University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 13, No. 1, Spring 2023 (1-16)
doi: 10.22124/CR.2023.24692.1773
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Investigating the genetic diversity of bread wheat germplasm under drought stress

Yousef Arshad[1], Mehdi Zahravi[2*] and Ali Soltani[3]

1. Research Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Research Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. ([*]Corresponding author: mehdi.zahravi@gmail.com)
3. Researcher, Agriculture and Natural Resources Research Center of Yazd, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Wheat ranks second among cereals in term of global production, but it has been affected by ongoing global climate changes. Drought stress is one of the important factors contributing to the reduction in wheat production. Developing drought-tolerant wheat varieties currently presents a major challenge for wheat breeders. Complex multigenic and multitrait genetic control, high genotype-environment interaction, low heritability, and challenges associated with high-throughput screening of plant traits and genes effective in drought tolerance due to the involvement of numerous traits and positive and negative correlations among them are some of the factors that have made wheat variety improvement for drought tolerance a challenging task. Selecting drought-tolerant genotypes as a cost-effective and biologically superior approach to increasing wheat production in low humidity areas has always been considered by breeders. Screening wheat genotypes to identify drought tolerance sources is essential and can be useful in selecting appropriate and desirable parents for implementing beneficial breeding programs. Local plant populations such as landraces are valuable resources for environmental stress tolerance, including drought stress. Local plant varieties are heterogeneous populations with local adaptation that provide genetic resources capable of meeting the needs imposed by new and emerging agricultural challenges under highly stressful conditions. The aim of this study was to identify wheat accessions tolerant to drought stress for use in future breeding programs.

Materials and methods

A total of 512 wheat accessions from the National Plant Gene Bank of Iran, along with the varieties Kavir, Roshan and Mahouti as controls, were evaluated for drought stress tolerance in the research field of Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd, Iran. The experiment was conducted in two separate augmented designs, one of which was considered to drought stress and the other to normal irrigation conditions. Drought stress was induced by limiting the irrigation cycle. Considering that out of the total studied genetic materials, 141 accessions survived, the evaluation of traits was perfoemed on both those surviving accessions and their corresponding counterparts in the normal experiment. For data analysis, descriptive statistics including minimum, maximum, average, and coefficient of variation were calculated. Correlation coefficients were estimated and tested to study the relationship between traits. Stepwise regression analysis was used to determine the role of each trait and to identify the important and influencing traits on five-spike grain weight. K-means cluster analysis method was used to separate the accessions. All statistical analyzes were performed using R and SPSS softwares.

Research findings

The results of descriptive statistics showed that the highest coefficient of variation under normal and drought stress conditions were attributed to five-spike grain weight (23.35%) and number of fertile tillers per plant (31.67%), respectively. Five-spike grain weight had the highest decrease in range (51.3%) under drought stress compared to normal conditions, and the highest decrease in mean was observed for number of fertile tillers per plant (59.3%) and five-spike grain weight (40.5%), respectively. A large number of accessions showed superiority over control varieties under both normal and drought stress conditions, so that 97 accessions had five-spike grain weight more than the control varieties. The accessions KC12856, KC12776, KC12783, KC12767, and KC12697 with values of 6.77, 6.75, 6.22, 5.94 and 5.86 g, respectively, had the highest five-spike grain weight under drought stress conditions. Number of spikelets per spike, number of florets per spikelet, 100-grain weight and number of grains per spike had significant and strong correlation coefficients at 1% probability level with five-spike grain weight under drought stress conditions. Based on the results of stepwise regression analysis under drought stress conditions, three traits including number of grains per spike, 100-grain weight and spike length were the most effective traits on five-spike grain weight and explained 90.6% of it's variation. The studied genetic materials were grouped into five separated clusters using K-means cluster analysis.

Conclusion

The results of this experiment showed the valuable potential of the studied germplasm to drought stress tolerance. Evaluating the relationships among traits revealed the significance of number of grains per spikelet, number of spikelets per spike, number of florets per spikelet, and 100-grain weight under both normal and drought stress conditions. A considerable number of accessions were superior to the control varieties under both normal and drought stress conditions, indicating the richness and valuable potential of these genetic resources for drought tolerance related traits. Therefore, it is recommended to continue screening and evaluating the wheat collection of National Plant Gene Bank of Iran to identify drought stress-tolerant genetic resources. Based on the results of cluster analysis, the control cultivars with different characteristics were grouped in the separate clusters, and a distinguished cluster of the studied wheat accessions with superior traits was also formed. The diverse germplasm or superior accessions identified in this study can be used to develope the genetic base in crosses or as parents in breeding programs.

Key words: Gene bank, Genetic resources, Landrace, Water stress

Received: December 24, 2022 Accepted: May 01, 2023

Cite this article:

Arshad, Y., Zahravi, M. and Soltani, A. 2023. Investigating the genetic diversity of bread wheat germplasm under drought stress. *Cereal Research*, 13(1), pp. 1-16.

تحقیقات غلات
دوره سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲ (۱۶-۱)
doi: 10.22124/CR.2023.24692.1773
دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

بررسی تنوع ژنتیکی ژرم‌پلاسم گندم نان تحت شرایط تنش خشکی

یوسف ارشد[۱]، مهدی زهراوی[۲*] و علی سلطانی[۳]

۱- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (* نویسنده مسئول: mehdi.zahravi@gmail.com)
۳- پژوهشگر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

چکیده جامع

مقدمه: گندم از نظر تولید جهانی رتبه دوم را در بین غلات دارد، اما تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پیش‌رونده جهانی قرار گرفته است. تنش خشکی یکی از عوامل مهم کاهش تولید گندم است. توسعه ارقام گندم متحمل به خشکی در حال حاضر چالشی بزرگ برای به‌نژادگران گندم محسوب می‌شود. کنترل ژنتیکی پیچیده چندصفتی و چندژنی، برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط بالا، وراثت‌پذیری پایین و مشکلات مربوط به غربال‌گری انبوه صفات و ژن‌های گیاهی مؤثر در تحمل به خشکی به‌دلیل دخالت تعداد زیادی از صفات و وجود همبستگی‌های مثبت و منفی بین آنها، از جمله عواملی هستند که اصلاح ارقام گندم برای تحمل به تنش خشکی را با چالش مواجه ساخته‌اند. انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به‌عنوان رویکردی مقرون به صرفه و زیستی برتر برای افزایش تولید گندم در مناطق کم‌رطوبت، همیشه مدنظر به‌نژادگران بوده است. غربال‌گری ژنوتیپ‌های گندم برای شناسایی منابع تحمل به خشکی ضروری است و می‌تواند در انتخاب والدین مناسب و مطلوب جهت اجرای برنامه‌های به‌نژادی مفید باشد. توده‌های گیاهی بومی منابع ارزش‌مندی برای تحمل به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی به‌شمار می‌روند. نژادهای بومی گیاهی، جمعیت‌های ناهمگن و سازگاری هستند که به‌طور محلی اهلی شده‌اند و منابع ژنتیکی را فراهم می‌کنند که می‌توانند پاسخ‌گوی نیازهای ناشی از چالش‌های جدید و پیش روی کشاورزی تحت شرایط پرتنش باشند. هدف از این تحقیق شناسایی نمونه‌های ژنتیکی متحمل به تنش خشکی جهت استفاده از آنها در برنامه‌های به‌نژادی آینده بود.

