Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 1, 2026 p: 163-176 OPEN ACCESS

Research Paper

The Evaluation of Yield and Some Morphological Traits in the Double Haploid Line of Bread Wheat Genotypes (*Triticum aestivum* L.) under Drought Stress Conditions

Behnaz Neysi[1], Gholamali Ranjbar[2], Hamid Najafi Zarini[3]

1- Ph.D., Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: ali.ranjbar@sanru.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Crops Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 10 June, 2025 Revised: 8 October, 2025 Accepted: 20 November, 2025

Extended Abstract

Background: As one of the world's most important cereals, wheat plays a key role in ensuring food security and agricultural sustainability. Its importance is not only in human nutrition but also in the global economy and breeding programs. Wheat (*Triticum aestivum* L.), a self-pollinating plant belonging to the family of Cereals, is a major source of carbohydrates and proteins. Moreover, wheat grain contains significant amounts of fiber, minerals, essentials, and B-group vitamins, making it one of the most important and strategic cereals worldwide. Recently, the main objective of breeding programs in Iran has been the introduction of high-yielding cultivars adapted to both irrigated and dryland conditions. However, drought stress is recognized as one of the most critical limiting factors in crop production, particularly in dryland areas. This phenomenon negatively affects wheat morpho-physiological traits, such as plant height, relative leaf water content, photosynthetic leaf area, chlorophyll content, and stomatal efficiency, leading to reductions in grain yield, grain weight, spike length, and grain number. Under such conditions, identifying resistant and adaptable genotypes is crucial for improving wheat tolerance to water deficit. Drought stress, as one of the most widespread and severe environmental constraints, poses a serious challenge to sustainable crop production, especially in dryland and semi-arid regions where it intensifies the problem depending on natural precipitation and climatic fluctuations. This study aimed to evaluate morphological traits and yield components in double haploid lines of bread wheat, identify drought-tolerant and sensitive genotypes for future use in breeding programs, and determine the most important yield components under stress conditions and their share in grain yield.

Methods: This study was conducted in the greenhouse of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University during 2023–2024. Thirteen double haploid lines of bread wheat, alongwith their parents (Trident and Molinuex), and five control cultivars (Ehsan, Arman, Tirgan, Araz, and Taktaz) were compared in the Mazandaran area. The planting medium consisted of farm soil and manure mixed at a ratio of 1:3, and seeds were sown at a depth of 2 cm in pots with a capacity of 5 kg. The experiment was arranged as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. Drought stress levels included 70% field capacity (control), 50% field capacity (moderate stress), and 30% field capacity (severe stress). Stress treatments were applied at the end of stem elongation and the onset of spike formation. Three pots from each treatment were selected for calibration, and irrigation was precisely adjusted based on field capacity. Weed control and plant nutrition were manually managed throughout the growth period to minimize non-target effects. Morphological traits (plant height, flag leaf length and width, the number of internodes, internode length, and spike length) and yield-related traits (hundred-grain weight, grain number per spike, and grain yield per pot) were measured and recorded at different growth stages to assess the direct and indirect effects of drought stress on yield and its components. Data were analyzed using SPSS software, and graphs were prepared by Excel software. To evaluate genotype responses to drought stress, mean comparisons, trait correlations, cluster analysis, and drought tolerance indices (SI, YSI, TOL, GMP, MP, DSI, and RD) were calculated for the stressed treatment.

Results: The results revealed significant differences in the responses of double haploid lines to drought stress. DH-57, DH-162, DH-117, Ehsan, Arman, and Trident were the genotypes identified as superior drought-tolerant genotypes, whereas DH-20 and DH-250 exhibited severe

Copyright ©2026. Neysi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

reductions in yield and its components and were classified as sensitive genotypes. The consideration of drought tolerance indices (YSI, SI, TOL, GMP, MP, DSI, and RD) indicated that resistant double haploid lines not only produced suitable yield under stress conditions but also showed greater stability under normal conditions. Correlation analysis demonstrated that hundred-grain weight and leaf traits had the strongest positive association with yield under severe drought, while plant height and internode length played a prominent role under moderate stress. Cluster analysis showed that genotypes were grouped based on key traits under different conditions: vegetative and reproductive traits played a critical role under normal conditions, whereas leaf and yield-related traits were important under severe drought conditions.

Conclusion: This study demonstrated that drought stress at different levels of field capacity had significant effects on wheat morphological and yield traits. Under severe drought, leaf traits and hundred-grain weight played the most important role in yield performance, while vegetative and reproductive traits were more influent under moderate stress. Correlation analysis, cluster analysis, and drought tolerance indices distinguished tolerant genotypes, such as DH-57, DH-162, DH-117, Ehsan, Arman, and Trident, from sensitive ones, providing a comprehensive approach for screening and introducing stable cultivars adapted to future water-limited environments.

Keywords: Grain yield, Dryland agriculture, Morphological traits, Line

How to Cite This Article: Behnaz Neysi, B., Ranjbar, GH., & Najafi Zarini, H. (2026). The Evaluation of Yield and Some Morphological Traits in the Double Haploid Line of Bread Wheat Genotypes (*Triticum aestivum* L.) under Drought Stress Conditions. *J Crop Breed,* 18(1), 163-176. DOI: 10.61882/jcb.2026.1647

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک در لاین‌های دابل هاپلوئید گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط تنش خشکی

بهناز نیسی[۱]، غلامعلی رنجبر[۲] و حمید نجفی زرینی[۳]

۱- دکتری، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: ali.ranjbar@sanru.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۹
صفحه ۱۶۳ تا ۱۷۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: به عنوان یکی از مهم‌ترین غلات جهان، گندم نقشی کلیدی در تأمین امنیت غذایی و پایداری کشاورزی ایفا می‌کند. اهمیت این گیاه نه تنها در تغذیه انسان بلکه در اقتصاد جهانی و برنامه‌های اصلاح نژاد نیز برجسته است. گندم (*Triticum aestivum* L.) گیاهی خودگشن متعلق به خانواده گندمیان، منبع اصلی کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها محسوب می‌شود. علاوه بر این، دانه گندم حاوی مقادیر قابل توجهی فیبر، مواد معدنی، مواد ضروری و ویتامین‌های گروه B است که آن را به یکی از مهمترین و استراتژیک‌ترین غلات در سراسر جهان تبدیل می‌کند. اخیراً، هدف اصلی برنامه‌های اصلاح نژاد در ایران، معرفی ارقام پرمحصول سازگار با شرایط آبی و دیم بوده است. با این حال، تنش خشکی به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی، به ویژه در مناطق دیم، شناخته شده است. این پدیده بر صفات مورفوفیزیولوژیکی گندم مانند ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ فتوسنتزی، محتوای کلروفیل و کارایی روزنه تأثیر منفی می‌گذارد که منجر به کاهش عملکرد دانه، وزن دانه، طول سنبله و تعداد دانه می‌شود. در چنین شرایطی، شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم و سازگار برای بهبود تحمل گندم به کمبود آب بسیار مهم است. تنش خشکی، به عنوان یکی از گسترده‌ترین و شدیدترین محدودیت‌های محیطی، چالشی جدی برای تولید پایدار محصولات کشاورزی، به ویژه در مناطق دیم و نیمه‌خشک است که وابستگی به بارش طبیعی و نوسانات اقلیمی، این مشکل را تشدید می‌کند. هدف از این مطالعه ارزیابی صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد در لاین‌های دابل هاپلوئید گندم نان، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و حساس برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی آینده و تعیین مهم‌ترین اجزای عملکرد در شرایط تنش و سهم آنها در عملکرد دانه بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. سیزده لاین دابل هاپلوئید گندم نان به همراه والدین آنها (Trident و Molinuex) و پنج رقم شاهد (احسان، آرمان، تیرگان، آراز و تکتاز) در منطقه مازندران با هم مقایسه شدند. محیط کشت شامل مخلوط خاک مزرعه و کود دامی با نسبت ۱:۳ بود و بذرها در عمق ۲ سانتی‌متر در گلدان‌هایی با ظرفیت ۵ کیلوگرم کاشته شدند. این آزمایش به صورت فاکتوریل بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح تنش خشکی شامل ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد)، ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش متوسط) و۳۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید) بود. تیمارهای تنش در پایان ساقه رفتن و شروع تشکیل سنبله اعمال شدند. سه گلدان از هر تیمار برای مقیاس گذاری انتخاب شدند و آبیاری دقیقاً بر اساس ظرفیت مزرعه تنظیم شد. کنترل علف‌های هرز و تغذیه گیاه در طول دوره رشد به صورت دستی مدیریت شد تا اثرات غیر هدف به حداقل برسد. صفات مورفولوژیکی (ارتفاع بوته، طول و عرض برگ پرچم، تعداد میانگره، طول میانگره، طول سنبله) و صفات مرتبط با عملکرد (وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله، و عملکرد دانه در گلدان) در مراحل مختلف رشد اندازه‌گیری و ثبت شدند تا اثرات مستقیم و غیر مستقیم تنش خشکی بر عملکرد و اجزای آن ارزیابی شود. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شدند و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel تهیه شدند. برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، مقایسه میانگین‌ها، همبستگی صفات، تجزیه خوشه‌ای و شاخص‌های تحمل به خشکی (YSI، SI، TOL، GMP، MP، DSI و RD) برای تیمار تحت تنش محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج تفاوت‌های معنی‌داری را در پاسخ لاین‌های دابل هاپلوئید به تنش خشکی نشان دادند. ژنوتیپ‌هایی مانند DH-57، DH-162، DH-117، احسان، آرمان و Trident به عنوان ژنوتیپ‌های برتر متحمل به خشکی شناسایی شدند، در حالی که DH-20 و DH-250 کاهش شدیدی در عملکرد و اجزای آن نشان دادند و به عنوان ژنوتیپ‌های حساس طبقه‌بندی شدند. بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی (YSI، SI، TOL، GMP، MP، DSI و RD) نشان داد که لاین‌های دابل هاپلوئید مقاوم نه تنها عملکرد مناسبی را در شرایط تنش تولید کردند، بلکه در شرایط عادی نیز پایداری بیشتری نشان دادند. تجزیه همبستگی نشان داد که در شرایط خشکسالی شدید، وزن صد دانه و صفات برگ قوی‌ترین ارتباط مثبت را با عملکرد داشتند، در حالی که در شرایط تنش متوسط، ارتفاع گیاه و طول میانگره نقش برجسته‌ای ایفا کردند. تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات کلیدی در شرایط مختلف گروه‌بندی شدند: صفات رویشی و زایشی در شرایط عادی نقش حیاتی داشتند، در حالی که صفات مرتبط با برگ و عملکرد در شرایط خشکسالی شدید مهم بودند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که تنش خشکی در سطوح مختلف ظرفیت زراعی اثرات معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و عملکردی گندم داشت. در شرایط خشکسالی شدید، صفات برگ و وزن صد دانه مهمترین نقش را در عملکرد داشتند، در حالی که در شرایط تنش متوسط، صفات رویشی و زایشی تأثیر بیشتری داشتند. تجزیه همبستگی، تجزیه خوشه‌ای و شاخص‌های تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های متحمل مانند DH-57، DH-162، DH 117، احسان، آرمان و Trident را از ژنوتیپ‌های حساس متمایز کرد و رویکردی جامع برای غربالگری و معرفی ارقام پایدار سازگار با محیط‌های کم‌آب آینده ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، کشاورزی فاریاب، صفات مورفولوژیک، لاین

