



University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research

Vol. 13, No. 3, Autumn 2023 (231-247)

doi: 10.22124/CR.2023.25872.1794

pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Identification of bread wheat accessions tolerant to terminal heat stress

Nazanin Amirbakhtiar^{1*}, Mehdi Zahravi², Yousef Arshad², Javad Mahdavimajd³ and
Mohammad Hossein Afraz⁴

1. Researcher, Department of Genetic Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (* Corresponding author: nafash.2017@gmail.com)
2. Assistant Professor, Department of Genetic Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Researcher, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khuzestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran
4. Researcher, Department of Genetic Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

In the Mediterranean climates with mild winters like Khuzestan province, Iran, wheat is planted in autumn, and heat stress occurs only during the reproductive growth stage of wheat. In these regions, delayed planting causes the flowering and grain filling stages to be exposed to high temperatures, and the quantitative and qualitative performance of wheat decreases. Genetic improvement is one of the strategies to combat heat stress. Considering the importance of genetic resources for tolerance to environmental stresses tolerance, the present research was conducted to screen the wheat genetic collection of the National Plant Gene Bank of Iran for tolerance to terminal heat stress and to identify tolerant accessions.

Materials and methods

In plant materials of this experiment were 236 bread wheat accessions along with three control varieties (Chamran, Chamran2 and Aflak), which were planted in an augmented design in the research field of Agricultural and Natural Resources Research Center of Khuzestan province, Ahwaz, Iran, in 2015-2016 crop year. The experiment was carried out in two planting dates, on-time planting date according to the region's custom at late November as normal conditions, and delayed planting at early January with the aim of heat stress during the reproductive growth stage of wheat. The measured traits included spike length, 100-grain weight, plant height, number of grains per spike, number of spikelets per spike, number of florets per spikelet, number of days to heading, number of days to maturity, grain filling duration, and five spikes grain weight. For data statistical analysis, descriptive statistics were firstly estimated under both normal and heat stress conditions, and then the relationships among traits were investigated using correlation coefficients. Principal component analysis was used to reduce the volume of data and cluster analysis was performed to group the studied genotypes.

Research findings

The results of this experiment showed that terminal heat stress reduced the average of all studied traits, so that the highest decrease was observed in five spikes grain weight and the number of grains per spike. Based on the results of correlation coefficients under both normal and heat stress conditions, a positive and significant correlation was observed between five spikes grain weight and yield components traits, and a negative and significant correlation between five spikes grain weight and days to heading and days to maturity. Based on the results of principal component analysis, 72.54% and 80.53% of the total variance were explained by two and three main components under normal and



heat stress conditions, respectively. The results of principal component analysis also indicated that the wheat accessions KC12977, KC12980, KC13013, KC13043, and KC13087, with the characteristics of early flowering and early maturity and higher values of five spikes grain weight, number of grains per spike, grain filling duration and number of florets per spike, were valuable accessions and have the sufficient potential to be used in breeding programs for heat stress tolerance. The results of cluster analysis separated the studied accessions into six groups, and the fourth group including 62 accessions along with the control cultivars, had the highest average for number of florets per spike, number of grains per spike, and five spikes grain weight, as well as the lowest average for days to heading and days to maturity under both normal and heat stress conditions. and were recognized as the most tolerant group to heat stress. by three main components. In addition, the studied accessions were divided into six groups using cluster analysis.

Conclusion

The results of this study showed that there was a high genetic diversity among the studied bread wheat accessions in terms of terminal heat stress tolerance. Some genetic samples such as KC12977, KC12980, KC13013, KC13043 and KC13087, were valuable genotypes for the traits of early flowering and early maturity, as well as grain yield and yield components. The high diversity in these genetic resources, especially the tolerant accessions identified in this experiment as above mentioned, can be used to improve heat stress tolerance in future breeding programs.

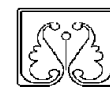
Keywords: Cluster analysis, Gene bank, Genetic diversity, Late planting, Principal component analysis

Received: August 05, 2023

Accepted: October 28, 2023

Cite this article:

Amirbakhtiar, N., Zahravi, M., Arshad, Y., Mahdavi-majd, J., & Afraz, M. H. (2023). Identification of bread wheat accessions tolerant to terminal heat stress. *Cereal Research*, 13(3), 231-247. doi: [10.22124/CR.2023.25872.1794](https://doi.org/10.22124/CR.2023.25872.1794).



شناسایی نمونه‌های ژنتیکی گندم نان متحمل به تنش گرمای انتهایی فصل

نازنین امیربختیار^{*}، مهدی زهراوی^آ، یوسف ارشد^آ، جواد مهدوی مجد^آ و محمدحسین افزاز^آ

- ۱- محقق، بخش تحقیقات ژنتیک، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(* نویسنده مسئول: nafash.2017@gmail.com)
- ۲- استادیار، بخش تحقیقات ژنتیک، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۳- محقق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
- ۴- محقق، بخش تحقیقات ژنتیک، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده جامع

مقدمه: در اقلیم‌های مدیترانه‌ای مانند خوزستان که دارای زمستانی ملایم هستند و کشت گندم در پاییز انجام می‌شود، تنش گرما فقط در دوره رشد زایشی گندم اتفاق می‌افتد. در این مناطق، تاخیر در کاشت باعث می‌شود که مراحل گلدهی و پرشدن دانه با دمای بالا مواجه شده و عملکرد کمی و کیفی گندم کاهش یابد. اصلاح ژنتیکی یکی از راه‌کارهای مبارزه با تنش گرما است. با در نظر گرفتن اهمیت ذخایر ژنتیکی از نظر تحمل به تنش‌های محیطی، تحقیق حاضر انجام شد که هدف از آن غربال مجموعه گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران برای تحمل به تنش گرمای انتهایی فصل و شناسایی نمونه‌های متحمل بود.

مواد و روش‌ها: مواد گیاهی این آزمایش، ۲۳۶ نمونه ژنتیکی گندم نان به‌همراه سه رقم شاهد (چمران، چمران ۲ و افلاک) بود که به‌صورت طرح آگمنت در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان (اهواز) در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ کشت شدند. آزمایش در دو تاریخ کاشت (کاشت به‌موقع طبق عرف منطقه در اوایل آذرماه به‌عنوان شرایط نرمال و کاشت با تأخیر در نیمه دوم دی‌ماه با هدف ایجاد تنش گرمای انتهایی فصل در دوره رشد زایشی گندم) انجام شد. صفات ارزیابی شده شامل طول سنبله، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد روز تا ظهور سنبله، طول دوره پر شدن دانه، وزن دانه پنج سنبله و زمان رسیدن کامل بود. برای تحلیل آماری داده‌ها، ابتدا آماره‌های توصیفی تحت هر دو شرایط نرمال و تنش گرما برآورد شد و سپس ارتباط بین صفات با استفاده از ضرایب همبستگی مورد بررسی قرار گرفت. از تجزیه به مولفه‌های اصلی جهت کاهش حجم داده‌ها و از تجزیه خوشه‌ای جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه استفاده شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج این آزمایش نشان داد که تنش گرمای انتهایی فصل، میانگین تمامی صفات مورد مطالعه را کاهش داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین کاهش در صفات وزن دانه پنج سنبله و تعداد دانه در سنبله مشاهده شد. بر اساس نتایج ضرایب همبستگی تحت هر دو شرایط نرمال و تنش، وزن دانه پنج سنبله همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات مرتبط با اجزای عملکرد و همبستگی منفی و معنی‌دار با صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل داشت. با استفاده از نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌ترتیب تحت شرایط نرمال و تنش گرما، ۷۲،۵۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها توسط دو مولفه اصلی و ۸۰،۵۳

درصد از واریانس کل داده‌ها توسط سه مؤلفه اصلی توجیه شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که نمونه‌های ژنتیکی KC12977، KC12980، KC13013، KC13043 و KC13087، با دارا بودن صفات زودگل‌دهی و زودرسی و مقادیر بالاتر صفات وزن دانه پنج سنبله، تعداد دانه در سنبله، طول دوره پرشدن دانه و تعداد گلچه در سنبلچه، نمونه‌های ارزش‌مندی بودند و پتانسیل لازم جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی برای تحمل به تنش گرما را دارند. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای نیز نمونه‌های ژنتیکی مورد بررسی را به شش گروه تفکیک کرد و گروه چهارم که شامل ۶۲ نمونه ژنتیکی به‌همراه ارقام شاهد بود، دارای بیش‌ترین میانگین تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه پنج سنبله و کم‌ترین میانگین روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل تحت هر دو شرایط نرمال و تنش گرما بودند.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تنوع ژنتیکی بالایی در بین نمونه‌های ژنتیکی گندم نان مورد مطالعه از نظر تحمل به تنش گرمای انتهای فصل وجود داشت. برخی از نمونه‌های ژنتیکی نظیر KC12977، KC12980، KC13013، KC13043 و KC13087، نمونه‌های ارزش‌مندی از نظر صفات زودرسی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه بودند. از تنوع بالای موجود در این منابع ژنتیکی به‌ویژه نمونه‌های ژنتیکی متحمل شناسایی شده در این آزمایش، می‌توان به‌منظور اصلاح تحمل به تنش گرما در برنامه‌های به‌نژادی آینده استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بانک ژن، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تنوع ژنتیکی، کشت تاخیری

