



Evaluating morpho-phenological and yield traits of bread wheat cultivars and near-isogenic lines in response to terminal heat stress in Ahvaz, Iran

Sara Kianpour¹, Afrasyab Rahnama^{2*}, Ali Monsefi³ and Roohollah Abdolshahi⁴

1. M. Sc. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (Corresponding author: a.rahnama@scu.ac.ir)
3. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Heat stress is a growing threat to food security and agricultural production. Terminal heat stress is a major abiotic stress especially in tropical and sub-tropical regions dramatically affecting crop growth and yield. The use of early-heading bread wheat cultivars is an appropriate method for many grain-producing regions experiencing terminal heat stress. In this experiment, the effect of terminal heat stress was assessed on morpho-phenological and yield traits of bread wheat cultivars and near-isogenic lines. The objective of this study was to use cultivars and near isogenic lines with early flowering to investigate the effect of earliness on grain yield and some phenological and agronomic traits of bread wheat in order to obtain superior cultivars and isogenic lines in terms of tolerance to heat stress caused by late sowing date.

Materials and methods

The experiment was carried out in split-plots based on randomized complete block design with three replications in Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, in 2022-2023. The main plots included two sowing dates, November 23 and January 23 (normal and late sowing dates, respectively), and the sub-plots consisted seven bread wheat cultivars and near-isogenic lines (Roshan, Kalheydari, Mahdavi, Roshan's near-isogenic line, Kalheydari's near-isogenic line, Mahdavi's near-isogenic line, and Mehrگان as control). Sowing date with desired temperature was considered as control, and late sowing date was considered as heat stress to ensure heat stress coincided with flowering and grain-filling phases. The data regarding grain yield, spike weight, grain number per spike, grain weight per spike, 1000-grain weight, biological yield, harvest index, plant height, days to heading, and days to maturity was recorded.

Research findings

The results of this experiment showed that there was a significant difference between bread wheat cultivars and isogenic lines in terms of most studied traits. Heat stress induced by late sowing caused a significant decrease in grain yield of cultivars and near-isogenic lines through a significant reduction in spike weight, grain number per spike, grain weight per spike, and 1000-grain weight. Reduction values of the traits in cultivars were more than their near-isogenic lines. Heat stress led to a significant decrease in the grain yield of Roshan cultivar, Roshan's near-isogenic line, Kalheydari cultivar, Kalheydari's near-isogenic line, Mahdavi cultivar, Mahdavi's near-isogenic line, and Mehrگان cultivar



by 36, 35, 31, 31, 35, 32, and 30%, respectively, compared to normal sowing date as control. Decrease values in cultivars were almost similar to their near-isogenic lines, but Mahdavi's cultivar and near-isogenic line as well as Mehrgan cultivar showed the highest grain yield in both sowing dates compared to other cultivars and isogenic lines. The isogenic lines were approximately 7 to 14 days earlier in maturity than their cultivars. In near-isogenic lines of Roshan, Kalheydari and Mahdavi, reducing the number of days from sowing to heading (5, 6, 11 days, respectively), and the number of days from sowing to full maturity (8, 7, 14 days, respectively) as two main components of earliness, caused to minimize exposure to terminal heat stress during the flowering and grain filling phases, and higher grain yield and stability.

Conclusion

Overall, the results of this experiment showed that the studied near-isogenic lines were superior to cultivars in term of grain yield, and agronomic and morphological traits. Mahdavi's near-isogenic line using the earliness strategy and shortening the number of days to flowering and maturity had the highest grain yield and stability, it is recommended along with Mehrgan cultivar for both normal and late sowing date conditions in Khuzestan region.

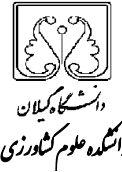
Keywords: Early maturity, Grain yield and yield components, Late sowing, Maturity period

Received: November 5, 2023

Accepted: January 25, 2024

Cite this article:

Kianpour, S., Rahnama, A., Monsefi, A., & Abdolshahi, R. (2024). Evaluation of morphophenological and yield traits of bread wheat cultivars and Near-isogenic lines in response to terminal heat stress in Ahvaz, Iran. *Cereal Research*, 13(4), 331-349. doi: [10.22124/CR.2024.26382.1804](https://doi.org/10.22124/CR.2024.26382.1804).



ارزیابی صفات مورفوفنولوژیک و عملکردی ارقام و لاین‌های ایزوژن نزدیک گندم نان در واکنش به تنش گرمای آخر فصل در منطقه اهواز

سارا کیانپور^۱، افراسیاب راهنما^{۲*}، علی منصفی^۳ و روح‌اله عبدالشاهی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
 ۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (* نویسنده مسئول):

a.rahnama@scu.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
 ۴. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده جامع

مقدمه: تنش گرمایی تهدیدی جدی برای امنیت غذایی و تولیدات کشاورزی است. تنش گرمای آخر فصل یک تنش غیرزیستی اصلی به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که به‌طور قابل توجهی بر رشد و عملکرد غلات به‌ویژه گندم تأثیر می‌گذارد. استفاده از ارقام زودرس گندم روش مناسبی برای بسیاری از مناطق تولید کننده غلات است که تنش گرمایی آخر فصل را تجربه می‌کنند. در این آزمایش، اثر تنش گرمای آخر فصل بر صفات مورفوفنولوژیک و عملکردی ارقام و لاین‌های ایزوژن نزدیک گندم نان مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این آزمایش، استفاده از ارقام و لاین‌های ایزوژن نزدیک دارای خوشه‌دهی زود هنگام به‌منظور بررسی اثر زودرسی بر عملکرد و برخی صفات فنولوژیک و زراعی گندم نان جهت دستیابی به ارقام و لاین‌های ایزوژن برتر از نظر تحمل به تنش گرمای ناشی از تاریخ کاشت دیر هنگام بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. دو تاریخ کاشت (دوم آذرماه و دوم بهمن‌ماه به‌ترتیب به‌عنوان تاریخ کاشت به‌هنگام و دیر هنگام منطقه در کرت‌های اصلی و هفت رقم و لاین ایزوژن گندم نان (روشن، کل حیدری، مهدوی، لاین ایزوژن روشن، لاین ایزوژن کل حیدری، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به‌عنوان شاهد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تاریخ کاشت به‌هنگام به‌عنوان شاهد و تاریخ کشت دیر هنگام به‌دلیل برخورد مراحل گلدهی و پر شدن دانه گندم با گرمای آخر فصل به‌عنوان تنش گرمایی در نظر گرفته شد. داده‌های مرتبط با عملکرد دانه، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله اصلی، وزن دانه در سنبله اصلی، وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی دانه‌ها ثبت شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج این آزمایش نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین ارقام و لاین‌های ایزوژن گندم نان از نظر بیش‌تر صفات مورد مطالعه وجود داشت. تنش گرمای ناشی از کشت دیر هنگام، از طریق کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن سنبله و وزن هزار دانه سبب کاهش عملکرد دانه همه ارقام و لاین‌های ایزوژن شد. مقادیر کاهش صفات در ارقام بیش‌تر از لاین‌های ایزوژن مربوطه بود. تنش گرما منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در رقم روشن، لاین

