Cereal Biotechnology and Biochemistry

Online ISSN: 2783-5170

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

Evaluation of the effects of water dificit stress on the physiological and biochemical indices and grain yield of some durum and bread wheat cultivars

Sadegh Baghban Khalilabad[1], Hamid Reza Khazaie[2] ✉ & Mohammad Kafi[2]

[1] Assistant Professor of Academic Center for Education, Culture and Research, Khorasan Razavi, Iran.

[2] Professor of Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran.

✉ Corresponding author. E-mail: h.khazaie@um.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: Wheat is one of the most crucial products used in Iran, and it plays a vital role in ensuring food security. Drought stress is a significant factor that restricts the yield of several plant species, including wheat. By identifying physiological and biochemical indicators of drought tolerance, breeders can effectively utilize these traits as selection indicators in large populations.

Materials and methods: To investigate the effects of different moisture levels on biochemical and physiological in various cultivars of bread and durum wheat, we conducted an experiment using a split-plot design. The experiment followed a randomized complete block design with three replications. The investigated factors include four levels of irrigation (100, 75, 50 and 25% of water supply) in the main plots and cultivars, including three varieties of bread wheat (Pishgam, Alvand and Oroum) and three varieties of durum wheat (Behrang, Aria and Dena) were placed in the sub-plot. The investigated biochemical traits included the content of soluble sugars, phenolic compounds, ascorbate peroxidase, and the physiological traits included the content of chlorophyll a, chlorophyll and b and carotenoids.

Results: The present study showed significant differences in the characteristics of chlorophyll a and b content, carotenoid content, phenolic compounds, ascorbate peroxidase enzyme activity, and soluble sugar content in water deficit stress conditions and among different cultivars. The content of soluble sugars, phenol content, and ascorbate peroxidase activity in Pishgam and Behrang varieties showed that they were higher than other cultivars when subjected to a 25% water supply treatment. The largest decrease in the content of chlorophyll a was related to the Dena variety, which showed a 40% decrease in the treatment of providing 25% water supply compared to the control treatment. The content of chlorophyll b decreased with the reduction of water supply, and this decrease was greater in Oroum and Dena varieties than in other varieties. No significant difference was observed in the content of chlorophyll b in the Pishgam variety at the levels of 100, 75, and 50% of water supply. Among the durum wheat varieties, the content of chlorophyll b in Behrang was reduced when faced with less stress, resulting in no significant difference in the chlorophyll b content of this variety in the treatments of 100, 75, and 50% of water supply. In the most severe stress conditions, the Pishgam and Dena varieties had the highest and the lowest carotenoid values, respectively. A lack of irrigation led to a decrease in carotenoid content in all varieties. However, this decrease was less pronounced in the Pishgam and Behrang varieties, with reductions of 15.67% and 15.47%, respectively, compared to other varieties. The Dena verity experienced the highest decrease in carotenoid content, which was 50% compared to the without stress. The Pishgam, Behrang, and Alvand verities had the highest grain yields, with respective yields of 7420.7, 6495.6, and 6459.9 kg ha^{-1}. These yields were not statistically different from each other. The Oroum variety had the lowest grain yield of 4880 kg ha^{-1}. As for grain yield, it decreased as the intensity of low irrigation increased. The highest grain yield of 7350 kg ha^{-1} was achieved with 100% water requirement treatment, while the lowest grain yield of 4550 kg ha^{-1} was obtained with 25% water requirement treatment.

Conclusion: Overall, the results indicate that reducing the water requirement by 25% significantly decreased the grain yield from 7350 to 4550 kg ha^{-1}. Among the tested varieties, Pishgam and Behrang performed better than others. This finding highlights the genetic potential of these cultivars in terms of crop production and overall performance.

Keywords: Water dificit, physiological indices, biochemical traits, wheat.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 28 Mar 2024, **Revised:** 06 Apr 2024, **Accepted:** 25 Apr 2024, **Published online:** 21 Jun 2024

Cite this article: Baghban Khalilabad, S., Khazaie, H. R. & Kafi, M. (2024). Evaluation of the effects of water dificit stress on the physiological and biochemical indices and grain yield of some durum and bread wheat cultivars. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *3*(2), 251-271. DOI: 10.22126/cbb.2024.10813.1077

© The Author(s).

10.22126/cbb.2024.10813.1077

Publisher: Razi University

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات

شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳

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

ارزیابی اثر تنش کم آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه برخی ارقام گندم نان و دوروم

صادق باغبان خلیل‌آباد[۱]، حمیدرضا خزاعی[۲]✉ و محمد کافی[۲]

[۱] استادیار سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ایران.

[۲] استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران.

✉نویسنده مسئول. رایانامه: h.khazaie@um.ac.ir

چکیده

مقدمه: گندم به عنوان یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی در سفره‌های ایرانی، نقش اساسی در تغذیه مردم و تأمین امنیت غذایی کشور ایفا می‌کند. تنش خشکی به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده عملکرد در گیاهان مختلف از جمله گندم مطرح است. در صورت شناسایی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحمل خشکی، به‌نژادگران می‌توانند از صفات فیزیولوژیکی به عنوان شاخص گزینشی در جمعیت‌های بزرگ استفاده کنند.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثرات سطوح متفاوت رطوبتی بر صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک در ارقام مختلف گندم نان و دوروم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح آبیاری (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی و ارقام شامل سه رقم گندم نان (پیشگام، الوند، اروم) و سه رقم گندم دوروم (بهرنگ، آریا، دنا) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. صفات بیوشیمیایی مورد بررسی شامل محتوای قندهای محلول، ترکیبات فنلی و آسکوربات پراکسیداز و صفات فیزیولوژیک شامل محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید بود.

یافته‌ها: در پژوهش حاضر، صفات محتوای کلروفیل a و b، محتوای کاروتنوئیدها، ترکیبات فنلی، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و محتوای قندهای محلول نیز در شرایط سطوح متفاوت رطوبتی و در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد محتوی قندهای محلول، محتوی فنل و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در ارقام پیشگام و بهرنگ در تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی، نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. بیشترین کاهش در محتوی کلروفیل a مربوط به رقم دنا بود که در تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی، نسبت به تیمار شاهد، ۴۰ درصد کاهش نشان داد. محتوای کلروفیل b، با کاهش آب مصرفی کاهش یافت و این کاهش در ارقام اروم و دنا بیشتر از سایر ارقام بود. تفاوت معنی‌داری بین محتوای کلروفیل b رقم پیشگام در سطوح تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده نشد. در بین ارقام گندم دوروم، محتوای کلروفیل b در رقم بهرنگ در مواجهه با تنش، کمتر کاهش یافت؛ به‌طوری‌که محتوای کلروفیل b این رقم در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی، تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط شدیدترین تنش، بیشترین و کمترین مقدارکاروتنوئید به ترتیب مربوط به رقم‌های پیشگام و دنا بود. کم‌آبیاری منجر به کاهش محتوای کاروتنوئید در همه ارقام مورد بررسی شد. با این حال، ارقام پیشگام و بهرنگ به ترتیب با کاهش ۱۵/۶۷ و ۱۵/۴۷ درصد نسبت به سایر ارقام، کمترین کاهش را در میزان کاروتنوئید تجربه کردند. در مقابل، رقم دنا بیشترین کاهش را نشان داد و میزان کاروتنوئید در آن ۵۰ درصد نسبت به شرایط بدون تنش آبیاری کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۷۴۲۰/۷، ۶۴۹۵/۶ و ۶۴۵۹/۹ کیلوگرم در هکتار) توسط ارقام پیشگام، بهرنگ و الوند تولید شد که از نظر آماری با همدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین کمترین عملکرد دانه (۴۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به رقم اروم بود. عملکرد دانه با کاهش تأمین نیاز آبی کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه (۷۳۵۰ کیلوگرم درهکتار) و کمترین (۴۵۵۰ کیلوگرم درهکتار) به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد و تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی تولید شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد که تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی به‌طور چشمگیری عملکرد دانه را کاهش داد؛ به‌طوریکه از ۷۳۵۰ به ۴۵۵۰ کیلوگرم در هکتار رسید. همچنین در بین ارقام، ارقام پیشگام و بهرنگ در مقایسه با سایر ارقام از عملکرد بالاتری برخوردار بودند که نشان از پتانسیل ژنتیکی این ارقام در تولید و عملکرد محصول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کم‌آبیاری، شاخص‌های فیزیولوژیک، صفات بیوشیمیایی، گندم.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۹ **اصلاح:** ۱۴۰۳/۰۱/۱۸ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۲/۰۶، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

استناد: باغبان خلیل‌آباد، ص.، خزاعی، ح.ر. و کافی، م. (۱۴۰۳). ارزیابی اثر تنش کم آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه برخی ارقام گندم نان و دوروم. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۳(۲)، ۲۵۱-۲۷۱. DOI: 10.22126/cbb.2024.10813.1077