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از قدیمی‌ترین محصولات زراعی جهان است که حدود ۹۵۰۰ تا ۱۱۰۰۰ سال پیش در جنوب غرب آسیا اهلی شده است (Wang *et al.*, 2017؛ Lev-Yadun *et al.*, 2000). امروزه پس از برنج، دومین غله غذایی مصرفی انسان محسوب می‌شود (Khatri *et al.*, 2017). در ایران، تولید غلات در سال زراعی ۲۰۲۳ به بیش از ۲۱ میلیون تن رسید و کشور با رشد ۲ درصدی نسبت به سال قبل، در رتبه چهارم آسیا از نظر ذخایر غلات قرار گرفت (Zali *et al.*, 2024). همچنین تولید گندم از ۱۳ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ به۱۳/۵میلیون تن در سال ۲۰۲۳

افزایش یافت (FAO, 2023). این افزایش ۵۰۰ هزار تنی در پژوهش زالی و همکاران (Zali *et al.,* 2024) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

خشکسالی و تغییرات اقلیمی تهدیدی جدی برای تولید گندم جهان هستند و پرورش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی از اولویت‌های تحقیقاتی محسوب می‌شود (Khadka *et al.*, 2020؛ Ahmad *et al*., 2022). راهکارهای زراعی، فیزیولوژیکی و مولکولی متعددی برای مقابله با این تنش ارائه شده‌اند (Reza *et al.*, 2019). پژوهش شاهیزاده و همکاران (Shahizadeh *et al*., 2024) نشان داد که تنش خشکی انتهای فصل موجب کاهش سرعت و طول دوره پر شدن دانه شد و در نتیجه باعث افت محسوس عملکرد در مقایسه با شرایط آبیاری کامل گردید. آن‌ها نشان دادند که ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی بودند و ژنوتیپ‌هایی که توانستند بین سرعت پرشدن دانه و طول دوره مؤثر پرشدن (EGFD) تعادل برقرار کنند، عملکرد بهتری داشتند.

کشاورزنیا (Keshavarznia, 2024) با هدف شناسایی لاین‌های امیدبخش گندم دوروم در شمال خوزستان، ۷۶ لاین جدید و سه رقم شاهد را طی دو سال زراعی در دزفول ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که گندم دوروم برخلاف تصور عمومی، عملکردی قابل‌رقابت با گندم نان داشت و برخی لاین‌ها حتی عملکرد بالاتری نشان دادند. میانگین عملکرد در سال اول ۷۲۳۱ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم ۶۴۲۳ کیلوگرم در هکتار بود که کاهش آن به افزایش دمای دوره پرشدن دلنه نسبت داده شد. این لاین‌ها قابلیت استفاده در برنامه‌های اصلاحی برای مناطق گرم و خشک جنوب کشور را دارند. همچنین نتایج نشان دادند که تنش خشکی در مراحل مختلف رشد موجب کاهش تقسیم سلولی، تغییر در باز و بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب آب و مواد مغذی، تغییر در ساختار پروتئین و تولید آنتی‌اکسیدان، کاهش کلروفیل و افت اجزای عملکرد مانند ارتفاع گیاه، تعداد بوته و تعداد سنبله شد. این تنش به دلیل سقط گرده، کاهش منابع غذایی و رشد پنجه‌های عقیم، عملکرد و صفات مرتبط با آن را به‌طور جدی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ghasem *et al.*, 2019). کمبود آب در مراحل پایانی رشد، به‌ویژه در زمان دلنه‌بندی، عملکرد را به‌شدت کاهش می‌دهد (Ghazvine *et al.*, 2022) . در سال‌های اخیر، تمرکز تحقیقات اصلاح غلات در ایران بر معرفی ارقام پرمحصول سازگار با شرایط آبی و خشکی بوده است (Ghazvine *et al*., 2022). در استان گلستان، خشکی انتهای فصل عامل اصلی کاهش تولید و نوسان عملکرد گندم دیم گزارش شده است (Shabazi *et al*, 2016). واکنش گیاهان به این تنش پیچیده است و بسته به شدت و مرحله رشدی می‌تواند سازگار یا زیان‌آور باشد. مطالعات متعدد این موضوع را تأیید کرده‌اند. به‌طور مثال، راهمی و همکاران (Rahemi *et al.*, 2020) در ایلام کاهش ۲۴ درصدی تعداد دانه در سنبله و ۱۶ درصدی وزن دانه را در شرایط دیم گزارش کردند و میانگین عملکرد دلنه در شرایط آبی و دیم به‌ترتیب ۲۶۰۴ و ۱۶۷۶ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. مهربان و همکاران (Mehraban *et al.,* 2019) نیز نشان دادند که خشکی در مراحل مختلف رشد موجب تغییر در دوره پرشدن دانه و کاهش عملکرد نهایی شد. همچنین، وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2016) با اعمال سایه‌اندازی بر سنبله در اوایل رسیدگی، کاهش فتوسنتز و افت عملکرد دانه را مشاهده کردند. این پژوهش با هدف ارزیابی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و انتخاب بهترین ژنوتیپ برای تحمل به شرایط تنش خشکی و همچنین بررسی نقش اجزای عملکرد در تعیین سازگاری ژنوتیپ‌های دابل هاپلوئید تحت شرایط خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر طی سال‌های ۱۴۰۲–۱۴۰۳ در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. در این پژوهش، ۱۳ لاین دابل‌هاپلوئید گندم به‌همراه ارقام وللدینی آن‌ها (Trident و Molinuex) و پنج رقم شاهد (احسان، آرمان، تیرگان، آراز و تکتاز) در منطقه مازندران کشت و مورد ارزیابی قرار گرفتند. انتخاب ارقام شاهد به‌منظور ایجاد معیار مقایسه و اعتبارسنجی نتایج آزمایش‌های ژنوتیپی انجام شد (جدول ۱).

به‌منظور آماده‌سازی بستر کشت، خاک مزرعه و کود حیوانی به نسبت یک به سه مخلوط گردید و سپس در هر گلدان ۵ بذر با فاصله ۴ سانتی متر کشت شد. کاشت بذرها در عمق ۲ سانتی‌متری در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی انجام گرفت. در ابتدا، آبیاری به صورت نرمال در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. اعمال تنش‌های خشکی در حد ظرفیت زراعی ۷۰ درصد (شاهد)، ۵۰ درصد (تنش متوسط) و ۳۰ درصد (تنش شدید) انجام شد (Azizi *et al.*, 2022). تنش مربوط به هر ژنوتیپ در انتهای مرحله ساقه‌دهی و شروع مرحله آبستنی اعمال شد (Shahbazi *et al*., 2022). از هر کدام از سطوح تیماری سه گلدان مقیاس در نظر گرفته شد. کنترل علف‌های هرز و کوددهی (NPK) به‌میزان ۱ میلی‌گرم در لیتر همراه آب آبیاری به‌منظور تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد به‌صورت دستی انجام شد. طی مراحل رشدی گیاه، صفات وزن صد دانه (گرم)، تعداد دانه در سنبله، وزن کل دانه (گرم)، طول سنبله (سانتی‌متر)، طول میانگره (سانتی‌متر)، تعداد میانگره، طول و عرض برگ پرچم (سانتی‌متر) و ارتفاع(سانتی‌متر) ثبت شدند.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت و نمودارها با برنامه Excel ترسیم شدند. به‌منظور ارزیابی دقیق واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط خشکی، مقایسه میانگین‌ها، همبستگی صفات، تجزیه کلاستر و محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی شامل SI (Stress Intensity)، YSI (Yield Stability Index)، TOL (Tolerance Index)، GMP (Geometric Mean Productivity)، MP (Mean Productivity)، DSI (Drought Susceptibility Index) و RD (Relative Decrease) برای دو سطح تنش ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی صورت گرفت.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم مورد استفاده در این مطالعه شامل لاین‌های دابل هاپلوئید، ارقام والدینی و ارقام شاهد مورد کاشت در مازندران

Tabel 1. Characteristics of wheat genotypes used in this study, including double haploid lines, parantal cultivars, and control varieties planted in Mazandaran.