مواد و روش‌ها: تعداد ۵۱۲ نمونه ژنتیکی از کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران به‌همراه ارقام کویر، روشن و ماهوتی به‌عنوان شاهد، برای تحمل به تنش خشکی در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد بررسی قرار گرفتند. آزمایش در قالب دو طرح آگمنت جداگانه انجام شد که یک آزمایش مربوط به شرایط تنش خشکی و دیگری مربوط به شرایط آبیاری نرمال بود. تنش خشکی با محدودیت دوره آبیاری اعمال شد. با توجه به اینکه از مجموع مواد ژنتیکی مورد آزمایش، ۱۴۱ نمونه ژنتیکی بقاء یافتند، بنابراین ارزیابی صفات روی آنها و نمونه‌های متناظر آنها در آزمایش نرمال انجام شد. برای تحلیل داده‌ها، آماره‌های توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانگین و ضریب تغییرات صفات محاسبه شد. به‌منظور مطالعه ارتباط بین صفات، ضرایب همبستگی بین آنها برآورد و آزمون شد و برای تعیین نقش هر یک از صفات و شناسایی صفات مهم و اثرگذار بر وزن دانه پنج سنبله از تجزیه رگرسیون گام به گام استفاده شد. نمونه‌های ژنتیکی مورد مطالعه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به‌روش K-means از یکدیگر تفکیک شدند. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای R و SPSS انجام گرفت.

یافته‌های تحقیق: نتایج حاصل از برآورد آماره‌های توصیفی نشان داد که بیش‌ترین ضریب تغییرات تحت شرایط نرمال و تنش خشکی به‌ترتیب به صفات وزن دانه پنج سنبله (۲۳/۳۵ درصد) و تعداد پنجه در بوته (۳۱/۶۷ درصد) اختصاص داشت. صفت وزن دانه پنج سنبله دارای بیش‌ترین میزان کاهش دامنه تغییرات (۵۱/۳ درصد) تحت شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال بود و بیش‌ترین کاهش میانگین به‌ترتیب برای صفات تعداد پنجه بارور (۵۹/۳ درصد) و وزن دانه پنج سنبله (۴۰/۵ درصد) مشاهده شد. تعداد زیادی از نمونه‌های ژنتیکی در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی نسبت به ارقام شاهد برتری نشان دادند. ۹۷ نمونه ژنتیکی، وزن دانه پنج سنبله بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد داشتند. نمونه‌های ژنتیکی KC12856، KC12776، KC12783، KC12767 و KC12697 (به‌ترتیب با مقادیر ۶/۷۷، ۶/۷۵، ۶/۲۲، ۵/۹۴ و ۵/۸۶ گرم) دارای بیش‌ترین وزن دانه پنج سنبله در شرایط تنش خشکی بودند. صفات تعداد سنبلچه در خوشه، تعداد گلچه در سنبلچه، وزن صد دانه و تعداد دانه در خوشه، دارای ضرایب همبستگی قوی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با وزن دانه پنج سنبله در شرایط تنش خشکی بودند. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام تحت شرایط تنش خشکی، سه صفت تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و طول سنبله وارد مدل شدند و ۹۰/۶ درصد از تغییرات وزن دانه پنج سنبله را توجیه کردند. مواد ژنتیکی مورد بررسی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به‌روش K-means در پنج خوشه متفاوت گروه‌بندی شدند.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج این تحقیق، ظرفیت ارزشمند ژرم‌پلاسم مورد بررسی را برای تحمل به تنش خشکی نشان داد. بررسی روابط بین صفات نشان‌دهنده اهمیت تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه و وزن صد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی بود. برای هر یک از صفات مورد ارزیابی، تعداد زیادی از نمونه‌های ژنتیکی در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی نسبت به ارقام شاهد برتری داشتند که بیانگر غنی بودن این ذخایر برای صفات مرتبط با تحمل به تنش خشکی است. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود ارزیابی و غربال‌گری کلکسیون بانک ژن گیاهی ملی ایران به‌منظور شناسایی منابع متحمل به تنش خشکی ادامه یابد. در تجزیه خوشه‌ای، ارقام شاهد با ویژگی‌های متفاوت در گروه‌های جداگانه قرار گرفتند و علاوه بر این، گروهی متمایز از نمونه‌های ژنتیکی واجد صفات برتر تشکیل شد. از ژرم‌پلاسم متنوع شناسایی شده در این تحقیق و یا نمونه‌های ژنتیکی برتر، می‌توان برای توسعه پایه ژنتیکی در تلاقی‌ها و یا به‌عنوان والد در برنامه به‌نژادی بهره‌برداری کرد.

واژه‌های کلیدی: بانک ژن، تنش رطوبتی، توده محلی، منابع ژنتیکی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱

نحوه استناد به این مقاله:

ارشد، یوسف، زهراوی، مهدی و سلطانی، علی. ۱۴۰۲. بررسی تنوع ژنتیکی ژرم‌پلاسم گندم نان تحت شرایط تنش خشکی. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۱): ۱۶-۱.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان پادشاه غلات شناخته شده و توسط یک‌سوم از جمعیت جهان مصرف می‌شود (Ahmad *et al.*, 2022). این گیاه حدود ۲۰ درصد از کل کالری و پروتئین مورد نیاز رژیم غذایی را تأمین می‌کند که این میزان از حدود ۷۳۰ میلیون تن تولید سالانه در ۲/۱ میلیون کیلومتر مربع سطح برداشت در جهان حاصل می‌شود (Shiferaw *et al.*, 2013). گندم از نظر کل تولید جهانی در میان غلات، رتبه دوم را دارد، اما از نظر کل سطح زیر کشت، در رتبه اول قرار دارد (FAO, 2018; OECD/FAO, 2018). در حال حاضر تولید گندم تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پیش‌رونده جهانی قرار گرفته است. تنش‌های محیطی تحت شرایط آب و هوایی در حال تغییر، به‌عنوان تهدید اصلی برای تولید محصولات عمده هستند. در مقایسه تنش‌های زیستی و غیرزیستی، کاهش تولید گندم عمدتاً ناشی از عوامل غیرزیستی از جمله خشکی، شوری و تنش گرمایی است (Abhinandan *et al.*, 2018). در میان شرایط آب و هوایی نامطلوب مختلف و رویدادهای شدید آب و هوایی، خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تولید محصول را محدود می‌کند (Lipiec *et al.*, 2013; Basu *et al.*, 2016; Fahad *et al.*, 2017). منابع آب به‌دلیل افزایش تقاضا از سوی جمعیت فزاینده انسانی و مصرف آن در بخش‌های خانگی، زیست‌محیطی و صنعتی، به‌طور پیوسته در حال کاهش است. در نتیجه، تأمین آب بهینه برای محصولات کشاورزی در آینده نزدیک کاهش خواهد یافت. در واقع، محصولات کشاورزی در حال حاضر نیز با کمبود شدید آب مواجه هستند (Chowdhury *et al.*, 2021). توسعه ارقام گندم متحمل به تنش خشکی در دوره رشد زایشی در حال حاضر یک چالش بزرگ برای به‌نژادگران گندم به‌شمار می‌رود (Cattivelli *et al.*, 2008; Mwadzingeni *et al.*, 2016). کنترل ژنتیکی پیچیده چند صفتی و چند ژنی، برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط (G×E) بالا، وراثت‌پذیری پایین و مشکلات مربوط به غربال‌گری انبوه صفات و ژن‌های گیاهی مؤثر در تحمل به خشکی به‌دلیل دخالت تعداد زیادی از صفات و وجود همبستگی‌های مثبت و منفی بین آنها، از جمله عواملی هستند که اصلاح ارقام گندم برای تحمل به تنش خشکی را با چالش مواجه ساخته‌اند (Cattivelli *et al.*, 2008; Fleury *et al.*, 2010; Hu and Xiong, 2014).

انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به‌عنوان رویکردی مقرون‌به‌صرفه و زیستی برتر برای افزایش تولید گندم در مناطق کم‌رطوبت، همیشه مدنظر به‌نژادگران بوده است (Mitra, 2001). در این راستا تحقیقات زیادی به‌منظور بررسی ارتباط بین صفات مختلف با تحمل به خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در گندم صورت گرفته است. ارشد و زهراوی (Arshad and Zahravi, 2012) ۱۷ ژنوتیپ بومی از کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران را به‌همراه ارقام شاهد (کویر، ماهوتی و روشن) در سه شرایط متفاوت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که دو ژنوتیپ از لحاظ شاخص‌های تحمل به تنش وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. ارشد و همکاران (Arshad *et al.*, 2013) به‌منظور غربال نمونه‌های ژنتیکی متحمل به تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی یزد، ۱۰۲۴ نمونه ژنتیکی از ژرم‌پلاسم گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران را بررسی و مشاهده کردند که فقط ۳۵ نمونه ژنتیکی بقاء یافتند و از بین آنها چهار نمونه ژنتیکی با ویژگی‌های برتر از ارقام شاهد شناسایی شدند. شیبانی راد و همکاران (Sheibanirad *et al.*, 2018) ۲۰ ژنوتیپ گندم نان را در شرایط بدون تنش و تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند و دو شاخص تحمل به تنش (STI) و متوسط بهره‌وری (MP) را به‌عنوان مناسب‌ترین معیارها برای انتخاب ارقام متحمل پیشنهاد کردند. در بررسی تعداد ۱۶۸ رقم و لاین گندم نان و دوروم در شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل توسط حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2018)، لاین‌ها و رقم‌های سیمره، روشن، کاپتی، اکبری و DN11 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. فرشادفر و امیری (Farshadfar and Amiri, 2018) با استفاده از شاخص انتخاب جامع (ISI)، ژنوتیپ‌های شماره ۴ (WC-4530)، ۹ (WC-47381)، ۱۸ (WC-47636) و ۱۱ (WC-4566) را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مبتنی بر تمام صفات مورد مطالعه معرفی کردند.

نتایج بررسی ۱۶ ژنوتیپ امیدبخش گندم نان توسط براتی و همکاران (Barati *et al.*, 2019) نشان داد که در میان صفات مورد مطالعه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت، مؤثرترین صفات اثرگذار بر عملکرد دانه در شرایط مطلوب رطوبتی بودند، در حالی‌که در شرایط تنش خشکی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص

برداشت و عملکرد زیست‌توده به‌عنوان مهم‌ترین صفات موثر بر عملکرد دانه انتخاب شدند. خسروی و همکاران (Khosravi *et al*., 2019) نیز تحمل به خشکی را در ۳۵ ژنوتیپ گندم شامل جمعیت‌های دیپلوئید وحشی، ارقام تتراپلوئید و هگزاپلوئید گندم با استفاده از صفات مورفولوژیک و زراعی مقایسه کردند و با روش تجزیه علیت نشان دادند که صفات وزن صد دانه در شرایط نرمال و وزن سنبله در شرایط تنش، مؤثرترین صفات بر عملکرد دانه بودند. نصیری خلیل‌الهی و همکاران (Nasiri Khalilelahi *et al*., 2020) در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ۲۰ ژنوتیپ گندم نان، مشاهده کردند که اثر تنش خشکی آخر فصل بر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز عملکرد زیستی، تعداد دانه در سنبله و طول پدانکل بسیار معنی‌دار بود. داعی‌الحق و همکاران (Daei Alhag *et al*., 2020) در بررسی ۲۸ ژنوتیپ پیشرفته گندم بهاره با قطع آبیاری در مرحله ظهور ۵۰ درصد سنبله‌ها مشاهده کردند که برهم‌کنش ژنوتیپ × شرایط آبیاری از نظر صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و زیست‌توده معنی‌دار بود و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط مختلف آبیاری واکنش‌های متفاوتی از نظر این صفات داشتند. شانظری و همکاران (Shanazari *et al*., 2021) تحمل به تنش خشکی ۲۷ ژنوتیپ مختلف شامل گندم نان، تریتی پایروم و تریتیکاله را طی دو سال در دو منطقه اصفهان و شیراز مورد بررسی قرار دادند و از بین ژنوتیپ‌های گندم، ارقام بم، امید و الوند را در منطقه اصفهان و ژنوتیپ‌های الوند و KaCr4 را در منطقه شیراز به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناسایی و معرفی کردند.

غربال‌گری ژنوتیپ‌های گندم برای شناسایی منابع تحمل به خشکی ضروری است و می‌تواند در انتخاب والدین مناسب و مطلوب جهت اجرای برنامه‌های به‌نژادی مفید باشد (Ahmad *et al*., 2022). نژادهای بومی (Landraces) گیاهی، جمعیت‌های ناهمگن و سازگاری هستند که به‌طور محلی اهلی شده‌اند و منابع ژنتیکی را فراهم می‌کنند که می‌توانند پاسخ‌گوی نیاز ناشی از چالش جدید و پیش رو در کشاورزی تحت شرایط پرتنش باشند (Dwivedi *et al*., 2016). در این آزمایش نیز تعدادی از نمونه‌های ژنتیکی و ژنوتیپ‌های بومی گندم نان تحت دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفتند و هدف از اجرای آزمایش، شناسایی نمونه‌های ژنتیکی متحمل به تنش خشکی جهت استفاده از آنها در برنامه‌های به‌نژادی آینده بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این تحقیق، ۵۱۲ نمونه ژنتیکی کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران بود که به‌همراه ارقام کویر، روشن و ماهوتی به‌عنوان شاهد، برای تحمل به تنش خشکی در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۶۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۹۱۸ متر از سطح دریا مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳در قالب دو طرح آگمنت جداگانه انجام شد که یک آزمایش مربوط به شرایط تنش خشکی و دیگری مربوط به شرایط آبیاری نرمال بود. در هر آزمایش، هر نمونه ژنتیکی در یک خط ۲/۵ متری به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر از خط مجاور کشت شد. در شرایط نرمال، آبیاری کامل با توجه به نیاز گیاه انجام شد. تنش خشکی با محدودیت دوره آبیاری اعمال شد، بدین ترتیب که یک دوره آبیاری بعد از کاشت جهت استقرار گیاه و یک دوره نیز در مرحله پر شدن دانه (در مجموع دو دوره آبیاری) اعمال شد. کوددهی بر اساس نتایج آزمایش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) انجام شد، به این ترتیب که در هر دو آزمایش نرمال و تنش خشکی، کود نیتروژن به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به شکل سولفات آمونیوم در دو تقسیط شامل یک‌سوم قبل از کاشت و دو سوم در مرحله پنجه‌دهی و کود فسفر به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به شکل P_2O_5 داده شد. طی فصل رشد نسبت به وجین علف‌های هرز اقدام شد. در اثر اعمال تنش خشکی روی مجموعه مواد ژنتیکی مورد آزمایش، ۱۴۱ نمونه ژنتیکی بقاء یافتند که ارزیابی صفات در مورد آنها و صرفا روی نمونه‌های متناظر آنها در آزمایش نرمال انجام گرفت.

صفات مورد مطالعه شامل طول سنبله، تراکم سنبله، ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدن کامل، روز تا پر شدن دانه (از زمان سنبله‌دهی تا رسیدن کامل یا طول دوره پر شدن دانه)، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بود که مطابق با توصیف‌نامه مؤسسه بین‌المللی ذخایر ژنتیکی گیاهی (IBPGR, 1978) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تجزیه داده‌ها، آماره‌های توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانگین، و ضریب تغییرات محاسبه شد. نمونه‌های ژنتیکی برتر نسبت به ارقام شاهد بر اساس صفات مورد ارزیابی، شناسایی شدند. به‌منظور مطالعه ارتباط بین صفات، ضرایب همبستگی بین آنها برآورد و آزمون شد. برای تعیین نقش هر یک از صفات و شناسایی صفات پراهمیت از تجزیه رگرسیون گام به گام استفاده و وزن دانه پنج سنبله به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. نمونه‌های ژنتیکی مورد مطالعه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش K means از یکدیگر تفکیک شدند. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار R و SPSS انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی یزد

Table 1. Soil physico-chemical properties of the research field of Yazd

Clay	Silt	Sand	Texture	Potassium (ppm)	Phosphorous (ppm)	Organic carbon (%)	Neutralizing substances (%)	pH	EC dS/m
17.1	6.1	76.8	Sandy clay loam	212	16.3	1.07	21.60	7.30	2.33

نتایج

تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ارقام شاهد در قالب طرح بلوکی انجام شد و نتایج، تفاوت معنی‌داری را بین بلوک‌ها نشان نداد (نتایج ارائه نشده است). بر اساس این نتایج، نیازی به تصحیح مقادیر مشاهده شده برای صفات مورد ارزیابی در نمونه‌های ژنتیکی نبود.