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گندم یک گیاه راهبردی است که به مقدار زیاد و در سطح وسیعی از مزارع جهان و به‌ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود. اهمیت اقتصادی گندم چه از نظر تولید و چه از نظر تغذیه در جهان بیش از سایر محصولات کشاورزی می‌باشد (Kazemi, 2007). گندم نان (*Triticum aestivum* L.) و گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var durum) دو محصول مهم گروه غلات هستند که بخش بزرگی از جمعیت انسانی در بسیاری از نقاط جهان به‌عنوان منبع غذا و خوراک دام به آن‌ها وابسته هستند (Sallam *et al.*, 2019; Ahmed *et al.*, 2019). گندم از لحاظ تولید و سطح زیر کشت در ایران و جهان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است؛ به‌طوری که افزایش عملکرد آن به عوامل مختلفی به خصوص کم‌آبی (تنش خشکی) وابسته است که بروز تنش خشکی بسته به شدت آن موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Ghahremaninejad *et al.*, 2021). بر طبق آمار منتشر شده گیاه گندم بیشتر در شرایط دیم کشت می‌شود که در این شرایط نوسانات الگوی بارندگی و در نتیجه کمبود آب بسیار زیاد می‌باشد. بنابراین کمبود آب به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده برای کاهش عملکرد محصول، به‌خصوص در زمان تنش کمبود آب در مراحل گلدهی و پر شدن دانه عمل می‌کند (Bassi *et al.*, 2017).

خشکسالی یک تنش محیطی پیشرو است که باعث کاهش بهره‌وری جهانی غلات می‌شود، به‌طوری که نیمی از زمین‌های کشاورزی مستعد خشکسالی مکرر هستند (Ashraf & Foolad, 2007). تنش خشکی را می‌توان به عنوان کمبود آب تعریف کرد که منجر به تغییرات چشمگیر ساختاری (مورفولوژیک)، بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مولکولی در گیاه می‌شود. (Nezhadahmadi *et al.*, 2013). گزارشات پیش‌بینی افزایش گرمایش جهان در آینده نزدیک، فراوانی و شدت خشکسالی را محتمل می‌دانند که می‌تواند باعث کمبود منابع آبی شود و بر ویژگی‌های مورفولوژیک، بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مولکولی گیاهان تأثیر گذار باشد (Yu *et al.*, 2017). چنین تنشی منجر به کاهش قابل توجهی در کارایی فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سطح برگ و کارایی مصرف آب گندم می‌شود (Farooq *et al.*, 2019; Hussain *et al.*, 2016). تنش خشکی بر عملکرد گندم بسیار تاثیرگذار است که این تأثیرگذاری به شدت و مدت تنش بستگی دارد (Rijal *et al.*, 2021; Zulkiffal *et al.*, 2021; Zia *et al.*, 2021). بر اساس مقالات منتشر شده تنش خشکی بر عدم تعادل بین گیاه و آب و کاهش راندمان مصرف آب تأثیر می‌گذارد. انواع مختلف تحقیقات فیزیولوژیک برای پی بردن به تغییرات ایجاد شده در گیاه گندم در نتیجه تنش خشکی ادامه دارد. تغییرات مورفولوژیک را می‌توان از دو طریق بررسی کرد، تغییر در سیستم ریشه و تغییر در سیستم اندام هوایی مانند تأثیر بر ارتفاع، پیری برگ، گلدهی و غیره. تغییرات فیزیولوژیک شامل تغییر در الگوی رشد سلولی، محتویات کلروفیل، اختلالات فتوسنتزی، روابط گیاه و آب و غیره است.

تغییرات بیوشیمیایی در مواد شیمیایی، بیومولکول‌ها و آنزیم‌های مختلف رخ می‌دهد (Seleiman *et al.*, 2021). نتایج مطالعات جامع روی لاین‌های گندم سیمیت حاکی از آن است که شاخص کلروفیل این ارقام دارای وراثت‌پذیری بالایی است، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی که اهمیت آن دوچندان می‌شود (Lopes & Reynolds, 2012). در شرایط تنش خشکی محتوی کلروفیل گیاه کاهش می‌یابد و ارقام دارای محتوای کلروفیل بالاتر، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند (Gregersen & Holm, 2007). واکنش‌های فیزیولوژیک ارقام مختلف گندم به تنش خشکی به‌منظور شناسایی مکانیسم‌های مؤثر در مقاومت به خشکی بررسی شد و نتایج نشان داد که کاهش معنی‌داری در غلظت کلروفیل برگ پرچم ارقام مقاوم در شرایط تنش خشکی وجود داشت (Sallam *et al.*, 2019). در بررسی دیگری تأثیر تنش خشکی در حالت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه باعث ایجاد اختلال در خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک دو رقم گندم شده است (Selim *et al.*, 2019). در اثر تنش خشکی محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ در ارقام گندم کاهش معنی‌داری داشته است و محتوای قندهای محلول و ترکیبات فنلی در ریشه و برگ‌ها افزایش یافته است (Irshad *et al.*, 2021). گندم در مواجهه با تنش آبی، واکنش‌های چندوجهی و پیچیده‌ای از جمله تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سطوح مختلف سلولی و مولکولی نشان می‌دهد (Rijal *et al.*, 2021). گیاهان مکانیسم‌های مختلفی را برای مقاومت در برابر تنش خشکی نشان می‌دهند که می‌توان آن‌ها را به عنوان فرار از خشکی، اجتناب از خشکی و تحمل به خشکی طبقه بندی کرد. انتخاب ژنوتیپ گندم که بتواند کمبود آب را تحمل کند برای برنامه اصلاحی با هدف توسعه رقم مقاوم به خشکی در مناطق محدود آب مناسب خواهد بود (Seleiman *et al.*, 2021).

از دیدگاه فیزیولوژیک، تنش‌های مختلف از جمله تنش خشکی موجب تغییرات متعددی در گیاهان تحت پوشش از جمله نشت الکترولیت برگ، رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئیدها و غیره می‌گردد که منجر به کاهش کارایی فتوسنتز و کاهش قابل توجه پارامترهای رشد گیاه مانند سطح برگ می‌گردد (Naseer *et al.*, 2022). از طرفی این تنش‌ها باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پراکسیداز و کاتالاز نیز می‌شوند (Ighodaro & Akinloye, 2018). در واقع در شرایط تنش خشکی گونه‌های فعال اکسیژن در سطوح بالا تولید می‌شود که این‌ها می‌تواند به پروتئین‌ها، چربی‌ها و DNA آسیب برساند که در نهایت، همه این عوامل باعث کاهش اجزای عملکرد و عملکرد محصول می‌گردند (Dos Santos *et al.*, 2022). بنابراین درک کامل مبانی فیزیولوژیک تحمل تنش برای انتخاب ارقام مقاوم و افزایش بهره‌وری مفید است. در واقع می‌توان گفت گیاهان برای مقابله با تنش خشکی و از بین بردن رادیکال‌های آزاد و مقابله با تنش اکسیداتیو حادث شده، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت خود را افزایش می‌دهند و با صرف انرژی بر

میزان عملکرد دانه تأثیر می‌گذارند. بر این اساس، با شناخت بیشتر عوامل ضد اکسنده و عوامل مؤثر بر آن‌ها می‌توان راهکارهای مفیدی را برای مواجه با تنش خشکی در گیاهان و افزایش عملکرد اتخاذ نمود. کاهش عملکرد می‌تواند بسته به زمان و شدت تنش خشکی، در نتیجه محدودیت مبدأ (کاهش فتوسنتز و تسریع پیری و زوال برگ‌ها) و یا محدودیت مقصد فیزیولوژیک (کاهش اندازه مقصد) باشد (Nyaupane *et al.*, 2024).

تحقیقات مختلف نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نظیر آسکوربات پراکسیداز و ترکیبات فنلی در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (Garcia-Caparros *et al.*, 2021; Kusvuran *et al.*, 2016; Hussain *et al.*, 2019; Caverzan *et al.*, 2012). در یک پژوهش، فعالیت آنزیم‌های گلوتاتیون ردوکتاز و آسکوربات پراکسیداز در ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش خشکی بررسی شد که نتایج آن نشان داد که در شرایط کم‌آبی ژنوتیپ‌های متعلق به گروه متحمل و حساس، افزایش فعالیت معنی‌داری برای هر دو آنزیم آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز از خود نشان داد و با افزایش میزان تنش، این افزایش بیشتر شد (Naderi Zarnaghi & Valizadeh, 2014).