ایزوژن روشن، رقم کل حیدری، لاین ایزوژن کل حیدری، رقم مهدوی، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به ترتیب به میزان ۳۶، ۳۵، ۳۱، ۳۱، ۳۵ و ۳۰ درصد در مقایسه با تاریخ کاشت به هنگام شد. با وجود کاهش نسبتاً مشابه صفات در ارقام و لاین‌ها، مقادیر عملکرد دانه در رقم و لاین ایزوژن مهدوی و همچنین رقم مهرگان در هر دو تاریخ کشت به مراتب بیش‌تر از سایر ارقام و لاین‌های ایزوژن بود. لاین‌های ایزوژن ۷ تا ۱۴ روز زودرس‌تر از ارقام والد خود بودند. در کشت به هنگام و در لاین‌های ایزوژن روشن، کل حیدری و مهدوی، کاهش تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی (به ترتیب ۵، ۶ و ۱۱ روز کاهش) و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی (به ترتیب ۸، ۷ و ۱۴ روز کاهش) به‌عنوان دو مؤلفه اصلی زودرسی، باعث به حداقل رساندن مواجهه با تنش گرمای آخر فصل طی مراحل گلدهی و پر شدن دانه و در نتیجه عملکرد و پایداری عملکرد بالاتر شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که لاین‌های ایزوژن مورد بررسی از نظر عملکرد و صفات زراعی و مورفولوژیک برتر از ارقام گندم بودند. لاین ایزوژن مهدوی از طریق راهبرد زودرسی و کاهش تعداد روز تا خوشه‌دهی و رسیدگی، دارای بالاترین عملکرد دانه و پایداری عملکرد بود و همانند رقم مهرگان برای هر دو شرایط کشت به هنگام و دیرهنگام در منطقه خوزستان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دوره رسیدگی، زودرسی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، کشت دیرهنگام

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵

نحوه استناد به این مقاله:

کیانپور، سارا، راهنما، افراسیاب، منصفی، علی، و عبدالشاهی، روح‌اله. (۱۴۰۲). ارزیابی صفات مورفولوژیک و عملکردی ارقام و لاین‌های ایزوژن نزدیک گندم نان در واکنش به تنش گرمای آخر فصل در منطقه اهواز. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۴)، ۳۳۱-۳۴۹.
doi: [10.22124/CR.2024.26382.1804](https://doi.org/10.22124/CR.2024.26382.1804)

گندم، سازگارترین گیاه زراعی جهان است که بیش از نیمی از کالری و نزدیک به نیمی از پروتئین یک‌سوم جمعیت جهان را تأمین می‌کند (Rajaram, 2001). رویدادهای اقلیمی مانند سیل، خشکی و گرمایش جهانی بسته به مکان و زمان بر امنیت غذایی جهان تأثیر می‌گذارند (Harrison, 2021)، ولی غالب‌ترین رویداد اقلیمی در مناطق گرمسیری، تنش گرمای آخر فصل است. دمای بالا در مراحل رشد زایشی و پر شدن دانه به‌عنوان تنش گرمای آخر فصل شناخته می‌شود و مشکل رایج کشاورزی و عامل اصلی محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی در مناطق گرم و معتدل است (Salehi et al., 2023). تخمین زده می‌شود که افزایش دمای هوا به دلیل گرمایش جهانی می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه گندم به میزان ۴/۶-۴/۱ درصد شود (Liu et al., 2016).

دمای بالا، سرعت پر شدن دانه غلات را تسریع و مدت زمان پر شدن دانه را کوتاه می‌کند (Yin et al., 2009). تنش گرما، به‌ویژه طی دوره زایشی و پر شدن دانه گندم خسارت‌زا است (Sharma et al., 2016) و بر انتقال کربوهیدرات‌ها و انباشت نشاسته به دانه طی دوره پر شدن دانه تأثیر می‌گذارد و منجر به کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه می‌شود (Shirdelmoghanloo et al., 2016). همچنین، تنش گرما فتوسنتز را کاهش و تحرک ذخایر کربوهیدرات‌های محلول ساقه را افزایش می‌دهد و در نهایت پیری را تسریع می‌کند (Hill & Li, 2022). هنگامی که دمای بالا با مراحل اولیه رشد دانه هم‌زمان می‌شود، تعداد و اندازه سلول‌های آندوسپرم کاهش می‌یابد و منجر به کاهش وزن و اندازه نهایی دانه می‌شود. دمای بالا مدت زمان پر شدن دانه را نیز کوتاه می‌کند، اگرچه در چنین شرایطی کاهش زیاد سرعت پر شدن دانه، مسئول کاهش وزن دانه است (Wilhelm et al., 1999). تنش گرما پس از گرده‌افشانی می‌تواند باعث پیری زودرس برگ‌ها شود و از طریق کوتاه کردن دوره پر شدن دانه، عملکرد دانه را به‌میزان قابل توجهی کاهش دهد (Sade et al., 2018).

تنش گرما باعث کاهش تعداد و وزن دانه گندم می‌شود و شاخص برداشت را کاهش می‌دهد. تعداد و وزن دانه به‌طور مستقیم با عملکرد دانه در ارتباط است. هنگامی که تنش

گرما با زمان جدا شدن میکروسپور در مرحله گرده‌افشانی هم‌زمان می‌شود، عدم رهاسازی گرده از بساک، مانع از گرده‌افشانی می‌شود و منجر به عقیمی و کاهش تعداد دانه در سنبله می‌شود (Hill & Li, 2022). در مطالعه ۱۵۷ رقم جو با زمینه ژنتیکی متفاوت، تنش گرمای ناشی از تأخیر در کاشت باعث کاهش تعداد دانه و شاخص برداشت شد و ژنوتیپ‌های متحمل به گرما دارای دانه‌های سنگین‌تر، سرعت پر شدن دانه بالاتر، دوره پر شدن دانه طولانی‌تر و گلدهی زود هنگام بودند. همچنین، سرعت پر شدن دانه عمدتاً بیش‌تر و مرتبط با تحمل به گرمای رقم‌های جو بود (Shirdelmoghanloo et al., 2022).

گیاهان با استفاده از راهبردهای مختلف با تنش گرما مقابله می‌کنند. یکی از اهداف به‌نژادی، بهینه‌سازی فنولوژی گیاه برای شرایط محیطی خاص در مناطق رشد مورد نظر است، به‌طوری که گلدهی و رشد دانه در شرایط بهینه رخ دهد. بر همین اساس انطباق رسیدگی گندم با فصل رشد را می‌توان از طریق طراحی ژن‌های اصلی فنولوژی به‌دست آورد (Hill & Li, 2022). بخش عمده‌ای از توسعه سطح زیر کشت ارقام گندم سازگار از طریق استفاده از تنوع ژنتیکی برای زمان رشد و یا فنولوژی گیاه فراهم شده است (Cockram et al., 2007). در بسیاری از مناطق رشد مدیترانه‌ای، زودرسی صفتی مطلوب است، زیرا از مواجهه با تنش گرما و خشکی در اواخر فصل جلوگیری می‌کند (Hill & Li, 2022). زودرسی، یکی از موثرترین سازوکارهای فرار از گرما است که گیاهان را قادر می‌سازد تا از طریق رشد سریع و تکمیل چرخه زندگی خود قبل از آغاز تنش گرما، از گرمای شدید فرار کنند. بنابراین، زودرسی غلات معتدله در بسیاری از مناطق تولید غلات که تنش گرما و خشکی آخر فصل را تجربه می‌کنند صفتی مفید است.