مقادیر آماره‌های توصیفی در دو شرایط نرمال و تنش خشکی در جدول ۲ ارائه شده است. بیش‌ترین ضریب تغییرات در شرایط نرمال به صفت وزن دانه پنج سنبله (۲۳/۳۵ درصد) و سپس به ارتفاع بوته (۲۰/۷۵ درصد) و تعداد دانه در سنبله (۲۰/۵۸ درصد) اختصاص داشت. در شرایط تنش خشکی، صفت تعداد پنجه بارور دارای بیش‌ترین ضریب تغییرات (۳۱/۶۷ درصد) و تنوع بود و پس از آن صفات تراکم سنبله و ارتفاع بوته از بیش‌ترین ضریب تغییرات (هر دو ۲۰/۶۹ درصد) برخوردار بودند، در حالی‌که صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی، کم‌ترین ضریب تغییرات را داشتند. دامنه تغییرات صفات طول سنبله، ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، طول دور پر شدن دانه، تعداد سنبلچه در سنبله، تعدد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه پنج سنبله در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت. صفت وزن دانه پنج سنبه دارای بیش‌ترین میزان کاهش دامنه (۵۱/۳ درصد) در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال بود. همچنین میانگین تمام صفات مورد بررسی به‌جز روز تا سنبله‌دهی در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال کاهش نشان داد و بیش‌ترین کاهش مربوط به تعداد پنجه بارور (۵۹/۳ درصد) و پس از آن، وزن دانه پنج سنبله (۴۰/۵ درصد) بود.

تعداد زیادی از نمونه‌های ژنتیکی در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی نسبت به ارقام شاهد برتری نشان دادند (جدول ۳). در شرایط نرمال، ۲۵ نمونه ژنتیکی دارای وزن دانه پنج سنبله بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد بودند. نمونه‌های ژنتیکی KC12889، KC12776، KC12672، KC12848، KC12853 و KC12857 (به‌ترتیب با مقادیر ۱۱/۴۹، ۱۱/۱۴، ۱۰/۸۹، ۱۰/۸۱، ۱۰/۳۷ و ۱۰/۱۹ گرم) بیش‌ترین وزن دانه پنج سنبله را در شرایط نرمال داشتند. تعداد ۱۳، ۱۸، ۴۰، ۳۴، ۷۴، ۵۲، ۲، ۸۸ و ۲۱ نمونه ژنتیکی نیز به‌ترتیب از لحاظ صفات وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد سنبلچه در سنبله، طول دوره پر شدن دانه، تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته، تراکم سنبله و طول سنبله در شرایط نرمال نسبت به ارقام شاهد برتر بودند. نمونه‌های ژنتیکی KC12857، KC12776، KC12672، KC12882 و KC12670 به‌ترتیب با مقادیر ۵/۰۵، ۴/۹۴، ۴/۷۸، ۴/۷۱ و ۴/۶۴ گرم از لحاظ صفات وزن صد دانه و نمونه‌های ژنتیکی KC12787، KC12691، KC12801، KC12782 و KC12661 به‌ترتیب با مقادیر ۶۰/۲، ۵۶/۲، ۵۵/۶، ۵۴/۸ و ۵۴/۰ عدد از لحاظ تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال نسبت به ارقام شاهد برتر بودند.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی نمونه‌های ژنتیکی گندم نان مورد مطالعه در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 2. Descriptive statistics of the studied bread wheat accessions under normal and drought stress conditions

Trait	Minimum	Maximum	Mean	Coefficient of variation (%)
Normal conditions				
Spike length (cm)	5.2	11	7.84	13.65
Spike density	12.91	36.92	22.54	16.23
Plant height (cm)	33	88	63.03	20.75
No. of fertile tillers	4	9	6.05	18.25
Days to heading	126	144	131.95	2.73
Days to full maturity	156	179	165.51	2.60
Grain filling period (day)	17	48	33.56	16.40
No. of spikelets per spike	12.6	21.4	17.37	9.76
No. of florets per spikelet	1.8	4.6	3.12	16.82
No. of grains per spike	19	60	37.92	20.58
100-grain weight (g)	2.64	5.05	3.64	12.37
Five-spike grain weight (g)	3.77	11.49	6.70	23.35
Drought stress				
Spike length (cm)	4	8.4	6.31	15.50
Spike density	14.44	41.90	22.45	20.69
Plant height (cm)	29	75	50.94	20.69
No. of fertile tillers	1	5	2.46	31.67
Days to heading	153	173	160.11	2.12
Days to full maturity	121	144	128.22	3.33
Grain filling period (day)	18	42	31.89	12.98
No. of spikelets per spike	10	18.4	13.81	11.26
Number of florets per spikelet	1.8	3.8	2.56	15.85
No. of grains per spike	17	46	26.47	20.37
100-grain weight (g)	1.67	4.68	3.05	14.75
Five-spike grain weight (g)	3.01	6.77	3.99	19.49

تعداد ۹۷ نمونه ژنتیکی تحت شرایط تنش خشکی، وزن دانه پنج سنبله بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد داشتند. نمونه‌های ژنتیکی KC12856، KC12776، KC12783، KC12767 و KC12697 (به‌ترتیب با مقادیر ۶/۷۷، ۶/۷۵، ۶/۲۲، ۵/۹۴ و ۵/۸۶ گرم) دارای بیش‌ترین وزن دانه پنج سنبله در شرایط تنش خشکی بودند. همچنین، تعداد ۳۵، ۴۵، ۷۳، ۶۸، ۶۵، ۱۴، ۸، ۱۲۸ و ۱۳ نمونه ژنتیکی به‌ترتیب وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد سنبلچه در سنبله، طول دوره پر شدن دانه، تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته، تراکم سنبله و طول سنبله بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد در شرایط تنش خشکی داشتند. از لحاظ صفات وزن صد دانه نیز نمونه‌های ژنتیکی KC12776، KC12675، KC12807، KC12848 و KC12779 به‌ترتیب با مقادیر ۴/۶۸، ۴/۱، ۴/۰، ۳/۸۲ و ۳/۸۲ گرم و از لحاظ تعداد دانه در سنبله، نمونه‌های ژنتیکی KC12856، KC12889، KC12857، KC12853 و KC12767 به‌ترتیب با مقادیر ۴۵/۶، ۴۴/۹، ۴۲/۴، ۴۲ و ۳۸/۸ دانه در سنبله نسبت به ارقام شاهد تحت شرایط تنش خشکی برتری داشتند.

ضرایب همبستگی فنوتیپی بین صفات ارزیابی شده در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده تحت شرایط نرمال، صفات تراکم سنبله (r =۰/۳۸۸)، وزن صد دانه (r =۰/۴۰۲)، تعداد گلچه در سنبلچه (r =۰/۵۷۸)، تعداد سنبلچه در سنبله (r =۰/۵۹۳) و تعداد دانه در سنبله (r =۰/۸۱۲)، ضرایب همبستگی قوی و معنی‌دار با وزن دانه پنج خوشه در سطح احتمال یک درصد داشتند. در شرایط تنش خشکی، صفات وزن صد دانه (r =۰/۳۰۳)، تعداد گلچه در سنبلچه (r =۰/۴۳۰)، تعداد سنبلچه در خوشه (r =۰/۵۱۷) و تعداد دانه در خوشه (r =۰/۶۳۴)، دارای ضرایب همبستگی قوی و معنی‌دار با وزن دانه پنج سنبله در سطح احتمال یک درصد بودند.