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴

نحوه استناد به این مقاله:

امیربختیار، نازنین، زهراوی، مهدی، ارشد، یوسف، مهدوی‌مجد، جواد، و افراز، محمدحسین. (۱۴۰۲). شناسایی نمونه‌های ژنتیکی گندم نان متحمل به تنش گرمای انتهای فصل. *تحقیقات غلات*، ۱۳ (۳)، ۲۴۷-۲۳۱. doi: [10.22124/CR.2023.25872.1794](https://doi.org/10.22124/CR.2023.25872.1794)

مقدمه

گندم یکی از غلات مهم است که منبع پروتئین و کالری برای بیش از ۸۰ درصد از جمعیت جهان است (Poudel & Poudel, 2020). گرما و خشکی، تنش‌های اصلی تاثیرگذار بر تولید جهانی گندم هستند (Lesk *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2016). با در نظر گرفتن مدل آب و هوای جهانی، پیش‌بینی می‌شود که میانگین دمای محیط تا پایان قرن بیست و یکم، شش درجه سلسیوس افزایش یابد (De Costa, 2011). گندم حساسیت بالایی به گرما دارد. بر اساس تخمین‌های انجام شده، هر یک درجه سلسیوس افزایش دما، سبب کاهش شش درصدی در تولید جهانی گندم می‌شود. اثر تنش گرما طی مرحله زایشی بسیار معنی‌دار است (Nawaz *et al.*, 2013). به طوری که افزایش یک درجه سلسیوس دما نسبت به میانگین طی دوره زایشی می‌تواند منجر به کاهش بیش‌تر عملکرد دانه شود (Yu *et al.*, 2014). دمای بهینه برای مراحل گلدهی و پر شدن دانه از ۱۲ تا ۲۲ درجه سلسیوس متغییر است (Sharma *et al.*, 2019). وقتی تنش گرما طی میوز اتفاق می‌افتد، مراحل ابتدایی گامتوز آسیب می‌بیند (Ji *et al.*, 2010). تنش گرما در آغاز گلدهی، تاثیر منفی روی نمو میکروسپور و سلول گرده دارد (Kaur *et al.*, 2010). پدیده نمو دانه به سرعت و مدت پر شدن دانه بستگی دارد که به شدت به تنش گرما حساس است (Gourdji *et al.*, 2013). چرخه زندگی گندم تحت تنش گرما، کوتاه‌تر می‌شود (Alam *et al.*, 2014). یک تا دو درجه افزایش دما به علت کاهش طول دوره پر شدن دانه، وزن دانه را کاهش می‌دهد (Nahar *et al.*, 2010). تنش حرارتی کوتاه‌مدت حین پر شدن دانه ممکن است منجر به کاهش عملکرد دانه تا ۲۳ درصد شود (Mason *et al.*, 2010). همچنین، تنش گرما روی کیفیت دانه تاثیر منفی دارد (Lukac *et al.*, 2012) و کاهش در تولید مواد پرورده و انتقال مجدد در اثر تنش گرما به کاهش کیفیت دانه منجر می‌شود (Lizana & Calderini, 2013).

در اقلیم‌های مدیترانه‌ای مثل خوزستان که زمستان ملایمی دارند و گندم عموماً در پاییز کشت می‌شود، تنش گرما فقط به دوره رشد زایشی گندم محدود می‌شود. در این مناطق هرگونه تاخیر در کاشت، باعث مصادف شدن مراحل گلدهی و پر شدن دانه با دمای بالا می‌شود. در ایران سالانه حدود شش میلیون هکتار زیر کشت گندم

می‌رود (حدود دو میلیون هکتار آبی و چهار میلیون هکتار دیم) (Ahmadi *et al.*, 20121) که حدود ۹ درصد از این سطح زیر کشت (حدود ۵۳۸ هزار هکتار) در استان خوزستان قرار دارد (Ahmadi *et al.*, 2021) که طی دوره گلدهی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهایی فصل مواجه و منجر به کاهش پنج تا ۴۰ درصدی عملکرد در این مناطق می‌شود (Jalal Kamali & Duveiller, 2008). در این مناطق گندم رشد رویشی زیادی کرده و پتانسیل تولید عملکرد بالایی دارد، ولی به دلیل افزایش ناگهانی دمای هوا در ماه‌های اسفند و فروردین، گیاه در مراحل گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک با تنش گرمای انتهایی فصل رشد مواجه می‌شود و عملکرد کمی و کیفی آن به مقدار زیادی کاهش می‌یابد.

اصلاح ژنتیکی یکی از راه‌های مبارزه با تنش گرما است. پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است که منجر به شناسایی منابع متحمل و صفات دخیل در تحمل به تنش گرما شده است. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2007)، برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرمای انتهایی فصل حاصل از کشت دیرهنگام، ۱۸ ژنوتیپ گندم نان را بر اساس صفات زراعی و فنولوژیک در دو تاریخ کاشت به‌هنگام و دیرهنگام (با فاصله زمانی ۳۳ روز بین دو تاریخ کاشت) در ناحیه ترناب پاکستان، بررسی و ژنوتیپ‌های برتر متحمل به گرما را در مقایسه با شاهد منطقه شناسایی کردند. امید و همکاران (Omidi *et al.*, 2015)، تحمل ۱۰ رقم گندم را به تنش گرما در منطقه آب و هوایی اهواز مورد بررسی قرار دادند. آنها در این تحقیق، صفات محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و پایداری غشای سلولی را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که با توجه به افزایش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش گرمایی و بالا بودن مقادیر این صفت در ارقام متحمل می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری مناسب برای غربال ارقام متحمل به گرما استفاده کرد. همچنین این محققین با برآورد شاخص‌های STI، HM، MP، GMP، SSI، YI، TOL و YSI بر اساس عملکرد نشان دادند که چهار شاخص STI، HM، MP و GMP شاخص‌های بهتری در ارزیابی تحمل به گرما بودند. در این مطالعه، ارقام کاز و چمران به‌عنوان ارقام متحمل و ارقام مانتنا، نیک‌نژاد، M6 و ۸۹-ch-Durum به‌عنوان ارقام حساس به گرما شناسایی شدند. سیاحی و کمایی (Sayahi and Komaei, 2017) با استفاده از کشت تاخیری، تحمل ۳۸

معنی دار بودن تفاوت بلوک‌ها، تصحیح داده‌ها صورت گرفت. آماره‌های توصیفی برای ارزیابی میزان تنوع صفات، ضرایب همبستگی جهت بررسی ارتباط بین صفات و تجزیه به مولفه‌های اصلی به منظور کاهش حجم داده‌ها انجام شد. جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز از تجزیه خوشه‌ای به روش Kmeans استفاده و بیشترین تعداد صفات معنی‌دار بین گروه‌ها به عنوان معیار تعیین تعداد گروه‌ها (K) در نظر گرفته شد. برای بررسی تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تایید تعداد گروه‌ها از تجزیه تابع تشخیص استفاده شد. به منظور ارائه تصویر بهتری از ارتباط بین اعضای گروه متحمل و مقایسه فاصله آنها از یکدیگر و از ارقام شاهد، از روش مقیاس‌بندی چندبعدی استفاده شد. تجزیه‌های آماری و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۳ و R نسخه ۴,۲,۰ (با استفاده از توابع عمومی و کتابخانه Adegnet) انجام شد.

نتایج و بحث

مقایسه آماره‌های توصیفی در دو شرایط نرمال و تنش گرما نشان داد که میانگین تمام صفات در شرایط تنش کاهش یافت (جدول ۱). بیشترین کاهش مربوط به صفات وزن دانه پنج سنبله (۳۸/۴۹ درصد) و تعداد دانه در سنبله (۲۲/۱۷ درصد) و کمترین کاهش مربوط به صفات تعداد گلچه در سنبلچه (۱۰/۸۱ درصد) و تعداد سنبلچه در سنبله (۱۱/۰۹ درصد) بود. دامنه صفات طول سنبله، وزن دانه پنج سنبله، وزن صد دانه، تعداد سنبلچه در سنبله و روز تا پرشدن دانه در شرایط تنش گرما نسبت به شرایط نرمال، کاهش، برای صفات تعداد گلچه در سنبلچه، روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدن کامل، افزایش و برای صفت ارتفاع بوته تغییری نداشت (جدول ۱).

