

Morpho-physiological evaluation of susceptible and drought tolerant genotypes of winter bread wheat

Behnam Tahmasebpour¹, Sodabeh Jahanbakhsh^{2*}, AliReza Tarinejad³,
Hamid Mohammadi⁴, Ali Ebadi⁵

¹ Ph.D Graduated in Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, E-mail: tahmasbpor@yahoo.com

² Professor, Department of plant genetics and production engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, E-mail: jahanbakhsh@uma.ac.ir

³ Associate Professor, Department of Agricultural Biotechnology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, E-mail: tarinejad@yahoo.com

⁴ Associate Professor, Department of Agronomy and plant breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, E-mail: hamidmohammadi78280@gmail.com

⁵ Professor, Department of plant genetics and production engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, E-mail: abcdef@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/11/01
Revised: 2023/09/29
Accepted: 2023/09/29

Keywords:
Peroxidase
Photosynthetic pigments
Water deficit

ABSTRACT

Background and objectives: Wheat, as one of the most important crops, occupies about 20% of the world's cultivated area. In the FAO report, more than 90% of Iran is classified as arid and semi-arid. The impact of drought stress on crops is devastating every year, resulting in yield losses of 17%. It is therefore of high importance to research to improve crop resilience to drought stress and minimize water losses in agriculture. Hence, it seems essential to determine the drought tolerance of bread wheat genotypes based on their performance under moisture stress and normal conditions. Moreover, morphological, phenological, and physiological traits affecting the performance of the genotypes studied must be evaluated to achieve high-yielding genotypes for use in breeding programs. Accordingly, four advanced tolerant and sensitive bread wheat genotypes against drought stress were studied regarding yield and other physiological, morphological, and phenological traits under normal and water deficit conditions during the flowering stage. The objective was to discover the main causes of stress tolerance or sensitivity from different aspects of the studied genotypes.

Materials and methods: To explore the effect of moisture stress at flowering stage, four genotypes were investigated as the main factor (A) by factorial experiment based on the randomized complete block design (RCBD) with three replications under the normal and moisture stress conditions at flowering stage as the sub-factor (B) in the research field. By measuring the morphological, phenological, and physiological traits of four bread wheat genotypes and comparing their performance under water stress and normal conditions, the drought tolerance of each genotype was determined. We performed an analysis of variance, mean comparison, causality analysis, factor analysis, biplot analysis, and correlation between traits to determine the relative importance of each trait affecting the genotype's performance.

Results: The results of analysis of variance showed a significant difference at least at 5% probability level between genotypes and

drought stress levels according to most studied traits. Based on the results from the comparison of means of traits, the high tolerance of Eroum cultivar to drought stress was due to the higher increase in MDA and H₂O₂ and lower decrease in traits of chlorophyll a, total chlorophyll content, carotenoid content, 1000-seed weight and plant height. Also, the Mihan cultivar was more tolerant to drought stress because of the higher increase of proline, carotenoid, POX, CAT, peduncle length and number of days to 50% flowering and the lower decrease in the number of grains per spike due to drought stress. The drought stress increased the activity of catalase, peroxidase, MDA, H₂O₂ and osmolytes including proline and decreased the concentration of chlorophyll a, total chlorophyll, grain yield, number of fertile tillers, number of grains per spike, grain filling period, 1000-seed weight and vegetative growth rate. The results of biplot analysis based on the principal component analysis (PCA) showed that the flag leaf area, vegetative growth rate, number of fertilizer tillers, grain yield, number of grains per spike, 1000-seed weight, CAT, proline, POX, MDA and carotenoid play a decisive role in genotype discrimination under the normal and stress conditions. The results of path analysis showed that the vegetative growth rate, total chlorophyll content, chlorophyll a content and plant height, due to significant direct effects, and also the MDA, proline content and peduncle length, chlorophyll a concentration, chlorophyll b concentration, carotenoid content, total chlorophyll concentration, length of grain filling period and vegetative growth rate, due to the greater correlation with grain yield, can be used as suitable indicators for the selection of tolerance genotypes.

Conclusion: According to the mean comparison, causality, and biplot analyses, the high yield of the Arum genotype under normal and water stress conditions can be explained by total protein, vegetative growth rate, grain filling rate, 1000- grain weight, grain filling period, grains number in spike, fertile tillers number, plant height, and malondialdehyde. Whereas, the high yield of the Mihan genotype under both normal and moisture deficit conditions can be attributed to vegetative growth rate, 1000 grain weight, flag leaf area, grain filling period, grains number in spike, fertile tillers number, plant height, total chlorophyll concentration, chlorophyll a and b concentration, peduncle length, carotenoid content, and proline content.

Cite this article: Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh, S., Tarinejad, A.R., Mohammadi, H., Ebadi, A. 2023. Morpho-physiological evaluation of susceptible and drought tolerant genotypes of winter bread wheat. *Crop Production Journal*, 16 (2), 105-124.



© The Authors.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.20693.2541

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.



تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



ارزیابی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش خشکی گندم نان پاییزه از نظر صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی

بهنام طهماسب‌پور^۱، سدابه جهانبخش^{۲*}، علیرضا تارینژاد^۳، حمید محمدی^۴، علی عبادی^۵

^۱ دانش آموخته دکتری در رشته اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: tahmasbpor@yahoo.com

^۲ استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: jahانبakhsh@uma.ac.ir

^۳ دانشیار گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، رایانامه: tarinejad@yahoo.com

^۴ دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، رایانامه: hamidmohammadi78280@gmail.com

^۵ استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: ebadi@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	سابقه و هدف: گندم مهم‌ترین گیاه زراعی است که حدود ۲۰ درصد از اراضی جهان به کشت آن اختصاص یافته است. بر اساس گزارش فائو حدود ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. تنش خشکی هر ساله خسارت فراوانی را در محصولات زراعی ایجاد می‌کند و موجب کاهش ۱۷ درصدی عملکرد می‌گردد؛ از این رو انجام تحقیقات در زمینه بهبود مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی و یافتن راه‌کارهای مناسب به منظور کمینه ساختن تلفات آب در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین ارزیابی و تعیین میزان تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم نان بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی و بررسی اهمیت نسبی صفات ریخت‌شناسی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به منظور دستیابی به معیارهایی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول به منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی لازم و ضروری است؛ بنابراین، در این تحقیق چهار ژنوتیپ پیشرفته گندم نان متحمل و حساس به تنش خشکی از نظر عملکرد و سایر صفات فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی و فنولوژیکی تحت شرایط نرمال و تنش رطوبتی مرحله گلدهی مورد مطالعه قرار گرفت تا علل تحمل یا حساسیت به تنش از جنبه‌های مختلف در این ارقام بررسی شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰	مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثر تنش رطوبتی در مرحله شروع گلدهی، ۴ ژنوتیپ (شامل دو عدد حساس و دو عدد مقاوم به تنش رطوبتی) به‌عنوان فاکتور اصلی (A) تحت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در مرحله شروع گلدهی به‌عنوان فاکتور فرعی (B) در مزرعه تحقیقاتی بررسی شدند. پس از اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی، به منظور تعیین میزان تحمل به خشکی ۴ ژنوتیپ گندم نان بر اساس عملکرد در شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش و بررسی اهمیت نسبی صفات مؤثر بر عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها، تجزیه علیت، تجزیه به عامل‌ها، تجزیه بای پلمات و همبستگی بین صفات انجام شد.
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۷	
واژه‌های کلیدی:	
پراکسیداز	
رنگیزه‌های فتوسنتزی	
کم‌آبی	
یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها و بین سطوح تنش خشکی از نظر اکثر صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار حداقل در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین	