با توجه به اینکه تنش خشکی به‌عنوان یکی از عوامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی مطرح است، شناسایی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحمل به خشکی، می‌تواند به‌نژادگران در جهت استفاده از ارقام مقاوم گندم در شرایط تنش خشکی و بهبود عملکرد آن‌ها بسیار مؤثر باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف رطوبتی بر خصوصیات فیزیولویکی، بیوشیمیایی و عملکرد ارقام گندم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات کم آبیاری بر صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک مرتبط با تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح آبیاری (شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی شامل سه رقم گندم نان (پیشگام، الوند، اروم) و سه رقم گندم دوروم (بهرنگ، آریا، دنا) بود. مراحل آماده‌سازی زمین و کاشت ارقام بر طبق عرف منطقه در آبان ماه سال ۱۳۹۱ انجام شد. در بهار سال ۱۳۹۲ و بعد از ساقه رفتن اقدام به اعمال تیمارهای کم‌آبی گردید. قبل از اعمال هر یک از تیمارهای آبیاری، به‌منظور اندازه‌گیری میزان تبخیر تجمعی، یک تشت کلاس A، در محل آزمایش نصب شد و میزان تبخیر از تشت هر ۲۴ ساعت یک‌بار اندازه‌گیری و ثبت شد و میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع از رابطه ۱ محاسبه شد (Fao, 2008) و برای محاسبه نیاز آبی گندم در طول دوره رشد از روش (Ghaemi *et al.*, 2013) استفاده شد.

(رابطه ۱): $ETo = Kp \times Epan$

به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک در آغاز مرحله پر شدن دانه، از پنج بوته به‌طور تصادفی برگ پرچم جدا و به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه میزان کلروفیل‌های a و b برگ پرچم از روش آرنون (Arnon, 1949)، برای اندازه‌گیری قندهای محلول از روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen *et al.*, 1992)، برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی از روش بائو و همکاران (Bao *et al.*, 2005) و اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز از روش یاماگوچی و همکاران (Yamaguchi *et al.*, 1995) و برای اندازه‌گیری میزان کاروتنوئید بر اساس روش (Lichtenthaler & Wellburn, 1983) طبق رابطه ۲ محاسبات صورت گرفت.

رابطه ۲: $Car = (1000\ A470 - 1/8\ Chl\ a - 85/02\ Chl\ b)/198$

داده‌های حاصل از آزمایش حاضر با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ مورد تحلیل قرار گرفت. به منظور مقایسه میانگین‌ها، آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد به کار گرفته شد. همچنین، برای نمایش گرافیکی نتایج، از نرم‌افزار Microsoft office (2013) در محیط اکسل (Excel) استفاده شد.

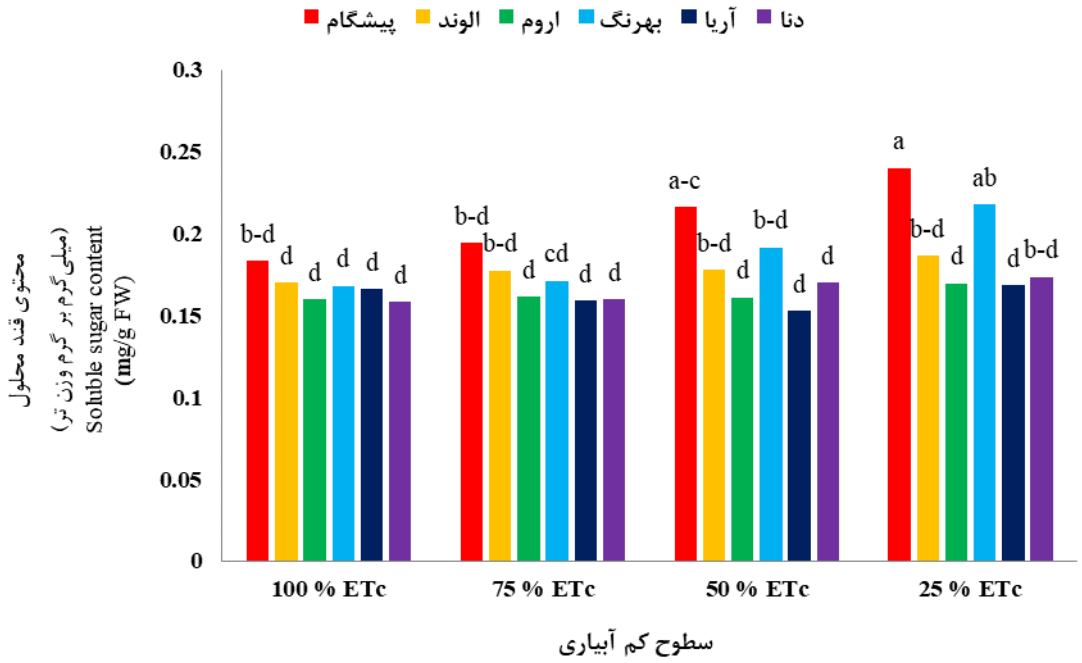
نتایج و بحث

صفات بیوشیمیایی

محتوای قندهای محلول

اثر رقم و اثر متقابل رقم در تیمار آبیاری بر محتوای قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که در همه ارقام، محتوای قندهای محلول با کاهش میزان آب مصرفی، افزایش یافت اما این افزایش در همه ارقام معنی‌دار نبود. محتوای قندهای محلول در ارقام پیشگام و بهرنگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱). محتوای قندهای محلول در ارقام پیشگام و بهرنگ در تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی، نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۳۱/۰۵ و ۲۹/۶۷ درصد افزایش نشان داد، درحالی‌که میزان افزایش در سایر ارقام از ۱/۵ تا ۹/۸ درصد متغیر بود. افزایش قندهای محلول نظیر گلوکز و ساکارز در شرایط تنش خشکی در برگ پرچمی نشان دهنده آن است که در این شرایط تبدیل ساکاریدهای محلول به ساختمانی نظیر سلولز و همی سلولز کاهش می‌یابد و سهم ساکاریدهای محلول و غیر ساختمانی افزایش می‌یابد. این قندهای محلول حاصل فتوسنتز جاری برگ پرچمی می‌باشند و می‌توانند به دانه‌ها منتقل شوند. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد افزایش غلظت این قندها در برگ پرچمی باعث

افزایش فشار اسمزی برگ پرچم شده که افزایش محتوای آب نسبی این ارقام در شرایط کمبود رطوبت خاک نیز مؤید این مطلب است. بالا بودن محتوای قندهای محلول نیز از طریق افزایش تنظیم اسمزی سبب کاهش اثرات منفی خشکی بر دو رقم پیشگام و بهرنگ گردید. از طرف دیگر نتایج حاصل از بررسی وضعیت ریشه در این ارقام نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل توجهی در خصوصیات مورفولوژیک ریشه ارقام گندم وجود دارد. این تنوع، فرصت مناسبی را برای برنامه‌های اصلاح و به‌گزینی فراهم می‌کند تا با تمرکز بر صفات ریشه‌ای مانند عمق نفوذ، وزن خشک و طول ریشه، ارقامی با عملکرد بهتر در شرایط تنش تولید کنند.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح متفاوت رطوبتی بر محتوای قندهای محلول در ارقام مختلف گندم نان و دوروم. حروف مشابه در هر ستون عدم معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

Figure 1. Mean comparison of the effect of different moisture levels on the soluble sugars content in different cultivars of bread and durum wheat. Similar letters in each column indicate non-significance at the 5% probability level.

ترکیباتی همانند کربوهیدرات‌های محلول، در تنظیم اسمزی و مکانیسم‌های حفاظتی نقش دارند (Ozturk *et al.*, 2021). از طرف دیگر ژنوتیپ‌های با غلظت قند محلول بالا در شرایط تنش خشکی، به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی مطرح هستند (Zhang *et al.*, 2020; Marček *et al.*, 2019; Khan *et al.*,). در گندم با شروع تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و قبل از تحریک انتقال مجدد، فروکتان‌های موجود در ساقه به واحدهای فروکتوز تبدیل می‌شوند و غلظت فروکتوز در ساقه ها بالا می‌رود (Oku *et al.*, 2019). افزایش

محتوای کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش خشکی، یک مکانیسم تطبیقی پیچیده است که به عوامل مختلفی بستگی دارد. در حالی که تنظیم فشار اسمزی یکی از دلایل اصلی این پدیده است. همچنین تنش خشکی می‌تواند بر مکانیسم‌های انتقال مواد مغذی در گیاه تأثیر گذاشته و باعث کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه شود (Kameli & Losel, 1993). در رقم مقاوم به خشکی، افزایش کربوهیدرات‌های محلول در مقایسه با پرولین شاخص مناسب‌تری برای نشان دادن پتانسیل مقاومت به خشکی در گندم بود، بدین معنی که تحت تنش خشکی پرولین به‌میزان کمی افزایش یافت و میزان افزایش آن در هر دو واریته حساس (Deka) و مقاوم (Utuba) یکسان بود (Tefera *et al.*, 2021).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی شش رقم گندم نان و دوروم در سطوح مختلف رطوبتی

Table 1. The analysis of variance results (mean squares) for the biochemical traits of six cultivars of bread and durum wheat at various moisture levels.