تعداد ۲۰۶ نمونه ژنتیکی در شرایط نرمال ارتفاع بوته بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد داشتند. در این شرایط، بیشترین ارتفاع بوته به نمونه‌های KC۱۲۹۲۵ و KC۱۲۹۲۶ (۱۳۵ سانتی‌متر) تعلق داشت. تعداد ۱۲۱، ۵۱ و ۵۴ نمونه ژنتیکی در شرایط نرمال به ترتیب دارای طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد بودند و بیشترین طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله در این شرایط به ترتیب در نمونه‌های ژنتیکی KC۱۲۹۱۴ (۱۵/۹ سانتی‌متر)،

رقم مختلف گندم نان را به تنش گرمای آخر فصل در منطقه ویس واقع در ۱۰ کیلومتری شرق اهواز مورد بررسی قرار دادند و با در نظر گرفتن شاخص تحمل به تنش STI، ارقام چمران، بیات و ارون را به عنوان ارقام متحمل به گرما شناسایی کردند. آگاروال و همکاران (Agarwal et al., 2021)، ۱۱ ژنوتیپ گندم را بر اساس صفات فیزیولوژیک، تبادلات گازی و صفات مرتبط با عملکرد در دو تاریخ کاشت بهینه و دیرهنگام در دانشگاه کشاورزی راجاستان هند مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که تعداد روز تا باز شدن بساک، محتوای آب نسبی، شاخص ثبات غشا، رنگدانه‌های فتوسنتزی، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، غلظت CO₂ داخلی، کارایی مصرف آب و صفات مرتبط با عملکرد تحت شرایط دیرکاشت نسبت به تاریخ کشت بهینه، کاهش یافتند، در حالی که میزان تعرق افزایش پیدا کرد. آنها در مجموع، ژنوتیپ‌های IC279317، IC335971 و IC336816 را به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش گرما انتخاب کردند. با در نظر گرفتن اهمیت ذخایر ژنتیکی از نظر تحمل به تنش‌های محیطی، پژوهش حاضر با هدف شناسایی نمونه‌های ژنتیکی متحمل به تنش گرما در مجموعه گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تحمل توده‌های گندم نان ژن گیاهی ملی ایران نسبت به تنش گرمای انتهای فصل، ۲۳۶ نمونه ژنتیکی گندم نان به همراه سه رقم شاهد چمران، چمران ۲ و افلاک در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اهواز در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ کشت شدند. آزمایش به صورت طرح آگمنت تحت دو شرایط نرمال (کاشت به‌هنگام طبق عرف منطقه در اوایل آذرماه) و تنش گرما (کاشت با تاخیر در نیمه دوم دی‌ماه) انجام شد. هر نمونه‌های ژنتیکی در یک خط ۲/۵ متری با فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و با تراکم ۲۰۰ بوته در متر مربع کشت شد. صفات ارزیابی شده شامل طول سنبله، ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور سنبله، طول دوره پر شدن دانه، زمان رسیدن کامل، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بودند که بر اساس دستورالعمل مرکز بین‌المللی ذخایر ژنتیکی ثبت شدند. تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده برای ارقام شاهد انجام شد و در صورت

($r=0.814^{**}$) و روز تا رسیدگی کامل ($r=0.778^{**}$) بود (جدول ۴). در شرایط تنش صفات وزن دانه پنج سنبله، وزن صد دانه و تعداد دانه در سنبله با صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل دارای همبستگی منفی معنی‌دار و با اکثر صفات دیگر دارای همبستگی مثبت معنی‌دار بودند. قوی‌ترین همبستگی مثبت بین وزن دانه پنج سنبله با صفات تعداد دانه در سنبله ($r=0.882^{**}$) و وزن صد دانه ($r=0.726^{**}$) و قوی‌ترین ارتباط منفی آن با صفات روز تا سنبله‌دهی ($r=0.793^{**}$) و روز تا رسیدن کامل ($r=0.731^{**}$) بود (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله تحت شرایط تنش گرما در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Tahmasebi *et al.*, 2014; Zahravi *et al.*, 2021). گزارش شده است که وراثت‌پذیری میزان کاهش وزن هزار دانه (تفاوت وزن هزار دانه در شرایط نرمال و شرایط تنش گرمایی) از ۰/۶۸ تا ۰/۸۵ متغیر است و از این‌رو، پایین بودن مقدار کاهش وزن هزار دانه به‌عنوان معیار انتخاب غیرمستقیم برای شناسایی لاین‌های گندم با عملکرد دانه بالا تحت شرایط تنش گرما معرفی شده است (Mojtabaie Zamani *et al.*, 2014).

KC۱۲۹۳۵ (۶۳/۲ عدد)، KC۱۳۱۹۹ (۵/۲۵ گرم) و KC۱۳۰۸۱ (۱۲/۷ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). در شرایط تنش گرما، تعداد ۱۸۷ نمونه ژنتیکی دارای ارتفاع بوته بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد بودند و بیش‌ترین ارتفاع بوته متعلق به نمونه KC۱۳۰۷۴ بود. تعداد ۸۸، ۲۱، ۶۰ و ۱۷ نمونه ژنتیکی به‌ترتیب طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بیش‌تری نسبت به ارقام شاهد داشتند و بیش‌ترین طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله به‌ترتیب متعلق به نمونه‌های KC۱۳۰۷۴ (۱۲/۳ سانتی‌متر)، KC۱۳۰۲۲ (۵۰/۴ عدد)، KC۱۳۰۸۷ (۴/۱۱ گرم) و KC۱۳۰۸۷ (۷/۸۹ گرم) بود (جدول ۳). نتایج تجزیه همبستگی در شرایط نرمال نشان داد که صفات وزن دانه پنج سنبله، وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد گلچه در سنبله با صفات ارتفاع بوته، روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل دارای همبستگی منفی معنی‌دار و با اکثر صفات دیگر دارای همبستگی مثبت معنی‌دار بودند. قوی‌ترین همبستگی مثبت وزن دانه پنج سنبله با صفات تعداد دانه در سنبله ($r=0.854^{**}$) و تعداد گلچه در سنبله ($r=0.740^{**}$) و قوی‌ترین ارتباط منفی آن با صفات روز تا سنبله‌دهی

جدول ۱- آماره‌های توصیفی ۲۳۶ نمونه ژنتیکی گندم نان تحت شرایط بدون تنش و تنش گرمای انتهایی فصل در اهواز

Table 1. Descriptive statistics of 236 bread wheat accessions under normal and heat stress conditions in Ahvaz

Normal conditions	Range	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation (%)
Plant height (cm)	75	103.27	16.22	15.71
Days to heading	59	104.20	17.73	17.02
Days to full maturity	51	137.79	13.11	9.51
Grain filling period (days)	32	33.59	6.10	18.17
Spike length (cm)	10.1	10.18	1.50	14.70
Number of spikelets per spike	22.2	18.16	2.75	15.13
Number of florets per spikelet	2.4	2.63	0.55	20.93
Number of seeds per spike	49.4	39.18	10.48	26.74
One hundred grain weight (g)	3.25	3.54	0.62	17.49
Grain weight of 5 spikes (g)	10.64	6.78	2.33	34.31
Heat stress conditions				
Plant height (cm)	75	81.83	14.68	17.94
Days to heading	65	85.52	16.63	19.44
Days to full maturity	60	113.53	12.78	11.26
Grain filling period (days)	31	28.02	5.31	18.95
Spike length (cm)	6.5	8.95	1.13	12.64
Number of spikelets per spike	21.2	16.14	2.41	14.92
Number of florets per spikelet	2.53	2.35	0.49	20.72
Number of seeds per spike	44	30.49	8.89	29.15
One hundred grain weight (g)	2.53	2.75	0.52	19.02
Grain weight of 5 spikes (g)	7.18	4.17	1.57	37.73

جدول ۲- تعدادی از نمونه‌های ژنتیکی برتر از ارقام شاهد در شرایط نرمال (بدون تنش گرما)

Table 2. Number of superior accessions to control cultivars under normal (non-heat stress) conditions