ژنوتیپ Genotype	تلاقی‌های والدینی Parents
DH-14	Molineux × Trident
DH-20	Molineux × Trident
DH-34	Molineux × Trident
DH-57	Molineux × Trident
DH-71	Molineux × Trident
DH-87	Molineux × Trident
DH-117	Molineux × Trident
DH-136	Molineux × Trident
DH-150	Molineux × Trident
DH-162	Molineux × Trident
DH-171	Molineux × Trident
DH-183	Molineux × Trident
DH-250	Molineux × Trident
ترایدنت (Trident)	Spear*4/VPM(P1519303)
مولینکس (Molineux)	BT-Schomburgk#4/2*Molineux
احسان (Ehsan)	SABUF/7/ALTAR 84/AE.SQUARROSA (224)//YACO/6/CROC_1/AE.SQUARROSA (205) /5/ BR12*3/4/IAS55*4/CI14123/3/IAS55*4/EG,AUS7/IAS55*4/ALD
آرمان (Arman)	PBW343/TONI//TROST/3/SOVA
تیرگان (Tirgan)	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR
آراز (Araz)	CROC-1/AE.TA(WX-224)//OPATA-M-85/3/PASTOR
تکتاز (Taktaz)	SAUAL/3/MILAN/S87230//BAV92

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) داده های حاصـــل از آزمایش نشان دادند که اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌هادر تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود.

همچنین،تحلیل اثر بلوک نشـــان داد که صـــفات ارتفاع بوته، وزن صـــد دانه ، تعداد دانه در ســـنبله ، طول میانگره و عرض برگ پرچم غیر معنی‌دار بودند، و در صفات عملکرد دانه، طول سنبله، و طول برگ پرچم در سطح احتمال ۵ درصد و در تعداد میانگره در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی شامل وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه در گلدان، طول سنبله، طول میانگره، تعداد میانگره، طول و عرض برگ پرچم و ارتفاع گیاه.

Table 2. Analysis of variance of the studied traits, including 100-grain weight, No. of grains per head, grain weight per pot, spike length, internode length, No. of internodes, length and width of flagleef, and plant height.

				میانگین مربعات(Mean square)						
منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن صد دانه 100-grain weight	تعداد دانه در سنبله Number of grain/spike	عملکرد دانه در گلدان Grain weight/pot	طول سنبله Spike length	طول میانگره Internode length	تعداد میانگره Number of internodes	طول برگ پرچم Flag leaf length	عرض برگ پرچم Flag leaf width
بلوک Block	2	5.98^{ns}	0.04^{ns}	309.43^{ns}	1.65^{*}	1.04^{*}	0.012^{ns}	2.23^{**}	4.35^{*}	0.003^{ns}
تنش خشکی Drought stress	2	1455.82^{**}	7.42^{**}	260882.67^{**}	190.55^{**}	48.03^{**}	162.77^{**}	56.07^{**}	579.23^{**}	0.615^{**}
ژنوتیپ Genotype	19	777.85^{**}	4.71^{**}	34837.16^{**}	44.30^{**}	19.99^{**}	69.60^{**}	2.70^{**}	$275/17^{**}$	0.391^{**}
ژنوتیپ × تنش خشکی Genotype × Drought stress	38	39.23^{**}	0.12^{**}	5111.80^{**}	4.84^{**}	0.86^{**}	3.35^{**}	0.481^{**}	12.68^{**}	0.011^{**}
خطا Error	118	3.23	0.037	372.55	0.56	0.290	0.201	0.204	0.868	0.001
ضریب تغییرات Coefficient of variation		2.55	8.99	5.19	10.39	3.21	3.11	10.04	4.03	2.33

ns ، * و ** به‌ترتیب بی‌معنی و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns ,*, **: not -significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) صفات بین سطوح مختلف خشکی (۷۰ ، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه)، با تشـدید تنش خشـکی از ۷۰ درصـد به ۳۰ درصـد ظرفیت مزرعه، وزن صد دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین کاهش در تیمار شدید خشکی (۳۰ درصد) مشاهده شد. الگوی کاهش وزن صـد دانه به‌صـورت خطی و متناسـب با افزایش شدت تنش خشکی بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد بین سطوح مختلف خشکی در ژنوتیپ‌های دابل هاپلوئید گندم
Table 3. The comparison of mean yield traits and yield components between different drought levels in double-haploid wheat genotypes.

تیمار خشکی Dry treatment	ارتفاع Height	وزن صد دانه 100-grain weight	تعداد دانه Number of seeds	عملکرد دانه Total weight of seeds	طول متوسط سنبله Average spike length	طول متوسط میانگره Average length of internodes	میانگین تعداد میانگره Average number of internodes	طول برگ پرچم Length of flag leaf	عرض برگ پرچم Width of flag leaf
70	75.30[a]	2.50[a]	435.38[a]	9.09[a]	17.64[a]	15.98[a]	5.46[a]	26.14[a]	1.73[a]
50	71.25[b]	2.13[b]	374.56[b]	7.08[b]	16.78[b]	15.43[b]	4.51[b]	23.16[b]	1.64[b]
30	65.50[c]	1.79[c]	303.63[c]	5.53[c]	15.85[c]	12.69[c]	3.53[c]	19..93[c]	1.53[c]

نتایج بررسی صفات مورفولوژیک و عملکردی گندم تحت سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد که سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش معنی‌دار در اغلب صفات کلیدی شد. ارتفاع گیاه در بیشتر ژنوتیپ‌ها کاهش یافت، اما ژنوتیپ‌هایی مانند DH-117 و تیرگان توانستند ارتفاع بیشتری حفظ کنند که بیانگر پتانسیل تحمل خشکی آن‌ها است (شکل۱. الف). این یافته‌ها با مطالعات قبلی هم‌راستا هستند که تنش خشکی به طور قابل توجهی ارتفاع گیاه گندم را کاهش می‌دهد. این امر ناشی از دهیدراتاسیون پروتوپلاسم، افت تقسیم و گسترش سلولی و از دست رفتن تورژسانس است و با کاهش طول سنبله و تعداد دانه در سنبله همبستگی داشت (Nyaupane *et al.*, 2024).

نتایج بررسی وزن صد دانه (شکل ۱. ب) نشان دادند که در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش معنی‌داری رخ داد که ناشی از اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی، کاهش فتوسنتز و کوتاه شدن دوره پرشدن دانه بود. ژنوتیپ‌هایی مانند تیرگان، احسان و DH-57 توانستند وزن دانه بیشتری حفظ کنند که بیانگر وجود مکانیسم‌های تحمل خشکی نظیر تنظیم اسمزی، حفظ پتانسیل آب برگ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثر است. در مقابل، ژنوتیپ‌های DH-20 و DH-250 کاهش شدیدتری نشان دادند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی ارزیابی شدند. مطالعه واسیلوا و همکاران (Vassileva *et al.*, 2023) نشان داد که صفات مورفولوژیکی نظیر ارتفاع، سطح برگ و شاخص‌های عملکردی به‌شدت تحت تأثیر خشکی قرار گرفتند، اما واکنش‌ها بسته به ژنوتیپ متفاوت بودند. این تفاوت‌ها اهمیت تنوع ژنتیکی گندم را به‌عنوان ابزاری کلیدی برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی برجسته می‌سازند.

نتایج بررسی تعداد دانه (شکل ۱. ج) نشان دادند که سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در اغلب ژنوتیپ‌ها شد؛ با این حال، ژنوتیپ‌هایی مانند DH-162، Molinuex و آرمان توانستند تعداد دانه بیشتری را حفظ کنند. مطالعه گویزانی و همکاران (Guizani *et al.*, 2023) نیز نشان داد که تنش خشکی تعداد دانه در هر گیاه (GNP) را در همه ژنوتیپ‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش داد؛ به‌ویژه در ژنوتیپ‌های حساس مانند AG3 تا ۵۸ درصد و BT تا ۴۰درصد، در حالی که ژنوتیپ‌های مقاوم Td7 و Utique توانستند عملکرد بهتری را حفظ کنند. این یافته‌ها با مطالعات اخیر در زمینه ژنتیک و فیزیولوژی گندم هم‌راستا هستند که نقش تنظیم اسمزی، حفظ پتانسیل آب برگ و تنوع ژنتیکی را در حفظ عملکرد زایشی تحت خشکی تأیید کرده‌اند.