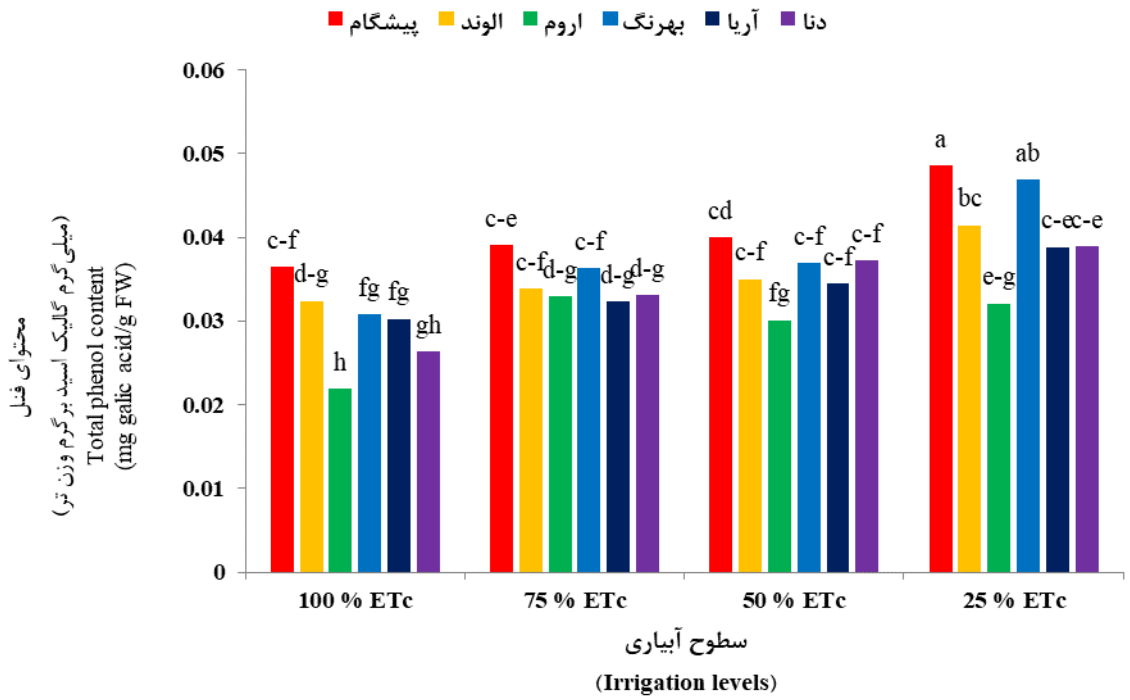
منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (DF)	میانگین مربعات (Mean squares)		
		محتوای قندهای محلول (Soluble sugars content)	محتوای فنل (Phenol content)	فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX activity)
بلوک (Block)	2	2.64×10^{-5} ns	1.02×10^{-6} ns	0.001929*
سطوح متفاوت رطوبتی (A) (Different moisture levels)	3	0.000172 ns	3.05×10^{-5} ns	0.016609**
خطای اصلی (Main Error)	6	0.001446	4.38×10^{-5}	0.000356
رقم (Cultivar) (B)	5	0.003027**	0.000125**	0.001199**
A × B	15	0.002253**	8.62×10^{-5} **	0.001712**
خطای کل (Total Error)	40	0.000549	1.53×10^{-5}	0.000291
کل (Total)	71	0.001129	4.07×10^{-5}	0.001397
ضریب تغییرات (%) CV.	-	13.33	11.12	12.46

ns * و ** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

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

محتوای فنل

اثر رقم و اثر متقابل سطوح متفاوت رطوبتی در رقم بر محتوای فنل برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسات میانگین نشان داد که با افزایش کم‌آبی محتوای فنل در همه ارقام افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین محتوای فنل مربوط به تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی بود (شکل ۲). محتوای فنل ارقام پیشگام و بهرنگ در تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۳/۳۱ و ۵۲/۱۴ درصد افزایش یافت.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح متفاوت رطوبتی بر محتوای ترکیبات فنلی در ارقام مختلف گندم نان و دوروم. حروف مشابه در هر ستون عدم معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

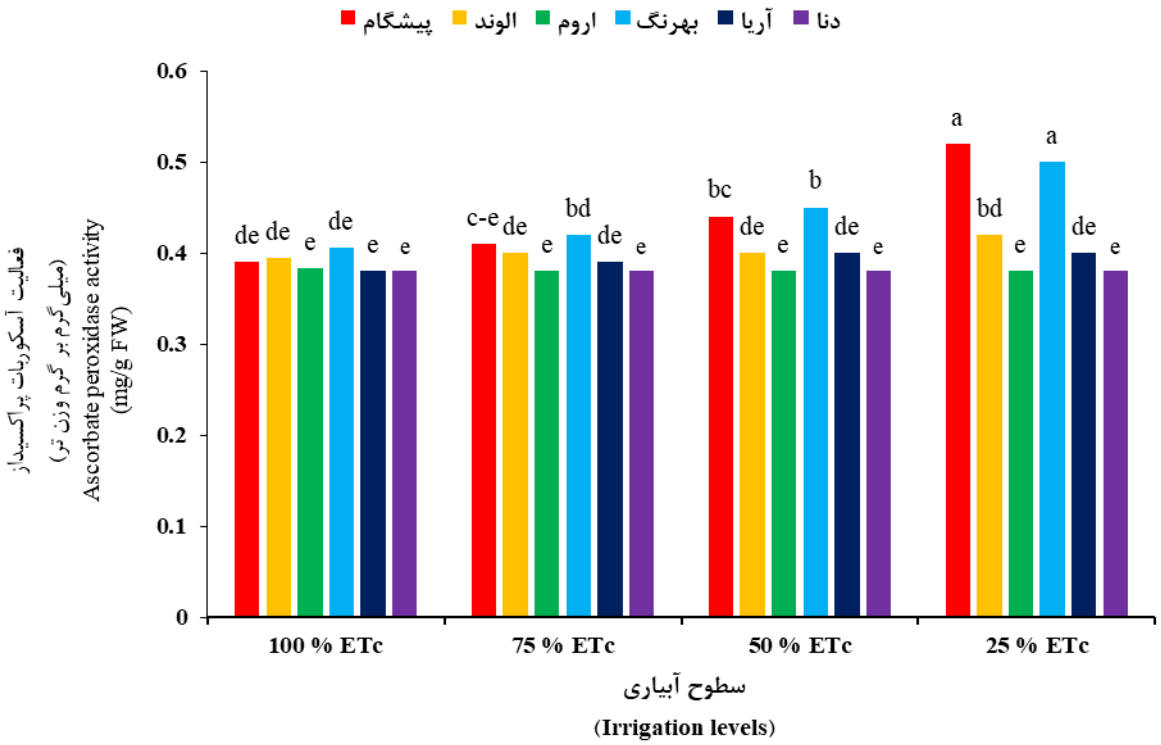
Figure 2. Mean comparison of the effect of different moisture levels on the phenol content in different cultivars of bread and durum wheat. Similar letters in each column indicate non-significance at the 5% probability level.

ترکیبات فنلی به‌عنوان شاخصی از تنش اکسیداتیو شناخته شده‌اند (Zhang & Zhang., 2013). تجمع انواع ترکیبات فنلی در شرایط تنشی می‌تواند به‌عنوان یک سیگنال در راه‌اندازی زنجیره‌ای از واکنش‌ها که درنهایت به افزایش تحمل تنش منجر می‌شوند، شرکت نماید (Sharma *et al.*, 2019). گیاه در زمان تنش خشکی به علت تضعیف سیستم ایمنی، ترکیبات فنلی را افزایش داده تا بتواند واکنش‌های دفاعی مناسبی را در برابر حمله میکروارگانیسم‌ها در پیش گیرد (Kaur *et al.*, 2022). تجمع ترکیبات فنلی در برگ به‌عنوان راه‌حل گیاه برای مقابله با تنش مطرح شده است (Kumar *et al.*, 2020; Naikoo *et al.*, 2019). ترکیبات فنلی می‌توانند به کمک حلقه بنزنی خود، نوری که به برگ‌ها می‌تابد را به فلورسانس آبی تبدیل و از این طریق اثرات تخریبی آن بر فتوسیستم‌ها را بکاهند (Marchiosi *et al.*, 2020; Kataria *et al.*, 2014).

فعالیت آسکوربات پراکسیداز

اثر رقم، سطوح متفاوت رطوبتی و اثر متقابل تیمارها بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که فعالیت این آنزیم با افزایش سطوح متفاوت رطوبتی، افزایش یافت. بیشترین افزایش در فعالیت آسکوربات

پراکسیداز، به ترتیب مربوط به ارقام پیشگام و بهرنگ در سطح آبیاری تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۳).



شکل ۳-مقایسه میانگین اثر سطوح متفاوت رطوبتی بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز در ارقام مختلف گندم نان و دوروم. حروف مشابه در هر ستون عدم معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

Figure 3. Mean comparison of the effect of different moisture levels on the ascorbate peroxidase activity (APX) in different cultivars of bread and durum wheat. Similar letters in each column indicate non-significance at the 5% probability level.