Accession [†]	Plant height (cm)	Accession	Spike length (cm)	Accession	No. of grains per spike	Accession	100-grain weight (g)	Accession	Five spike grain weight (g)
12925	135	12914	15.9	12935	63.2	13199	5.25	13081	12.7
12926	135	12926	15.2	12998	61.2	13211	5.04	13008	12.26
12927	130	13053	14.8	13005	61.2	13007	5.03	13091	11.38
12943	130	13189	14.5	13010	60.2	13197	4.98	13011	11.34
12950	130	13162	14.4	13081	59	13206	4.71	12998	11.31
13074	130	13201	14.3	13091	58.8	13002	4.69	13013	11.19
13211	130	12901	14	13198	58.4	12995	4.68	13010	11.12
12933	125	12902	13.6	13013	58.2	12996	4.67	12996	10.89
12935	125	13188	13.6	12982	58	13037	4.67	13005	10.76
12936	125	12927	13.5	12930	57.8	13087	4.61	13037	10.75
12949	125	13010	13.3	13083	57.8	13202	4.61	12931	10.68
12952	125	13057	13	12914	57.4	13044	4.6	13007	10.59
12953	125	13213	13	13011	56.4	13098	4.58	13002	10.49
12954	125	13125	12.9	13008	55.4	13107	4.54	13009	10.33
12955	125	13211	12.6	12973	55	13042	4.52	13006	10.24
13061	125	13203	12.5	12979	54.2	13035	4.49	13211	10.23
13062	125	13045	12.4	13103	53.8	12931	4.46	13083	10.17
13064	125	13209	12.4	12969	52.6	13008	4.43	13073	10.12
13066	125	12943	12.3	13073	52.6	13200	4.36	13198	10.1
13075	125	13052	12.3	13058	52.4	12910	4.34	12935	10.04
13099	125	13074	12.3	12972	52.2	12911	4.32	12995	10.02
13197	125	13123	12.3	12976	52.2	12943	4.31	12976	9.97
13198	125	12995	12.2	12971	52	13201	4.31	12930	9.91
13199	125	13182	12.2	13086	51.8	13043	4.3	13199	9.78
13212	125	12949	12	12902	51.4	13009	4.29	12945	9.73
Aflak	83.2		9.9		47.5		3.96		9.07
Chamran	83.0		9.8		47.3		3.93		8.97
Chamran2	83.2		9.9		47.9		3.96		9.14

[†] The traits for which a large number of accessions were superior to the control cultivars, only 25 superior accessions are presented.

جدول ۳- تعدادی از نمونه‌های ژنتیکی برتر از ارقام شاهد تحت شرایط تنش گرمای انتهایی فصل

Table 3. Number of superior accessions to control cultivars under terminal heat stress conditions

Accession [†]	Plant height (cm)	Accession	Spike length (cm)	Accession	No. of grains per spike	Accession	100-grain weight (g)	Accession	Five spike grain weight (g)
13074	120	13074	12.3	13022	50.4	13087	4.11	13087	7.89
13029	115	13125	11.9	12979	49	13107	4.05	13013	7.49
13075	115	12901	11.8	13013	47.6	13039	3.96	12977	7.44
13033	110	12902	11.6	12969	47.4	13030	3.95	12980	7.38
13057	110	12995	11.6	12980	47	13197	3.87	13065	7.28
13076	110	13046	11.6	12985	46.8	13037	3.75	13043	7.16
13026	107.5	13189	11.6	12998	46.2	13043	3.73	13107	7.11
13211	107.5	13029	11.5	13065	45.8	13044	3.72	13050	7.08
12925	105	13058	11.4	12982	45.6	13031	3.7	13085	7.08
12949	105	12914	11.3	13086	45.2	13206	3.67	13022	7.04
13034	105	12926	11.3	12977	45	13200	3.66	13037	6.95
13048	105	12955	11.1	13085	44.4	13040	3.64	13039	6.84
13054	105	13057	11	13198	43.8	13078	3.64	13005	6.78
13199	105	13045	10.9	12906	43.2	13042	3.63	13074	6.7
13212	105	12927	10.8	13005	43.2	13208	3.62	12997	6.47
12926	103.8	13052	10.8	13083	43	13035	3.59	13010	6.46
13101	103.5	13183	10.6			12913	3.56	12978	6.38
12954	103.3	12984	10.5			12930	3.55		
13056	103.3	13124	10.5			13003	3.55		

جدول ۳- ادامه

Table 3. Continued

Accession [†]	Plant height (cm)	Accession	Spike length (cm)	Accession	No. of grains per spike	Accession	100-grain weight (g)	Accession	Five spike grain weight (g)
12950	102.5	12979	10.4			12981	3.5		
12953	100	13004	10.4			13001	3.49		
13019	100	13140	10.4			13074	3.49		
13036	100	12945	10.3			13210	3.48		
13046	100	12953	10.3			12977	3.47		
13052	100	12957	10.3			13029	3.44		
Aflak	69.8		9.3		42.0		3.06		6.27
Chamran	69.4		9.2		41.8		3.04		6.23
Chamran2	70.0		9.2		42.3		3.09		6.35

[†] The traits for which a large number of accessions were superior to the control cultivars, only 25 superior accessions are presented..

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات ارزیابی شده در نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط نرمال و تنش گرمای انتهای فصل

Table 4. Correlation coefficients between the evaluated traits of bread wheat accessions under normal and terminal heat stress conditions

Normal conditions [†]	DH	DFM	GFP	SL	NSS	NFS	NGS	HGW	FSGW
PH	0.498**	0.476**	-0.427**	0.337**	0.168**	-0.547**	-0.315**	-0.136*	-0.307**
DH		0.966**	-0.831**	0.159*	-0.329**	-0.682**	-0.698**	-0.594**	-0.814**
DFM			-0.659**	0.156*	-0.329**	-0.671**	-0.690**	-0.532**	-0.778**
GFP				-0.126	0.250**	0.542**	0.546**	0.584**	0.694**
SL					0.407**	-0.082	0.165*	0.015	0.100
NSS						0.175**	0.603**	0.133*	0.491**
NFS							0.759**	0.350**	0.740**
NGS								0.270**	0.854**
HGW									0.708**
Heat stress									
PH	0.113	0.125	-0.054	0.191**	0.337**	-0.207**	-0.069	0.164*	0.020
DH		0.968**	-0.800**	-0.031	-0.425**	-0.618**	-0.761**	-0.559**	-0.793**
DFM			-0.625**	-0.023	-0.399**	-0.603**	-0.722**	-0.488**	-0.731**
GFP				0.041	0.370**	0.483**	0.643**	0.576**	0.722**
SL					0.428**	0.101	0.281**	-0.016	0.200**
NSS						0.320**	0.669**	0.221**	0.568**
NFS							0.753**	0.194**	0.639**
NGS								0.354**	0.882**
HGW									0.726**

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

[†] PH, plant height; DH, days to heading; DFM, days to full maturity; GFP, grain filling period; SL, spike length; NSS, number of spikelets per spike; NFS, number of florets per spikelet; NGS, number of grains per spike; HGW, 100-grain weight; FSGW, five spikes grain weight.

KC۱۳۰۰۸، KC۱۳۰۱۰، KC۱۳۰۱۱، KC۱۳۰۱۳ و KC۱۳۰۸۳ بیش‌ترین مقدار را برای مؤلفه اصلی اول دارا بودند. در مؤلفه اصلی دوم صفات طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و ارتفاع بوته دارای بزرگ‌ترین ضریب مثبت بودند و از این‌رو به‌نظر می‌رسد انتخاب بر اساس این مؤلفه عمدتاً منجر به انتخاب نمونه‌های ژنتیکی با بیوماس بیش‌تر خواهد شد. نمونه‌های ژنتیکی KC۱۲۹۰۱، KC۱۲۹۰۲، KC۱۲۹۲۶، KC۱۲۹۱۴ و KC۱۳۰۵۳ دارای بیش‌ترین مقدار برای مؤلفه اصلی دوم بودند.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط نرمال نشان داد که ۷۲/۵۴ درصد از کل تغییرات توسط دو مؤلفه اصلی توجیه شد (جدول ۵). بر اساس ضرایب متغیرها، صفات وزن دانه پنج سنبله، تعداد دانه در سنبله، طول مدت پرشدن دانه و تعداد گلچه در سنبله، بیش‌ترین تأثیر مثبت و صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل، بیش‌ترین تأثیر منفی را در مؤلفه اصلی اول داشتند و از این‌رو این مؤلفه بر اجزای عملکرد بالاتر و تکمیل سریع‌تر چرخه حیات گیاه تأکید دارد. نمونه‌های

بود، کم‌ترین میانگین طول سنبله در شرایط تنش گرما بود. گروه دوم با ۲۴ عضو، دارای بیش‌ترین میانگین روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل و کم‌ترین میانگین طول دوره پرشدن دانه، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله در هر دو شرایط نرمال و تنش گرما و کم‌ترین میانگین طول سنبله در شرایط نرمال بود. بنابراین نمونه‌های گروه دوم را می‌توان به‌عنوان حساس‌ترین گروه به تنش گرما معرفی کرد. گروه سوم شامل ۵۱ عضو بود و بیش‌ترین میانگین طول مدت پرشدن دانه و وزن صد دانه را در هر دو شرایط نرمال و تنش داشت. گروه چهارم مشتمل بر ۶۲ عضو بود و دارای بیش‌ترین میانگین تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه پنج سنبله و کم‌ترین میانگین روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل در هر دو شرایط نرمال و تنش، و بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین ارتفاع بوته به‌ترتیب در شرایط نرمال و تنش بود. هر سه رقم شاهد نیز در این گروه قرار گرفتند. بر این اساس، گروه چهارم را می‌توان به‌عنوان متحمل‌ترین گروه نسبت به تنش گرما در نظر گرفت. گروه پنجم شامل ۲۴ عضو بود و کم‌ترین میانگین تعداد گلچه در سنبلچه در شرایط نرمال و بیش‌ترین میانگین طول سنبله در شرایط تنش گرما را داشت. گروه ششم با ۵۴ عضو، دارای بیش‌ترین میانگین تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط نرمال و تنش، کم‌ترین میانگین ارتفاع بوته و بیش‌ترین میانگین طول سنبله در شرایط نرمال و بیش‌ترین میانگین ارتفاع بوته در شرایط تنش بود.

بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط تنش گرما، سه مؤلفه اصلی در برگیرنده ۸۰/۵۳ درصد از کل واریانس داده‌ها بودند (جدول ۵). در مؤلفه اصلی اول صفات وزن دانه پنج سنبله، تعداد دانه در سنبله، طول مدت پرشدن دانه و تعداد گلچه در سنبلچه، بزرگ‌ترین ضریب مثبت و صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل، بیش‌ترین ضریب منفی را داشتند. در این حالت نیز مؤلفه اصلی اول بر بالا بودن اجزای عملکرد و زودرسی تأکید دارد. نمونه‌های ژنتیکی KC۱۲۹۷۷، KC۱۲۹۸۰، KC۱۳۰۱۳، KC۱۳۰۴۳ و KC۱۳۰۸۷، دارای بیش‌ترین مقدار برای مؤلفه اصلی اول بودند. بزرگ‌ترین ضرایب مثبت در مؤلفه اصلی دوم به صفات ارتفاع بوته، طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله اختصاص داشت و بنابراین مؤلفه دوم نیز عمدتاً نمونه‌های با بیوماس بالاتر را گزینش می‌کند. نمونه‌های ژنتیکی KC۱۲۹۰۱، KC۱۲۹۰۲، KC۱۳۰۷۴، KC۱۳۰۵۷ و KC۱۳۰۴۶، دارای بیش‌ترین مقدار برای مؤلفه اصلی دوم بودند. در مؤلفه اصلی سوم نیز بزرگ‌ترین ضرایب به صفت وزن صد دانه و ارتفاع بوته تعلق داشت و انتخاب بر اساس این مؤلفه سبب متمایز شدن نمونه‌های ژنتیکی پابلند و دانه درشت خواهد شد. نمونه‌های ژنتیکی KC۱۳۰۳۵، KC۱۳۲۰۶، KC۱۳۰۳۰، KC۱۳۲۰۰ و KC۱۳۰۷۸، دارای بیش‌ترین مقدار برای این مؤلفه اصلی بودند.

نمونه‌های ژنتیکی مورد بررسی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش K-means به شش گروه تقسیم شدند (جدول ۶). ویژگی گروه اول که شامل ۲۴ نمونه ژنتیکی

جدول ۵- نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط نرمال و تنش گرمای انتهای فصل در اهواز
Table 5. Results of principal component analysis of bread wheat accessions under normal and terminal heat stress conditions in Ahvaz

Trait	Normal conditions		Heat stress conditions		
	1	2	1	2	3
Plant height	-0.519	0.6	-0.037	0.737	0.5
Days to heading	-0.949	0.12	-0.927	0.208	-0.072
Days to full maturity	-0.905	0.104	-0.87	0.214	-0.01
Grain filling period	0.815	-0.126	0.809	-0.136	0.204
Spike length	-0.052	0.816	0.198	0.705	-0.399
Number of spikelets per spike	0.423	0.751	0.609	0.62	-0.126
Number of florets per spikelet	0.811	-0.13	0.728	-0.18	-0.416
Number of seeds per spike	0.837	0.308	0.91	0.1	-0.283
One hundred grain weight	0.635	0.007	0.625	-0.025	0.65
Five spikes grain weight	0.935	0.204	0.942	0.058	0.094
Eigen value	5.471	1.783	5.318	1.578	1.156
Variance (%)	54.707	17.833	53.183	15.778	11.563
Cumulative variance (%)	54.707	72.54	53.183	68.961	80.525

جدول ۶- میانگین صفات در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط نرمال و تنش گرما در اهواز
Table 6. Mean of the traits in the groups derived from cluster analysis of bread wheat accessions under normal and heat stress conditions in Ahvaz

Trait	Cluster					
	1	2	3	4	5	6
Normal conditions						
Plant height (cm)	102.08	102.29	106.02	81.52	112.71	121.30
Days to heading	118.25	132.88	90.37	85.15	125.00	110.19
Days to full maturity	147.25	159.62	129.02	123.55	152.88	141.28
Grain filling period (days)	29.00	26.75	38.65	38.40	27.88	31.09
Spike length (cm)	10.54	9.40	9.68	9.74	10.99	10.99
Number of spikelets per spike	16.51	14.71	19.12	18.08	16.65	20.29
Number of florlets per spikelet	2.25	2.28	2.89	3.21	2.23	2.27
Number of grains per spike	30.80	25.89	44.33	47.75	30.48	38.44
One hundred grain weight (g)	3.33	2.96	3.99	3.77	3.25	3.33
Five spikes grain weight (g)	4.93	3.71	8.48	8.65	4.67	6.26
Heat stress conditions						
Plant height (cm)	71.98	72.29	89.62	66.26	86.98	97.99
Days to heading	98.38	116.25	73.29	67.92	102.62	89.67
Days to full maturity	122.75	137.38	105.69	100.11	126.42	115.41
Grain filling period (days)	24.38	21.13	32.39	32.20	23.79	25.74
Spike length (cm)	8.40	8.47	8.61	9.02	9.79	9.31
Number of spikelets per spike	13.57	13.38	17.00	16.57	15.62	17.51
Number of florlets per spikelet	1.99	1.93	2.52	2.80	2.04	2.19
Number of grains per spike	21.93	18.50	34.11	39.05	24.32	29.77
One hundred grain weight (g)	2.50	2.22	3.16	2.91	2.43	2.70
Five spikes grain weight (g)	2.72	2.05	5.19	5.47	2.93	3.96
No. of members	24	24	51	62	24	54

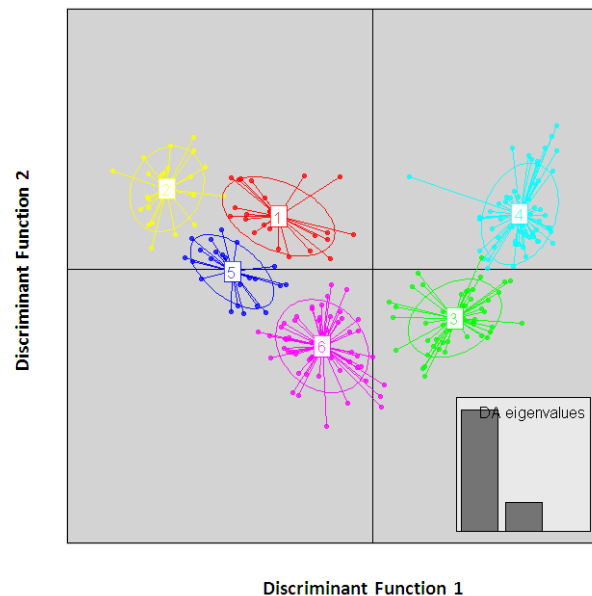
در شکل ۲ مشاهده می‌شود، برخی از نمونه‌های ژنتیکی به صورت متراکم در نزدیکی ارقام شاهد قرار گرفتند و برخی دیگر متمایز شدند. بر این اساس، ویژگی‌های متمایز نمونه‌های ژنتیکی واقع در حاشیه نمودار و در دورترین فاصله از ارقام شاهد، بررسی و با ارقام شاهد مقایسه شد. ویژگی برتر نمونه ژنتیکی KC۱۲۹۹۳ در قسمت بالای نمودار نسبت به ارقام شاهد، مقدار بیش‌تر طول دوره پرشدن دانه تحت شرایط تنش گرما بود. نمونه ژنتیکی KC۱۲۹۷۱ در انتهای سمت راست نمودار، دارای مقدار بیش‌تری برای طول دوره پرشدن دانه در شرایط تنش و نرمال و تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال، نسبت به ارقام شاهد بود. نمونه ژنتیکی KC۱۲۹۷۶ در انتهای سمت راست و پایین نمودار نیز مقدار بیش‌تری برای صفات طول دوره پرشدن دانه، طول سنبله، تعداد سنبله، در سنبله، تعداد گلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله در شرایط نرمال و تعداد سنبله در سنبله در شرایط تنش، نسبت به ارقام شاهد دارا بود. نمونه ژنتیکی KC۱۲۹۷۹ در بخش پایین نمودار، از لحاظ صفات تعداد سنبله در سنبله، تعداد گلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه پنج