در بررسی نتایج عملکرد دانه (شکل ۱. د) نیز مشاهده شد که سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان تنش شدید موجب کاهش معنی‌دار عملکرد در اکثر ژنوتیپ‌ها شد؛ با این حال، ژنوتیپ‌هایی مانند DH-57 و DH-162 توانستند عملکرد بالاتری را حفظ کنند که بیانگر وجود مکانیسم‌های مؤثر تحمل خشکی در آن‌ها است. این تفاوت‌ها اهمیت تنوع ژنتیکی و ضرورت غربالگری دقیق ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات عملکردی را برجسته می‌سازند. مطالعه موتاندا و همکاران (Mutanda *et al.*, 2025) نیز تأیید می‌کند که خشکی عملکرد گندم را در بیشتر محیط‌ها و نظام‌های مدیریتی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد و شدت افت عملکرد به مرحله رشد، شدت و مدت خشکی و مدیریت مزرعه وابسته است. بیشترین کاهش زمانی رخ می‌دهد که خشکی در مراحل بحرانی مانند ساقه‌رفتن، گرده‌افشانی و پرشدن دانه اتفاق بیفتد که می‌تواند تا حدود نصف یا بیشتر محصول را کاهش دهد.

همچنین، نتایج بررسی تعداد میانگره (شکل ۱. ه) تحت سطوح مختلف تنش خشکی نشان دادند که در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، این صفت در اکثر ژنوتیپ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با این حال، ژنوتیپ‌هایی مانند DH-183، DH-162، DH-71، DH-14، Molinuex، آرمان و تکتاز توانستند تعداد میان‌گره نسبی بیشتری را حفظ کنند که بیانگر توانایی آن‌ها در حفظ رشد رویشی تحت خشکی است. این یافته‌ها با مطالعات اخیر هم‌راستا هستند مبنی بر این که برای دستیابی به عملکرد مطلوب تحت تنش خشکی، انتخاب ژنوتیپ‌هایی که توانایی حفظ تعداد دانه را از طریق مکانیسم‌های فیزیولوژیکی کارآمد (مانند حفظ آب و فتوسنتز) دارند، حیاتی است. شاخص‌های استرس ترکیبی از عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش، ابزار مفیدی برای شناسایی این ژنوتیپ‌ها هستند (Ghanem & Al-Farouk., 2024).

نتایج بررسی طول میانگره (شکل ۱. و) نشان دادند که با افزایش شدت تنش خشکی، به‌ویژه در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، طول میانگره در اکثر ژنوتیپ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این کاهش ناشی از اختلال در رشد طولی ساقه، کاهش تقسیم سلولی در نواحی مریستمی و محدودیت در انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های رشد مانند جیبرلین‌ها بود. با این حال، ژنوتیپ‌هایی مانندDH-57،DH-117 و احسان در شرایط تنش شدید طول میانگره بیشتری

داشتند. مطالعه نتاوگورانایو (Ntawuguranayo *et al.*, 2024) نیز نشان داد که افزایش طول میانگره و ویژگی‌های ساقه مانند قطر و طول پدانکل با تجمع بیشتر کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSC) همبستگی مثبت داشتند و از عملکرد دانه و وزن بالاتر تحت شرایط تنش گرما و خشکی حمایت می‌کنند. به‌طور خاص، قطر میانگره با تجمع WSC (r = 0.67) و طول پدانکل با وزن هزار دانه (TGW) در شرایط کمبود آب (r=0.38)، گرما (r = 0.70) و خشکی انتهایی (r=0.50) همبستگی مثبت داشتند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تنش‌های محیطی مانند گرما و خشکی طول و قطر میانگره را کاهش می‌دهند و بر اجزای عملکرد اثر منفی می‌گذارند؛ در نتیجه، انتخاب فنوتیپی ژنوتیپ‌های دارای میانگره‌های بلندتر و قوی‌تر می‌تواند راهبردی مؤثر برای افزایش تاب‌آوری گندم به تنش‌های اقلیمی باشد.

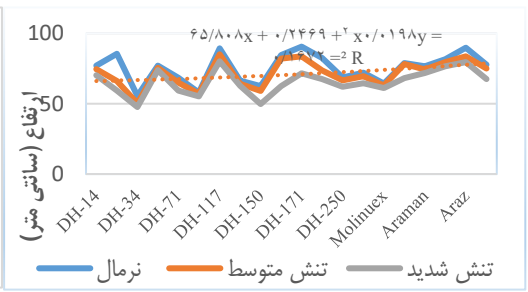
بررسی طول سنبله (شکل ۱. ر) نشان داد که تنش خشکی، به‌ویژه در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، موجب کاهش معنی‌دار طول سنبله در بیشتر ژنوتیپ‌ها شد. این کاهش ناشی از اختلال در رشد زایشی و محدودیت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی بود. با این حال، ژنوتیپ‌هایی مانند احسان، آرمان و DH-14 توانستند طول سنبله بیشتری حفظ کنند که بیانگر توانایی آن‌ها در سازگاری با شرایط خشکی است.

مطالعه قانم و ال فاروک (Ghanem & Al-Farouk, 2024) نیز تأکید دارد که طول سنبله به‌عنوان شاخص مورفولوژیکی مهم می‌تواند در غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی مورد استفاده قرار گیرد، و اهمیت توجه به صفات زایشی در انتخاب ارقام متحمل را برجسته می‌کند.

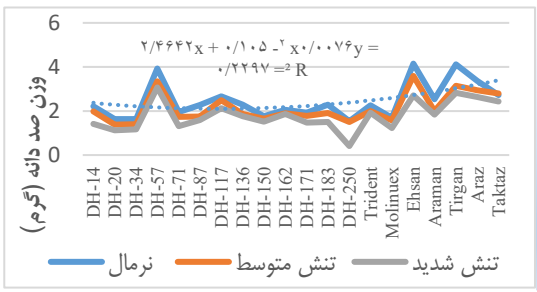
نتایج حاصل از بررسی طول برگ پرچم تحت سطوح مختلف تنش خشکی (شکل ۱. ز) نشان دادند که سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش معنی‌دار این صفت در اکثر ژنوتیپ‌ها شد. با این حال، ژنوتیپ‌هایی مانند آرمان، احسان، و DH-136 توانستند طول برگ پرچم بیشتری را حفظ کنند که بیانگر تولنایی آن‌ها در حفظ فتوسنتز فعال و رشد رویشی تحت خشکی است. این یافته‌ها با مطالعات اخیر هم‌راستا هستند که نقش برگ پرچم را به‌عنوان منبع اصلی فتوسنتز در مرحله پرشدن دانه تأیید کرده‌اند (Guizani *et al.*, 2023).

بررسی صفت عرض برگ پرچم (شکل ۱. ژ) تحت سه سطح تنش خشکی (۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) نشان داد که با افزایش شدت تنش، عرض برگ در اغلب ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری داشت. این کاهش بیانگر اختلال در رشد عرضی سلول‌ها و محدودیت در توسعه بافت‌های فتوسنتزی است که نقش حیاتی در تأمین مواد لازم برای پر شدن دانه دارد. با این حال، ژنوتیپ‌هایی مانند DH-57، DH-87، DH-117 و احسان توانستند عرض برگ پرچم بیشتری را در سطح تنش شدید حفظ کنند که نشان‌دهنده پایداری ساختار برگ و ظرفیت فتوسنتزی آن‌ها در شرایط کم‌آبی است.

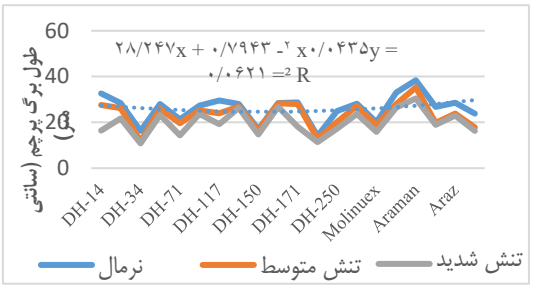
مطالعه خدکا و همکاران (Khadka *et al.*, 2020) نشان داد که ارتقای کارایی اصلاح گندم مقاوم به خشکی نیازمند تمرکز بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و درک جامع اثرات خشکسالی در مراحل مختلف رشد است. شدت و فراوانی خشکسالی، به‌ویژه در مراحل بحرانی مانند جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، ساقه‌رفتن، خوشه‌دهی، گرده‌افشانی و پر شدن دانه، بیشترین تأثیر را بر عملکرد دارند و خشکسالی‌های طولانی‌مدت از ساقه‌دهی تا بلوغ بیشترین کاهش عملکرد را ایجاد می‌کنند. مطالعات متعدد این موضوع را تأیید کرده‌اند؛ به‌طور مثال، السمدانی و همکاران Alsamadany *et al.*, (2023) گزارش کردند که تنش خشکی (به‌ویژه همراه با گرما) باعث کاهش شدید صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و زراعی در گندم می‌شود، اما برخی ژنوتیپ‌ها مانند Gold-16 و HS-240 توانستند با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با تحمل تنش و حفظ بخشی از ویژگی‌های فیزیولوژیک، مقاومت بیشتری نشان دهند، در حالی که رقم احسان با حفظ برتری مورفولوژیک و افزایش بیان ژن‌های تحمل خشکی TaMYB73 و TaNAC67 به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی شد. همچنین، شانظری (Shanazari, 2018) کاهش مشابهی را در عملکرد گندم نان، تریتیکاله و تریتیپیروم مشاهده کرد و تأکید نمود که گونه‌های تریتیکاله و تریتیپیروم به‌دلیل حفظ شاخص‌های کلیدی، منابع ژنتیکی ارزشمندی برای بهبود تحمل خشکی هستند. در پژوهش پور ابوقداره-Pour) Aboughadareh, 2020) بر روی گندم دوروم، خشکی موجب کاهش دوره پر شدن دانه، عملکرد و زیست‌توده شد؛ با این حال، ژنوتیپ G12 با استفاده از شاخص‌های تحملی مانندSTI، GMP و MP به‌عنوان لاین پایدار در شرایط نرمال و تنش شناسایی گردید. این نتایج اهمیت استفاده از ترکیب شاخص‌های عملکردی در شناسایی و انتخاب ارقام مقاوم به خشکی را برجسته می‌سازند.