صفات، تحمل بالای رقم اروم به تنش خشکی به دلیل افزایش بیشتر در صفات مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید‌هیدروژن برگ و کاهش کمتر در صفات غلظت کلروفیل a، محتوای کلروفیل کل، میزان کاروتنوئید، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته می‌باشد؛ همچنین تحمل بیشتر رقم میهن به تنش خشکی به دلیل افزایش بیشتر صفات میزان پرولین، کاروتنوئید، پراکسیداز، کاتالاز، طول پدانکل و تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی و کاهش کمتر صفات تعداد دانه در سنبله در اثر اعمال تنش خشکی بود. تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، مالون‌دی‌آلدهید، پراکسید‌هیدروژن برگ و اسمولیت‌هایی از جمله پرولین و کاهش غلظت کلروفیل a، کلروفیل کل، عملکرد دانه، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، طول دوره پرشدن دانه، وزن هزار دانه و سرعت رشد رویشی گردید. نتایج تجزیه بای پلات براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که صفات مساحت برگ پرچم، سرعت رشد رویشی، تعداد پنجه بارور، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، کاتالاز، پرولین، پراکسیداز، پراکسید‌هیدروژن برگ، مالون‌دی‌آلدهید و کاروتنوئید نقش تعیین‌کننده در جداسازی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط نرمال و تنش دارند. نتایج تجزیه علیت نشان داد صفات سرعت رشد رویشی، محتوای کلروفیل کل، محتوای کلروفیل a و ارتفاع بوته به دلیل اثرات مستقیم قابل‌ملاحظه و همچنین صفات مالون-دی‌آلدهید، میزان پرولین و طول پدانکل، غلظت کلروفیل a، غلظت کلروفیل b، میزان کاروتنوئید، غلظت کلروفیل کل، طول دوره پرشدن دانه و سرعت رشد رویشی به دلیل همبستگی بیشتر با عملکرد دانه می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های پر محصول استفاده شوند.

نتیجه‌گیری: با توجه به آنالیزهای مقایسه میانگین، تجزیه علیت و تجزیه بای پلات عملکرد بالای ژنوتیپ اروم در شرایط نرمال و تنش به میزان پروتئین کل، سرعت رشد رویشی، سرعت پرشدن دانه، وزن هزار دانه، طول دوره پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته و مالون‌دی‌آلدهید بیشتر، مرتبط است، در صورتی‌که عملکرد بالای ژنوتیپ میهن در شرایط نرمال و تنش به‌سرعت رشد رویشی، وزن هزار دانه، مساحت برگ پرچم، طول دوره پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته، غلظت کلروفیل کل، غلظت کلروفیل a و b، طول پدانکل، میزان کاروتنوئید، میزان پرولین بیشتر مرتبط است.

استناد: طهماسب‌پور، ب.، جهانبخش، س.، تارین‌نژاد، ع.، محمدی، ح.، عبادی، ع. (۱۴۰۲). ارزیابی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش خشکی گندم نان پاییزه از نظر صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۶ (۲)، ۱۲۴-۱۰۵.



© نویسندگان.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.20693.2541

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی است که حدود ۲۰ درصد از اراضی جهان به کشت آن اختصاص یافته است. گندم گیاه ارزشمندی است که بیشترین استفاده آن (نزدیک به ۶۸ درصد) برای تأمین غذا بکار می‌رود. میانگین رشد جهانی عملکرد گندم، فقط ۰/۸ درصد در سال، در کشورهای اصلی تولیدکننده گندم خواهد بود. گندم موردنیاز برای تأمین غذا در سال ۲۰۲۰ به ۱۴۵ مگا تن رسیده است که شیب رشد آن نسبت به دهه گذشته، آهسته‌تر بود (۱). بر اساس گزارش فائو حدود ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (۲). در آینده نزدیک گسترش فعالیت‌های کشاورزی به مناطق با حاصلخیزی کمتر برای تأمین نیازهای روبه افزایش غذایی، موجب خواهد شد کمبود آب اهمیت بیشتری پیدا کند. تنش خشکی یکی از عمده‌ترین موانع برای تولید موفق محصولات زراعی در جهان بوده است و به‌طور متوسط عملکرد را ۵۰٪ یا بیشتر کاهش می‌دهد؛ همچنین تنش خشکی موجب آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن شده و منجر به تخریب کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، تغییر ساختار و تخریب پروتئین‌ها و غیرفعال شدن آنزیم‌ها می‌گردد (۳). در طی فتوسنتز تحت وضعیت کم‌آبی، محتوای کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک بوده و کاهش آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از تخریب کلروفیل بر اثر رادیکال‌های آزاد ایجادشده در این شرایط باشد (۴). گیاهان به‌منظور مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن، از ساز و کارهای آنتی‌اکسیدانی آنزیمی نظیر پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و غیرآنزیمی نظیر کاروتنوئیدها استفاده می‌کنند که در پاکسازی

مولکول‌های هیدروژن پراکسیداز تولیدشده در سلول، ایفای نقش می‌نمایند (۵). گیاهان از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت برای افزایش تحمل در برابر تنش اکسیداتیو استفاده می‌کنند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها (نظیر آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز) تحت تنش افزایش می‌یابد که نمایانگر مقاومت گیاه در مقابل تنش است (۶). از آنجایی که گیاهان نمی‌توانند از تنش‌های محیطی مختلف فرار کنند، به سازوکارهایی از جمله تنظیم اسمزی نیاز دارند که یک نوع سازگاری به تنش آبی است و از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند منجر به حفظ تورژسانس آن‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب شود (۷). بیشاپ و بوگی (۱۹۹۸) نشان دادند که ارقام پاکوتاه گندم سطح برگ پرچم کوچکتر و غلظت کلروفیل بیشتر و ظرفیت تبادل خالص CO_2 بیشتری در مقایسه با ارقام پابلند دارند (۸). پسرکلی (۱۹۹۹) گزارش نمود که دوام فتوسنتز و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل خشکی است (۹). استیل و همکاران (۱۹۹۱) بیان داشتند که افزایش نسبت کلروفیل a به b در شرایط تنش خشکی به‌واسطه تغییر در سیستم‌های فتوسنتزی در جهت نسبت کمتر فتوسیستم II به فتوسیستم I می‌باشد (۱۰). به نظر می‌رسد غلظت بیشتر پروتئین با حفظ کلروفیل برگ موجب دوام فتوسنتز و افزایش تحمل به تنش خشکی می‌شود. کاهش سنتز پروتئین‌ها در شرایط تنش خشکی و یا تجزیه پروتئین‌ها به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز است.