یکی از دلایلی که تنش‌های محیطی مثل خشکی، رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهند، اختلال در تعادل میان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم‌های دفاعی برطرف‌کننده این رادیکال‌هاست که به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive oxygen species)، القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی منجر می‌گردد (Salehi-Lisar & Bakhshayeshan-Agdam, 2016; Sachdev *et al.*, 2021). تحقیقات نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (Garcia-Caparros *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2016). برای جلوگیری از اثرات تنش اکسیداتیو، گیاهان دارای مکانیسم‌های بیوشیمیایی

متعددی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به چرخه مهلر، چرخه آسکوربات-گلوتایتون، چرخه گزانتوفیل و تنفس نوری اشاره نمود (Lao Arenas *et al.*, 2020). همچنین گیاهان دارای سیستم‌های آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی هستند که این سیستم‌ها باعث غیرفعال شدن گونه‌های فعال اکسیژن شده و خسارت‌های اکسیداتیو ناشی از فعالیت آن‌ها را کاهش می‌دهد. یکی از این سیستم‌های آنزیمی دفاعی سیستم اسکوربات پراکسیداز است (Rajput *et al.*, 2021). آنزیم آسکوربات پراکسیداز در چرخه‌های مهلر و گلوتایتون- آسکوربات نقش مؤثری در جمع‌آوری پراکسید هیدروژن ایفا می‌کند (Amist *et al.*, 2019).

محتوای کلروفیل a

اثر رقم و اثر متقابل رقم و سطوح متفاوت رطوبتی بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین کاهش در محتوای کلروفیل a مربوط به رقم دنا بود که در تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی، نسبت به تیمار شاهد، ۴۰ درصد کاهش نشان داد (شکل ۴).

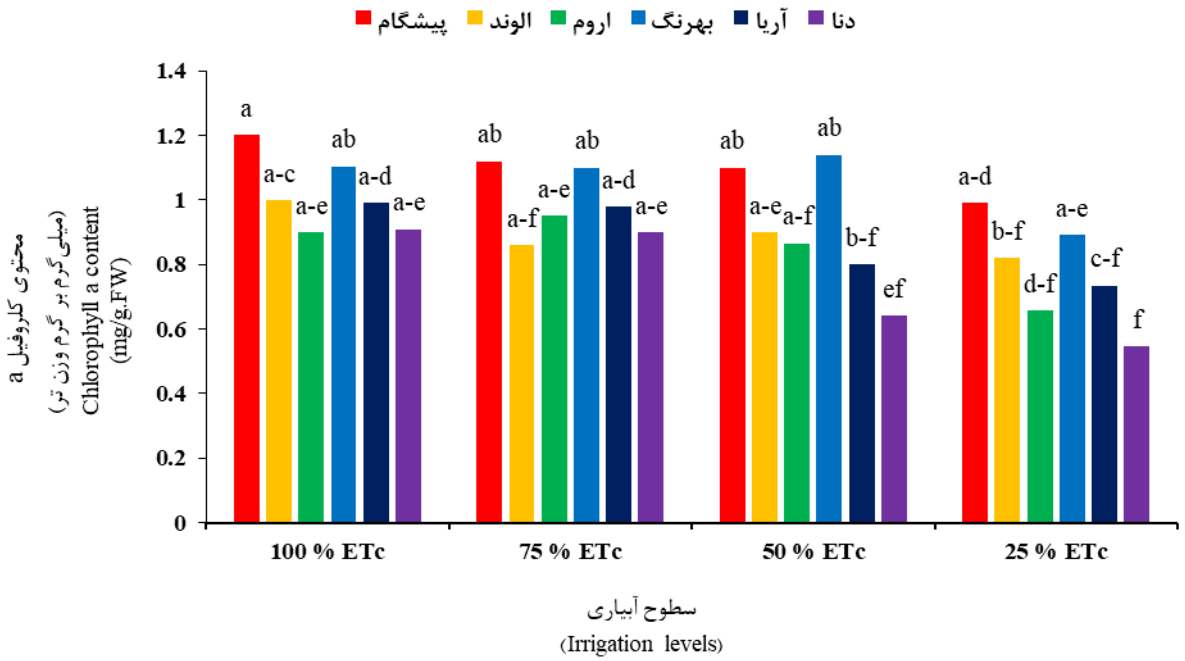
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک شش رقم گندم نان و دوروم در سطوح متفاوت رطوبتی

Table 2. The analysis of variance results (mean squares) for physiological traits of of six cultivars of bread and durum wheat at various moisture levels.

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (DF)	میانگین مربعات (Mean squares)		
		محتوای کلروفیل *a* (Chlrophyll a content)	محتوای کلروفیل *b* (Chlrophyll b content)	محتوای کاروتنوئید (Carotenoid content)
بلوک (Block)	2	0.014 ^{ns}	0.0002^{ns}	0.000162 ^{ns}
سطوح متفاوت رطوبتی (Different moisture levels) (A)	3	0.060 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.000927 *
خطای اصلی(Main Error)	6	0.070	0.01	0.001333
رقم (Cultivar) (B)	5	0.225**	0.074**	0.002320 **
A × B	15	0.079*	0.019**	0.001380 **
خطای کل(Total Error)	40	0.029	0.01	0.00032
کل (Total)	71	0.058	0.01	0.000806
ضریب تغییرات (%) .CV	-	18.69	19.17	12.16

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

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

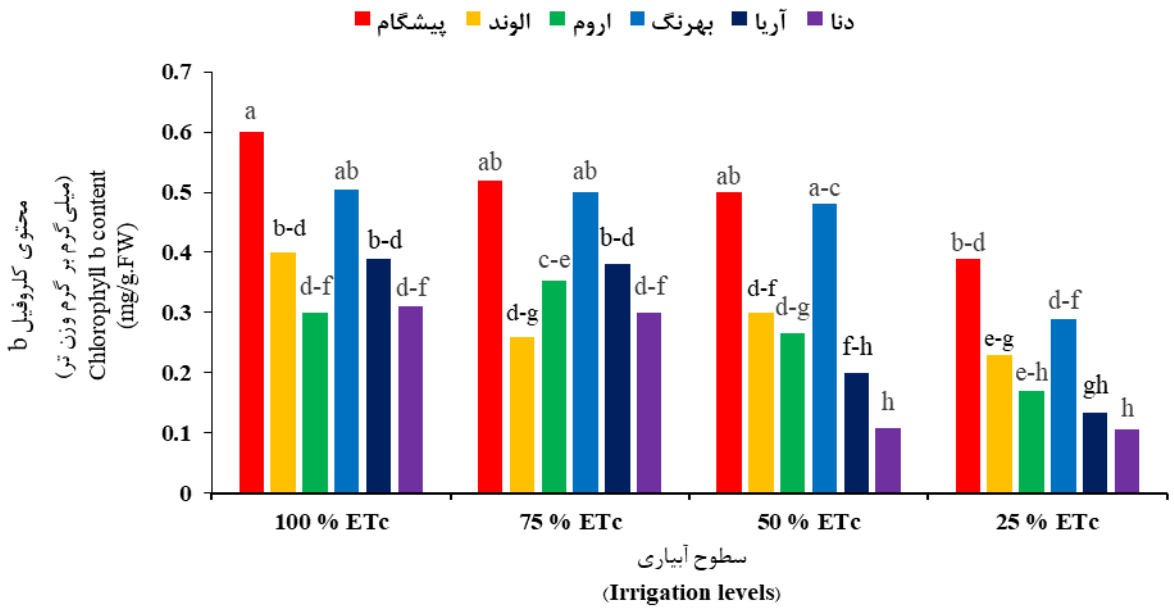


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح متفاوت رطوبتی بر محتوای کلروفیل *a* ارقام مختلف گندم نان و دوروم. حروف مشابه در هر ستون عدم معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

Figure 4. Mean comparison of the effect of different moisture levels on the chlorophyll a content in different cultivars of bread and durum wheat. Similar letters in each column indicate non-significance at the 5% probability level.