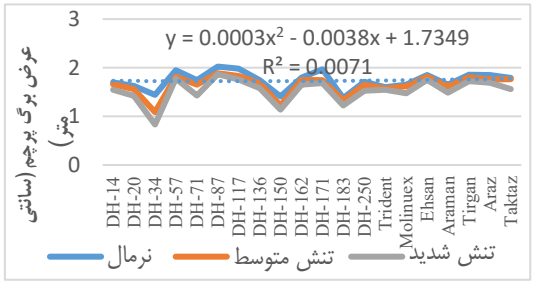
الف. ارتفاع (Height)



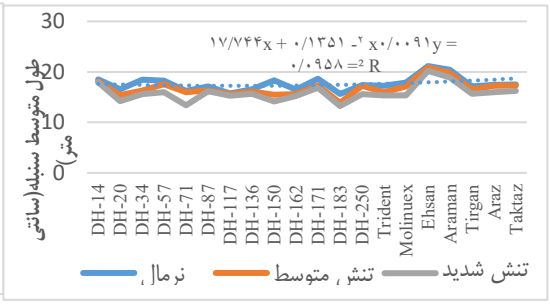
ب. وزن صد دانه (Weight of 100 grains)



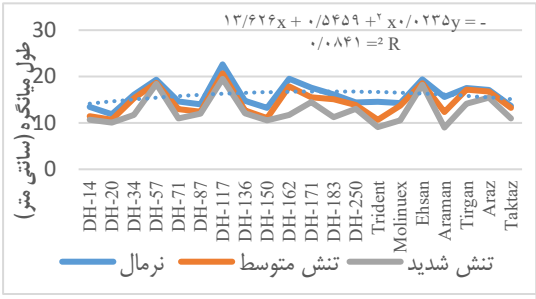
ز.طول برگ پرچم(Flag leaf length)



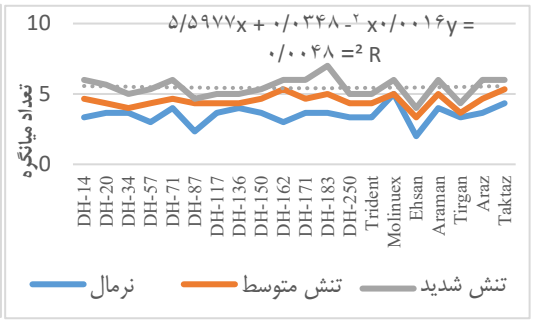
ژ. عرض برگ پرچم(Flag leaf width)



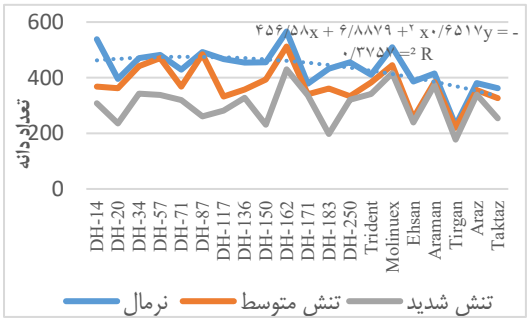
ر. طول سنبله (Spike length)



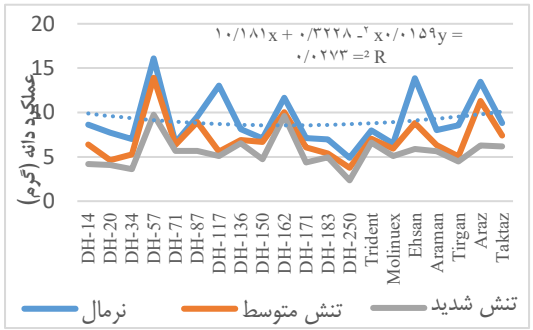
و. طول میانگره (Internode length)



ه. تعداد میانگره (Number of intermediate nodes)



ج. تعداد دانه (Number of seeds)



د. عملکرد دانه (Grain yield)

شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفت‌ها. الف. ارتفاع. ب. وزن صد دانه. ج. تعداد دانه. د. عملکرد دانه. ه. تعداد میانگره. و. طول میانگره. ر. طول متوسط سنبله. ز. طول برگ پرچم. ژ. عرض برگ پرچم.

Figure 1. The comparison of the average effects of the traits. A. Height. B. Hundred-grain weight. C. Number of grains. D. Grain yield. E. Number of internodes. F. Length of internodes. G. Average spike length. H. Flag leaf length. I. Flag leaf width.

ضرائب همبستگی

طبق نتایج همبستگی صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد در سه سطح تنش خشکی (۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد

ظرفیت زراعی)، (جدول ۴) که با افزایش شـدت تنش، الگوی روابط بین صـفات تغییر می‌کند. در سـطح ۷۰ درصـد (تنش ملایم)، همبسـتگی مثبت و معنی‌دار ارتفاع با طول میانگره و عملکرد دانه مشاهده شد و عرض برگ پرچم نیز ارتباط قوی با عملکرد داشت، در حالی که تعداد میانگره همبستگی منفی نشـان داد. در سـطح ۵۰ درصـد (تنش متوسـط)، روابط تقویت شـدند؛ به‌ویژه وزن صـد دانه و طول میانگره بیشـترین همبستگی مثبت را با عملکرد داشتند و ارتفاع نیز با وزن صد دانه و عرض برگ پرچم همبسـتگی بالاتری نشـان داد. در سطح ۳۰ درصد (تنش شدید)، وزن صد دانه همچنان بیشترین ارتباط مثبت با عملکرد داشت و صـفات برگی (طول و عرض برگ پرچم) نیز همبستگی معنی‌دار با عملکرد نشان دادند، در حالی که ارتباط ارتفاع با عملکرد کاهش یافت و تعداد میانگره همچنان همبستگی منفی داشت. این نتایج بیانگر آن هستند که در شرایط خشکی شدید، صفات مرتبط با دانه و برگ پرچم نقش تعیین‌کننده‌تری در حفظ عملکرد دارند، در حالی که در شـرایط ملایم‌تر، صـفات سـاقه‌ای مانند طول میانگره و ارتفاع اهمیت بیشـتری نشـان می‌دهند. در پژوهشـی، قانم و ال –فورک (Ghanem & Al-Farouk, 2024) گزارش کردند که بین صفات مورفو–فیزیولوژیکی مانند طول ریشه، مساحت برگ پرچم، محتوای کلروفیل و شاخص‌های تحمل به خشکی (مانند STI و MP) با عملکرد دانه تحت تنش خشـکی در خاک‌های شنی جدید، همبستگی‌های مثبت و معناداری وجود داشـتند. همچنین، صـفات فیزیولوژیکی نظیر پرولین و کربوهیدرات‌های محلول با صـفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع گیاه و بیوماس ریشه همبستگی ژنوتیپی بالایی ($r_g > 0.90$) نشـان دادند که این امر ژنوتیپ‌های مقاوم را برای انتخاب در برنامه‌های اصـلاحی مناسـب می‌سازد. هیچ همبسـتگی منفی معناداری بین صفات تحمل و عملکرد مشاهده نشد و شاخص DTI بیشترین ارتباط را با بازیابی صفات داشت.

جدول ۴- ضرائب همبستگی صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های دابل هاپلوئید گندم در سطوح مختلف تنش خشکی
Table 4. Correlation coefficients of morphological traits and yield components in double haploid wheat genotypes at different levels of drought stress

صفات (Attributes)	PH	100 GW	KNS	GY	SL	IL	NN	FLL	FLW
همبستگی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (Correlation of 70 percent crop capacity)									
ارتفاع (Height)	1								
وزن صد دانه (100-grain weight)	0.377	1							
تعداد دانه (Number of seeds)	-0.329	-.524*	1						
عملکرد دانه (Grain yield)	0.428	.695**	0.056	1					
طول سنبله (Spike length)	-0.097	0.288	-0.088	0.175	1				
طول میانگره (Length of internodes)	.496*	.461*	-0.009	.691**	0.056	1			
تعداد میانگره (Number of internodes)	-0.057	-0.339	-0.029	-.486*	-0.253	-0.334	1		
طول برگ پرچم (Length of flag leaf)	0.426	0.35	-0.075	0.434	0.435	0.255	-0.338	1	
عرض برگ پرچم (Width of flag leaf)	0.358	.473*	-0.106	.571**	0.037	.492*	-0.358	.580**	1
همبستگی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (Correlation of 50 percent crop capacity)									
ارتفاع (Height)	1								
وزن صد دانه (100-grain weight)	.609**	1							
تعداد دانه (Number of seeds)	-0.385	-0.431	1						
عملکرد دانه (Grain yield)	0.283	.573**	0.411	1					
طول سنبله (Spike length)	0.232	.481*	-0.26	0.243	1				
طول میانگره (Length of internodes)	.591**	.627**	-0.133	0.379	0.138	1			
تعداد میانگره (Number of internodes)	0.112	-0.359	.468*	0.066	-0.279	-0.259	1		
طول برگ پرچم (Length of the flag leaf)	0.439	0.189	0.038	0.315	.523*	-0.008	-0.017	1	
عرض برگ پرچم (Width of the flag leaf)	.602**	.554*	-0.181	0.413	0.379	0.379	-0.084	.586**	1
همبستگی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (Correlation of 70 percent crop capacity)									
ارتفاع (Height)	1								
وزن صد دانه (100-grain weight)	.618**	1							
تعداد دانه (Number of seeds)	-0.048	-0.189	1						
عملکرد دانه (Grain yield)	0.227	.620**	0.368	1					
طول سنبله (Spike length)	0.326	0.33	0.139	0.039	1				
طول میانگره (Length of internodes)	.555*	.559*	-0.144	0.212	0.26	1			
تعداد میانگره (Number of internodes)	0.082	-0.263	0.262	0.086	-0.344	-0.414	1		
طول برگ پرچم (Length of the flag leaf)	0.322	0.416	0.285	.537*	.525*	0.15	-0.295	1	
عرض برگ پرچم (Width of the flag leaf)	.643**	.518*	0.022	0.407	0.387	.514*	-0.283	.617**	1