هم‌زمان با تغییرات صفات فیزیولوژیکی در گیاهان، صفات ریخت‌شناسی نیز در اثر تنش خشکی تغییر می‌کنند، در نتیجه برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی می‌توان از صفات ریخت‌شناسی و

معیارهایی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول به- منظور کاربرد در برنامه‌های به‌نژادی لازم و ضروری است. روی این اصل، در این تحقیق چهار ژنوتیپ پیشرفته گندم نان متحمل و حساس به تنش خشکی از نظر عملکرد و سایر صفات فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی و فنولوژیکی تحت شرایط نرمال و تنش رطوبتی در زمان گلدهی مورد مطالعه قرار گرفت تا علل تحمل یا حساسیت به تنش از زوایای مختلف در این ارقام مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان طی سال زراعی ۹۶-۹۵ با ۴ ژنوتیپ به‌عنوان فاکتور A و شرایط نرمال و تنش رطوبتی در زمان گلدهی به‌عنوان فاکتور B به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. شجره ارقام مورد مطالعه در جدول ۱ درج شده است. عملیات آماده‌سازی زمین، شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد فارو و کاشت ژنوتیپ‌ها در قطعه مورد نظر انجام شد. هر تکرار شامل ۸ کرت بود. در هر کرت ۴ ردیف از هر ژنوتیپ در عمق ۳-۲ سانتی‌متر کاشته شد.

فیزیولوژیکی به‌عنوان معیارهای گزینشی مناسب بهره جست. بر اساس تحقیقات صبا و همکاران (۲۰۱۸) لاین‌های مطلوب گندم آن‌هایی هستند که زیست‌توده نسبتاً زیاد، ارتفاع بوته و طول سنبله متوسط و دمای کانوپی پایین دارند و انتظار می‌رود که این لاین‌ها به‌طور هم‌زمان تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه بیشتر و در نتیجه عملکرد دانه در بوته بیشتری تولید نمایند (۱۱)؛ این محققین با ارزیابی ۳۶ لاین پیشرفته گندم در طول سه سال متوالی تحت شرایط دیم گزارش کردند که برای اصلاح عملکرد دانه در بوته گندم تحت این شرایط، گزینش برای دوره رویشی کوتاه‌تر و دوره پرشدن دانه طولانی‌تر پیشنهاد می‌شود (۱۱)؛ همچنین آن‌ها (۲۰۱۸) اعلام نمودند که افزایش طول دوره پرشدن دانه و کاهش صفات تعداد روز تا سنبله‌دهی، ارتفاع بوته و طول سنبله سبب افزایش صفات تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه و کاهش تعداد دانه در سنبله می‌شود (۱۱)؛ بنابراین ارزیابی و تعیین میزان تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم نان بر اساس عملکرد در شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش و بررسی اهمیت نسبی صفات ریخت‌شناسی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به منظور دستیابی به

جدول ۱- شجره ارقام مورد مطالعه

Table 1. Pedigree of cultivars studied

ارقام Cultivars	شجره Pedigree	واکنش به تنش خشکی Reaction to drought stress
میهن	87Zhong-90/Bkt	مقاوم tolerance
اروم	Her/Alvand/NS732	مقاوم tolerance
C-93-4	Nwau15/Attila/Shark/F4105W2.1	حساس susceptible
C-93-11	Gul96/Shark-1	حساس susceptible

دو شرایط فاقد و واجد تنش تا مرحله گلدهی به‌صورت یکسان و با دور آبیاری ۱۰ روزه انجام شد. در کرت‌های تحت تنش رطوبتی گلدهی، قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا انتهای دوره رشد گیاه اعمال شد.

طول خطوط کاشت ۲ متر، فاصله بین بذور ۲ سانتی‌متر و فاصله خطوط کاشت ۱۷ سانتی‌متر منظور شد. آبیاری مزرعه یک نوبت در پاییز بعد از کاشت صورت گرفت. در فصل بهار و تابستان، آبیاری در هر

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و ژنوتیپ‌های مورد بررسی و اثر متقابل این دو عامل بر اکثر صفات مورد ارزیابی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات مربوط به ژنوتیپ‌ها و سطوح تنش و اثر متقابل ژنوتیپ × تنش در جداول ۳، ۴ و ۵ درج شده است. وزن هزار دانه در ژنوتیپ میهن بیشترین مقدار (۳۹/۸۸ گرم) بود. روند تغییرات وزن هزار دانه از شرایط نرمال به تنش خشکی روند نزولی داشت (جدول ۳ و ۴) که با نتایج بایومی و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت داشت (۱۷). آن‌ها کاهش ۱۶/۴ درصدی وزن هزار دانه تحت شرایط تنش خشکی در زمان گلدهی را گزارش کردند.

تحت شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های میهن و c-93-11 بیشترین و ژنوتیپ‌های اروم و c-93-4 کمترین طول پدانکل را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). نقش مؤثر طول پدانکل در تحمل به خشکی و افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است (۱۸). طول دوره پرشدن دانه در ژنوتیپ c-93-11 کمترین مقدار (۱۴/۳۳ روز) و در ژنوتیپ‌های میهن، اروم و c-93-4 بیشترین مقدار (۲۹/۱۶-۳۰ روز) بود (جدول ۵). طول دوره پرشدن دانه از جمله صفاتی هست که تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از نظر تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌های اروم و میهن بیشترین مقدار (به ترتیب ۵۵ و ۶۸/۳۳) و ژنوتیپ‌های c-93-11 و c-93-4 کمترین مقدار (به ترتیب ۴۵/۳۳ و ۴۱/۱۷) را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که پتانسیل تشکیل دانه در سنبله از مراحل قبل از گلدهی شکل می‌گیرد؛ با این وجود آبیاری در مراحل پس از ساقه‌دهی از

در طول فصل رشد صفات فنولوژیکی مانند تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی، طول دوره پرشدن دانه و محتوای آب نسبی برگ (RWC) برای هر کرت ثبت گردید. در زمان رسیدگی گیاه (اواسط تا اواخر مرداد ماه) از متوسط ۱۰ بوته که به‌طور تصادفی از کرت انتخاب شده بودند، صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند. وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در یک مترمربع از هر کرت تعیین شدند. نمونه‌برداری از چهار رقم انجام شد و نمونه‌ها با انجماد سریع در ازت مایع و انتقال به فریزر -۷۰ سانتی‌متر تا زمان استفاده نگهداری شدند. صفات مقدار کلروفیل a, b و مقدار کلروفیل کل، محتوای پروتئین برگ، غلظت کاروتنوئید برگی، محتوای پروتئین محلول، غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، مقدار پراکسید هیدروژن برگ (H_2O_2)، پراکسیداز (POX) و کاتالاز (CAT) اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین غلظت پروتئین از روش برادفورد (۱۹۷۶) استفاده گردید (۱۲). فعالیت سیتیکی آنزیم کاتالاز با استفاده از روش چنس و مهلی (۱۹۵۵) صورت گرفت (۱۳). برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش کار و میسرا (۱۹۷۶) استفاده گردید (۱۴). میزان پروتئین برگ با استفاده از روش باتس و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد (۱۵). محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش آرنون (۱۹۶۷) اندازه‌گیری شد (۱۶).