توان ژنتیکی گندم برای هماهنگی زمان گلدهی با شرایط مطلوب محیطی، امکان سازگاری وسیع و تولید عملکرد دانه مناسب در شرایط مختلف دمایی و رطوبتی را فراهم می‌کند. کاهش تعداد روز از کاشت تا گلدهی و تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی کامل، به‌عنوان دو مولفه زودرسی، به محصول کمک می‌کند تا از تنش گرما و خشکی آخر فصل جلوگیری کند (Blum, 2010). زودرسی یک ویژگی ارزشمند برای سازگاری گندم با محیط‌های مختلف است و ایجاد ارقام

بررسی قرار نگرفته است. بر این اساس، هدف از این آزمایش استفاده از ارقام و لاین‌های ایزوژن نزدیک دارای خوشه‌دهی زودهنگام جهت بررسی اثر زودرسی بر عملکرد و برخی صفات فنولوژیک و زراعی گندم نان برای دستیابی به ارقام و لاین‌های ایزوژن برتر از نظر تحمل به تنش گرمای ناشی از تاریخ کاشت دیرهنگام بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. مکان آزمایش در جنوب غربی شهرستان اهواز در حاشیه غربی رود کارون، با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش طی فصل رشد در جدول ۱ ارائه شده است. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از کاشت و شروع آزمایش از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری یک نمونه مرکب تهیه و پس از خرد کردن ذرات درشت خاک، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه تعیین شد. با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۲)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و ۸۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به صورت پایه و قبل از کاشت به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره به صورت کود پایه هم زمان با کاشت و سرک در مرحله ۷-۸ برگی به زمین مزرعه آزمایشی اضافه شد.

زودرس گندم نان با پتانسیل بالای عملکرد یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادگران گندم در راستای بهبود عملکرد دانه است (Rousset *et al.*, 2011).

گلدهی زودهنگام، صفت کلیدی مربوط به فرار از گرما محسوب می‌شود، زیرا گیاه می‌تواند چرخه زندگی خود را کوتاه کند، در غیر این صورت ممکن است با گرمای آخر فصل هم‌پوشانی داشته باشد. گزارش شده است که دوره رشد رویشی کوتاه‌تر و خوشه‌دهی زودهنگام برای تولید گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل بسیار مهم است، زیرا گیاه می‌تواند مواجهه با تنش خشکی را طی مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه به حداقل برساند (Dorrani-Nejad *et al.*, 2022). در شرایط تغییر اقلیم کنونی، با کاهش مداوم بارندگی و افزایش گرمایش جهانی، پایداری عملکرد گندم موضوعی چالش برانگیز است. بسیاری از محققان با مطالعه زمان گلدهی در غلات، به‌ویژه گندم دریافته‌اند که زمان گلدهی یک ویژگی بسیار ارزشمند برای به‌نژادگران گندم است، زیرا به‌منظور به‌حداکثر رساندن پتانسیل عملکرد، گندم باید در شرایط محیطی بهینه گل دهد و گل‌دهی دیرهنگام به‌ویژه در شرایط مدیترانه‌ای، به دلیل مواجهه با تنش‌های گرما و خشکی باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Hyles *et al.*, 2020).

با وجود مطالعات اخیر در زمینه زودرسی و خوشه‌دهی زودهنگام گندم تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل (Dorrani-Nejad *et al.*, 2022)، تأثیر خوشه‌بندی زودهنگام و زودرسی لاین‌های ایزوژن گندم بر عملکرد و اجزای آن در شرایط تنش گرمای آخر فصل به‌ویژه در کشت پاییزه و زمستانه در منطقه خوزستان که در مرحله گلدهی و پر شدن دانه با تنش گرمای آخر فصل مواجه می‌شود، مورد

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱)

Table 1. Meteorological information of the experimental site (2022-2023 growing season)

Month	November	December	January	February	March	April	May
Maximum temperature (°C)	32.3	26.5	25	26	29.4	36.6	46.9
Minimum temperature (°C)	11.1	5.6	2.9	6.1	7.1	10.7	19.4
Average daily temperature (°C)	19.4	15.3	14.2	15.5	18.3	24.3	33.5
Precipitation (mm)	15.9	20.5	45.1	13.8	17.2	20	2

جدول ۲- نتایج آنالیز فیزیکیوشیمیایی خاک مزرعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر
Table 2. The results of physico-chemical analysis of soil at 0-30 cm

N (%)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	pH	Electrical conductivity (dSm ⁻¹)	Organic matter (%)	Soil texture
0.098	231	11.32	7.45	3.50	0.43	Sandy loam

خاک در ناحیه ریشه به ۸۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد. برای این منظور درصد رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR (ProCheck, Decagon Devices, USA)) اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل دانه‌ها (کد ۹۴ مقیاس زیداکس) و به‌منظور رعایت اثر حاشیه‌ای، شش ردیف میانی هر کرت به‌عنوان خطوط نمونه‌برداری در نظر گرفته شد و از هر کرت به‌مساحت یک متر مربع برداشت شد. با توجه به تاریخ متفاوت رسیدگی ارقام و ایزولاین‌ها، برداشت در کشت به‌هنگام از ۱۰ تا ۲۰ فروردین و در کشت دیرهنگام از ۸ لغایت ۱۸ اردیبهشت انجام شد. اندازه‌گیری عملکرد دانه برای هر رقم و ایزولاین (با رطوبت حدود ۱۲ درصد)، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت در مساحت یک متر مربع از هر واحد آزمایشی انجام شد. در این بررسی صفات فنولوژیک شامل تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری ارتفاع بوته و اجزای عملکرد شامل وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله اصلی، وزن دانه در سنبله اصلی و وزن هزار دانه، تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی برداشت شد. ارتفاع بوته از کف زمین تا انتهای خوشه در نظر گرفته شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر زمان کاشت و رقم (لاین) در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش زمان کاشت با رقم (لاین) در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی برهم‌کنش زمان کاشت با رقم (لاین) نشان داد که رقم‌ها (لاین‌ها) واکنش متفاوتی

در این آزمایش، دو تاریخ کاشت شامل دوم آذرماه و دوم بهمن‌ماه (به‌ترتیب به‌عنوان تاریخ کاشت به‌هنگام و دیرهنگام منطقه) در کرت‌های اصلی و هفت رقم و لاین ایزوژن گندم نان (سه رقم روشن، کل حیدری و مهدوی، سه لاین ایزوژن روشن، کل حیدری و مهدوی و رقم مهرگان به‌عنوان رقم شاهد منطقه) در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. تاریخ کاشت به‌هنگام به‌عنوان شاهد و تاریخ کشت دیرهنگام به‌دلیل برخورد مراحل گلدهی و پرشدن دانه گندم با گرمای آخر فصل به‌عنوان تنش گرمایی در نظر گرفته شد.