محتوای کلروفیل b

تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه از نظر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. همچنین اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلروفیل b معنی‌دار بود. اما اثر سطوح متفاوت رطوبتی بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج نشان داد که محتوای کلروفیل b، با کاهش آب مصرفی کاهش یافت و این کاهش در ارقام اروم و دنا بیشتر از سایر ارقام بود. تفاوت معنی‌داری بین محتوای کلروفیل b رقم پیشگام در سطوح تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده نشد. در بین ارقام گندم دروم، محتوای کلروفیل b در رقم بهرنگ در مواجهه با تنش کمتر کاهش یافت، به‌طوری‌که محتوای کلروفیل b این رقم در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح متفاوت رطوبتی بر محتوای کلروفیلb ارقام مختلف گندم نان و دوروم. حروف مشابه در هر ستون عدم معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

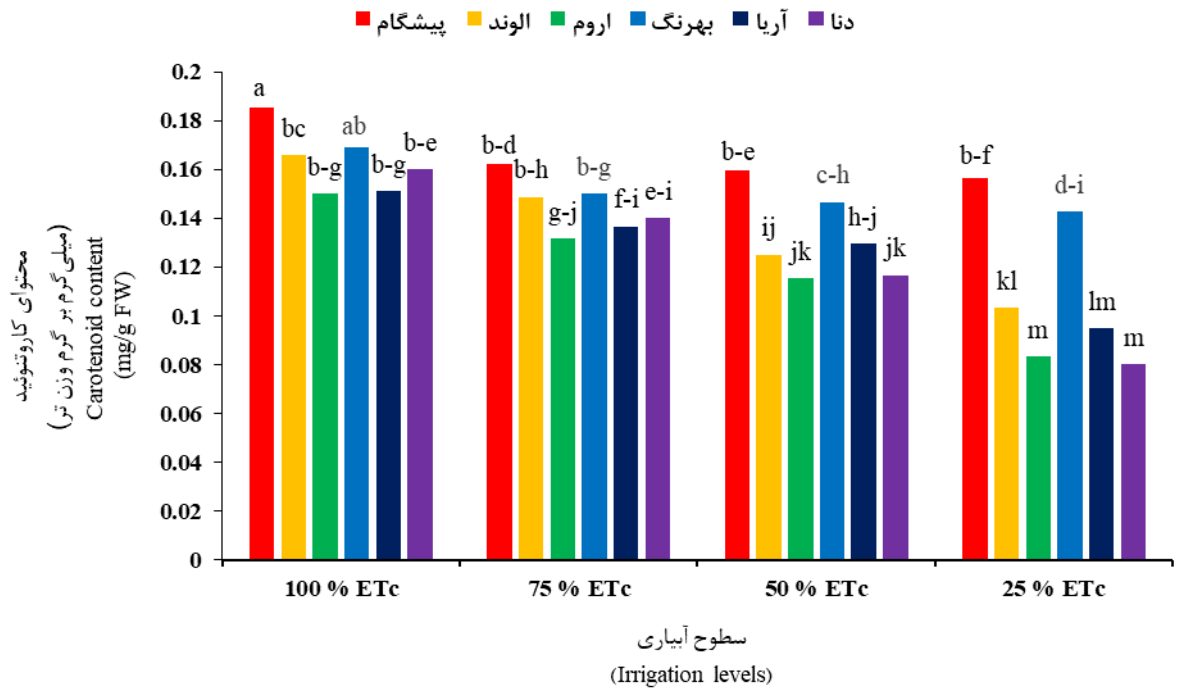
Figure 5. Mean comparison of the effect of different moisture levels on the chlorophyll b content in different cultivars of bread and durum wheat. Similar letters in each column indicate non-significance at the 5% probability level.

در همه ارقام مورد مطالعه میزان کاهش محتوای کلروفیل b در مواجهه با کم‌آبی بسیار بیشتر از محتوای کلروفیل a، بود. تنش آبی بر بخش نوری فتوسنتز و سیستم رنگیزه‌ای آن مؤثر واقع می‌شود و با افزایش مقدار تنش و کاهش پتانسیل خاک، روند تخریب رنگیزه‌های گیاه با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (Hazrati *et al.*, 2016 Razi & Muneer, 2021 Sharma *et al.*, 2020,). در شرایط تنش خشکی، کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند جنبه سازگاری داشته باشد، زیرا با کاهش آن، الکترون برانگیخته شده طی فتوسنتز کاهش می‌یابد و در نتیجه خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد (Czarnocka & Karpiński., 2018). به نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی کاهش فتوسنتز تاحدی به دلیل کاهش غلظت کلروفیل باشد (Baccari *et al.*, 2020). در گیاه، تأثیر معنی‌دار تنش بر محتوای کلروفیل به معنی کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی و کاهش پتانسیل تولید می‌باشد که در گندم این ذخیره‌سازی نقش مهمی در تعدیل نمودن اثرات مخرب خشکی بر پر شدن دانه دارد (Qi *et al.*, 2021، Wahab *et al.*, 2022). بنابراین ارقامی مثل پیشگام و بهرنگ که در شرایط تنش مقدار کمتری از کلروفیل خود را از دست دادند، قادر به حفظ فتوسنتز خود در سطح بالاتری نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه بودند که این امر به معنی تولید ماده خشک

بیشتر است و می‌تواند عملکرد دانه بالاتر این ارقام در مواجهه با کم‌آبی را توجیه کند.

محتوای کاروتنوئید

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم و اثر متقابل رقم در کم آبیاری بر محتوای کاروتنوئید گندم در سطح احتمال یک درصد و اثر سطوح مختلف رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط شدیدترین تنش، بیشترین و کمترین مقدارکاروتنوئید به ترتیب مربوط به رقم پیشگام و دنا است. کم‌آبیاری سبب کاهش محتوای کاروتنوئید در همه ارقام شد اما این کاهش در ارقام پیشگام و بهرنگ به ترتیب با ۱۵/۶۷ و۱۵/۴۷ درصد نسبت به سایر ارقام کمتر بود و بیشترین میزان کاهش محتوای کاروتنوئید در رقم دنا بود که به میزان ۵۰ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت (شکل ۶).



شکل ۶-مقایسه میانگین اثر سطوح متفاوت رطوبتی بر محتوای کاروتنوئیدها ارقام مختلف گندم نان و دوروم. حروف مشابه در هر ستون عدم معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

Figure 6. Mean comparison of the effect of different moisture levels on the carotenoids content in different cultivars of bread and durum wheat. Similar letters in each column indicate non-significance at the 5% probability level.

کاهش محتوای کاروتنوئیدها در مواجهه با تنش‌های غیر-زیستی مانند تنش خشکی توسط سایر محققین گزارش شده است (Gill & Tuteja, 2010; Eichholz *et al.*, 2014; Hsu & Kao, 2003) در هنگام مواجهه با تنش

خشکی گیاه در پاسخ به تنش برای از بین بردن رادیکال-های آزاد اکسیژن از خاصیت محافظتی کاروتنوئیدها بهره می‌برد. بالا نگه داشتن میزان کاروتنوئیدها به‌عنوان یکی از عوامل از بین برنده رادیکال‌های آزاد اکسیژن، می‌تواند باعث جلوگیری از آسیب به غشاء و کاهش نشت الکترولیتی شود (Hasanuzzaman & Fujita, 2022).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی رقم و سطوح متفاوت رطوبتی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما اثرات متقابل تیمارها بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده‌های مربوط به عملکرد ارقام گندم نان و دوروم در سطوح مختلف رطوبتی

Table 3. The results of analysis of variance (mean square) of grain yield of six cultivars (bread and durum) wheat at different moisture levels

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (DF)	میانگین مربعات (Mean square) عملکرد دانه (Grain Yield)
بلوک (Block)	2	2630.22 ns
سطوح متفاوت رطوبتی (A) (Different moisture levels)	3	271360.3**
خطای اصلی (Main Error)	6	21433.3
رقم (B) (Cultivar)	5	92548.5 **
رقم در سطوح رطوبتی A × B	15	9998.01 ns
خطای کل (Total Error)	40	5587
کل (Total)	71	25128
ضریب تغییرات (درصد) (%) .CV	-	12.46

ns، و ** به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد را نشان می‌دهد.

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

مقایسات میانگین نشان داد که در همه ارقام، بیشترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۷۴۲۰/۷، ۶۴۹۵/۶ و ۶۴۵۹/۹ کیلوگرم در هکتار) توسط ارقام پیشگام، بهرنگ و الوند تولید شد که از نظر آماری با همدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین کمترین عملکرد دانه (۴۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به رقم اروم بود. عملکرد دانه با افزایش شدت کم‌آبیاری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه (۷۳۵۰ کیلوگرم درهکتار) و کمترین (۴۵۵۰ کیلوگرم درهکتار) به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد و تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی تولید شد. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان عملکرد دانه همه ارقام شد اما تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه تیمارهای شاهد و تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده نشد (جدول ۴). به نظر می رسد در شرایط کم آبیاری شدید خصوصاً

در مرحله گل شکفتگی باعث اختلال در گرده‌افشانی شده و تعداد دانه در سنبله کاهش یابد از طرف دیگر تداوم کم آبیاری در مرحله پر شدن دانه به دلیل اثرات منفی خشکی بر صفات فیزیولوژیک از قبیل مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ باعث کاهش میزان فتوسنتز برگ پرچمی در شرایط تنش شده و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. در واقع می‌توان گفت گیاهان برای مقابله با تنش خشکی و از بین بردن اکسیژن‌های رادیکال‌های آزاد و مقابله با تنش اکسیداتیو حادث شده، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت خود را افزایش می‌دهند و با صرف انرژی بر میزان عملکرد دانه تأثیر می‌گذارند. بر این اساس، با شناخت بیشتر عوامل ضد اکسنده و عوامل مؤثر بر آن‌ها می‌توان راهکارهای مفیدی را برای مواجه با تنش خشکی در گیاهان و افزایش عملکرد اتخاذ نمود (Esmaeili *et al.*, 2022). در آزمایشی مشابه، تنش خشکی عملکرد دانه را در ارقام گندم تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش این صفت در ارقام گندم شد (Hadidi *et al.*, 2023). اثرات منفی خشکی بر صفات فیزیولوژیک و کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش که موجب کاهش عملکرد دانه می شود که توسط محققین دیگر نیز تائید شده است (Hu *et al.*, 2023; Du *et al.*, 2024).