جدول ۳- نمونه‌های ژنتیکی برتر گندم نسبت به ارقام شاهد از نظر برخی صفات مطالعه شده تحت شرایط تنش خشکی

Table 3. Superior bread wheat accessions compared to the control varieties for some studied traits under drought stress conditions

Accession	Spike length (cm)	100-grain weight (g)	No. of grain per spike	Plant height (cm)	Grain filling period (day)	Five spike grain weight (g)
KC12856	5.7	3.09	45.6	42	29	6.77
KC12776	5.2	4.68	28.8	35	29	6.75
KC12783	5.8	3.27	38	41	34	6.22
KC12767	7.1	3.16	38.8	42	34	5.94
KC12697	8	3.67	32	61	41	5.86
KC12726	7.4	3.81	30.6	31	35	5.74
KC12889	6.7	2.42	44.9	48	29	5.58
KC12857	5.2	2.72	42.4	51	28	5.4
KC12676	5.7	3.62	30.4	48	36	5.35
KC12799	7	3.28	32.4	48	29	5.32
KC12793	7	3.07	36.2	52	34	5.31
KC12848	6.8	3.82	28	73	31	5.29
KC12834	5.9	2.92	34	57	35	5.05
KC12682	7.6	3.52	29.2	29	25	5.03
KC12790	7.2	3.61	28	41	34	5.03
KC12782	6.1	2.92	34.2	50	26	5
KC12777	5.5	3.62	28	53	31	4.94
KC12706	6.5	2.81	36	53	31	4.92
KC12772	6.4	3.07	27.2	41	28	4.89
KC12791	7.3	3.7	26.8	38	33	4.86
KC12788	6.2	3.08	26.6	40	31	4.73
KC12819	5.3	2.72	35	47	30	4.72
KC12787	7.1	3.13	31	38	36	4.69
KC12807	6.3	4	23.2	52	32	4.66
KC12746	7.8	3.63	26	50	35	4.65
KC12880	4.9	2.92	32	52	28	4.63
KC12703	8.1	3.06	30.6	49	32	4.63
Kavir	7.76	2.66	28.13	52.25	29.38	3.49
Mahooti	6.53	3.38	18.25	66.63	32.75	3.09
Roshan	7.16	3.00	19.83	70.88	21.00	3.14

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات ارزیابی شده در نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط نرمال (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر)

Table 4. Correlation coefficients of the evaluated traits in bread wheat accessions under normal (above diagonal) and drought stress (below diagonal) conditions

Trait	Spike length	Spike density	Plant height	No. of fertile tiller	Days to heading	Days to full maturity	Grain filling period	No. of spikelets per spike	No. of florets per spikelet	No. of grains per spike	100-grain weight	Five-spike grain weight
Spike length	1	-0.773**	0.192*	0.072	0.026	0.166*	0.112	0.121	-0.005	0.085	-0.085	0.02
Spike density	-0.732**	1	-0.069	-0.003	-0.024	-0.043	-0.018	0.506 **	0.221 **	0.299 **	0.073	0.338 **
Plant height	-0.062	0.076	1	-0.022	0.138	0.295 **	0.14	0.089	-0.186 *	-0.036	-0.071	-0.018
No. of fertile tillers	0.102	-0.038	0.128	1	-0.084	0.145	0.168 *	0.061	-0.025	-0.022	0.023	-0.011
Days to heading	0	0.022	-0.063	0.118	1	0.035	-0.626 **	-0.007	-0.193 *	-0.091	-0.183 *	-0.169 *
Days to full maturity	0.094	-0.056	-0.111	0.016	0.342 **	1	0.757 **	0.164	-0.129	-0.03	0.254 **	0.094
Grain filling period	0.145	-0.118	-0.036	-0.064	-0.631**	0.429 **	1	0.132	0.025	0.036	0.318 **	0.184 *
No. of spikelets per spike	0.04	0.481**	-0.064	0	0.127	0.035	-0.07	1	0.363 **	0.606 **	0.029	0.593 **
No. of florets per spikelet	-0.027	0.047	-0.131	-0.063	0.139	0.092	-0.088	0.204 *	1	0.719 **	-0.192 *	0.578 **
No. of grains per spike	0.002	0.263**	0.04	-0.007	0.06	0.06	-0.002	0.587 **	0.609 **	1	-0.133	0.812 **
100-grain weight	0.084	-0.1	-0.241**	-0.004	-0.138	-0.008	0.158	-0.162	-0.201*	-0.433 **	1	0.402 **
Five-spike grain weight	0.07	0.195*	-0.102	0.008	0.007	0.058	0.064	0.517 **	0.430 **	0.634 **	0.303 **	1

* and ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای صفت وزن دانه پنج سنبله تحت شرایط نرمال نشان داد که پنج صفت تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، تعداد گلچه در سنبلچه، ارتفاع بوته و تعداد سنبلچه در سنبله با ورود به مدل، ۹۳/۳ درصد از تغییرات صفت وزن دانه پنج سنبله را توجیه کردند (جدول ۵). در میان این صفات، صفت وزن صد دانه با بزرگ‌ترین ضریب رگرسیون (۱/۸۴) بیش‌ترین تأثیر را در تغییرات وزن دانه پنج سنبله داشت. در مقابل، نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای صفت وزن دانه پنج سنبله تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که سه صفت تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و طول سنبله، دارای اثر معنی‌دار بر صفت وزن دانه پنج سنبله بودند و در حدود ۹۰/۶ درصد از تغییرات وزن دانه پنج سنبله را توصیف کردند. در این مدل نیز صفت وزن صد دانه با بزرگ‌ترین ضریب رگرسیون (۱/۲۷)، بیش‌ترین تاثیر را بر وزن دانه پنج سنبله داشت.

نتایج تجزیه خوشه‌ای به روش K-means به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد صفات معنی‌دار با در نظر گرفتن تعداد پنج گروه به‌دست آمد و بنابراین همین تعداد گروه برای تفکیک نمونه‌های ژنتیکی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۶). خوشه اول، ۳۵ نمونه ژنتیکی را در برداشت و ویژگی آن، دارا بودن بیش‌ترین میانگین تعداد پنجه در شرایط نرمال (۶/۱۴ عدد) و تنش خشکی (۲/۶۳ عدد) و کم‌ترین میانگین طول سنبله (۷/۶۱ سانتی‌متر)، تعداد دانه در سنبله (۳۳/۲۷ عدد) و وزن دانه پنج سنبله (۵/۸۰ گرم) در شرایط نرمال بود. خوشه دوم، متشکل از ۲۹ نمونه ژنتیکی به‌همراه ارقام شاهد روشن و ماهوتی بود. این گروه دارای بیش‌ترین میانگین طول سنبله (۸/۳۷ و ۶/۵۹ سانتی‌متر)، ارتفاع بوته (۷۸/۹۴ و ۶۱/۷۳ سانتی‌متر) و میانگین روز تا سنبله‌دهی (۱۳۴/۹۴ و۱۳۰/۵۰ روز)، به‌ترتیب در شرایط نرمال و تنش خشکی بود. خوشه سوم، شامل ۳۱ نمونه ژنتیکی به‌همراه رقم کویر بود. این گروه دارای بیش‌ترین میانگین طول دوره پر شدن دانه در شرایط نرمال (۳۶/۹۶ روز) و تنش خشکی (۳۳/۵۴ روز) و کم‌ترین میانگین طول سنبله (۵/۹۷ سانتی‌متر)، روز تا رسیدگی کامل (۱۵۹/۵۳ روز) و وزن صد دانه (۲/۹۰ گرم) در شرایط تنش خشکی بود. تعداد ۲۳ نمونه ژنتیکی نیز در خوشه چهارم قرار گرفتند. این گروه دارای بیش‌ترین میانگین وزن صد دانه (۳/۷۹ و ۳/۳۴ گرم) و کم‌ترین میانگین ارتفاع بوته (۴۳/۴۸ و ۳۶/۲۲ سانتی‌متر) به‌ترتیب در شرایط نرمال و تنش خشکی بود. خوشه پنجم نیز ۲۳ نمونه ژنتیکی را شامل شد و دارای بیش‌ترین میانگین وزن دانه پنج سنبله (۸/۰۲ و ۴/۶۳ گرم)، تعداد دانه در سنبله (۴۶/۶۲ و ۳۲/۴۵ عدد)، تعداد سنبلچه در سنبله (۱۸/۵۹ و ۱۴/۹۴ عدد) و تعداد گلچه در سنبلچه (۳/۵۴ عدد و ۲/۹۳ عدد) به‌ترتیب در شرایط نرمال و تنش خشکی بود.