رقم‌های روشن و کل حیدری نسبتاً دیررس با تیپ رشدی بهاره، رقم مهدوی نسبتاً دیررس با تیپ رشدی بهاره بینابین، و رقم مهرگان نسبتاً زودرس با تیپ رشدی بهاره هستند. لاین‌های ایزوژن مذکور حاصل یک برنامه به‌نژادی دورگ‌گیری هستند که از سال ۱۳۹۷-۱۳۹۱ در دانشگاه شهید باهنر کرمان با تلاقی رقم استرالیایی *Excalibur* (به‌عنوان والد اهدا کننده) با سه رقم مذکور و سپس پنج تلاقی برگشتی با والد‌های تکراری به‌دست آمده‌اند. *Excalibur*، یک رقم استرالیایی زودرس، متحمل به خشکی و حساس به زنگ زرد است (Izanloo et al., 2008). در تمامی تلاقی‌ها از این رقم به‌عنوان والد اهدا کننده جهت گزینش ژنوتیپ‌های زودرس استفاده شده است. پس از سه بار تلاقی برگشتی، اولین و جدیدترین ژنوتیپ‌های هر جمعیت BC3F2 به‌عنوان لاین‌های ایزوژن نزدیک در سال ۱۳۹۷ انتخاب شدند (Dorrani-Nejad et al., 2022).

بذرهای گندم در هر کرت در عمق دو تا سه سانتی‌متری به‌فواصل یکنواخت روی هشت ردیف چهار متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر کشت شد. فاصله بین کرت‌های اصلی ۰/۵ متر و فاصله بین تکرارها جهت ایجاد نهرهای آبیاری دو متر در نظر گرفته شد. تراکم بوته بر اساس توصیه‌های تحقیقاتی ۴۰۰ بوته در هر متر مربع در نظر گرفته شد. آبیاری مزرعه طی دوره شد با توجه به رسیدن میزان رطوبت

نتایج مشابهی از طریق کاشت ارقام مختلف گندم با دوره رسیدگی متفاوت و در تاریخ‌های کاشت مختلف تأخیری و دیرهنگام گزارش شده است (Moshatati *et al.*, 2018). کاهش تعداد روز تا گلدهی (به ترتیب ۵، ۶ و ۱۱ روز کاهش) و تعداد روز تا رسیدگی (به ترتیب ۸، ۷ و ۱۴ روز کاهش) در کشت به‌هنگام در ایزولاین‌های روشن، کل حیدری و مهدوی در مقایسه با ارقام حاکی از انطباق الگوی نمو فنولوژیک ایزولاین‌ها و عدم مواجهه با شرایط گرمایی شدید آخر فصل و در نتیجه پایداری بالاتر عملکرد آن‌ها بود (جدول ۵).

تأخیر در کاشت یکی از مشکلاتی است که تقریباً در تمام مناطق کشت گندم کشور رایج است و می‌توان آن را یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد ارقام گندم دانست. میزان کاهش عملکرد بستگی به میزان تأخیر در کشت و میزان سازگاری و انطباق فنولوژیک ارقام و ژنوتیپ‌های مورد استفاده با شرایط محیطی دارد. تنش گرمای ناشی از تأخیر در کاشت، در طول رشد زایشی و پر شدن دانه بر عرضه کربوهیدرات‌ها به دانه در حال رشد تأثیر می‌گذارد و منجر به کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم می‌شود (Sharma *et al.*, 2016; Shirdelmoghanloo *et al.*, 2016). همچنین در مراحل اولیه رشد دانه، تعداد و اندازه سلول‌های آندوسپرم را کاهش می‌دهد و با کوتاه کردن مدت زمان و سرعت پر شدن دانه، منجر به کاهش وزن دانه می‌شود (Wilhelm *et al.*, 1999). در نهایت می‌تواند باعث پیری زودرس برگ شود و عملکرد دانه، زیست‌توده محصول و کیفیت دانه را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد (Sade *et al.*, 2018). هم‌زمانی تنش گرما با زمان جدا شدن میکروسپور در مرحله‌ی گرده‌افشانی سبب عدم رهاسازی گرده از بساک شده و مانع از گرده‌افشانی می‌شود و منجر به عقیمی و کاهش تعداد دانه می‌شود (Hill & Li, 2022).

گزارش‌های پیشین نیز نشان می‌دهند که بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر واکنش به تاریخ کاشت و مواجهه شدن با شرایط حرارتی متفاوت، تفاوت‌هایی وجود دارد و ارقام با دوره رسیدگی متفاوت، واکنش متفاوتی به تنش گرمای آخر فصل نشان می‌دهند. در مطالعه ۱۵۷ رقم جو با زمینه ژنتیکی متفاوت، تنش گرمای ناشی از تأخیر در کاشت باعث کاهش عملکرد دانه شد و ژنوتیپ‌های متحمل به گرما دارای دانه‌های سنگین‌تر، سرعت پر شدن دانه بالاتر،

نسبت به تاریخ کاشت نشان دادند و کشت دیرهنگام به‌طور متفاوتی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ارقام و لاین‌ها شد. در کاشت به‌هنگام، بیش‌ترین عملکرد دانه به ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان و کم‌ترین آن به رقم و ایزولاین کل حیدری تعلق داشت. در کاشت دیرهنگام نیز بالاترین عملکرد به ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان و کم‌ترین آن به رقم و ایزولاین کل حیدری اختصاص یافت (جدول ۵). با تأخیر در کاشت عملکرد دانه در رقم روشن، لاین ایزوژن روشن، رقم کل حیدری، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به ترتیب به میزان ۳۶، ۳۵، ۳۱، ۳۱، ۳۵، ۳۲ و ۳۰ درصد در مقایسه با کاشت به‌هنگام کاهش یافت. به هر روی، با وجود مقادیر کاهش نسبتاً مشابه بین ارقام و ایزولاین‌ها، مقادیر عملکرد دانه در رقم و ایزولاین مهدوی و همچنین رقم مهرگان در هر دو تاریخ کشت به مراتب بیش‌تر از سایر ارقام و لاین‌های ایزوژن بود (جدول ۵). در کاشت به‌هنگام، بوته‌های گندم دماهای نسبتاً مطلوب (میانگین و حداکثر دمای ماهانه به ترتیب ۱۸ و ۲۹ درجه سلسیوس) را طی مراحل رشدی دریافت کردند، در حالی‌که در کاشت دیرهنگام، مراحل گلدهی و پر شدن دانه با تنش گرمای ناشی از کاشت دیرهنگام در پایان فصل رشد (میانگین و حداکثر دما به ترتیب ۲۴ و ۳۷ درجه سلسیوس) مواجه شد. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم مهرگان سازگاری مناسبی با هر دو تاریخ کاشت نشان داد. در مطالعات پیشین نیز در شرایط تأخیر در کاشت در مناطق معتدل، کشت رقم مهرگان به‌عنوان یک رقم بهاره زودرس و سازگار با اقلیم گرم توصیه شده است (Behneh *et al.*, 2022).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ایزولاین‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت به‌هنگام به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه بیش‌تری در مقایسه با ارقام تولید کردند، زیرا عملکرد دانه ارقام در مقایسه با ایزولاین‌ها به‌علت تأخیر در ظهور سنبله و مواجهه شدن مرحله پر شدن دانه بادماهای نسبتاً بالای آخر فصل به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود، در حالی‌که ایزولاین‌ها به‌دلیل زودرسی و انطباق الگوی نمو فنولوژیک خود با شرایط محیطی، عملکرد بالاتری تولید کردند. این تفاوت‌ها در تاریخ کاشت دیرهنگام و مواجهه شدن مراحل گلدهی و پر شدن دانه با تنش گرمای آخر فصل به مراتب بیش‌تر بود.