به منظور مقایسه ژنوتیپ‌های مورد آزمایش تجزیه واریانس به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای کلیه صفات انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۰.۰۵ با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. تجزیه به عامل‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بر مبنای مقادیر ویژه بزرگتر از یک و همبستگی بین صفات با نرم‌افزار SPSS 23 محاسبه شد.

نرمال بیشترین مقدار (۰/۴۹) را به خود اختصاص داد (جدول ۵). بررسی روند تغییرات غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که این تغییرات در ارقام مورد بررسی روند کاهشی دارد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاهش غلظت کلروفیل در اثر تنش شدید خشکی می‌تواند ناشی از افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول باشد که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شوند (۲۱)؛ همچنین این موضوع نشان می‌دهد که این گیاه برای حفظ آب، تعرق را کاهش داده و به همین دلیل فتوستتوز نیز در تیمار تحت تنش به حداقل رسیده است. دوام فتوستتوز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. تنش خشکی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. اثر کاهنده تنش خشکی روی فتوستتوز از طریق کاهش محتوای هر دو کلروفیل a و b، مهار تشکیل کلروفیل، کاهش فعالیت روبیسکو، مهار هر دو سیستم نوری I و II و افزایش فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز می‌باشد (۲۲).

به نظر می‌رسد در شرایط تنش گیاه در طی روز با بسته نگه‌داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوی آب نسبی خود دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این وضعیت، الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، باعث تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل گیاه می‌گردد. کاهش محتوای کلروفیل گیاه در اثر تنش خشکی احتمالاً می‌تواند به علت مهار بیوستتوز کلروفیل به واسطه مهار سنتز آلفا-آمینولولونیک اسید و مهار تشکیل پروتوکلروفیل رداکتاز باشد (۲۳).

طریق تأثیر در لقاخ می‌تواند تعداد دانه در سنبه را افزایش دهد.

از نظر مساحت برگ پرچم ژنوتیپ میهن بیشترین مقدار (۲۰/۶۴ سانتی‌مترمربع) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). کاهش مساحت برگ پرچم از شرایط نرمال به تنش خشکی در مطالعات هویوان و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است که با نتایج جدول ۳ همخوانی دارد (۱۹). از لحاظ سرعت پرشدن دانه ژنوتیپ c-93-11 دارای بیشترین مقدار (۰/۴۷) گرم در روز) بود. بررسی روند تغییرات سرعت پرشدن دانه و سرعت رشد رویشی از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که این تغییرات روند کاهشی دارد (جدول ۴). سرعت بیشتر پرشدن دانه، صفت اغلب گندم‌های ایرانی است که به‌طور گسترده در نواحی خشک ایران با تنش آخر فصل مواجه هستند؛ در نتیجه انتخاب ارقامی با سرعت پرشدن دانه و اندازه دانه بیشتر ممکن است، تولیدات گندم را در نواحی خشک ایران افزایش دهند.

بیشترین محتوای آب نسبی برگ در ژنوتیپ‌های میهن و اروم (به ترتیب ۶۸/۸۶ و ۶۳/۲۸) و کمترین آن در ژنوتیپ‌های c-93-11 و c-93-4 (به ترتیب ۵۰/۹۵ و ۴۸/۷۱) مشاهده شد (جدول ۳). بررسی روند تغییر محتوای آب نسبی برگ از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که این تغییرات روند کاهشی دارد (جدول ۴). مولنار و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان کردند که تنش خشکی به‌طور نسبی پتانسیل آب برگ و محتوای آب نسبی برگ را کاهش می‌دهد (۲۰).

تحت شرایط نرمال و تنش خشکی ژنوتیپ میهن بیشترین کلروفیل b و ژنوتیپ اروم کمترین آن را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). از لحاظ غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل ژنوتیپ میهن در شرایط

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف تحت تأثیر ژنوتیپ و سطوح مختلف تنش در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی
 Table 2- Analysis of variance of different traits affected by genotype and different stress levels in evaluated genotypes

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات صفات Mean of Squares										
		وزن هزار دانه 1000 seed weight	طول پدانکل peduncle length	طول دوره پرشدن دانه grain filling period	تعداد دانه در سنبله No of seed per spike	مساحت برگ پرچم flag leaf area	سرعت پرشدن دانه grain filling rate	سرعت رشد رویشی vegetative growth rate	محتوای آب نسبی برگ RWC	غلظت کلروفیل b Chl b content	غلظت کلروفیل a Chl a content	غلظت کلروفیل کل Total Chl content
تکرار Replication	2	11.328	57.970 **	2.667	222.042 *	73.157 *	0.030	0.003 *	114.09	0.020	0.0001	0.003
ژنوتیپ Genotype(G)	3	33.834 *	11.670	343.444 **	873.486 **	69.46 **	0.089 **	0.002 *	563.467 **	0.145 **	0.054 **	0.132 **
تنش Stress(S)	1	698.221 **	0.12	150 *	3480.042 **	66.707 *	0.045 *	0.008 **	3277.175 **	0.007	0.127 **	0.442 **
ژنوتیپ × تنش G*S	3	20.754	38.304 **	37.222	11.375	11.581	0.009	0.0001	157.691	0.005	0.016 **	0.082 **
خطا Error	14	9.584	4.528	24.571	49.946	12.123	0.009	0.001	76.285	0.011	0.001	0.004
ضریب تغییرات (%) CV(%)		8.44	20.65	19.31	13.47	22.15	31.41	43.32	15.07	46.33	12.07	14.28

ادامه جدول ۲-

		میانگین مربعات صفات Mean of Squares										
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content	محتوای پروترین Proline content	محتوای پروتئین محلول protein content	محتوای پراکسیداز Peroxidase content	مالون دی آلدهید MDA	محتوای هیدروژن H ₂ O ₂ content	میزان کاتالاز Catalase content	عملکرد دانه grain yield	تعداد پنجه بارور No of fertile tillers	ارتفاع بوته plant height	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering %50
تکرار Replication	2	0.023	11.475*	1.155*	0.014**	0.281	0.004	0.048	7075.122	2.667*	3.617	66.667**
ژنوتیپ Genotype(G)	3	0.134*	100.953**	1.670**	0.083**	4.464**	1.076**	85.626**	7682.015**	0.944	15.038	311.889**
تنش Stress(S)	1	0.063	1386.331**	0.834	1.202**	27.985**	9.041**	362.828**	61927.74**	32.667**	17.51	54*
ژنوتیپ × تنش G*S	3	0.131*	81.656**	4.685**	0.207**	2.74**	0.698**	40.33**	3073.119**	0.111	17.205	35*
خطا Error	14	0.031	1.846	0.218	0.002	0.196	0.008	1.653	5093.82	0.476	14.391	7.810
ضریب تغییرات (درصد) CV(%)		33	10.20	3.24	4.85	30.04	9.52	11.14	43.53	15.62	6.77	1.44

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ هستند.