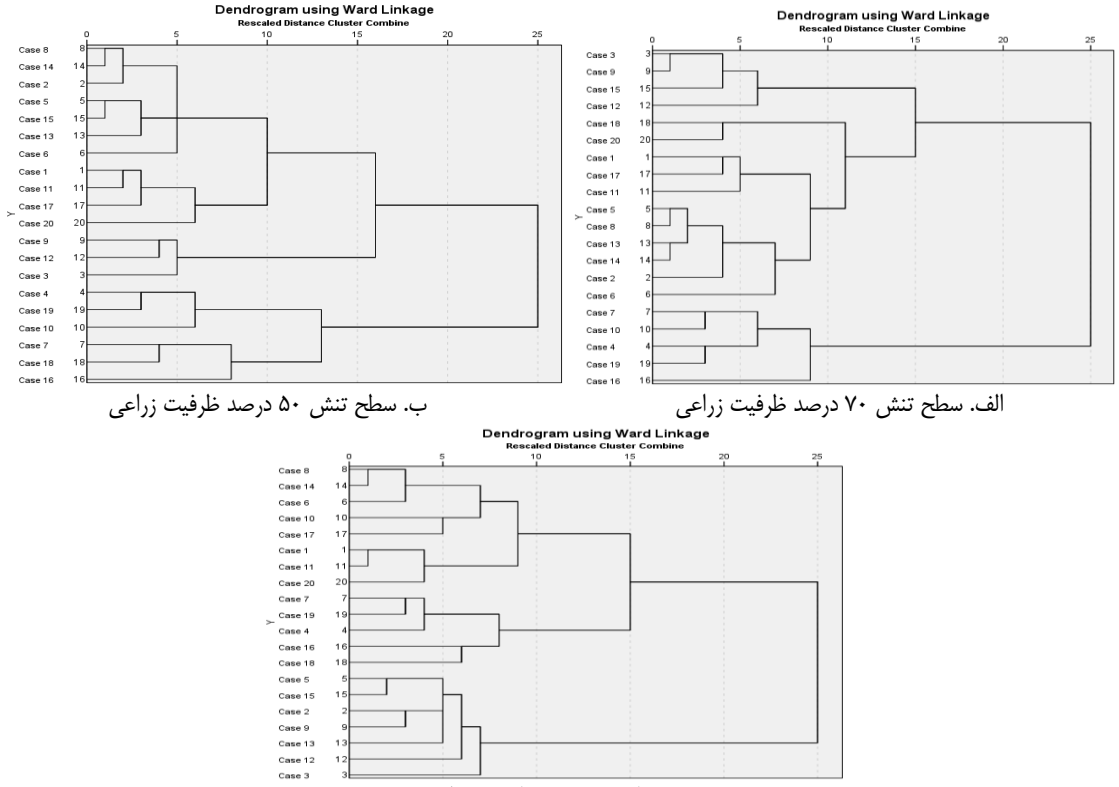
ns ، * و ** به‌ترتیب بی‌معنی و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
ns ,*, **: not significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

تجزیه کلاستر

مطابق با نتایج تجزیه کلاسـتر صـفات مورفولوژیک و عملکردی در سه سطح تنش خشکی (۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، الگوی گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با افزایش شـدت تنش تغییر می‌کند. در شـرایط نرمال (۷۰ درصـد)، ژنوتیپ‌ها عمدتاً بر اساس صفات عمومی رشد مانند ارتفاع، طول میانگره و طول سـنبله خوشـه‌بندی شـدند. در سـطح ۵۰ درصـد (تنش متوسـط)، صـفات عملکردی مانند وزن صـد دانه و تعداد دانه

نقش اصلی در تفکیک ژنوتیپ‌ها داشتند و اهمیت مکانیسم‌های فیزیولوژیکی نظیر تنظیم اسمزی و حفظ پتانسیل آب برگ برجسته شد. در سطح ۳۰ درصد (تنش شدید)، صفات برگی به‌ویژه طول و عرض برگ پرچم همراه با وزن صد دانه بیشترین نقش را در خوشه‌بندی ایفا کردند، زیرا این صفات مستقیماً با حفظ فتوسنتز و انتقال مواد به دانه مرتبط هستند. بنا بر این، صفات ساقه‌ای و زایشی در شرایط مطلوب اهمیت بیشتری دارند، در حالی که صفات برگی و عملکردی در خشکی شدید تعیین‌کننده‌تر هستند (شکل ۲).

مطالعه موهی و همکاران (Mohi *et al.*, 2021) ژنوتیپ‌های گندم نان را به سه گروه مقاوم، نیمه‌مقاوم و حساس تقسیم کرد؛ گروه مقاوم شامل ژنوتیپ‌های برتر مانند G1، G5 و G12 بود که بیشترین تحمل را در مرحله نشا نشان دادند. این گروه‌بندی بر اساس فاصله اقلیدسی و روش Ward، تفاوت‌های ژنوتیپی را برای غربالگری زودهنگام برجسته کرد. همچنین، پژوهش خو و همکاران (Xu *et al.*, 2023) با استفاده از ۷۰۶۲ نشانگر SNP روی ۱۵۲ نمونه گندم بهاره، سه زیرجمعیت اصلی را شناسایی کرد که نتایج PCA و درخت فیلوژنتیکی NJ آن را تأیید کردند. این مطالعه نشان داد که نمونه‌های سین‌کیانگ مانند Xinchun 6، Xinchun 10، Xinchun11 و Xinchun 29 در یک زیرجمعیت مشترک قرار گرفتند که بیانگر نزدیکی ژنتیکی آن‌ها است.



الف. سطح تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی

ب. سطح تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی

ج. سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی

شکل ۲- دندروگرام‌های تجزیه خوشه‌ای صفات مطالعه شده به‌روش Wards. الف. سطح ۷۰ درصد ظرفیت زراعی. ب. سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی. ج. سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی

Figure 2. Dendrograms of the cluster analysis of studied traits. A. The 70 percent level of field capacity. B. The 50 percent level of field capacity. C. The 30 percent level of field capacity

شاخص‌های عملکرد

نتایج جدول تجزیه واریانس شاخص‌ها در سطح ۳۰ درصد تنش (جدول ۵) نشان دادند که اثر بلوک و تیمار در تمامی شاخص ها غیر معنی‌دار و در شاخص‌های میانگین تولید (MP) و میانگین هندسی تولید (GMP) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در سطح ۵۰ درصد تنش (جدول ۶)، اثر بلوک در تمامی شاخص‌ها غیر معنی‌دار و تیمار در تمامی شاخص‌ها معنی‌دار بود.

نتایج ارزیابی شاخص‌های عملکردی در دو سطح تنش خشکی (۳۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) نشان دادند که شدت تنش تأثیر قابل توجهی بر روی شاخص‌های عملکردی داشت. در سطح ۳۰ درصد (شکل ۳. الف تا ج)، ژنوتیپ‌های DH-71، DH-136، DH-162 و Trident بیشترین مقدار شاخص پایداری عملکرد (YSI) را داشتند، در حالی‌که ژنوتیپ DH-117 و سپس احسان و آرمان کمترین مقدار را نشان دادند. همچنین، بیشترین شاخص شدت تنش (SI) در ژنوتیپ‌های DH-117، احسان و آراز مشاهده شد و کمترین مقدار آن در ژنوتیپ‌های DH-71، DH-136، DH-162، Trident و Molinuex ثبت گردید. شاخص تحمل (TOL) نیز در ژنوتیپ‌های DH-57 ، DH-117، احسان و آراز بیشترین