ارزیابی ارقام و لاین‌های ایزوژن گندم نان در واکنش به تنش گرما مدت زمان پر شدن دانه طولانی‌تر و گلدهی زودهنگام بودند. همچنین سرعت پر شدن دانه عمدتاً بیش‌تر و با تحمل به گرمای جو مرتبط بود (Shirdelmoghanloo *et al.*, 2022). زودرسی و گلدهی زودهنگام، صفت کلیدی مربوط به فرار از گرما محسوب می‌شود، زیرا گیاه می‌تواند چرخه زندگی خود را قبل از مواجهه مراحل رشد زایشی با گرمای آخر فصل کوتاه کند. مطالعات اخیر در زمینه زودرسی و خوشه‌دهی زودهنگام گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل با استفاده از ارقام و ایزولاین‌های مورد مطالعه در این پژوهش نشان داد که دوره رشد رویشی کوتاه‌تر و خوشه‌دهی زودهنگام برای تولید گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل بسیار مهم است، زیرا گیاه می‌تواند مواجهه با تنش خشکی را در طول مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه به حداقل برساند (Dorrani-Nejad *et al.*, 2022). نتایج پژوهش اخیر در زمینه تنش خشکی آخر فصل با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

در مطالعات قبلی کاهش عملکرد دانه گندم با تأخیر در کاشت (Joshi *et al.*, 2016; Behneh *et al.*, 2022) و واکنش متفاوت ارقام زودرس سازگار با اقلیم گرم در مقایسه با ارقام زودرس سازگار با اقلیم سرد و معتدل (Garshasbi *et al.*, 2020) گزارش شده است. منطبق با نتایج این محققان، پایداری عملکرد رقم مهدوی و به‌ویژه ایزولاین مهدوی در هر دو تاریخ کاشت به‌مراتب بهتر از سایر ارقام و ایزولاین‌های مربوطه بود که این امر ممکن است با سازگاری بهتر این رقم و ایزولاین با شرایط گرمای آخر فصل در مراحل گلدهی و پر شدن دانه نسبت به سایر ارقام و ایزولاین‌ها مرتبط باشد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با وزن دانه در سنبله ($r=0/99^{**}$)، تعداد دانه در سنبله ($r=0/93^{**}$)، نیز حاکی از تأثیرگذاری بالای این دو جزء در تعیین عملکرد دانه بود (جدول ۶). به‌عبارت دیگر وزن و تعداد دانه در سنبله گندم از مهم‌ترین ویژگی‌هایی هستند که به‌طور مستقیم در تعیین عملکرد دانه گندم در شرایط تنش گرمایی نقش دارند. در این خصوص، در بررسی واکنش ارقام زراعی گندم بهاره به تنش گرما در مرحله گلدهی و پر شدن دانه در شرایط اهواز مشخص شد که ارقام متحمل به گرما با کوتاه کردن دوره رشد خود از مواجهه با

تنش گرما اجتناب کردند، هرچند وقوع گرما در اوایل دوره گلدهی سبب کاهش بیش‌تر تعداد دانه شد، در حالی که در شرایط کرج، ارقام متحمل تعداد دانه در سنبله بیش‌تر و دانه‌های درشت‌تری داشتند و به‌دلیل وقوع تنش در مراحل پس از گلدهی و زمان پر شدن دانه صرفاً وزن هزار دانه کاهش یافت (Rezaeizadeh *et al.*, 2020).

تعداد دانه در سنبله اصلی

نتایج تجزیه واریانس تعداد دانه در سنبله اصلی نشان داد که بین زمان‌های کاشت و بین ارقام و لاین‌ها در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش زمان کاشت \times رقم و لاین در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). کشت دیرهنگام به‌طور متفاوتی منجر به کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله اصلی ارقام و ایزولاین‌ها شد. در کاشت به‌هنگام، بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله اصلی به ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان و کم‌ترین آن به رقم و ایزولاین کل حیدری اختصاص یافت. در کاشت دیرهنگام نیز بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله اصلی به رقم و ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان و کم‌ترین آن به رقم و ایزولاین کل حیدری تعلق داشت (جدول ۵). در کشت دیرهنگام تعداد دانه در سنبله اصلی در رقم روشن، لاین ایزوژن روشن، رقم کل حیدری، لاین ایزوژن کل حیدری، رقم مهدوی، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به‌ترتیب به‌میزان ۳۰، ۳۶، ۳۵، ۲۳، ۲۸ و ۲۷ درصد در مقایسه با کاشت به‌هنگام کاهش یافت. روند تغییرات تعداد دانه در سنبله اصلی در هر دو تاریخ کاشت دیرهنگام نشان داد که تعداد دانه در سنبله اصلی رقم مهدوی در مقایسه با سایر رقم‌ها و ایزولاین‌ها، از ثبات بیش‌تری برخوردار بود و مقادیر کاهش بیش‌تری در لاین ایزوژن مهدوی (۲۸ درصد) در مقایسه با رقم مربوطه (۲۳ درصد) مشاهده شد، ولی مقادیر تعداد دانه در سنبله در ایزوژن لاین مهدوی در هر دو تاریخ کاشت به‌مراتب بیش‌تر از سایر ارقام و لاین‌ها بود. همچنین منطبق با نتایج عملکرد دانه، از نظر تعداد دانه در سنبله اصلی در هر دو تاریخ کاشت نیز رقم مهرگان با ایزولاین مهدوی برابری داشت (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد ارقام و لاین‌های ایزوژن نزدیک مختلف گندم در دو زمان کاشت

Table 3. Mean squares of morphological and yield traits of bread wheat cultivars and Near-isogenic lines under two sowing dates

Source of variation	df	Grain yield	Grain number per spike	Grain weight per spike	Spike weight	1000-grain weight	Biological yield	Harvest index	Plant height	Day to heading	Day to maturity
Block	2	1077258**	19.73**	0.129**	0.534**	0.228 ^{ns}	2924560 ^{ns}	43.69 ^{ns}	3.16 ^{ns}	16.2**	34.4**
Sowing date (A)	1	40794772**	1161**	3.69**	5.364**	32.26**	245543064**	49.07 ^{ns}	46267**	5281**	13644**
Error (a)	2	227785	10.45	0.028	0.025	4.87	484272	22.43	6.16	0.21	1.16
Near isogene line and cultivar (B)	6	5947166**	487**	0.577**	0.928**	300**	104208817**	58.89*	248**	130**	203**
A × B	6	277899*	8.44*	0.033*	0.054 ^{ns}	2.43 ^{ns}	44143390**	54.46*	88.8*	9.09**	12.63**
Error (b)	24	103241	3.66	0.009	0.037	4.54	5033907	19.80	36.4	0.13	0.21
CV (%)		6.39	6.27	6.47	8.59	4.02	13.90	13.98	7.91	0.42	0.41