نتایج حاصل از تجزیه تابع تشخیص نشان داد که صحت گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای بیش از ۸۰ درصد بوده است، به طوری که گروه‌های به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای به خوبی در نمودار توابع تشخیص از یکدیگر تفکیک شدند. نتایج این تجزیه نشان داد که ۱۵ نمونه ژنتیکی از بین ۲۴ عضو گروه اول، ۲۱ نمونه ژنتیکی از بین ۲۴ عضو گروه دوم، ۴۴ نمونه ژنتیکی از بین ۵۱ عضو گروه سوم، ۵۹ نمونه ژنتیکی از بین ۶۲ عضو گروه چهارم، ۱۵ نمونه ژنتیکی از بین ۲۴ عضو گروه پنجم، و ۵۳ نمونه ژنتیکی از بین ۵۴ عضو گروه ششم، با احتمال بیش از ۸۰ درصد به گروه‌های خود منتسب شدند. در نهایت، گروه چهارم که بر اساس تجزیه خوشه‌ای به عنوان متحمل‌ترین گروه شناسایی شده بود، در سمت راست نمودار دوبردی تابع تشخیص به طور مجزا از سایر گروه‌ها قرار گرفت و گروه دوم به عنوان حساس‌ترین گروه نیز در سمت چپ این نمودار واقع شد (شکل ۱).

به منظور ارائه تصویر بهتری از ارتباط بین اعضای گروه متحمل (گروه چهارم) و مقایسه فاصله آنها نسبت به یکدیگر و نسبت به ارقام شاهد، از روش مقیاس‌بندی چندبعدی استفاده شد (جدول ۷، شکل ۲). همان‌طور که

صفت عملکرد دانه پنج سنبله (۳۸/۴۹ درصد) مشاهده شد. کاهش صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و صفات مرتبط با عملکرد دانه تحت شرایط تنش گرمای انتهایی فصل نسبت به شرایط نرمال در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. محتبایی زمانی و همکاران (Mojtabaie Zamani *et al.*, 2014)، در بررسی ۱۰ ژنوتیپ گندم نان در دو تاریخ کاشت مناسب و تاخیری در شرایط آب و هوایی اهواز گزارش کردند که تاخیر در کاشت منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. امیدی و همکاران (Omidi *et al.*, 2015)، نیز با بررسی ۱۱ ژنوتیپ گندم در دو تاریخ کاشت به‌موقع و دیرهنگام در اهواز، کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد روز تا خوشه‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول پدانکل، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه را در اثر تنش گرما مشاهده کردند. در واقع، تنش گرمای انتهایی فصل از یک سو با تسریع مراحل رشد و نمو گیاه و کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی آن و از سوی دیگر با ایجاد اثر منفی بر قابلیت زنده ماندن دانه گرده و مادگی و جلوگیری از باروری مطلوب سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Omidi *et al.*, 2015).

سنبله در شرایط نرمال و طول دوره پرشدن دانه، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش گرما نسبت به ارقام شاهد برتری داشت. نمونه ژنتیکی KC۱۲۹۹۸ در انتهای سمت چپ و پایین نمودار، مقدار بیش‌تری برای ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی کامل، طول دوره پرشدن دانه، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه پنج سنبله در شرایط نرمال و صفات ارتفاع بوته، طول دوره پرشدن دانه، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش گرما نسبت به ارقام شاهد بود و با توجه به برتری در اکثر صفات، نمونه ژنتیکی مناسبی بود. نمونه ژنتیکی KC۱۳۸۰۷ در سمت چپ و بالای نمودار، بیش‌ترین وزن دانه پنج سنبله و وزن صد دانه را در شرایط تنش گرما در بین جمعیت مورد مطالعه برخوردار بود. بعلاوه، این نمونه ژنتیکی از لحاظ صفات ارتفاع بوته و وزن دانه پنج سنبله در شرایط نرمال و طول دوره پرشدن دانه و طول سنبله در هر دو شرایط نرمال و تنش نیز نسبت به ارقام شاهد برتری داشت. در مجموع نتایج این تحقیق، کاهش میانگین تمام صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش گرما را نسبت به شرایط نرمال نشان داد و بیش‌ترین کاهش میانگین در



شکل ۱- تمایز گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌های نمونه‌های ژنتیکی گندم نان با استفاده از تجزیه تابع تشخیص تحت شرایط نرمال و تنش گرمای انتهایی فصل در اهواز

Figure 1. Separation of the groups from cluster analysis of bread wheat accessions using discriminant function analysis under normal and terminal heat stress conditions in Ahvaz

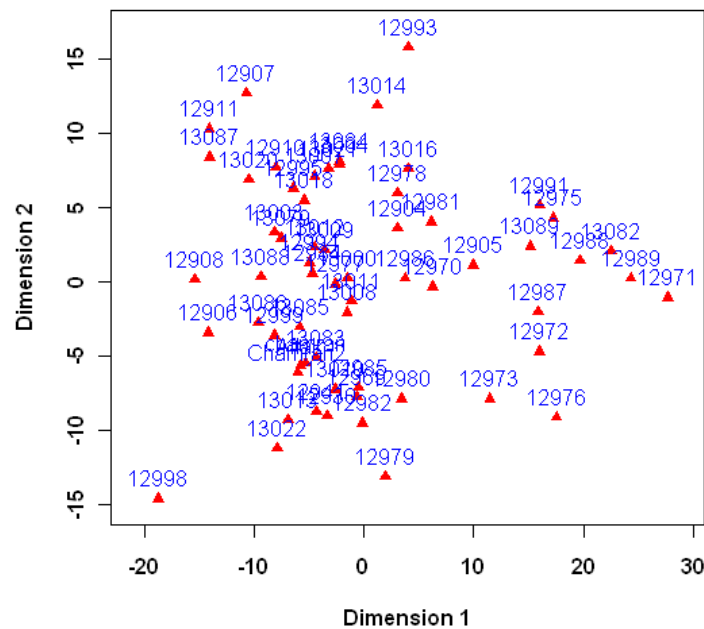
جدول ۷- میانگین برخی از صفات ارزیابی شده در نمونه‌های ژنتیکی گندم نان متحمل به تنش گرمای انتهای فصل (گروه چهارم حاصل از تجزیه خوشه‌ای)

Table 7. Average of some studied traits of bread wheat accessions tolerant to terminal heat stress (fourth group of cluster analysis)

Accession [†]	Plant height (cm)	Days to full maturity	Grain filling period	Spike length (cm)	Number of grains per spike	100-grain weight (g)	Five spike grain weight (g)
12904	65	96	27	7.7	36.2	2.82	4.83
12905	60	96	29	6.8	37.6	2.86	5.05
12906	70	101	30	9.6	43.2	2.6	5.42
12907	70	99	31	8.3	33.2	3.08	5.02
12908	73.8	103	31	8.7	34.8	3.21	5.21
12910	70	100	32	8.5	36.2	3.13	5.64
12911	75	99	31	8.7	31	3.05	4.6
12930	65	98	27	8.6	37.6	3.55	6.14
12941	60	118	33	7.1	31	2.41	3.6
12969	60	99	31	9.7	47.4	2.54	5.57
12971	45	96	31	8.4	29.2	2.3	3.28
12972	55	98	31	8.9	37	2.42	4.38
12973	61.6	97	31	9.1	41.4	2.26	4.66
12975	55	99	32	8.7	34.6	2.43	4.22
12976	56.6	100	29	8.7	35	2.64	4.3
12977	71.6	99	34	9.9	45	3.47	7.44
12978	66.6	96	31	8.8	38.2	3.42	6.38
12979	60	103	34	10.4	49	2.43	5.56
12980	65	103	35	9.4	47	3.29	7.38
12981	66.6	97	31	8.6	36.8	3.5	6.27
12982	60	99	32	9.9	45.6	2.51	5.3
12984	70	100	35	10.5	39.4	2.43	4.54
12985	65	104	31	8.8	46.8	2.15	5.18
12986	67.5	101	33	8.2	41	2.77	5.28
12987	55	99	34	8.8	39	2.78	5.32
12988	50	99	34	8.6	36.8	2.73	4.83
12989	55	99	32	8.5	39	2.72	5.13
12991	58.3	96	31	8	37.6	2.76	4.93
12993	66.6	100	35	8.1	32.8	2.71	4.27
12994	70	103	34	9.1	39	2.91	5.47
12995	67.5	98	33	11.6	39.6	3.2	6.2
12998	80	104	31	9.8	46.2	2.65	6.05
12999	73.3	1003	33	9.5	40.6	2.93	5.31
13000	70	104	31	9.4	35.4	2.15	3.54
13003	70	99	32	9.7	37	3.55	6.26
13004	67.5	99	32	10.4	38.8	3.05	5.96
13007	65	99	34	9.1	34.8	3.4	5.54
13008	65	97	32	9.3	40	2.89	5.71
13009	62.5	99	34	8.8	38.6	2.56	4.98
13010	65	99	34	9.4	42.2	3.2	6.46
13011	65	97	32	10.2	36.4	3.14	5.34
13012	70	99	34	9.7	39	3.33	6.19
13013	70	100	34	10	47.6	3.17	7.49
13014	65	97	32	8.1	35.2	3.03	5.23
13016	65	98	32	9	39	3.04	5.7
13018	66.6	99	34	8.2	37.6	2.98	4.82
13020	75	100	34	8.4	34.8	3.3	5.56
13021	75	102	35	8.2	35.8	3.12	5.46
13022	75	106	31	9.4	50.4	2.77	7.04
13079	75	99	31	10	40.2	2.98	5.84