جدول ۵- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای وزن دانه پنج سنبله نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط تنش خشکی

Table 5. The results of stepwise regression analysis for five-spike grain weight of wheat accessions under drought stress conditions

Environmental conditions	Regression coefficient	Standard error	t-value	Adjusted R^2
Normal				
Constant	-8.485	0.524	-16.187	0.933
No. of grains per spike (X1)	0.15	0.007	20.169	
100-grain weight (X2)	1.84	0.079	23.431	
No. of florets per spikelet (X3)	0.378	0.098	3.864	
Plant height (X4)	0.008	0.003	2.809	
No. of spikelets per spike (X5)	0.065	0.026	2.506	
Final model	-8.485+ 0.15 X1+ 1.84 X2+ 0.378 X3+ 0.008 X4+ 0.065 X5			
Drought stress				
Constant	-3.872	0.249	-15.555	0.906
No. of grains per spike (X1)	0.14	0.004	34.707	
100-grain weight (X2)	1.27	0.049	26.07	
Spike length (X3)	0.045	0.02	2.225	
Final model	-3.872+ 0.14 X1+ 1.27 X2+ 0.045 X3			

جدول ۶- میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط تنش خشکی

Table 6. Mean of the groups derived from cluster analysis of the bread wheat accessions under drought stress conditions

Environmental conditions	Cluster				
	1	2	3	4	5
Normal conditions					
Spike length (cm)	7.61	8.37	7.75	7.63	7.93
Spike density	21.91	20.59	24.09	22.55	23.74
Plant height (cm)	59.57	78.94	72.59	43.48	55.30
No. of fertile tillers	6.14	6.10	5.89	6.04	6.09
Days to heading	131.69	134.94	130.50	131.65	131.57
Days to full maturity	164.63	167.64	167.46	163.26	164.26
Grain filling period (day)	32.94	32.70	36.96	31.61	32.70
No. of spikelets per spike	16.47	16.96	18.21	17.03	18.59
No. of florets per spikelet	2.99	2.80	3.25	3.13	3.54
No. of grains per spike	33.27	33.50	42.28	36.48	46.62
100-grain weight (g)	3.60	3.59	3.70	3.79	3.55
Five-spike grain weight (g)	5.80	5.88	7.68	6.59	8.02
Drought stress					
Spike length (cm)	6.29	6.59	5.97	6.54	6.30
Spike density	21.44	20.74	23.90	21.35	24.69
Plant height (cm)	48.31	61.73	58.35	36.22	46.43
Number of fertile tillers	2.63	2.58	2.56	2.35	2.09
Days to heading	127.97	130.50	125.99	128.17	129.30
Days to full maturity	160.29	159.65	159.53	160.78	160.65
Grain filling period (day)	32.31	29.15	33.54	32.61	31.35
No. of spikelets per spike	13.25	13.36	13.98	13.71	14.94
No. of florets per spikelet	2.48	2.37	2.52	2.54	2.93
No. of grains per spike	24.70	24.29	27.96	23.47	32.45
100-grain weight (g)	3.10	2.96	2.90	3.43	2.92
Five-spike grain weight (g)	3.75	3.61	4.00	4.11	4.63
No. of members	35	31	32	23	23

بحث

به‌منظور تأمین امنیت غذایی نیاز به اصلاح ارقام متحمل به تنش‌های محیطی است. نژادهای بومی به‌عنوان منبعی از آلل‌های جدید برای افزایش سازگاری به تنش‌های غیرزیستی به‌شمار می‌روند (Dwivedi *et al*., 2016). سهم عمده نژادهای بومی در اصلاح نباتات، فراهم کردن صفات مفید برای افزایش کارایی جذب و استفاده از مواد غذایی و ژن‌های مرتبط با سازگاری نسبت به تنش‌های رطوبتی، شوری و دمای بالا بوده است (Newton *et al*., 2010). در این تحقیق تعداد زیادی از نمونه‌های ژنتیکی با ویژگی‌های برتر از ارقام شاهد شناسایی شد که نشان دهنده ظرفیت بالای این منابع برای اصلاح تحمل به تنش خشکی است. در تحقیق ارشد و همکاران (Arshad *et al*., 2013) نیز از بین ۱۰۲۴ توده از کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران، چهار نمونه ژنتیکی KC2406 (مبدا ناشناخته)، KC400 (مبدا ناشناخته)، KC3947 (خراسان) و KC1488 (تهران) شناسایی شد که دارای وزن دانه پنج سنبله، وزن صد دانه و تعداد دانه در سنبله بیش‌تر از ارقام شاهد (کویر، روشن و ماهوتی) بودند. ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در تحقیقات حسنی و همکاران (Hassani *et al*., 2018)، بحرینی ویجویه و همکاران (Bahraini Vijuyeh *et al*., 2019)، خسروی و همکاران (Khosravi *et al*., 2019)، طهماسب‌پور و همکاران (Tahmasebpour *et al*., 2019)، افتخاری و همکاران (Eftekhari *et al*., 2020)، نادری و همکاران (Naderi *et al*., 2020)، و نصیری خلیل‌الهی و همکاران (Nasiri Khalilelahi *et al*., 2020) نیز شناسایی شدند. مجموع این نتایج نشان می‌دهد که پتانسیل ژنتیکی برای بهبود تحمل به خشکی در ژرم‌پلاسم گندم وجود دارد که می‌توان صفات مرتبط با تحمل را در این منابع ژنتیکی شناسایی و از ژنوتیپ‌های مربوطه در برنامه‌های اصلاحی بهره‌برداری کرد.

از بین ۹۷ نمونه ژنتیکی با وزن دانه پنج سنبله بیش‌تر از ارقام شاهد در شرایط تنش خشکی، ۲۶ نمونه ژنتیکی وزن صد دانه و ۴۲ نمونه ژنتیکی تعداد دانه در سنبله بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که اولاً افزایش وزن دانه پنج سنبله کاملاً مبتنی بر وزن صد دانه یا تعداد دانه در سنبله نیست و احتمالاً صفات دیگری نیز دخیل هستند که باید مورد بررسی قرار گیرند. ثانیاً به‌نظر می‌رسد تعداد دانه در سنبله در این نمونه‌های ژنتیکی تأثیر بیش‌تری نسبت به وزن صد دانه در تغییرات وزن دانه پنج سنبله داشتند که این نکته باید هنگام انتخاب والدین از بین مواد ژنتیکی جهت تشکیل بلوک‌های تلاقی مدنظر قرار گیرد و از ژنوتیپ‌های دیگر واجد وزن دانه بالاتر، به‌عنوان والد مکمل استفاده شود. بعلاوه، تنوع موجود در صفات فنولوژیک مورد ارزیابی نیز ارزشمند و قابل بهره‌برداری است. به‌عنوان مثال، صفات روز تا رسیدگی کامل و دوره پر شدن دانه به‌ترتیب دامنه حدود ۲۳ و ۲۴ روز (نزدیک به یک ماه) نشان دادند که در شرایط دیم بسیار مهم است، زیرا گیاه هرچه زودتر فاز زایشی را تکمیل کند، کم‌تر با شرایط حاد انتهای فصل مواجه می‌شود. البته این امر می‌تواند به بهای کاهش وزن دانه و در نهایت به کاهش عملکرد دانه منجر شود. بنابراین به شناسایی ژنوتیپ‌هایی نیاز است که بتوانند تعادلی بین زودرسی و علکرد دانه برقرار کنند. در تحقیق حاضر از بین ۹۷ نمونه ژنتیکی با وزن دانه پنج سنبله برتر (بیش‌تر از ارقام شاهد) در شرایط تنش خشکی، ۲۶ نمونه ژنتیکی، زوردس‌تر از ارقام شاهد بودند و بنابراین وجود تعادل مذکور در این نمونه‌های قابل بررسی است.