مقدار را داشت که بیانگر افت شدید عملکرد در شرایط خشکی بود، در حالی‌که ژنوتیپ‌های DH-136 ، Trident، DH-71 و Molinuex کمترین مقدار را نشـان دادند. در همین سـطح، ژنوتیپ‌های DH-57 و DH-162 بیشترین میانگین بهره‌وری (MP) را داشتند و ژنوتیپ‌های DH-57، DH-162، احسان و آراز بالاترین میانگین هندسـی بهره‌وری (GMP) را نشـان دادند. همچنین، بالاترین میزان (DSI) مربوط به ژنوتیپ‌های DH-57، DH-117، احسان و آراز بود، در حالی‌که ژنوتیپ‌های DH-250،DH-71 و Molinuex کمترین مقدار را نشـان دادند. در سـطح ۵۰ درصـد ظرفیت زراعی (شـکل ۳. د تا و)، ژنوتیپ‌های DH-150 و DH-87 بیشترین YSI را داشتند و ژنوتیپ‌های DH-117، DH-20، احسـان و تیرگان کمترین مقدار را نشـان دادند. بیشـترین SI در ژنوتیپ‌های DH-117، DH-20 و تیرگان مشـاهده شـد و کمترین مقدار آن در DH-71 و DH-150 ثبـت گردیـد. شـاخص TOL در ژنوتیپ‌های DH-117، احسـان و تیرگان بیشـترین مقدار را داشـت، در حالی‌کـه ژنوتیـپ‌هـای Molinuex، Trident، DH-250، DH-171، DH-150، DH-136، DH-71 و DH-87 کمترین مقـدار را نشـان دادنـد. در این سـطح، ژنوتیپ‌های DH-57، آراز و احسان بیشترین MP و GMP را داشـتند و ژنوتیپ‌های DH-117، DH-20، تیرگان و احسـان بیشـترین درصـد کاهش نسـبی (RD%) را نشـان دادند، در حالی‌که ژنوتیپ DH-87 کمترین مقدار RD% را داشـت. در مجـموع، ژنـوتیـپ‌هـای DH-71، DH-136، DH-162، Trident، DH-150، DH-87 و DH-250 بـه‌عنـوان ژنوتیـپ‌های مقاوم‌تر و پایدارتر معرفی شـدند. این نتایج هم‌راستا با مطالعات پیشـین هستند. به‌طور مثال، در پژوهش امام و همکاران روی ارقام مصـری، ژنوتیپ‌های Giza-171، Misr-2 و Giza-168 به‌عنوان ژرم‌پلاسم‌های ارزشمند برای اصـلاح گندم مقاوم به خشـکی معرفی شـدند و شـاخص‌های MP و GMP بیشـترین همبستگی مثبت را با عملکرد داشتند (Emam *et al.*, 2022). همچنین، مطالعه نگیشو و همکاران (Negisho *et al.*, 2022) در گندم دوروم نشان داد که ترکیب شـاخص‌های DSI، RDI، TOLو YSI توانسـت ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر را شـناسـایی کند و سـپسQTLهای مرتبط با این شـاخص‌ها در کروموزوم‌های A۱، B۲ و A۷ به‌عنوان نقاط حساس معرفی شـدند. این یافته‌ها اهمیت استفاده همزمان از شـاخص‌های عملکردی و ابزارهای ژنتیکی را در شـناسـایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی برجسته می‌سازند.

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص‌های تنش (RD%، MP، GMP، SI، DSI، TOL، YSI) در سطح ۳۰ درصد تنش
Table 5. Analysis of variance of performance indices (RD%, MP, GMP, SI, DSI, TOL, YSI) at the 30% drought stress level

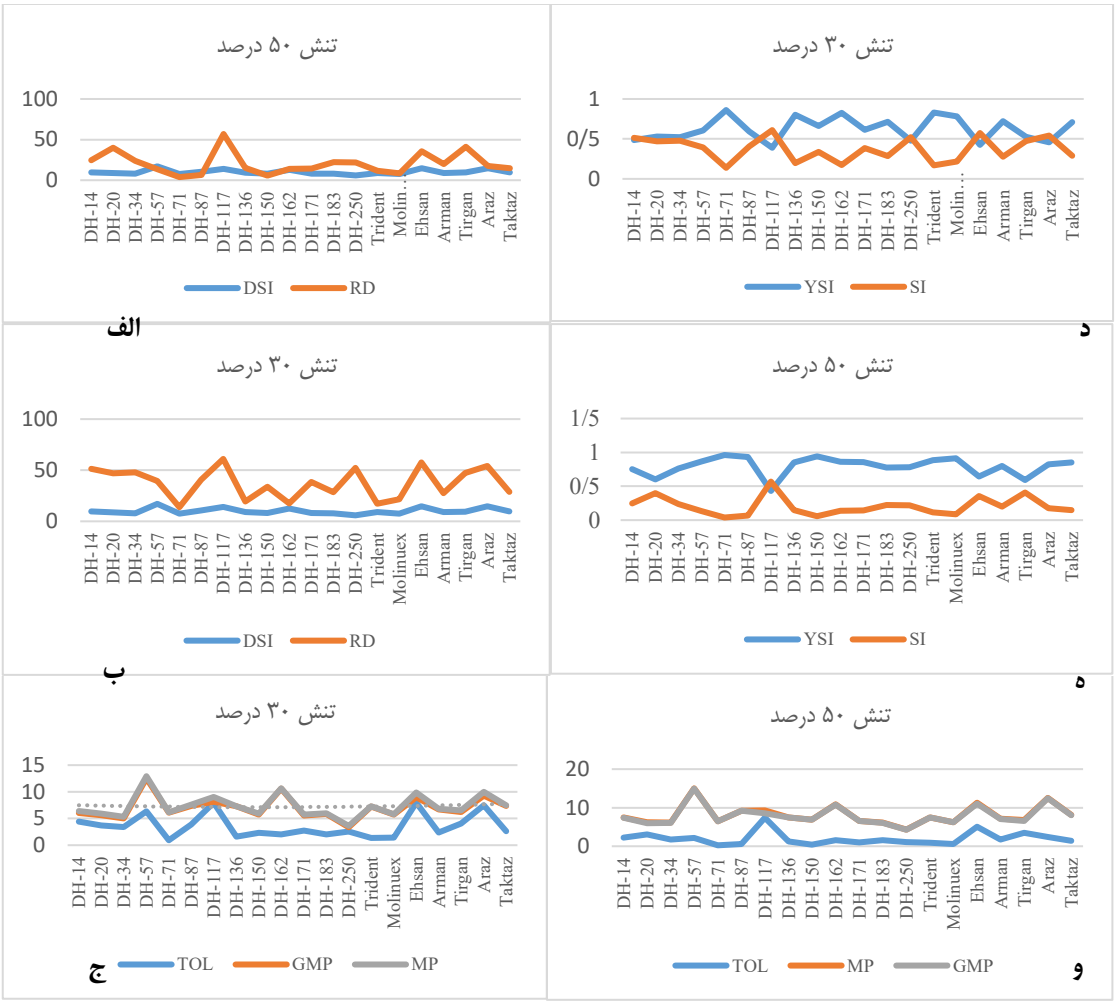
منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square)						
		درصد کاهش نسبی (RD)	میانگین تولید (MP)	میانگین هندسی تولید (GMP)	شدت تنش (SI)	شاخص حساسیت به خشکی (DSI)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص پایداری بازده (YSI)
بلوک Block	2	165.71^{ns}	1.40^{*}	1.73^{*}	0.016^{ns}	1.39^{ns}	1.19^{ns}	0.016^{ns}
ژنوتیپ Genotype	19	657.40^{**}	14.35^{**}	13.0002^{**}	0.06^{**}	26.70^{**}	14.72^{**}	0.065^{**}
خطا Erorr	38	96.19	0.427	0.477	0.009	0.72	0.90	0.009
ضریب تغییرات CV		26.30	8.93	9.83	26.30	8.4	26.83	15.63

ns ، * و ** به‌ترتیب بی‌معنی و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
ns ,*, **: not significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۶- تجزیه واریانس شاخص‌های تنش (RD%، MP، GMP، SI، DSI، TOL، YSI) در سطح ۵۰ درصد تنش
Table 6. Analysis of variance of performance indices (RD%, MP, GMP, SI, DSI, TOL, YSI) at the 50% drought stress level

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی	میانگین مربعات(Mean square)						
		درصد کاهش نسبی (RD)	میانگین تولید (MP)	میانگین هندسی تولید (GMP)	شدت تنش (SI)	شاخص حساسیت به خشکی (DSI)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص پایداری بازده (YSI)
بلوک Block	2	75.38^{ns}	0.27^{ns}	0.196^{ns}	0.004^{ns}	1.39^{ns}	0.6^{ns}	0.014^{ns}
ژنوتیپ Genotype	19	572.39^{**}	20.10^{**}	19.76^{**}	0.057^{**}	26.70^{**}	9.66^{**}	0.055^{**}
خطا Erorr	38	33.30	0.321	0.29	0.003	0.72	0.344	0.006
ضریب تغییرات CV		26.21	7.006	6.85	26.92	8.40	26.69	10.45

ns ، * و ** به‌ترتیب بی‌معنی و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
ns ,*, **: not significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.



شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های (RD،DSI،GMP،MP،TOL،SI ،YSI) در سطوح ۳۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی
Figure 3. The comparison of average indices (YSI, SI, TOL, MP, GMP, DSI, RD) at 30 and 50 percent crop capacity levels

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر نشان داد که تنش خشکی در سطوح مختلف (۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) اثر معنی‌داری بر تمامی صفات مورفولوژیک و عملکردی گندم داشت. با افزایش شدت تنش، کاهش قابل توجهی در صفات کلیدی مانند ارتفاع گیاه، طول میانگره، طول سنبله، وزن صد دانه و تعداد دانه مشاهده شد. در شرایط خشکی شدید (۳۰ درصد)، صفات برگی به‌ویژه طول و عرض برگ پرچم و وزن صد دانه بیشترین نقش را در حفظ عملکرد ایفا کردند، در حالی که در شرایط ملایم‌تر، صفات ساقه‌ای و زایشی اهمیت بیشتری داشتند.

ژنوتیپ‌هایی مانند DH-57، DH-162، DH-117، احسان، آرمان و Trident توانستند در شرایط خشکی شدید صفات کلیدی را بهتر حفظ کنند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شدند، در حالی که ژنوتیپ‌هایی مانند DH-20 و DH-250 کاهش شدیدتری در عملکرد و اجزای آن نشان دادند و حساس‌تر ارزیابی شدند. نتایج شاخص‌های تحمل خشکی YSI، SI، TOL، GMP، MP، DSI و RD نیز این الگو را تأیید کردند و نشان دادند که ژنوتیپ‌های مقاوم علاوه بر حفظ عملکرد در شرایط تنش، پایداری بیشتری در شرایط نرمال داشتند.