جدول۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه در ارقام گندم نان و دوروم در سطوح متفاوت رطوبتی

Table 4. Mean comparison of the effect of different moisture levels on the grain yield content in different cultivars of bread and durum wheat

رقم (Cultivar)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain Yield (Kg ha^{-1})
پیشگام (Pishgam)	7420.7 a
الوند (Alvand)	6459.9 ab
اروم (Oroum)	4883.5 c
بهرنگ (Behrang)	6495.6 ab
آریا (Aria)	5177.2 bc
دنا (Dena)	5672.2 bc
سطوح متفاوت رطوبتی (Different moisture levels)	-
%100 ETc	7350.77 a
%75 ETc	6501.4 ab
%50 ETc	5650.63 bc
%25 ETc	4550.74 c

حروف مشابه در هر ستون عدم معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

Similar letters in each column indicate non-significance at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با کاهش تأمین نیاز آبی از ۱۰۰ درصد به ۲۵ درصد، کاهش چشمگیری در عملکرد دانه ارقام گندم نان و گندم دوروم وجود داشت. تیمار ۷۵ درصد تأمین نیاز آبی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف

معنی‌داری از نظر آماری برای عملکرد دانه وجود نداشت و زمانی که ۵۰ درصد نیاز آبی اعمال شد، کاهش عملکرد دانه معنی‌داری گردید. همچنین در بین ارقام، پیشگام و بهرنگ در مقایسه با سایر ارقام از عملکرد بالاتری برخوردار بودند که نشان از پتانسیل ژنتیکی این ارقام در تولید و عملکرد محصول می‌باشد. بنابراین، کاشت ارقام پیشگام و بهرنگ به‌عنوان یک راهکار مؤثر با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی مناسب می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

References

Ahmed, H. G. M. D., Sajjad, M., Li, M., Azmat, M. A., Rizwan, M., Maqsood, R. H., & Khan, S. H. 2019. Selection criteria for drought-tolerant bread wheat genotypes at seedling stage. Sustainability, 11(9), 1-17. DOI: 10.3390/su11092584

Amist, N., Bano, C., & Singh, N. B. 2019. Antioxidative machinery for redox homeostasis during abiotic stress. Molecular Plant Abiotic Stress: Biology and Biotechnology, 65-90. DOI:org/10.1002/9781119463665.ch4

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24(1), 1. DOI: 10.1104/pp.24.1.1.

Ashraf, M. F., & Foolad, M. R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59(2), 206-216. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Baccari, S., Elloumi, O., Fenollosa, E., Morales, M., Fki, L., & Munné-Bosch, S. 2020. Linking leaf water potential, photosynthesis and chlorophyll loss with mechanisms of photo-and antioxidant protection in juvenile olive trees subjected to severe drought. Frontiers in Plant Science, 11, p.614144. DOI: 10.3389/fpls.2020.614144

Bao, J., Cai, Y., Sun, M., Wang, G., & Corke, H. 2005. Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese Bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 2327-2332. DOI: 10.1021/jf048312z

Bassi, F. M., & Sanchez-Garcia, M. 2017. Adaptation and stability analysis of ICARDA durum wheat elites across 18 countries. Crop Science, 57(5), 2419-2430. DOI: 10.2135/cropsci2016.11.0916

Caverzan, A., Passaia, G., Rosa, S. B., Ribeiro, C. W., Lazzarotto, F., & Margis-Pinheiro, M. 2012. Plant responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. Genetics and Molecular Biology, 35, 1011-1019. DOI: 10.1590/s1415-47572012000600016

Czarnocka, W., & Karpiński, S. 2018. Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. Free Radical Biology and Medicine, 122, 4-20. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.011

Dos Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F., & Domingues, D. S., 2022. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. Stresses, 2(1), 113-135. https://doi.org/10.3390/stresses2010009

Du, X., Zhang, X., Chen, X., Jin, W., Huang, Z., & Kong, L. 2024. Drought stress reduces the photosynthetic source of subtending leaves and the transit sink function of podshells, leading to reduced seed weight in soybean plants. Frontiers in Plant Science, 15, 1337544. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1337544

Eichholz, I., Förster, N., Ulrichs, C., Schreiner, M., & Huyskens-Keil, S. 2014. Survey of bioactive metabolites in selected cultivars and varieties of *Lactuca sativa* L. under water stress. Journal of Applied Botany and Food Quality, 87.1-14. DOI: 10.5073/JABFQ.2014.087.00X

Esmaeili, A., Zebarjadi, A. R., Nadjaphy, A., & Saeidi, M. 2022. Investigation of activity of antioxidant enzymes under drought stress conditions in some bread wheat advanced genotypes. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 1(4). 496-509. DOI: 10.22126/cbb.2022.8408.1023

Farooq, M., Hussain, M., Ul-Allah, S., & Siddique, K. H. 2019. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. Agricultural Water Management, 219, 95-108. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.04.010

Food and Agriculture Organization. 2008. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved June 10, 2010. From http://fao.org/crop/statistics.

Garcia-Caparros, P., De Filippis, L., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., Altay, V., & Lao, M. T. 2021. Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: a review. The Botanical Review, 87, 421-466. DOI://link.springer.com/article/10.1007/s12229-020-09231-1

Ghaemi, M., Raeini Sarjaz, M., & Mosavi, M. 2013. Estimating the crop coefficient and the water requirement of the Gascogne wheat by using energy balance method in Mashhad. Irrigation and Water Engineering, 3(3), 58-68. DOI: https://www.waterjournal.ir/article_70702.html?lang=en

Ghahremaninejad, F., Hoseini, E., & Jalali, S., 2021. The cultivation and domestication of wheat and barley in Iran, brief review of a long history. The Botanical Review, 87(1), 1-22. DOI: 10.1007/s12229-020-09244-w

Gill, S. S., & Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48, 909-930. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Gregersen, P. L., & Holm, P. B. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Bioechnologyt, 5, 192-206. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2006.00232.x

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

Hasanuzzaman, M., & Fujita M. 2022. Plant Oxidative Stress: Biology, Physiology and Mitigation. Plants, 11(9), 1185. DOI: 10.3390/plants11091185.

Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Nicola, S. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. Plant Physiology and Biochemistry, 106, 141-148. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.04.046

Hsu, S. Y., & Kao C. H. 2003. The effect of polyethylene glycol on proline accumulation in rice leaves. Biologia plantarum, 46, 73-78. DOI: link.springer.com/article/10.1023/A:1022362117395

Hu, F., Zhang, Y., & Guo, J. 2023. Effects of drought stress on photosynthetic physiological characteristics, leaf microstructure, and related gene expression of yellow horn. Plant Signaling & Behavior, 18(1), 2215025. Doi: 10.1080/15592324.2023.2215025

Hussain, M., Waqas-ul-Haq, M., Farooq, S., Jabran, K., & Farroq, M. 2016. The impact of seed priming and row spacing on the productivity of different cultivars of irrigated wheat under early season drought. Experimental Agriculture, 52(3), 477-490. DOI: 10.1017/S0014479716000053

Hussain, S., Rao, M. J., Anjum, M. A., Ejaz, S., Zakir, I., Ali, M. A., Ahmad, N., & Ahmad, S. 2019. Oxidative stress and antioxidant defense in plants under drought conditions. Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches, 207-219. DOI: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06118-0_9

Ighodaro, O. M., & Akinloye, O. A. 2018. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. Alexandria Journal of Medicine, 54(4), 287-293. https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sánchez-Díaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84(1), 55-60. DOI: org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x

Irshad, M., Ullah, F., Fahad, S., Mehmood, S., Khan, A. U., Brtnicky, M., Kintl, A., Holatko, J., Irshad, I., El-Sharnouby, M., & El Sabagh, A. 2021. Evaluation of *Jatropha curcas* L. leaves mulching on wheat growth and biochemical attributes under water stress. BMC Plant Biology, 21(1), p.303. DOI: 10.1186/s12870-021-03097-0

Kameli, A., & Losel, D. M. 1993. Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress. New Phytolology, 125, 609-614. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03910.x

Kataria, S., Jajoo, A., & Guruprasad, K. N. 2014. Impact of increasing Ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic processes. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 137, 55-66. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2014.02.004

Kaur, S., Samota, M. K., Choudhary, M., Choudhary, M., Pandey, A. K., Sharma, A., & Thakur, J. 2022. How do plants defend themselves against pathogens-Biochemical mechanisms and genetic interventions? Physiology and Molecular Biology of Plants, 28(2), 485-504. DOI: 10.1007/s12298-022-01146-y

Kazemi, H., 2007. Agronomy. Centeral Press of University. p315. [In Persian].