*and ** are significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مربوط به ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم نان

Table 3- Comparison of means of traits for studied bread wheat genotypes

واکنش رقم به تنش خشکی Reaction of cultivars to drought stress	ژنوتیپ Genotype	وزن هزار دانه (گرم) (gr) 1000 seed weight	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	تعداد دانه در سنبله No of seed per spike	مساحت برگ پرتوم (سانتی مترمربع) (cm ²) Flag leaf area	سرعت پر شدن دانه (گرم در روز) (gr/day) Grain filling rate	سرعت رشد رویشی (گرم در روز) Vegetative growth rate (gr/day)	محتوای آب نسبی برگ RWC	عظمت کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) (mg.gr FW) Chlb content	تعداد تیغه بارور No of fertile tillers	STI	GMP	MP
مقاوم Tolerant	میهن	39.88 ^a	29.167 ^a	68.333 ^a	20.636 ^a	0.311 ^b	0.094 ^a	68.855 ^a	0.427 ^a	4.833 ^a	0.817	301.158	311.229
مقاوم Tolerant	اروم	35.255 ^b	29.167 ^a	55 ^b	15.178 ^b	0.245 ^{bc}	0.074 ^{ab}	63.278 ^a	0.064 ^c	4.167 ^a	0.486	232.265	262.748
حساس Susceptible	C-93-4	34.552 ^b	30 ^a	41.167 ^c	12.945 ^b	0.184 ^c	0.054 ^a	48.705 ^b	0.261 ^b	4 ^a	0.281	176.511	185.766
حساس Susceptible	C-93-11	37.022 ^{ab}	14.33 ^b	45.333 ^c	14.117 ^b	0.467 ^a	0.067 ^{ab}	50.953 ^b	0.158 ^{bc}	4.667 ^a	0.434	219.448	224.116

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5٪ است.

The different letters in each column indicate a significant difference at the 5% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مربوط به سطوح تنش رطوبتی
Table 4- Comparison of means of traits for moisture stress levels

سطح تنش stress level	وزن هزار دانه 1000 seed weight (gr)	طول دوره پر شدن دانه (روز) Grain filling period (day)	تعداد دانه در سنبله No of seed per spike	مساحت برگ پرچم (سانتی مترمربع) flag leaf area (cm ²)	سرعت پرشدن		نسبی برگ RWC	محتوای آب غذای کلروفیل Chl b content (mgr.gr FW)	تعداد پنجه بارور No of fertile tillers	ارتفاع بوته (سانتی متر) plant height (cm)
					سرعت پرشدن دانه (گرم در روز) grain filling rate (gr/day)	سرعت رشد رویشی (گرم در روز) vegetative growth rate (gr/day)				
شاهد Normal	42.071 ^a	28.167 ^a	64.5 ^a	17.386 ^a	0.345 ^a	0.091 ^a	69.633 ^a	0.245 ^a	5.583 ^a	56.893 ^a
تنش Stress	31.283 ^b	23.167 ^b	40.417 ^b	14.052 ^b	0.250 ^b	0.054 ^b	46.262 ^b	0.210 ^a	3.250 ^b	55.185 ^a

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

The different letters in each column indicate a significant difference at the 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مربوط به اثرات متقابل ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف تنش خشکی

Table 5. Mean comparison of traits for genotype interactions at different drought stress levels

ژنوتیپ Genotype	سطح تنش Stress level	طول پدانکل (سانتی‌متر) Peduncle length (cm)	غلظت کلروفیل a Chl a content(d)	غلظت کلروفیل کل Total Chl content(d)	میزان کاروتنوئید Carotenoid content(d)	محتوای پرولین Proline content(c)	محتوای پروتئین محلول Protein content(d)
اروم	شاهد Normal	11.667 ^{ab}	0.222 ^c	0.285 ^{cd}	0.489 ^b	4.422 ^c	16.002 ^a
	تنش Stress	7 ^c	0.140 ^e	0.205 ^d	0.421 ^b	14.649 ^b	13.805 ^c
میهن	شاهد Normal	9.167 ^{bc}	0.485 ^a	0.901 ^a	0.472 ^b	6.222 ^c	13.991 ^c
	تنش Stress	14 ^a	0.227 ^c	0.299 ^{cd}	0.996 ^a	27.579 ^a	15.061 ^b
C-93-11	شاهد Normal	9.333 ^{bc}	0.431 ^b	0.620 ^b	0.454 ^b	6.003 ^c	14.002 ^c
	تنش Stress	13.5 ^a	0.229 ^c	0.354 ^c	0.323 ^b	27.682 ^a	15.214 ^{ab}
C-93-4	شاهد Normal	10.767 ^{abc}	0.199 ^{cd}	0.508 ^b	0.487 ^b	6.245 ^c	14.463 ^{bc}
	تنش Stress	7 ^c	0.159 ^{de}	0.371 ^c	0.573 ^b	13.784 ^b	12.887 ^d

ادامه جدول ۵ -

ژنوتیپ	سطح تنش	محتوای پراکسیداز	مالوندی آلدئید	محتوای پراکسید هیدروژن	میزان کاتالاز	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی (روز)	Days to flowering(day)
Genotype	Stress level	Peroxidase Content (a)	MDA(b)	H ₂ O ₂ Content (c)	Catalase content (a)	grain yield (gr.m ⁻²)		
اروم	شاهد	0.783 ^{de}	0.594 ^{bcd}	0.341 ^{ef}	4.893 ^e	385.585 ^a		187 ^c
	Normal							
	تنش	0.840 ^d	3.613 ^a	2.052 ^b	9.066 ^d	139.910 ^f		188 ^c
	Stress							
میهن	شاهد	0.606 ^f	0.181 ^d	0.261 ^f	8.573 ^d	389.760 ^a		192 ^c
	Normal							
	تنش	1.279 ^b	1.084 ^{bc}	1.015 ^c	16.413 ^b	232.698 ^d		200.33 ^b
	Stress							
C-93-11	شاهد	0.658 ^f	0.277 ^{cd}	0.257 ^f	8.503 ^d	269.623 ^b		201 ^b
	Normal							
	تنش	1.500 ^a	1.394 ^b	0.794 ^d	23.59 ^a	178.610 ^e		206.33 ^a
	Stress							
C-93-4	شاهد	0.747 ^e	0.523 ^{cd}	0.444 ^e	8.643 ^d	243.673 ^c		191.33 ^c
	Normal							
	تنش	0.965 ^c	4.122 ^a	2.351 ^a	12.648 ^c	127.86 ^g		188.67 ^c
	Stress							