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین رقم‌ها و لاین‌های ایزوژن نزدیک گندم نان از نظر وزن سنبله و وزن هزار دانه در دو زمان کاشت

Table 4. Mean comparison of bread wheat cultivars and near-isogenic lines for spike weight and 1000-grain weight under two sowing dates

Treatments	Spike weight (g)	1000-grain weight (g)
<u>Sowing date</u>		
Normal sowing date	2.62 ^a	53.8 ^a
Late sowing date	1.90 ^b	52.1 ^a
<u>Near isogene lines and cultivars</u>		
Roshan	2.02 ^b	52.7 ^d
Roshan's near-isogenic line	2.41 ^a	55.9 ^c
Kalheydari	1.72 ^b	59.3 ^b
Kalheydari's near-isogenic line	1.84 ^b	63.6 ^a
Mahdavi	2.63 ^a	46.6 ^{ef}
Mahdavi's near-isogenic line	2.71 ^a	48.3 ^e
Mehrgan	2.52 ^a	44.3 ^f

Means followed by at least one letter in each column are not significantly different using Duncan's test.

ارقام متحمل به تنش گرما شد (Shirdelmoghanloo *et al.*, 2022). در پژوهش حاضر نیز ایزولاین‌ها به دلیل زودرسی و انطباق الگوی نمو فنولوژیک خود با شرایط محیطی از جمله کاهش تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی و ممانعت از مواجه شدن با دماهای نسبتاً بالای آخر فصل، سبب پایداری تعداد دانه در سنبله اصلی نسبت به ارقام والدینی شدند (جدول ۴).

تعداد دانه در سنبله در محدوده نسبتاً وسیعی از زمان شروع آغازش سنبلیچه انتهایی تا زمان باروری تخمک‌ها تعیین می‌شود. طی این دوره، آغازش سنبلیچه‌ها در درون سنبله و آغازش گلچه‌ها در درون سنبلیچه‌ها صورت می‌پذیرد و بنابراین عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی می‌توانند تعداد دانه در سنبله را تحت تأثیر قرار دهند (Khichar & Niwas, 2006). همبستگی بالا و معنی‌دار بین تعداد دانه در سنبله اصلی با عملکرد دانه در این آزمایش ($r=0.93^{***}$) حاکی از آن بود که این صفت یکی از اجزای مهم و کلیدی تعیین‌کننده عملکرد است و تاریخ کاشت به‌هنگام و استفاده از لاین‌های زودرس سازگار با منطقه جهت پایداری عملکرد بایستی مورد توجه قرار گیرد. بیش‌تر محققان نیز اعتقاد دارند که افزایش عملکرد گندم بیش‌تر از طریق افزایش تعداد دانه در واحد سطح میسر است و از این‌رو تأثیر تعداد دانه در بهبود عملکرد بیش‌تر از تأثیر وزن دانه می‌باشد (Sadras, 2007).

منطبق با نتایج عملکرد دانه، تنش گرمای ناشی از کاشت دیرهنگام به دلیل هم‌زمانی دوران گلدهی و پرشدن دانه با تنش گرما و ایجاد اختلال در گرده‌افشانی منجر به عقیمی و کاهش تعداد دانه شد. کاهش تعداد دانه در سنبله در اثر تنش گرمای ناشی از تأخیر در کاشت در مراحل گلدهی و پرشدن دانه قبلاً نیز در گندم (Omidi *et al.*, 2022; Behneh *et al.*, 2015)، و جو (Oraki *et al.*, 2016) گزارش شده است. کشت تأخیری ممکن است طول دوره تشکیل آغازین‌های گل را به‌علت مصادف شدن با دمای بالا، کوتاه کند و تعداد دانه در سنبله را کاهش دهد. همچنین دمای بالا در زمان گرده‌افشانی سبب اختلال در قدرت جوانه‌زنی دانه گرده روی کلاله می‌شود و به دلیل اختلال در تلقیح و تشکیل دانه، تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد (Omidi *et al.*, 2015). در کشت دیرهنگام، هم‌زمانی مرحله گلدهی با دماهای بالا در آخر فصل رشد منجر به ناهنجاری‌های میوزی ژنوتیپ‌ها می‌شود. وجود همبستگی منفی بین افزایش ناهنجاری‌های میوزی با تعداد دانه در سنبله تحت تنش گرما نشان‌دهنده تأثیر منفی تنش گرما بر دانه‌بندی و بنابراین تعداد دانه در سنبله به‌ویژه در ژنوتیپ‌های حساس است (Omidi *et al.*, 2015). در مطالعه ۱۵۷ رقم جو گزارش شد که گلدهی زودهنگام و افزایش سرعت پر شدن دانه، سبب طولانی‌تر شدن مدت زمان پر شدن دانه و حفظ و پایداری تعداد دانه در سنبله در

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت با رقم‌ها و لاین‌های ایزوژن نزدیک گندم از نظر صفات مورفولوژیک و عملکردی

Table 5. Comparison of means of interaction effect of sowing dates with bread wheat cultivars and near-isogenic lines for phenological and yield traits

Sowing date	Near isogene line and cultivar	Grain yield (kg.ha ⁻¹)	No. of grains per spike	Grain weight per spike (g)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Harvest index (%)	Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity
Normal sowing date	Roshan	5689 ^c	33.2 ^c	1.66 ^c	14513 ^{d-f}	38.2 ^a	105 ^{bc}	104 ^a	140 ^a
	Roshan's near-isogenic line	6545 ^b	34.6 ^c	1.98 ^b	21460 ^{ab}	30.8 ^{a-e}	118 ^a	99 ^c	132 ^d
	Kalheydari	4137 ^{gh}	22.8 ^d	1.22 ^{gh}	13528 ^{fg}	29.9 ^{c-e}	115 ^a	103 ^b	138 ^b
	Kalheydari's near-isogenic line	4719 ^{d-f}	24.5 ^d	1.43 ^{d-f}	13839 ^{ef}	34.8 ^{a-d}	119 ^a	97 ^e	131 ^e
	Mahdavi	6710 ^b	42.5 ^b	2.07 ^{ab}	23252 ^a	28.9 ^{de}	103 ^{bc}	101 ^c	135 ^c
	Mahdavi's near-isogenic line	7293 ^a	47.1 ^a	2.21 ^a	24289 ^a	30.3 ^{b-e}	110 ^{ab}	90 ^f	121 ^g
	Mehrgan	6951 ^{ab}	46 ^a	2.14 ^{ab}	19026 ^{bc}	37.4 ^{a-c}	97 ^c	90 ^f	123 ^f
Late sowing date	Roshan	3640 ^{hi}	22.6 ^d	1.12 ^{hi}	12446 ^{fg}	30.6 ^{b-e}	46 ^{de}	79 ^g	101 ^h
	Roshan's near-isogenic line	4279 ^{fg}	24.1 ^d	1.28 ^{f-h}	15035 ^{d-f}	28.1 ^{de}	54 ^d	76 ⁱ	96 ^j
	Kalheydari	2860 ^j	14.6 ^e	0.87 ^j	7741 ^h	37.5 ^{ab}	42 ^{ef}	79 ^g	99 ⁱ
	Kalheydari's near-isogenic line	3256 ^{ij}	15.9 ^e	0.99 ^{ij}	9823 ^{gh}	33.5 ^{a-d}	43 ^{ef}	74 ^j	95 ^k
	Mahdavi	4388 ^{e-g}	33.8 ^c	1.33 ^{e-g}	17904 ^{b-d}	25.2 ^e	33 ^f	77 ^h	99 ⁱ
	Mahdavi's near-isogenic line	4939 ^d	33.4 ^c	1.48 ^{de}	17531 ^{c-e}	28.3 ^{de}	43 ^{ef}	70 ^l	89 ^m
	Mehrgan	4883 ^{de}	4883 ^c	1.50 ^{cd}	15578 ^{c-f}	32.1 ^{a-e}	41 ^{ef}	72 ^k	91 ^l