	جدول ۷- ادامه						
13082	60	96	31	9.7	33.6	2.1	3.45
13083	75	98	33	8.7	43	2.98	6.29
13084	75	99	33	9.6	34.4	3.19	5.44
13085	70	102	34	8.1	44.4	3.36	7.08
13086	70	101	34	9.9	45.2	2.53	5.44
13087	80	100	32	9.4	40.2	4.11	7.89
13088	70	105	37	9.7	39.8	3.14	5.89
13089	57.5	100	33	8.4	34.2	2.91	4.77
12970	65	102	33	6.6	32.6	2.61	4.11
Aflak	69.8	104.0	29.8	9.3	42.0	3.06	6.27
Chamran	69.4	103.8	29.6	9.2	41.8	3.04	6.23
Chamran2	70.0	104.2	29.8	9.2	42.3	3.09	6.35

† Only the traits evaluated under heat stress conditions are presented in this table.



شکل ۲- پراکنش نمونه‌های ژنتیکی گندم نان متعلق به گروه متحمل به تنش گرما در تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقیاس‌بندی چند بعدی. نمونه‌های ژنتیکی مختلف با شماره دسترسی مربوط به آنها در شکل نشان داده شده‌اند.

Figure 2. Distribution of bread wheat accessions belonging to heat tolerant group in cluster analysis using multidimensional scaling. Different accessions are shown with their respective accession numbers in the figure.

در ۲۰۳ نمونه ژنتیکی گندم نان در شرایط آب و هوایی اهواز مورد بررسی قرار دادند. آنها با ترسیم نمودار دوطرفه مبتنی بر مولفه‌های اصلی در شرایط تنش گرما، نشان دادند که ۶۴ نمونه ژنتیکی به‌همراه ارقام شاهد در ناحیه مربوط به ویژگی‌های برتر از لحاظ وزن دانه پنج سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله و ارتفاع بوته واقع شدند. در نهایت نیز نمونه‌های ژنتیکی برتر از ارقام شاهد در شرایط تنش گرما شناسایی شدند.

پتانسیل ذخایر توارثی گندم برای تحمل به تنش گرما، توسط محققان دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ارشد و عبادوز (Arshad and Abadou, 2007)، پاسخ ۴۰۹۶ نمونه ژنتیکی گندم کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران را به تنش گرمای انتهایی در شرایط آب و هوایی اهواز مورد بررسی قرار دادند و در نهایت، ۱۰۲ نمونه ژنتیکی را به‌عنوان نمونه متحمل به گرما شناسایی کردند. زهراوی و همکاران (Zahravi et al., 2021)، تحمل به تنش گرمای انتهایی را با ایجاد تاخیر در کشت

منفی بر عملکرد در شرایط تنش گرما دارد. در واقع، هر گونه تاخیر در حدوث مراحل زایشی گیاه می‌تواند مواجهه با دماهای بالا در زمان گرده‌افشانی و متعاقب آن مرگ گلچه‌ها و یا گرده و کاهش اندازه مخزن را به دنبال داشته باشد که پیامد آن می‌تواند کاهش عملکرد از طریق کاهش تعداد دانه در سنبله در نمونه‌های غیر متحمل و یا جبران این کاهش در نمونه‌های متحمل از طریق افزایش انتقال مجدد و افزایش وزن هزار دانه باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از برآورد همبستگی بین صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش گرما نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن دانه پنج سنبله با صفات تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه وجود داشت. بنابراین، با در نظر گرفتن وراثت‌پذیری پایین عملکرد دانه، صفات تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه می‌توانند به‌عنوان معیار انتخاب برای تحمل به تنش گرما در برنامه‌های اصلاحی مورد توجه قرار گیرند. گروه‌بندی نمونه‌های ژنتیکی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، حاکی از تنوع بالا در نمونه‌های ژنتیکی مورد بررسی از نظر صفات مورد مطالعه و تحمل به تنش گرمای انتهای فصل بود. نمونه‌های ژنتیکی دارای صفات برتر از ارقام شاهد را می‌توان در بلوک‌های تلاقی برای اصلاح تحمل به تنش گرما و تنوع بخشی به مواد ژنتیکی مورد استفاده قرار داد. بر اساس نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی، نمونه‌های ژنتیکی KC12977، KC12980، KC13013، KC13043 و KC13087، با دارا بودن صفات زودگل‌دهی و زودرسی و مقادیر بالاتر صفات وزن دانه پنج سنبله، تعداد دانه در سنبله، طول دوره پرشدن دانه و تعداد گلچه در سنبله، به‌عنوان نمونه‌های ژنتیکی متحمل به گرما شناسایی شدند و پیشنهاد می‌شود برای تحمل به تنش گرما در برنامه‌های به‌زادای آینده مورد استفاده قرار گیرند.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به شماره 03-46-0-93282 می‌باشد. بدین‌وسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌جهت فراهم آوردن هزینه‌ها و امکانات لازم برای اجرای این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

برآورد ضرایب همبستگی نشان داد که وزن دانه پنج سنبله در شرایط نرمال دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با ارتفاع بوته بود، در حالی که در شرایط تنش، همبستگی معنی‌داری بین این دو صفت مشاهده نشد. همچنین، در هر دو شرایط نرمال و تنش گرما، وزن دانه پنج سنبله همبستگی منفی و معنی‌داری با صفات فنولوژیک تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی کامل، و همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد روز تا پر شدن دانه داشت. تحت هر دو شرایط نرمال و تنش، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن دانه پنج سنبله و صفات مرتبط با اجزای عملکرد مشاهده شد، اگرچه همبستگی قوی‌تری برای صفات تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه تحت شرایط تنش محاسبه شد. نتایج مطالعه پالیوال و همکاران (Paliwal *et al.*, 2012) نیز حاکی از وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد و صفات روز تا پر شدن دانه و وزن صد دانه و همبستگی منفی و معنی‌دار بین عملکرد و صفت روز تا ظهور سنبله در گندم نان تحت تنش گرمای انتهای بود. اسلام و همکاران (Islam *et al.*, 2017)، طی بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان و محاسبه ضرایب همبستگی بین آنها نشان دادند که ارتباط مثبتی بین عملکرد دانه و صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور، مدت پر شدن دانه، سطح برگ پرچم و سرعت پر شدن دانه تحت شرایط نرمال و تنش گرمایی وجود داشت. بر اساس تحقیق انجام شده توسط پریهار و همکاران (Parihar *et al.*, 2018)، عملکرد دانه ارتباط مثبت و معنی‌داری با تعداد سنبله در گیاه، تعداد پنجه موثر و وزن هزار دانه تحت شرایط تنش گرمای انتهای در گندم نان نشان داد. مینا و همکاران (Meena *et al.*, 2021) اظهار داشتند که عملکرد دانه گندم نان تحت شرایط تنش گرمایی، همبستگی مثبت بسیار معنی‌داری با وزن دانه هر سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، شاخص برداشت و وزن هزار دانه نشان داد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش صفاتی مانند تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه از نظر تولید اقتصادی در تحمل به تنش گرما بسیار موثر است و می‌تواند مرتبط با افزایش فتوسنتز جاری یا انتقال مجدد گیاه تحت شرایط تنش گرما باشد (Fokar *et al.*, 1998; Mohammadi, 2011). همچنین، افزایش در صفات فنولوژیک مانند تعداد روز تا ظهور خوشه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تاثیر

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.

تا کنون به‌طور کامل به هیچ‌زبانی 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.

