, M., & Shakiba, M. R. 2015. Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. Notulae Scientia Biologicae, 7 (3), 349-354. DOI: 10.15835/nsb.7.3.9592

Nikkhah, H. R., Tajali, H., Tabatabaei, S. A., & Taheri, M. 2022. Evaluation of yield stability and drought tolerance of barley genotypes in temperate regions of the Iran. Journal of Crop Breeding, 14 (44), 1-17. [In Persian]

Nourzad, S., Ahmadian, A., & Moghaddam, M. 2015. Proline, total chlorophyll, carbohydrate amount and nutrients uptake in coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress and fertilizers application. Iranian Journal of Field Crops Research, 13 (1), 131-139. [In Persian]

Onyemaobi, I., Liu, H., Siddique, K. H. M., & Yan, G. 2017. Both male and female malfunction contributes to yield reduction under water stress during meiosis in bread wheat. Frontiers in Plant Science, 7, 2071, https://doi.org/10.3389/fpls.2016.0.071

Sattar, A., Sher, A., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Rizwan, M. S., & Hussain, M. 2020. Terminal drought and heat stress alter physiological and biochemical attributes in flag leaf of bread wheat. PLoS ONE 15 (5), e0232974. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232974

Shahgholi, S., Sayfzadeh, S., Hadidi Masouleh, E., Shahsavari, N., & Zakeri, H. 2023. Assessment of zinc, boron, and iron foliar application on wheat yield and yield components under drought stress, Communication in Soil Science and Plant Analysis, 54 (9), 1283-1292. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2141772

Sharifi, P., & Mohammadkhani, N. 2016. Effects of drought stress on photosynthesis factors in wheat genotypes during anthesis. Cereal Research Communications, 44 (2), 229–239. DOI: 10.1556/0806.43.2015.054

Sharma, D. K., Andersen, S. B., Ottosen, C. O., & Rosenqvist, E. 2015. Wheat cultivars selected for high Fv/Fm under heat stress maintain high photosynthesis, total chlorophyll, stomatal conductance, transpiration and dry matter. Physiologia Plantarum, 153, 284–98. https://doi.org/10.1111/ppl.12245 PMID: 24962705

Simkin, A. J., Kapoor, L., Doss, C. G. P., Hofmann, T. A., Lawson, T., & Ramamoorthy, S. 2022. The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. Photosynthesis Research, 152, 23-42.

Vahamidis, P., Karamanos, A., Economou, G., & Fasseas, S. 2014. A new scale for the assessment of wheat spike morphogenesis, Annals of Applied Biology, 164(2), 220-231. https://doi.org/10.1111/aab.12097

Vendruscolo, A. C. G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C. A., Molinari, H. B. C., Marur, C. J., & Vieira, L. G. C. 2007. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. Journal of Plant Physiology, 164, 1367-1376.

Zandalinas S. I., Mittler R., Balfagon D., Arbona V., & Gomez-Cadenaz A. 2018. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. Physiolgia Plantarum, 162, 2–12.

Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., & Peng, C. 2018. Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: a metaanalysis. International Journal of Environmental Research Public Health 15, 839. doi: 10.3390/ijerph15050839.