Means followed by at least one letter in each column are not significantly different using Duncan's test.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات فنولوژیک و عملکردی ارقام و لاین‌های ایزوژن گندم در دو زمان کاشت

Table 6. Correlation coefficients between phenological and yield traits of bread wheat cultivars and isogenic lines under two sowing dates

Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grain yield	1									
No. of grains per spike	0.93**	1								
Grain weight per spike	0.99**	0.93**	1							
1000-grain weight	0.44*	0.68**	0.450*	1						
Spike weight	0.95**	0.89**	0.95**	0.43*	1					
Plant height	0.63**	0.42 ^{ns}	0.61**	0.25 ^{ns}	0.57**	1				
Biological yield	0.86**	0.85**	0.86*	0.50*	0.85**	0.42 ^{ns}	1			
Harvest index	0.046 ^{ns}	0.061 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.44 ^{ns}	1		
Days to heading	0.48*	0.29 ^{ns}	0.46*	0.26 ^{ns}	0.43*	0.91**	0.31 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1	
Days to maturity	0.53**	0.34 ^{ns}	0.51**	0.22 ^{ns}	0.47*	0.93**	0.35 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.99**	1

وزن دانه در سنبله اصلی

نتایج تجزیه واریانس وزن دانه در سنبله اصلی نشان داد که بین زمان‌های کاشت و همچنین بین رقم‌ها و لاین‌ها در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش زمان کاشت با رقم و لاین در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). بررسی برهم‌کنش زمان کاشت × رقم و لاین نشان داد که کشت دیرهنگام به‌طور متفاوتی منجر به کاهش معنی‌دار وزن دانه در سنبله اصلی رقم‌ها و لاین‌ها شد. در کاشت به‌هنگام، بیش‌ترین وزن دانه در سنبله به ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان و کم‌ترین آن به رقم و ایزولاین کل حیدری تعلق داشت. در کاشت دیرهنگام نیز بالاترین وزن دانه در رقم و ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان و کم‌ترین آن در رقم و ایزولاین کل حیدری و رقم روشن مشاهده شد (جدول ۵). تنش گرمای ناشی از کشت دیرهنگام منجر به کاهش وزن دانه در سنبله اصلی در رقم روشن، لاین ایزوژن روشن، رقم کل حیدری، لاین ایزوژن کل حیدری، رقم مهدوی، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به‌ترتیب به‌میزان ۳۲، ۳۶، ۲۹، ۳۱، ۳۶، ۳۳ و ۳۰ درصد در مقایسه با کاشت به‌هنگام شد. بررسی روند تغییرات تعداد دانه در سنبله اصلی در کاشت دیرهنگام نشان داد که اگرچه وزن دانه در سنبله اصلی ایزولاین مهدوی در مقایسه با سایر رقم‌ها و لاین‌ها، از ثبات بیش‌تری برخوردار بود و مقادیر کاهش بیش‌تری در لاین‌های ایزوژن در مقایسه با ارقام مشاهده شد، با این‌حال مقادیر وزن دانه در سنبله اصلی در بیش‌تر لاین‌های ایزوژن در هر دو تاریخ کاشت به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از ارقام مربوطه بود. همچنین منطبق

با نتایج عملکرد دانه، رقم مهرگان از نظر وزن دانه در سنبله اصلی در هر دو تاریخ کاشت با رقم و ایزولاین مهدوی برابری داشت (جدول ۵).

ضریب همبستگی معنی‌دار بین وزن دانه در سنبله اصلی با تعداد دانه در سنبله اصلی ($r=0.93^{**}$) مؤید این نکته است که کاهش وزن دانه در سنبله اصلی در این آزمایش مرتبط با کاهش تعداد دانه در سنبله اصلی تحت شرایط کشت دیرهنگام بود و این کاهش به‌ویژه در ایزولاین روشن و رقم مهدوی بیش‌تر بود. از سوی دیگر، دلیل تغییر وزن تک‌دانه به تفاوت در تعداد سلول‌های آندوسپرم، طول پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه و قدرت جذب مواد فتوسنتزی نسبت داده شده است (Fischer, 2011). تفاوت وزن دانه در سنبله اصلی در بین رقم‌ها و ایزولاین‌های مطالعه شده در این آزمایش، بیانگر پتانسیل‌های متفاوت آن‌ها از نظر وزن دانه در سنبله است و نشان می‌دهد که امکان گزینش ارقام متحمل به تنش گرما با حفظ و پایداری عملکرد و استفاده از آن در برنامه‌های به‌نژادی گندم وجود دارد (Tewolde *et al.*, 2006; Modarresi *et al.*, 2011).

وزن سنبله اصلی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین زمان‌های کاشت، و نیز بین رقم‌ها و لاین‌ها از نظر وزن سنبله اصلی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت، ولی برهم‌کنش زمان کاشت با رقم‌ها و لاین‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج نشان داد که کشت دیرهنگام سبب کاهش معنی‌دار و ۲۷ درصدی وزن سنبله

ثبات و پایداری عملکرد است. گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر ناچیز تنش گرمای آخر فصل بر وزن هزار دانه گندم (Omidi *et al.*, 2015; Joshi *et al.*, 2016) و جو (Oraki *et al.*, 2016) وجود دارد.

نتایج این آزمایش نشان داد که ایزولاین‌های مورد مطالعه به‌ویژه ایزولاین روشن و کل حیدری در مقایسه با ارقام خود دارای وزن هزار دانه بالاتری بودند. علاوه بر این، وزن هزار دانه رقم و ایزولاین روشن و کل حیدری در هر دو تاریخ کاشت به‌مراتب بالاتر از رقم و ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان بود که این امر ممکن است مرتبط با تعداد کم‌تر دانه در سنبله اصلی آن‌ها و اثر جبرانی اجزای عملکرد در راستای حفظ و پایداری عملکرد باشد. تنوع ژنتیکی از نظر وزن هزار دانه در گندم (Omidi *et al.*, 2016; Joshi *et al.*, 2015) و جو (Oraki *et al.*, 2016) نیز گزارش شده است.