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

The different letters in each column indicate a significant difference at the 5% probability level

a: $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ decomposed $\text{min}^{-1} \text{mgr}^{-1}$ protein

b: nmol/gr FW

c: $\mu\text{mol /gr FW}$

d: mgr/gr FW

a: جذب به ازای هر میلی گرم پروتئین

b: نانومول بر گرم وزن تر

c: میکرومول بر گرم وزن تر

d: میلی گرم بر گرم وزن تر

(۳۱) کاهش پیدا کند. تحت شرایط نرمال ژنوتیپ اروم بیشترین محتوای پروتئین را به خود اختصاص داد، اما در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ 4-93-c دارای کمترین محتوای پروتئین بود (جدول ۵). نتایج بررسی روند تغییرات پروتئین از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که این تغییرات در ارقام اروم و 4-93-c روند نزولی و در ارقام میهن و 11-93-c روند صعودی دارد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ 11-93-c بیشترین پراکسیداز را به خود اختصاص داد، در صورتی که در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های میهن و 11-93-c دارای کمترین پراکسیداز بودند (جدول ۵). نتایج بررسی روند تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که با اعمال تنش خشکی، فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند به‌طوری‌که کمترین فعالیت این آنزیم در شرایط بدون تنش به دست آمد (جدول ۵). تحت شرایط تنش خشکی ژنوتیپ 4-93-c بیشترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیدهیدروژن برگ و ژنوتیپ اروم بیشترین مالون‌دی‌آلدهید را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). نتایج بررسی روند تغییرات محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیدهیدروژن برگ از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که این تغییرات در 4 رقم مورد بررسی سیر صعودی دارد (جدول ۵).

تحت شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های 11-93-c و اروم به‌ترتیب بیشترین و کمترین کاتالاز را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). بررسی روند تغییرات آنزیم کاتالاز از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد با اعمال تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام مورد بررسی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (جدول ۵). الطیب (۲۰۰۵) افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را تحت تنش خشکی روی گیاه جو گزارش نمود (۳۲). تنش خشکی، موجب افزایش

در برخی پژوهش‌ها گزارش‌های ضد و نقیضی درباره اثر تنش خشکی روی غلظت کلروفیل ارائه شده است. شتاوی و تافیک (۲۰۰۷) بیان کردند که افزایش تنش خشکی منجر به افزایش کلیه رنگدانه‌های فتوسنتزی در ماش شده است (۲۴). نیکولوا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تنش خشکی منجر به افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (۲۵). علت افزایش محتوای کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی، کوچک‌تر شدن سلول‌های برگ به علت کاهش سطح برگ و ضخیم شدن آن‌ها گزارش شده است (۲۶).

نتایج بررسی روند تغییرات محتوای کاروتنوئید از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که این تغییرات در ارقام اروم و 11-93-c سیر نزولی و در ارقام میهن و 4-93-c سیر صعودی دارد (جدول ۵). ژنوتیپ میهن در شرایط تنش خشکی بیشترین غلظت کاروتنوئید را داشت که غلظت آن حدود ۲ برابر شرایط نرمال بود. تحت شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های میهن و 11-93-c بیشترین پرولین را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). بررسی روند تغییرات محتوای پرولین از شرایط نرمال به تنش خشکی نشان می‌دهد که این تغییرات در 4 رقم مورد بررسی سیر صعودی دارد (جدول ۵). افزایش پرولین در گیاه هنگام تنش، نوعی مکانیسم دفاعی است. پرولین از طریق تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و پاک کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهد (۲۷). تجمع پرولین به دلیل خشکی می‌تواند ناشی از تحریک سنتز آن یا جلوگیری از تجزیه آن و یا تجزیه پروتئین باشد (۲۸). گزارش‌ها نشان می‌دهد که تجمع پرولین به موازات فعالیت آنزیم‌های شرکت‌کننده در سنتز پرولین است (۲۹ و ۳۰). همچنین تنش خشکی باعث می‌شود؛ فعالیت آنزیم تجزیه‌کننده پرولین در گوجه‌فرنگی (۲۹) و آفتابگردان

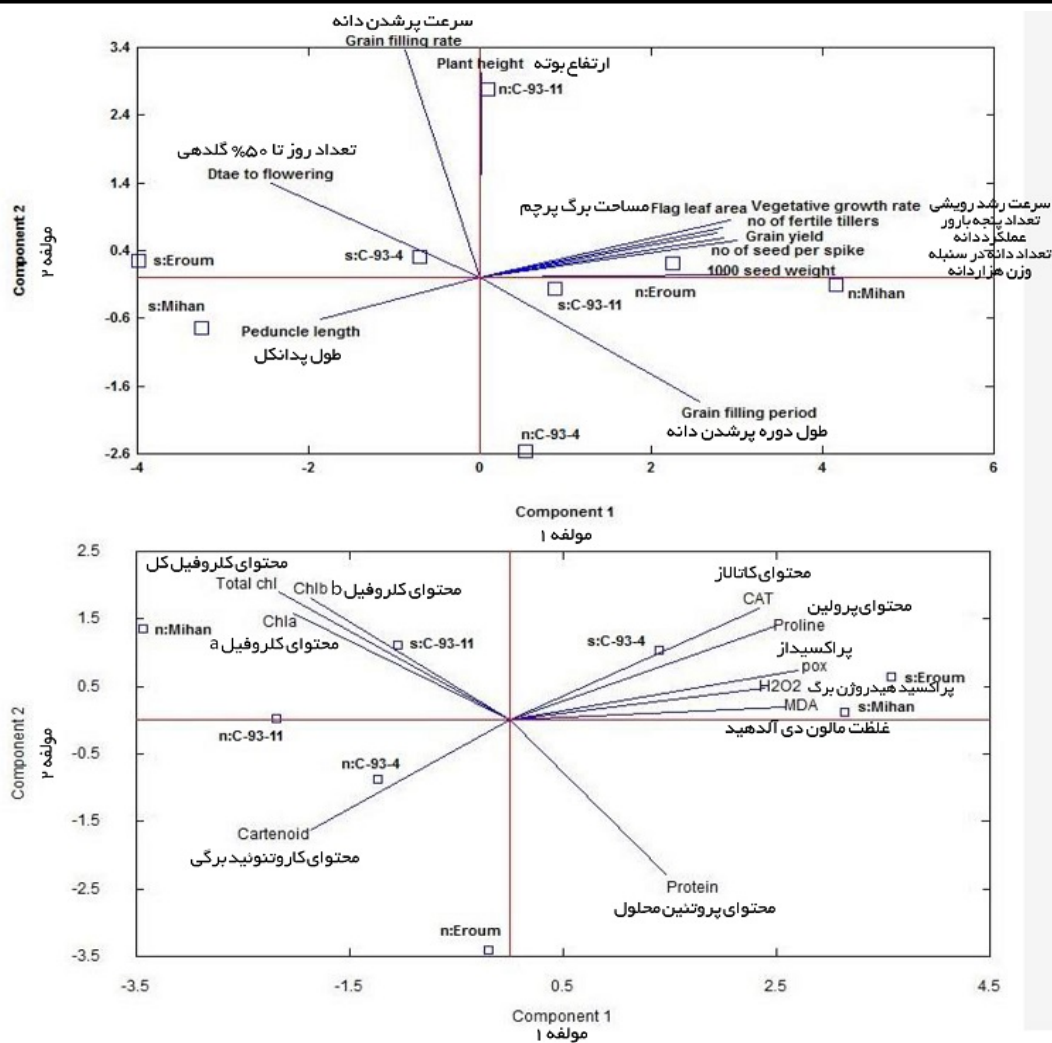
پایینی با هم دارند (شکل ۱ الف). بر اساس نتایج نمودار بای پلات، صفات مساحت برگ پرچم، سرعت رشد رویشی، تعداد پنجه بارور، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نقش تعیین کننده در جداسازی ژنوتیپها تحت شرایط نرمال و تنش داشتند.