بررسی ارتباط وزن دانه پنج سنبله با صفات ارزیابی شده در تحقیق حاضر، اهمیت صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه و وزن صد دانه را در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی نشان داد که با نتایج تحقیقات خسروی و همکاران (Khosravi *et al*., 2019) برای تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله، براتی و همکاران (Barati *et al*., 2019) برای وزن دانه و تعداد دانه در سنبله، و نادری و همکاران (Naderi *et al*., 2020) برای وزن هزار دانه مطابقت داشت. تجزیه رگرسیون گام به گام نیز علاوه بر تأیید نتایج تجزیه همبستگی، بر اهمیت ارتفاع بوته در شرایط نرمال و طول سنبله در شرایط تنش تأکید داشت که با نتایج آزمایش شهریاری (Shahryari, 2016) برای تعداد دانه در سنبله، و خسروی و همکاران (Khosravi *et al*., 2019) و رحیمی و همکاران (Rahimi *et al*., 2019) برای وزن دانه و تعداد دانه در سنبله، مشابه بود. نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که صفت تعداد دانه نوعی تنظیم‌کننده درشت بافت (Coarse Regulator) برای عملکرد دانه محسوب می‌شود (Borrás *et al*., 2004; Slafer and Andrade, 2014). از آنجایی که دامنه تغییرات ابعاد دانه کوچک است، تأثیر این صفت با وزن دانه تعدیل می‌شود (Sadras and Angus, 2006) و بنابراین افزایش عملکرد دانه از طریق پر کردن تعداد دانه بیش‌تر حاصل می‌شود (Borrás *et al*., 2004). گزینش گیاهان پابلند با وزن دانه بیش‌تر سبب بهبود عملکرد دانه می‌شود، هر چند که ارتفاع بوته در برخی شرایط منجر به ورس خواهد شد. بنابراین، در استفاده از ارتفاع بوته، باید به این موضوع دقت کرد (Tadesse *et al*., 2010; Okechukwu *et al*., 2015).

تجزیه خوشه‌ای، نمونه‌های ژنتیکی مورد بررسی را به خوبی به گروه‌هایی با صفات متنوع گروه‌بندی کرد. این نتایج علاوه بر اینکه وجود تنوع ژنتیکی مناسب در ژرم‌پلاسم مورد بررسی را نشان می‌دهد، مواد ژنتیکی متنوعی را برای به‌نژادگر جهت گزینش متناسب با اهداف اصلاحی فراهم می‌کند. خلیلی و نقوی (Khalili and Naghavi, 2018) ۲۰ رقم گندم بهاره را بر اساس دندروگرام تجزیه خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی در چهار گروه و در شرایط بدون تنش در سه گروه تفکیک و با توجه به گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط تنش، ارقام مرودشت، نیک‌نژاد، مغان۳، دریا و کویر را به‌عنوان ارقام متحمل و ارقام پیشتاز، بم، سیستان، سپاهان و بهار را به‌عنوان ارقام حساس شناسایی کردند. طهماسب‌پور و همکاران (Tahmasebpour *et al*., 2019) نیز ۳۰ ژنوتیپ گندم تحت شرایط گلخانه و مزرعه را در چهار خوشه گروه‌بندی کردند. گروه‌بندی جمعیت‌های مورد مطالعه توسط خسروی و همکاران (Khosravi *et al*., 2019) بر اساس ۱۷ صفت مورد ارزیابی در دو شرایط نرمال و تنش خشکی، متفاوت بود. در مطالعه داعی‌الحق و همکاران (Daei Alhag *et al*., 2020)، بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس تجزیه خوشه‌ای در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، ژنوتیپ‌های URBWYT-94-2، URBWYT-94-4، ERWYT-94-4، ERWYT-94-7 دریا، شیرودی و روشن بودند. نادری و همکاران (Naderi

et al., 2020) در غربال و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در توده‌های بومی گندم نان، ژنوتیپ‌های مورد بررسی را با تجزیه خوشه‌ای به روش Ward در شرایط تنش به چهار گروه تقسیم کردند. روند گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها تا حدودی متفاوت بود که به واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های گندم نان به تنش کمبود آب و تفاوت در مقاومت نسبی آنها به تنش نسبت داده شد.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق، ظرفیت ارزش‌مند ژرم‌پلاسم مورد بررسی را برای تحمل به تنش خشکی نشان داد. بررسی روابط بین صفات نشان‌دهنده اهمیت تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه و وزن صد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی بود. برای هر یک از صفات مورد ارزیابی، تعداد زیادی از نمونه‌های ژنتیکی در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی نسبت به ارقام شاهد برتری داشتند که بیانگر غنی بودن این ذخایر برای صفات مرتبط با تحمل به تنش خشکی است. در تجزیه خوشه‌ای، ارقام شاهد با ویژگی‌های متفاوت در گروه‌های جداگانه قرار گرفتند و بعلاوه گروهی متمایز از نمونه‌های ژنتیکی واجد صفات برتر نیز تشکیل شد. از ژرم‌پلاسم متنوع شناسایی شده در این تحقیق و یا نمونه‌های ژنتیکی برتر می‌توان به‌عنوان والد در برنامه اصلاحی بهره‌برداری و یا از آنها برای توسعه پایه ژنتیکی در تلاقی‌ها استفاده کرد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود، تحقیقات در زمینه ارزیابی و غربال ژرم‌پلاسم بانک ژن گیاهی ملی ایران برای شناسایی منابع متحمل به تنش خشکی ادامه یابد. اهمیت این موضوع با توجه به پدیده تغییر اقلیم و ضرورت شناسایی ژرم‌پلاسم سازگار با شرایط جدید، دوچندان می‌شود.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Abhinandan, K., Skori, L., Stanic, M., Hickerson, N.M., Jamshed, M. and Samuel, M.A. 2018. Abiotic stress signaling in wheat–an inclusive overview of hormonal interactions during abiotic stress responses in wheat. *Frontiers in plant science* 9, 734. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00734.

Ahmad, A., Aslam, Z., Javed, T., Hussain, S., Raza, A., Shabbir, R., Mora-Poblete, F., Saeed, T., Zulfiqar, F., Ali, M.M., Nawaz, M., Rafiq, M., Osman, H.S., Albaqami, M., Ahmed, M.A.A. and Tauseef, M. 2022. Screening of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance through agronomic and physiological response. *Agronomy*, 12(2), 287. https://doi.org/10.3390/agronomy12020287.

Arshad, Y. and Zahravi, M. 2012. Identification of drought tolerant genotypes in selected wheat genetic resources in the National Plant Gene-Bank of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(1), pp. 157-177. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1390.13.1.12.6.

Arshad, Y., Zahravi, M. and Soltani, A. 2013. Identification of genetic resources tolerant to drought stress in bread wheat germplasm. *Journal of crop production Research*, 5(3), pp. 227-235. [In Persian].