همبستگی بین صفات نشان داد که در شرایط خشکی شدید، وزن صد دانه و صفات برگی بیشترین ارتباط مثبت با عملکرد داشتند، در حالی که در شرایط ملایم‌تر، ارتفاع و طول میانگره نقش بیشتری ایفا کردند. تجزیه کلاستر نیز ساختار تنوع ژنتیکی را آشکار ساخت و نشان داد که ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات کلیدی در شرایط مختلف خوشه‌بندی شدند؛ صفات ساقه‌ای و زایشی در شرایط نرمال، و صفات برگی و عملکردی در شرایط خشکی شدید تعیین‌کننده‌تر بودند.

در مجموع، این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب ارزیابی صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد، همبستگی، تجزیه کلاستر و شاخص‌های تحمل خشکی، رویکردی جامع برای غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی فراهم می‌کند. استفاده از این رویکرد می‌تواند کارایی برنامه‌های اصلاحی را افزایش دهد و به معرفی ارقام پایدار و مقاوم در شرایط اقلیمی متغیر و کم‌آبی آینده کمک کند.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به خاطر تامین منابع مالی و امکانات اجرای این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Ahmad, A., Aslam, Z., Javed, T., Hussain, S., Raza, A., Shabbir, R., & Tauseef, M. (2022). Screening of wheat *(Triticum aestivum* L.*)* genotypes for drought tolerance through agronomic and physiological response. *Agronomy*, 12(2), 287.

Alsamadany, H., Alzahrani, Y., & Shah, Z. H. (2023). Physiomorphic and molecular-based evaluation of wheat germplasm under drought and heat stress. *Frontiers in Plant Science,* 14, 1107945.

Azizi, K., Chehergani Rad, A., & Siltani, J. (2022). Structural changes in root, stem and leaf tissues in wheat cultivar Mihan under drought stress. *Cellular and Molecular Research Iranian Journal of Biology*, 35(3), 404-393.

Bagheripour, M. A., Abad, H. H. S., Mehraban, A., & Ganjali, H. R. (2021). Investigation of the limiting factors of wheat seed yield in the eastern region of Kerman.

Emam, M. A., Abd EL-Mageed, A. M., Niedbała, G., Sabrey, S. A., Fouad, A. S., Kapiel, T., & Mahmoud, S. A. (2022).Genetic characterization and agronomic evaluation of drought tolerance in ten egyptian wheat (*Triticum aestivum* L.) *Cultivars.Agronomy*, 12(5), 1217.

FAO (2020). Cerealsupply and demand data may FAOSTAT statistics database Available online at http://www.fao.org/fileadmin/templates/worldfood/Repor.

Ghanem, H. E., & Al-Farouk, M. O. (2024). Wheat drought tolerance: Morpho-physiological criteria, stress indexes, and yield responses in newly sand soils. *Journal of Plant Growth Regulation,* 43(7), 2234-2250.

Guizani, A., Askri, H., Amenta, M. L., Defez, R., Babay, E., Bianco, C., & Gharbi, F. (2023). Drought responsiveness in six wheat genotypes: identification of stress resistance indicators. *Frontiers in Plant Science,* 14, 1232583.

Keshavarznia, R., Farzadi, H., & Aghaee Sarbarzeh, M. (2024). Selection of Superior Durum Wheat Lines in the Warm and Dry Northern Region of Khuzestan Province. *Journal of Crop Breeding*, 16(2), 93-103. [In Persian]

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

Khatri, H.B., Bhattarai, K., Gyawali, B., Pandey, G., Yadav, L., & Tiwari, A. (2017). Analysis of Yield Attributing Characters of Different Genotypes of Wheat in Rupandehi, Nepal. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* (IJEAB) 2(5):2374-2379

Lev-Yadun, S., Gopher, A., & Abbo, S. (2000). The cradle of agriculture. *Science*, 288(5471), 1602-1603.

Mehraban, A., Tobe, A., Gholipouri, A., Amiri, E., Ghafari, A., & Rostaii, M. (2019). The effects of drought stress on yield, yield components, and yield stability at different growth stages in bread wheat cultivar (*Triticum aestivum* L.*). Polish Journal of Environmental Studies*. 28(2).

Mehraban, A., Tobe, A., Gholipouri, A., Amiri, E., Ghafari, A., & Rostaii, M. (2019). The effects of drought stress on yield, yield components, and yield stability at different growth stages in bread wheat cultivar (*Triticum aestivum* L.). *Polish Journal of Environmental Studies,* 28(2).

Mohi-Ud-Din, M., Hossain, M. A., Rohman, M. M., Uddin, M. N., Haque, M. S., Ahmed, J. U., ... & Mostofa, M. G. (2021). Multivariate analysis of morpho-physiological traits reveals differential drought tolerance potential of bread wheat genotypes at the seedling stage. *Plants, 10*(5), 879.

Mutanda, M., Shimelis, H., Chaplot, V., & Figlan, S. (2025). Managing drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) production: strategies and impacts. *South African Journal of Plant and Soil,* 1-12.

Negisho, K., Shibru, S., Matros, A., Pillen, K., Ordon, F., & Wehner, G. (2022). Association mapping of drought tolerance indices in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*). *Frontiers in Plant Science*, 13, 838088.

Ntawuguranayo, S., Zilberberg, M., Nashef, K., Bonfil, D. J., Bainsla, N. K., Piñera-Chavez, F. J., & Ben-David, R. (2024). Stem traits promote wheat climate-resilience. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1388881.

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

Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Etminan, A., Shooshtari, L., Maleki-Tabrizi, N., & Poczai, P. (2020). Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*, 12(14), 5610.

Qaseem, M. F., Qureshi, R., & Shaheen, H. (2019). Effects of pre-anthesis drought, heat and their combination on the growth, yield and physiology of diverse wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes varying in sensitivity to heat and drought stress. *Scientific Reports,* 9(1), 6955.

Qazvineh, S., Voladabadi, S., Alireza, A., Abdolvahab, S., Saeed, & Zakirin, H.. (2020). Response of durum wheat genotypes to sowing date and seed densities under dryland conditions in Kermanshah. *Scientific Journal of Crop Ecophysiology*, 14(3), 401-422.

Rahemi, K. A., Faramarzi, K. H., Teimuri, J., & Abhari, A. (2025). Evaluation of morphological traits and yield of wheat varieties (*Triticum aestivum*) under late season drought stress in rainfed conditions. Journal: *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment* , 1-13

Rahemi, K. A., Faramarzi, K. H., Teimuri, J., & Abhari, A. (2025). Evaluation of morphological traits and yield of wheat varieties (*Triticum aestivum*) under late season drought stress in rainfed conditions. *Jornal of new Approaches in water Engineering and Environment,* 2981-0280.

Raza, A., Mehmood, S.S., Shah, T., Zou, X., Yan, L. Zhang, X., & Khan, R. S. A. (2019). Applications of molecular markers to develop resistance against abiotic stresses in wheat. In Wheat Production in Changing Environments; Springer: *Singapore.* 393–420.

Shahbazi Homonlo, K., Ebadi, F., & Vkhodarahmi, S. (2022). Morphophysiological response of bread wheat cultivars under the influence of drought environmental stress. *Environmental Science Studies,* 7 (1), 4716-4726.

Shahbazi, M., Sheikh, F., Kalateh Arabi, M., & Hassani Far, A. M. (2022). Study of genetic diversity of Iranian native wheats under dryland conditions of Golestan province. *Journal of Crop Breeding*, 7(16), 176-186. [In Persian]

Shahizadeh, A., Asghari Zakaria, R., Ghasemi, M., & Sheikhzadeh Mosaddeq, P. (2024). Evaluation of Yields and Grain Filling Speeds of Bread Wheat Genotypes under End-of-the-Season Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding*, 16(3), 25-36. [In Persian]

Shanazari, M., Golkar, P., & Mirmohammady Maibody, A. M. (2018). Effects of drought stress on some agronomic and bio-physiological traits of *Trititicum aestivum*, Triticale, and Tritipyrum genotypes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(14), 2005-2018.

Vassileva, V., Georgieva, M., Zehirov, G., & Dimitrova, A. (2023). Exploring the genotype-dependent toolbox of wheat under drought stress. *Agriculture,* 13(9), 1823.

Wang, J. Y., Xiong, Y. C., Li, F. M., Siddique, K. H., & Turner, N. C. (2017). Effects of drought stress on morphophysiological traits, biochemical characteristics, yield, and yield components in different ploidy wheat: A meta-analysis. *Advances in Agronomy,* 143, 139-173.

Wang, S., Sun, N., Yang, S., Tian, X., & Liu, Q. (2021). The effectiveness of foliar applications of different zinc source and urea to increase grain zinc of wheat grown under reduced soil nitrogen supply. *Journal of Plant Nutrition,* 44(5), 644-659.

Xu, Z., Lai, X., Ren, Y., Yang, H., Wang, H., Wang, C., & Zhang, Y. (2023). Impact of drought stress on yield-related agronomic traits of different genotypes in spring wheat. *Agronomy*, 13(12), 2968.

Zali, H., & Pour-Aboughadareh, A. (2023). Identification of superior genotypes of barley for cultivation in the south regions of Fars province using MGIDI و FAI-BLUP indices. *Plant Productions*, 46(3), 335-351.