تجزیه بای پلات برای بررسی همزمان صفات فیزیولوژیکی و جایگاه ژنوتیپها در ارتباط با آنها استفاده شد (شکل ۱ ب). در این تجزیه مؤلفه‌های اول و دوم ۸۶/۸۵٪ از تغییرات کل داده‌های اولیه را توجیه کردند. نتایج تجزیه بای پلات نشان داد که همبستگی خوبی بین صفات کاتالاز، محتوای پرولین، میزان پراکسیداز، پراکسیدهدروژن برگ و مالون‌دی‌آلدهید وجود دارد (شکل ۱ ب)؛ همچنین بین صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل همبستگی بالایی مشاهده شد. نتایج نمودار بای پلات نشان داد که صفات کاتالاز، پراکسیداز، پراکسیدهدروژن برگ، محتوای پرولین، مالون‌دی‌آلدهید و کاروتنوئید نقش تعیین کننده در جداسازی ژنوتیپها تحت شرایط نرمال و تنش دارند.

تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر و در نتیجه افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود. این آنزیم‌ها نقش بسیار مهمی در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول گیاه دارند. کاتالاز آنزیمی است که پراکسیدهدروژن تولیدشده در مسیره‌های تنفس نوری داخل پراکسیزوم‌ها را مهار می‌کند (۳۳).

بر اساس شاخص‌های STI، GMP و MP ژنوتیپ‌های میهن و اروم به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۱-۹۳-c و ۴-۹۳-c به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ ارزیابی شدند (جدول ۳). تحت شرایط نرمال ژنوتیپ‌های میهن و اروم (به ترتیب با میانگین‌های ۳۸۹/۷۶ و ۳۸۵/۵۹ گرم در مترمربع) بیشترین و ژنوتیپ ۴-۹۳-c (با میانگین ۲۴۳/۶۷ گرم در مترمربع) کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند، در صورتی که تحت شرایط تنش گلدهی، ژنوتیپ میهن (با میانگین ۲۳۲/۷۰ گرم در مترمربع) بیشترین و ژنوتیپ ۴-۹۳-c (با میانگین ۱۲۷/۸۶۰ گرم در مترمربع) کمترین عملکرد دانه را دارا بودند، بنابراین بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش گلدهی به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های میهن و ۴-۹۳-c بود (جدول ۵).

تجزیه بای پلات بر اساس صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی: در این تحقیق، تجزیه بای پلات برای بررسی هم‌زمان متغیرها و جایگاه ژنوتیپها در ارتباط با آنها بر اساس صفات ریخت‌شناسی استفاده شد (شکل ۱ الف). در این تجزیه مؤلفه‌های اول و دوم ۸۴/۹۵٪ از تغییرات کل داده‌های اولیه را توجیه کردند. با توجه به کسینوس زاویه بین صفات در نمودار بای پلات، هر چه زاویه بین دو صفت کمتر باشد، با هم همبستگی بیشتری دارند؛ بنابراین بین صفات سرعت رشد رویشی، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه بارور، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همبستگی بالایی وجود دارد، اما بقیه صفات همبستگی



شکل ۱- نمایش دوبعدی صفات و ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس دو مؤلفه اول به دست آمده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (شکل الف بر اساس صفات ریخت‌شناسی، شکل ب بر اساس صفات فیزیولوژیکی)

Figure 1- Two-dimensional representation of studied traits and genotypes based on first two components derived from principal component analysis (a) based on morphological traits, (b) based on physiological traits.

تجزیه علیت عملکرد دانه در ارقام متحمل به تنش خشکی: تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش رطوبتی متغیرهای مالون‌دی‌آلدهید، پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، کلروفیل کل، پروتئین، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول دوره پرشدن دانه و سرعت رشد رویشی بر عملکرد دانه منفی و بیشتر بود، در صورتی که اثرات غیرمستقیم کلروفیل a، کلروفیل b، میزان کاروتنوئید، کلروفیل کل، طول دوره پرشدن دانه و ارتفاع بوته از طریق سرعت رویشی بر عملکرد دانه مثبت و بیشتر بود (جدول ۶).

تجزیه علیت عملکرد دانه در ارقام متحمل به تنش خشکی: تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش رطوبتی متغیرهای مالون‌دی‌آلدهید، پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، کلروفیل کل، پروتئین، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول دوره پرشدن دانه و سرعت رشد رویشی بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار داشته و در معادله باقی ماندند. بر اساس نتایج، سرعت رشد رویشی بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد دانه داشت. همچنین اثر مستقیم کلروفیل a و ارتفاع بوته

جدول ۶- تجزیه ضرایب همبستگی ساده بین صفات باقیمانده در مدل رگرسیون عملکرد دانه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم و ارقام متحمل به تنش خشکی
Table 6. Analysis of simple correlation coefficients among traits remained in regression model of grain yield into direct and indirect effects

صفات Traits	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect Via													همبستگی ساده صفات با عملکرد دانه Simple correlation of traits with grain yield
	اثر مستقیم Direct effect	مالوندی- آلدهید MDA	محتوای پروлін Proline	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای پروتئین محلول Protein	ارتفاع بوته Plant height	طول پدانکل Peduncle length	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	سرعت رشد رویشی Vegetative growth rate		
مالوندی آلدهید MDA	0.008	—	-0.025	-0.089	0.015	-0.002	0.127	0.013	0.004	0.027	0.022	-0.788	-0.77	
محتوای پروлін Proline	-0.030	0.007	—	-0.055	0.010	-0.003	0.079	0.006	-0.012	0.035	0.029	-0.667	-0.74	
کلروفیل a Chl a	0.141	-0.005	0.012	—	-0.018	0.0006	-0.176	-0.025	0.032	-0.036	-0.008	0.657	0.50	
کلروفیل b Chl b	-0.029	-0.004	0.010	0.087	—	0.001	-0.178	-0.028	-0.066	-0.031	-0.024	0.444	0.30	
کاروتنوئید Carotenoid	0.004	-0.004	0.026	0.021	-0.007	—	-0.042	-0.002	0.008	-0.036	-0.029	0.404	0.49	
کلروفیل کل Total chlorophyll	-0.198	-0.005	0.012	0.125	-0.026	0.001	—	-0.030	-0.020	-0.037	-0.018	0.616	0.44	
محتوای پروتئین محلول Protein	0.036	0.003	-0.005	-0.099	0.023	-0.0002	0.164	—	0.028	0.036	0.001	-0.121	0.03	
ارتفاع Plant height	0.120	0.002	0.003	0.038	0.016	0.0003	0.034	0.008	—	-0.008	0.014	0.172	0.20	
طول پدانکل Peduncle length	0.052	0.004	-0.020	-0.099	0.017	-0.003	0.143	0.025	-0.019	—	0.018	-0.455	-0.39	
طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	-0.043	-0.004	0.020	0.027	-0.016	0.003	-0.083	-0.001	-0.040	-0.022	—	0.717	0.74	
سرعت رشد رویشی Vegetative growth rate	1.010	-0.006	0.020	0.092	-0.013	0.002	-0.121	-0.004	0.020	-0.023	-0.031	—	0.97	
باقی مانده Residual	ضریب تعیین R ² = 0.99													
	Residual=0.2338													