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

اجازه انتشار مقاله

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

References

- Agarwal, V. P., Gupta, N. K., Gupta, S., & Singh, G. (2021). Screening of wheat germplasm for terminal heat tolerance under hyper-arid conditions. *Cereal Research Communications*, 49, 375-383. doi: [10.1007/s42976-020-00116-y](https://doi.org/10.1007/s42976-020-00116-y).
- Ahmadi, K., Abbasszadeh, H. R., Hatami, F., Mohammadnia Afroozi, S., & Esfandiari Poor, A. (2021). Agricultural statistics of the crop year 1398-1399. Ministry of Agriculture-Jahad, Iran. [In Persian].
- Alam, M. N., Bodruzzaman, M., Hossain, M. M. & Sadekuzzaman, M. (2014). Growth performance of spring wheat under heat stress conditions. *International Journal of Agricultural Research*, 4(6), 91-103.
- Arshad, Y., & Abadou, G. R. (2007). An investigation on effects of heat stress in wheat. Final report No. 86.236. Agricultural Research, Education and Extension Organization, [In Persian]
- De Costa, W. (2011). A review of the possible impacts of climate change on forests in the humid tropics. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 39, 281-302.
- Fokar, M., Blum, A., & Nguyen, H. T. (1998). Heat tolerance in spring wheat. II. Grain filling. *Euphytica*, 104, 9-15. doi: [10.1023/A:1018322502271](https://doi.org/10.1023/A:1018322502271).
- Gourdji, S. M., Mathews, K. L., Reynolds, M., Crossa, J., & Lobell, D. B. (2013). An assessment of wheat yield sensitivity and breeding gains in hot environments. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1752), 2012-2190. doi: [10.1098/rspb.2012.2190](https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2190).
- Islam, A.U., Chhabra, A., Dhanda, S., & Peerzada, O. H. (2017). Genetic diversity, heritability and correlation studies for yield and its components in bread wheat under heat stress conditions. *IOSR Journal of Agriculture & Veterinary Science*, 10(5), 71-77. doi: [10.9790/2380-1005017177](https://doi.org/10.9790/2380-1005017177).
- Jalal Kamali, M. R., & Duveiller, E. (2008). Wheat production and research in Iran: A success story. Proceedings of the International Symposium on Wheat Yield Potential. Challenges to International Wheat Breeding. CYMMYT, Mexico. pp. 54-58.
- Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L., Condon, A. G., Richards, R. A., & Dolferus, R. (2010). Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 33(6), 926-942. doi: [10.1111/j.1365-3040.2010.02130.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02130.x).
- Kaur, V., & Behl, R. (2010). Grain yield in wheat as affected by short periods of high temperature, drought and their interaction during pre- and post-anthesis stages. *Cereal Research Communications*, 38, 514-520. doi: [10.1556/CRC.38.2010.4.8](https://doi.org/10.1556/CRC.38.2010.4.8).
- Khan, M. I., Amin, M., & Shah, S. T. (2007). Agronomic evaluation of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for terminal heat stress. *Pakistan Journal of Botany*, 39(7), 2415-2425.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 7584. 84-87. doi: [10.1038/nature16467](https://doi.org/10.1038/nature16467).
- Liu, B., Asseng, S., Müller, C., Ewert, F., Elliott, J., Lobell, D. B., Martre, P., Ruane, A. C., Wallach, D., Jones, J. W., & Rosenzweig, C. (2016). Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods. *Nature Climate Change*, 6(12), 1130-1136. doi: [10.1038/nclimate3115](https://doi.org/10.1038/nclimate3115).

- Lizana, X., & Calderini, D. (2013). Yield and grain quality of wheat in response to increased temperatures at key periods for grain number and grain weight determination: considerations for the climatic change scenarios of Chile. *Journal of Agricultural Sciences*, 151(2), 209-221. doi: [10.1017/S0021859612000639](https://doi.org/10.1017/S0021859612000639).
- Lukac, M., Gooding, M. J., Griffiths, S., & Jones, H. E. (2012). Asynchronous flowering and within-plant flowering diversity in wheat and the implications for crop resilience to heat. *Annals of Botany*, 109(4), 843-850. doi: [10.1093/aob/mcr308](https://doi.org/10.1093/aob/mcr308).
- Mason, R. E., Mondal, S., Beecher, F. W., Pacheco, A., Jampala, B., Ibrahim, A. M.H., & Hays D. B. (2010). QTLs associated with heat susceptibility index in wheat (*Triticum aestivum* L.) under short-term reproductive stage heat stress. *Euphytica*, 174, 423-436. doi: [10.1007/s10681-010-0151-x](https://doi.org/10.1007/s10681-010-0151-x).
- Meena, V. K., Sharma, R., Yadav, S., Kumar, N., Gajghate, R., & Singh, A. (2021). Selection parameters for improving grain yield of bread wheat under terminal heat stress. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 91(3), 468-73. doi: [10.56093/ijas.v91i3.112536](https://doi.org/10.56093/ijas.v91i3.112536).
- Mohammadi, M. (2012). Effects of kernel weight and source-limitation on wheat grain yield under heat stress. *African Journal of Biotechnology*, 11(12), doi: [10.5897/AJB11.2698](https://doi.org/10.5897/AJB11.2698).
- Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M., & Meskarbashee, M. (2015). Responses of bread wheat genotypes to heat stress during grain filling period under Ahvaz conditions. *Journal of Plant Production*, 37(4), 119-130. [In Persian].
- Nahar, K., Ahamed, K. U., & Fujita, M. (2010). Phenological variation and its relation with yield in several wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under normal and late sowing mediated heat stress condition. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(3), 51-56. doi: [10.15835/nsb234723](https://doi.org/10.15835/nsb234723).
- Nawaz, A., Farooq, M., Cheema, S. A., & Wahid, A. (2013). Differential response of wheat cultivars to terminal heat stress. *International Journal of Agriculture & Biology*, 15(6), 1354-1358.
- Omidi, M., Siahpoosh, M. R., Mamghani, R., & Modarresi, M. (2015). Heat tolerance evaluating of wheat cultivars using physiological characteristics and stress tolerance indices in Ahvaz climatic conditions. *Plant Production*, 38(1), 103-113. [In Persian]. doi: [10.22055/ppd.2015.11135](https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11135).
- Paliwal, R., Röder, M. S., Kumar, U., Srivastava, J., & Joshi, A. K. (2012). QTL mapping of terminal heat tolerance in hexaploid wheat (*T. aestivum* L.). *Theoretical & Applied Genetics*, 125, 561-575. doi: [10.1007/s00122-012-1853-3](https://doi.org/10.1007/s00122-012-1853-3).
- Parihar, R., Agrawal, A. P., Burman, M., & Minz, M. G. (2018). Relationship between grain yield and other yield attributing characters in wheat under terminal heat stress. *Journal of Pharmacognosy & Phytochemistry*, 7(1), 2114-2117.
- Poudel, P. B., & Poudel, M. R. (2020). Heat stress effects and tolerance in wheat: A review. *Journal of Biology and Today's World*, 9(3), 1-6. doi: [10.35248/2322-3308.20.09.217](https://doi.org/10.35248/2322-3308.20.09.217).
- Sayahi, S. S., & Komaei, F. (2017). Evaluation of 38 varieties of bread wheat in heat stress tolerance is calculated based on the season of the untamed STI farm. *Agronomy and Plant Breeding*, 13(3), 39-49. [In Persian].
- Sharma, D., Singh, R., Tiwari, R., Kumar, R., & Gupta, V. K. (2019). Wheat Responses and Tolerance to Terminal Heat Stress: A review. In: Hossain, M. A., Nahar, K., & Hasanuzzaman, M. (Eds.). *Wheat Production in Changing Environments: Responses, Adaptation and Tolerance*. Springer. pp. 149-173. doi: [10.1007/978-981-13-6883-7_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6883-7_7).
- Tadesse, W., Suleiman, S., Tahir, I., Sanchez-Garcia, M., Jighly, A., Hagra, A., Thabet, S. H., & Baum, M. (2019). Heat-tolerant QTLs associated with grain yield and its components in spring bread wheat under heat-stressed environments of Sudan and Egypt. *Crop Science*, 59(1), 199-211. doi: [10.2135/cropsci2018.06.0389](https://doi.org/10.2135/cropsci2018.06.0389).
- Tahmasebi, S., Heidari, B., Pakniyat, H., & Jalal Kamali, M. R. (2014). Independent and combined effects of heat and drought stress in the Seri M82x Babax bread wheat population. *Plant Breeding*, 133(6), 702-711. doi: [10.1111/pbr.12214](https://doi.org/10.1111/pbr.12214).
- Yu, Q., Li, L., Luo, Q., Eamus, D., Xu, S., Chen, C., Wang, E., Liu, J., & Nielsen, D. C. (2014). Year patterns of climate impact on wheat yields. *International Journal of Climatology*, 34(2), 518-528. doi: [10.1002/joc.3704](https://doi.org/10.1002/joc.3704).
- Zahravi, M., Amirbakhhtiar, N., Arshad, Y., & Ahmadi, M. (2021). Identification of heat tolerant genetic sources in bread wheat germplasm. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 228-238. [In Persian]. doi: [10.52547/jcb.13.39.228](https://doi.org/10.52547/jcb.13.39.228).