Khan, M. N., Zhang, J., Luo, T., Liu, J., Ni, F., Rizwan, M., Fahad, S., & Hu, L. 2019. Morpho-physiological and biochemical responses of tolerant and sensitive rapeseed cultivars to drought stress during early seedling growth stage. Acta Physiologiae Plantarum, 41, 1-13. DOI: link.springer.com/article/10.1007/s11738-019-2812-2

Kumar, S., Abedin, M. M., Singh, A. K., & Das, S. 2020. Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms. Plant Phenolics in Sustainable Agriculture, 1, 517-532. DOI: link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4890-1-22

Kusvuran, S., Kiran, S., & Ellialtioglu, S. S. 2016. Antioxidant enzyme activities and abiotic stress tolerance relationship in vegetable crops. Abiotic and Biotic Stress in Plants-recent Advances and Future Perspectives, 481-506. https://www.intechopen.com/chapters/49852

Lao Arenas, M.T., Garcia Caparros, P., De Filippis, L., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., & Altay, V. 2020. Oxidative Stress and Antioxidant Metabolism under Adverse Environmental Conditions: a Review. DOI: 10.1007/s12229-020-09231-1

Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 591-592. DOI: 10.1042/BST0110591

Lopes, M. S., & Reynolds, M. P. 2012. Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. Journal of Experimental Botany, 63(10), 3789-3798. DOI: 10.1093/jxb/ers071

Ma, J., Lv, C., Xu, M., Chen, G., Lv, C., & Gao, Z. 2016. Photosynthesis performance, antioxidant enzymes, and ultrastructural analyses of rice seedlings under chromium stress. Environmental Science and Pollution Research, 23, 1768-1778. DOI: 10.1007/s11356-015-5439-x

Marček, T., Hamow, K. A., Végh, B., Janda, T., & Darko, E. 2019. Metabolic response to drought in six winter wheat genotypes. PLoS one, 14(2), p.e0212411. DOI: org/10.1371/journal.pone.0212411

Marchiosi, R., dos Santos, W. D., Constantin, R. P., de Lima, R. B., Soares, A. R., Finger-Teixeira, A., Mota, T. R., de Oliveira, D. M., Foletto-Felipe, M. D. P., Abrahão, J., & Ferrarese-Filho, O. 2020. Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants. Phytochemistry Reviews, 19, 865-906. DOI: 10.1007/s11101-020-09689-2

Naderi Zarnaghi, R., & Valizadeh, M. 2014. Investigation the activity of Glutathione Reductase and Ascorbate Peroxidase enzymes in wheat genotypes under drought tension in flowering stage. Crop Physiology jJournal, 6(23), 85-97. DOI: magiran.com/p1631627

Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghib, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin, F. 2019. Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance: An

overview. Plant Signaling Molecules, 157-168. DOI:10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5

Naseer, I., Javad, S., Singh, A., Maqsood, S., Iqbal, S., & Jabeen, K. 2022. Alleviation mechanism of drought stress in plants using metal nanoparticles–a perspective analysis. In Sustainable Agriculture Reviews 53: Nanoparticles: A New Tool to Enhance Stress Tolerance (pp. 115-149). Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-86876-5_5

Nezhadahmadi, A., Prodhan, Z. H., & Faruq, G. 2013. Drought tolerance in wheat. The Scientific World Journal, 2013. DOI: 10.1155/2013/610721

Nyaupane, S., Poudel, M. R., Panthi, B., Dhakal, A., Paudel, H. and Bhandari, R. 2024. Drought stress effect, tolerance, and management in wheat–a review. Cogent Food & Agriculture, 10(1), p.2296094.

Oku, S., Ueno, K., Tsuruta, Y., Jitsuyama, Y., Suzuki, T., Onodera, S., Maeda, T., & Shimura, H. 2019. Sugar accumulation and activities of enzymes involved in fructan dynamics from seedling to bulb formation in onion (*Allium cepa* L.). Scientia Horticulturae, 247, 147-155. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.12.013

Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., & Hasanuzzaman, M. 2021. Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. Physiologia Plantarum, 172(2), 1321-1335. DOI: 10.1111/ppl.13297

Qi, M., Liu, X., Li, Y., Song, H., Yin, Z., Zhang, F., He, Q., Xu, Z., & Zhou, G. 2021. Photosynthetic resistance and resilience under drought, flooding and rewatering in maize plants. Photosynthesis Research, 148, 1-15. DOI:link.springer.com/article/10.1007/s11120-021-00825-3

Rajput, V. D., Harish, Singh, R. K., Verma, K. K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F. R., Meena, M., Gour, V. S., Minkina, T., Sushkova, S., & Mandzhieva, S. 2021. Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. Biology, 10(4), p.267. DOI: 10.1080/07388551.2021.1874280

Razi, K., & Muneer, S. 2021. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops. Critical Reviews in Biotechnology, 41(5), 669-691.

Rijal, B., Baduwal, P., Chaudhary, M., Chapagain, S., Khanal, S., Khanal, S., & Poudel, P.B. 2021. Drought stress impacts on wheat and its resistance mechanisms. Malaysian Journal of Sustainable Agriculture, 5, 67-76. DOI: 10.26480/mjsa.02.2021.67.76

Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. 2021. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. Antioxidants, 10(2), p.277. DOI:org/10.3390/antiox10020277

Salehi-Lisar, S.Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. 2016. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. Drought stress tolerance in plants, Vol 1: physiology and biochemistry, 1-16. DOI://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-28899-4_1

Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F., Baenziger, P. S., & Börner, A. 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. International Journal of Molecular Sciences, 20(13), p.3137. DOI: 10.3390/ijms20133137

Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Turgay D, Hafiz Haleem A.W., & Battaglia, M. L. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants, 10(2), 259. DOI: 10.3390/plants10020259

Selim, D. A. F. H., Nassar, R. M. A., Boghdady, M. S., & Bonfill, M. 2019. Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions. Plant Physiology and Biochemistry, 135, 480-488. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.012

Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Singh Sidhu, G. P., Bali, A.S., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., & Bakshi, P. 2020. Photosynthetic

response of plants under different abiotic stresses: a review. Journal of Plant Growth Regulation, 39, 509-531. DOI: 10.1007/s00344-019-10018-x

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. Molecules, 24(13), p.2452. DOI: 10.3390/molecules24132452

Tefera, A., Kebede, M., Tadesse, K., & Getahun, T. 2021. Morphological, physiological, and biochemical characterization of drought-tolerant wheat (*Triticum* spp.) varieties. International Journal of Agronomy, 2021, 1-12. DOI:.org/10.1155/2021/8811749

Wahab, A., Abdi, G., Saleem, M. H., Ali, B., Ullah, S., Shah, W., Mumtaz, S., Yasin, G., Muresan, C. C., & Marc, R. A. 2022. Plants' physio-biochemical and phyto-hormonal responses to alleviate the adverse effects of drought stress: A comprehensive review. Plants, 11(13), p.1620. DOI: 10.3390/plants11131620

Yamaguchi, K., Mori, H., & Nishimura, M. 1995. A novel isoenzyme of ascorbate peroxidase localized on glyoxysomal and leaf peroxisomal membranes in pumpkin. Plant and Cell Physiology, 36(6), 1157-1162. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a078862

Yu, T. F., Xu, Z. S., Guo, J. K., Wang, Y. X., Abernathy, B., Fu, J. D., Chen, X., Zhou, Y. B., Chen, M., Ye, X. G., & Ma, Y. Z. 2017. Improved drought tolerance in wheat plants overexpressing a synthetic bacterial cold shock protein gene SeCspA. Scientific reports, 7(1), p.44050. DOI: 10.1038/srep44050

Zhang, Y., & Zhang, Y. 2013. Biological role of ascorbate in plants. Ascorbic acid in plants: biosynthesis, regulation and enhancement, 7-33. DOI://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-4127-4_2

Zhang, Y. B., Yang, S. L., Dao, J. M., Deng, J., Shahzad, A. N., Fan, X., Li, R. D., Quan, Y. J., Bukhari, S. A. H., & Zeng, Z. H. 2020. Drought-induced alterations in photosynthetic, ultrastructural and biochemical traits of contrasting sugarcane genotypes. PLoS One, 15(7), p.e0235845. DOI: 10.1371/journal.pone.0235845

Zia, R., Nawaz, M. S., Siddique, M. J., Hakim, S., & Imran, A. 2021. Plant survival under drought stress: Implications, adaptive responses, and integrated rhizosphere management strategy for stress mitigation. Microbiological Research, 242, p.126626. DOI: 10.1016/j.micres.2020.126626

Zulkiffal, M., Ahsan, A., Ahmed, J., Musa, M., Kanwal, A., Saleem, M., Anwar, J., ur Rehman, A., Ajmal, S., Gulnaz, S., & Javaid, M.M. 2021. Heat and drought stresses in wheat (*Triticum aestivum* L.): substantial yield losses, practical achievements, improvement approaches, and adaptive Mechanisms. Plant Stress Physiology, 3. DOI: 10.5772/intechopen.92378