رشد رویشی، سرعت پرشدن دانه، وزن هزار دانه، طول دوره پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته و مالون‌دی‌آلدهید بیشتر، مرتبط است، در صورتی که عملکرد بالای ژنوتیپ میهن در شرایط نرمال و تنش به‌سرعت رشد رویشی، وزن هزار دانه، مساحت برگ پرچم، طول دوره پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته، غلظت کلروفیل کل، غلظت کلروفیل a و b، طول پدانکل، میزان کاروتنوئید، میزان پرولین بیشتر مرتبط است.

سپاسگزاری

از مسئولین مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی که مواد آزمایشی برای انجام این پژوهش را فراهم کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

همچنین نتایج جدول 6، نشان می‌دهد صفات سرعت رشد رویشی، محتوای کلروفیل کل، محتوای کلروفیل a و ارتفاع بوته به دلیل اثرات مستقیم قابل‌ملاحظه و همچنین صفات مالون‌دی‌آلدهید، میزان پرولین و طول پدانکل، غلظت کلروفیل a، غلظت کلروفیل b، میزان کاروتنوئید، غلظت کلروفیل کل، طول دوره پرشدن دانه و سرعت رشد رویشی به دلیل همبستگی بیشتر با عملکرد دانه می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های پر محصول در ارقام متحمل به تنش خشکی (اروم و میهن) استفاده شوند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به آنالیزهای مقایسه میانگین، تجزیه علیت و تجزیه بای پلات عملکرد بالای ژنوتیپ اروم در شرایط نرمال و تنش به میزان پروتئین کل، سرعت

References

1. FAO. (2020). World food situation, Available at: <http://www.fao.org/world-food-situation/csdb/en/>.
2. FAO. 2010. FAOSTAT. Available in <http://faostat.fao.org/> [28 May 2010].
3. Kovacik, J., Klejdus, B., Babula, P. & Jarosova, M. (2014). Variation of antioxidants and secondary metabolites in nitrogen-deficient barely plants. *J. Plant Physiol.* 171: 260-268.
4. Brevedan, R.E. & Egli, D.B. (2003). Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Sci.* 43: 2083-2088.
5. Miller, G., Suzuki, N. & Ciftci-Yilmaz, S. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell Environ.* 33: 453-467.
6. Parida, A.K. & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on Plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60: 324-349.
7. Vinocur, B. & Altman, A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Curr. Opin. Biotechnol.* 16: 123-132.
8. Bishop, D.L. & Bugbee, B.G. (1998). Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat. *J. Plant Physiol.* 153: 558-565.
9. Pessarkli, M. 1999. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker INC. 697p.
10. Estill, K., Delany, R.H., Smith W.K. & Ditterline, R.L. (1991). Water relations and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. *Crop Sci.* 25: 345-348.
11. Saba, J., Tavana, Sh., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F. & Jabbari, F. (2018). Canonical Correlation Analysis to Determine the Best Traits for Indirect Improvement of Wheat Grain Yield under Terminal Drought Stress. *J. Agr. Sci. Tech.*, 20: 1037-1048. (In Persian)
12. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochem.* 72: 248-254.
13. Chance, B. & Maehly, A.C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Meth. Enzymol.* 11: 764-755.
14. Kar, M. & Mishra, D. (1976). Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase activities during Rice leaf senescence.

- Plant Physiol. 57: 315-319.
15. Bates, L., Waldrem, R. & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*. 39: 205-207.
 16. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agron. J.* 23: 112-121.
 17. Bayoumi, T.Y., Eid, M.H. & Metwali, E.M. (2008). Application of physiological and indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *Afr. J. Biotechnol.* 7: 2341-2352.
 18. Slafer, G.A. & Savin, R. (1994). Post-anthesis green area duration in a semi-dwarf and a standard height wheat cultivar as affected by sink strength. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 1337-1346.
 19. Huyuan, F., Xue, Li.S. & Wang, L.X. (2007). The interactive effects of enhanced UV-B radiation and soil drought on spring wheat. *South Afr. J. of Bot.* 73: 429-434.
 20. Molnar, I., Dulai, S., Csernak, A., Pronay, J. & Lang, M.M. (2005). Photosynthetic responses to drought stress in different *Aegilops* species. *Acta Biol.* 49: 141-142.
 21. Schutz, M. & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated CO₂ and water limitation. *Environ. Pollut.* 114: 187-194.
 22. Mohan, B.S. & Hosetti, B.B. 2006. Phytotoxicity of cadmium on the physiological dynamics of *Salvinia natans* L. grown in macrophyte ponds. *J. Environ. Biol.* 27: 701-704.
 23. Hassegawa, R. H., Fonsenca, H., Fancelli, A. L., Dasilva, V. N., Schammas, E. A., Reis, T. A. & Correa, B. (2008). Influence of macro and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control.* 19: 36-43.
 24. Sheteawi, S.A. & Tawfik, K.M. (2007). Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mung bean (*Vigna radiate*) growth and yield. *J. appl. sci. res.* 3: 3. 251-262.
 25. Nikolaeva, M.K., Maevskaya, S.N., Shugaev, A.G. & Bukhov, N.G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russ. J. Plant Physiol.* 57: 87-95.
 26. Darvishi-Baloochi, M., Paknejad, F., Kashani, A. & Ardakani, M.R. (2010). Effect of water stress and foliar feeding of micronutrients on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content, RWC, membrane stability and grain yield of maize (SC704). *J. Crop Sci.* 41: 3. 531-543. (In Persian).
 27. Kuznetsov, W. & Shevyankova, N.L. (1997). Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. *Physiol. Plant.* 100: 320-326.
 28. Gomes, F.P., Oliva, M.A. Mielke, M.S. Almeida, A.A.F. & Aquino, L.A. (2010). Osmotic adjustment, proline accumulation and membrane stability in leaves of *Cocosnuciera* submitted to drought stress. *Sci. Hortic.* 126: 379-384.
 29. Fujita, T., Maggio, A., Rios, M.G., Stauffacher, C., Bressan, R.A. & Csonka, L.N. (2003). Identification of regions of the tomato - glutamyl kinase that are involved in allosteric regulation by proline. *J. Biol. Chem.* 278: 16. 14203-10.
 30. Giri, G.S. & Schilinger, W.F. (2003). Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. *Crop sci.* 43: 2135-2141.
 31. Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. & Panneerselvam, R. (2010). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids Surf. B.* 59: 141-149.
 32. EL-Tayeb, M.A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul.* 45: 215-222.
 33. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7: 405-410.