Bahraini Vijuyeh, V., Dadashi, M.R. and Nazeri, S.M. 2019. Assessment of tolerance to drought stress at reproductive phase in some wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) using drought tolerance and Susceptibility Indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(1), pp. 111-121. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/GSC.V1711.69690.

Barati, V., Bijanzadeh, E. and Naderi, R. 2019. Determination the most suitable effective traits on grain yield of bread wheat genotypes under normal and drought conditions in Darab region, Fars Province. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(39), pp. 138-152. [In Persian]. https://doi.org/20.1001.1.20085958.1398.11.39.12.8.

Barati, V., Bijanzadeh, E., Behpouri, A. and Zinati, Z. 2019. Response of various bread wheat genotypes to different planting method and terminal drought stress at southern Fars province. *Journal of Plant Ecophysiology* 10(35), pp. 244-255. [In Persian]. https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.35.22.3.

Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. and Pereira, A. 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*, 5(F1000 Faculty Rev), 1554. https://doi.org/10.12688/f1000research.7678.1.

Borrás, L., Slafer, G.A. and Otegui, M.E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86(2-3), pp. 131-146. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002.

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A. and Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105(1-2), pp. 1-14. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004.

Chowdhury, M.K., Hasan, M.A., Bahadur, M.M., Islam, M.R., Hakim, M.A., Iqbal, M.A., Javed, T., Raza, A., Shabbir, R., Sorour, S. and Elsanafawy, N.E. 2021. Evaluation of drought tolerance of some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes through phenology, growth, and physiological indices. *Agronomy*, 11(9), 1792. https://doi.org/10.3390/agronomy11091792.

Daei Alhag, D., Rashidi, V., Aharizad, S., Farahvash, F. and Mirshekari, B. 2020. Classification of advanced spring wheat genotypes under non-stress and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), pp. 115-129. [In Persian]. http://doi.org/10.29252/jcb.12.34.115.

Dwivedi, S.L., Ceccarelli, S., Blair, M.W., Upadhyaya, H.D., Are, A.K. and Ortiz, R. 2016. Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in Plant Science*, 21(1), pp. 31-42. http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2015.10.012.

Eftekhari, A., Baghizadeh, A., Abdoshahi, R. and Yaghoubi, M.M. 2020. Evaluation of grain yield, agronomical traits and drought tolerance indices in some bread wheat cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 11(32), pp. 11-21. [In Persian]. http://doi.org/10.29252/jcb.11.32.11.

Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S. and Ihsan, M.Z. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1147. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147.

FAO. 2018. Crop Prospects and Food Situation. Quarterly Global Report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.4060/cb3672en.

Farshadfar, E. and Amiri, R. 2018. Investigating drought resistance of different bread wheat lines using agrophysiological traits and integrated selection criterion. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), pp. 79-91. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2017.189.1046.

Fleury, D., Jefferies, S., Kuchel, H. and Langridge, P. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 61(12), pp. 3211-3222. https://doi.org/10.1093/jxb/erq152.

Hassani, F., Houshmand, S., Rafiei, F. and Niazi, A. 2018. Evaluation of wheat cultivars and lines for terminal drought tolerance using drought tolerance and susceptibility indices. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(33), pp. 55-67. [In Persian]. https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.33.6.3.

Hu, H. and Xiong, L. 2014. Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. *Annual Review of Plant Biology*, 65, pp. 715-741. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040000.

IBPGR. 1978. Descriptors for wheat and *Aegilops*. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy.

Khalili, M. and Naghavi, M.R. 2018. Evaluation of genetic diversity of spring wheat cultivars for physiological and agronomic traits under drought stress. *Journal of Crop Breeding*, 10(25), pp. 138-151. [In Persian]. http://doi.org/10.29252/jcb.10.25.138.

Khosravi, S., Azizinezhad, R., Baghizadeh, A. and Maleki, M. 2019. Evaluation of tolerance for drought among a number of wild diploid populations, tetraploid and hexaploid cultivars of wheat using morphological and agronomic traits. *Journal of Crop Breeding*, 11(31), pp. 11-27. [In Persian]. http://doi.org/10.29252/jcb.11.31.11.

Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: A review. *International Agrophysics*, 27(4), pp. 463-477. https://doi.org/10.2478/intag-2013-0017.

Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80(6), pp. 758-763.

Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Dube, E., Laing, M.D. and Tsilo, T.J. 2016. Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(5), pp. 935-943. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61102-9.

Naderi, F., Bavandpori, F., Farshadfar, E. and Farshadfar, M. 2020. Screening and identification of drought tolerant bread wheat landraces (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(2), pp. 275-292. [In Persian]. http://doi.org/10.30495/JCEP.2022.676143.

Nasiri Khalilelahi, S., Sasani, S., Ahmadi, G. and Daneshvar, M. 2020. Effect of terminal drought stress on some agronomic traits of 20 elite bread wheat genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), pp. 683-699. [In Persian]. http://doi.org/10.22077/escs.2020.2226.1564.

Newton, A.C., Akar, T., Baresel, J.P., Bebeli, P.J., Bettencourt, E., Bladenopoulos, K.V., Czembor, J.H., Fasoula, D.A., Katsiotis, A., Koutis, K. and Koutsika-Sotiriou, M. 2011. Cereal landraces for sustainable agriculture. *Sustainable Agriculture* , 2, pp. 147-186. http://doi.org/10.1051/agro/2009032.hal-00886526.

OECD/FAO. 2018. OECD FAO Agricultural Outlook 2018 - 2027. Chapter 3: Cereals. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, https://doi.org/10.1787/agr-outl-data-en.

Okechukwu, E.C., Agbo, C.U., Uguru, M.I. and Ogbonnaya, F.C. 2016. Germplasm evaluation of heat tolerance in bread wheat in Tel Hadya, Syria. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(1), pp. 9-17. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392016000100002.

Rahimi, Y., Bihamta, M.R., Taleei, A. and Alipour, H. 2019. Genetic variability assessment of Iranian wheat landraces in term of some agronomic attributes under normal irrigation and rainfed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(3), pp. 1-16. [In Persian]. http://doi.org/10.22059/IJFCS.2018.258294.654471.

Sadras, V.O. and Angus, J.F. 2006. Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(8), pp. 847-856. https://doi.org/10.1071/AR05359.

Shahryari, R. 2016. Evaluation of genetic variation of bread wheat genotypes for some morphological and physiological characteristics under drought stress condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(38), pp. 413-430. [In Persian].

Shanazari, M., Golkar, P., Mirmohammady Maibody, S.A.M. and Shahsavand-Hassani, H. 2021. Using drought tolerance indices in evaluation of some wheat, triticale and tritipyrum genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(4), pp. 45-68. [In Persian]. https://doi.org/10.47176/jcpp.10.4.35721.

Sheibanirad, A., Farshadfar, E. and Najafi, A. 2018. Evaluation of drought stress tolerance in some bread wheat genotypes using drought tolerance indices. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(31), pp. 1-14. [In Persian]. http://doi.org/20.1001.1.20085958.1396.9.31.1.7.

Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.J., Duveiller, E., Reynolds, M. and Muricho, G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5, pp. 291-317. https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y.

Slafer, G.A. and Andrade, F.H. 1993. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Research*, 31(3-4), pp. 351-367. https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90073-V.

Tadesse, W., Manes, Y., Singh, R.P., Payne, T. and Braun, H.J. 2010. Adaptation and performance of CIMMYT spring wheat genotypes targeted to high rainfall areas of the world. *Crop Science*, 50(6), pp. 2240-2248. https://doi.org/10.2135/cropsci2010.02.0102.

Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh, S., Tarinejad, A.R. and Mohammadi, H. 2019. Identification of common wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought stress tolerant. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), pp. 663-672. [In Persian]. http://doi.org/10.22077/escs.2019.1508.1337.