عملکرد زیست‌توده

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین زمان‌های کاشت، رقم‌ها و لاین‌ها و برهم‌کنش زمان کاشت با رقم‌ها و لاین‌ها از نظر عملکرد زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). برهم‌کنش زمان کاشت با رقم‌ها و لاین‌ها حاکی از واکنش متفاوت عملکرد زیست‌توده رقم‌ها و لاین‌های مورد مطالعه در تاریخ‌های کاشت مختلف بود و کشت دیرهنگام به‌طور متفاوتی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده رقم‌ها و لاین‌ها شد. در کاشت به‌هنگام، بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده به رقم و ایزولاین مهدوی و کم‌ترین آن به رقم روشن و رقم و ایزولاین کل حیدری تعلق داشت. در کاشت دیرهنگام نیز بالاترین عملکرد زیست‌توده به رقم و ایزولاین مهدوی و کم‌ترین آن به رقم کل حیدری اختصاص یافت (جدول ۵).

تنش گرمای ناشی از کاشت دیرهنگام منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده در رقم روشن، لاین ایزوژن روشن، رقم کل حیدری، لاین ایزوژن کل حیدری، رقم مهدوی، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به‌ترتیب به‌میزان ۱۴، ۳۰، ۴۳، ۲۹، ۲۳، ۲۷ و ۱۸ درصد شد. اگرچه مقادیر کاهش بیش‌تری در لاین‌های ایزوژن مهدوی و روشن (به‌ترتیب ۲۷ و ۳۰ درصد) در مقایسه با رقم‌های آن‌ها (به‌ترتیب ۲۳ و ۱۴ درصد) مشاهده شد، ولی مقادیر عملکرد زیست‌توده در لاین‌های ایزوژن در هر دو تاریخ

اصلی در مقایسه با کشت به‌هنگام در همه ارقام و ایزولاین‌ها شد. بیش‌ترین وزن سنبله اصلی (۲/۶۲ گرم) مربوط به کشت به‌هنگام و کم‌ترین مقدار آن (۱/۹ گرم) مربوط به کشت دیرهنگام بود (جدول ۴). تفاوت بین رقم‌ها و ایزولاین‌ها نیز از نظر وزن سنبله اصلی معنی‌دار بود، به‌گونه‌ای که رقم و ایزولاین مهدوی به‌ترتیب با ۲/۶۳ و ۲/۷۱ گرم دارای بیش‌ترین و رقم و ایزولاین کل حیدری به‌ترتیب با ۱/۷۲ و ۱/۸۴ گرم دارای کم‌ترین وزن سنبله اصلی بودند (جدول ۴).

منطبق با نتایج عملکرد دانه، در این پژوهش مشخص شد که ایزولاین‌های مورد مطالعه در مقایسه با ارقام وزن سنبله بالاتری از خود نشان دادند. اگرچه این تفاوت‌ها تنها در بین رقم و ایزولاین روشن معنی‌دار بود. به هر حال، وزن سنبله اصلی در رقم و ایزولاین مهدوی به‌مراتب بالاتر از سایر رقم‌ها و ایزولاین‌ها بود که این امر ممکن است مرتبط با سازگاری بهتر این رقم و ایزولاین با شرایط گرمای آخر فصل در مراحل گلدهی و پر شدن دانه باشد. وزن سنبله اصلی همبستگی معنی‌داری با وزن دانه در سنبله (** $r=0/95$) و تعداد دانه در سنبله (** $r=0/89$) داشت که این همبستگی حاکی از تأثیرپذیری بالای این صفت از وزن دانه و تعداد دانه در سنبله است.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت، ولی بین رقم‌ها و لاین‌ها در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش زمان کاشت با رقم و لاین در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه مشاهده شد (جدول ۳). وزن دانه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر و تعیین‌کننده عملکرد دانه می‌باشد که بستگی به سرعت و مدت زمان پر شدن دانه دارد. بیش‌ترین وزن هزار دانه (۶۳/۶ گرم) متعلق به ایزولاین کل حیدری بود که با سایر رقم‌ها و ایزولاین‌ها تفاوت معنی‌داری داشت و کم‌ترین آن (۴۴/۳ گرم) به رقم مهرگان اختصاص یافت (جدول ۴).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه در شرایط تنش تغییرات ناچیزی از خود نشان داد. تفاوت جزئی وزن هزار دانه ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی و پتانسیل متفاوت رقم‌ها و ایزولاین‌ها است. به‌نظر می‌رسد بالا بودن وزن هزار دانه و پایداری آن در شرایط تنش از ویژگی‌های مطلوب یک ژنوتیپ و یکی از عوامل

۸/۹، ۳/۹، ۱۲/۹، ۶/۵ و ۱۴/۱ درصد شد، ولی در رقم کل حیدری به‌میزان ۲۵ درصد افزایش یافت (جدول ۵). اگرچه کاشت دیرهنگام منجر به کاهش هم‌زمان رشد رویشی و زایشی می‌شود، اما گمان می‌رود که رشد زایشی گیاه از محدودیت‌های رشدی ایجاد شده ناشی از کاشت دیرهنگام تأثیر بیشتری پذیرفته و سبب کاهش شاخص برداشت شده است. البته سازوکارهای تحمل به گرما در برخی رقم‌ها و ایزولاین‌ها ممکن است باعث تأثیرپذیری کم‌تر آن‌ها از تنش گرما شده و واکنش متفاوتی در شاخص برداشت این رقم‌ها مشاهده شود. در پژوهش حاضر، دلیل افزایش شاخص برداشت رقم کل حیدری در کشت دیرهنگام را می‌توان به تأثیرپذیری بیش‌تر عملکرد زیست‌توده (۴۳ درصد) در مقابل عملکرد دانه (۳۱ درصد) در اثر تأخیر در کاشت نسبت داد.

شاخص برداشت بیانگر چگونگی تسهیم مواد پرورده بین بخش‌های رویشی و زایشی گیاه است. تغییرات این شاخص وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. نتایج این پژوهش با گزارش‌های سایر پژوهش‌گران مبنی بر کاهش شاخص برداشت در شرایط تأخیر در کاشت و وقوع تنش گرمای آخر فصل مطابقت داشت (Singh et al., 2011; Omidi et al., 2015).

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین زمان‌های کاشت، و نیز بین رقم‌ها و لاین‌ها در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش زمان کاشت با رقم‌ها و لاین‌ها در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته وجود داشت (جدول ۳). معنی‌داری برهم‌کنش زمان کاشت در ارقام و لاین‌ها حاکی از واکنش متفاوت و تفاوت رشدی ارقام و لاین‌ها در تاریخ کاشت‌های مختلف بود. در کاشت به‌هنگام، رقم کل حیدری به‌همراه هر سه ایزولاین کل حیدری، روشن و مهدوی دارای بیش‌ترین و رقم مهرگان دارای کم‌ترین ارتفاع بوته بودند. در کاشت دیرهنگام، ایزولاین روشن دارای بیش‌ترین و رقم مهدوی دارای کم‌ترین ارتفاع بوته بود (جدول ۵). تنش گرما منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در رقم روشن، لاین ایزوژن روشن، رقم کل حیدری، لاین ایزوژن کل حیدری، رقم مهدوی، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به‌ترتیب به‌میزان ۵۵، ۵۴، ۶۳، ۶۴، ۶۷، ۶۰ و ۵۷ درصد شد.

کشت به‌مراتب بیش‌تر از رقم‌ها آن‌ها بود. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد دانه، تولید ماده خشک در گیاهان است. این ویژگی پتانسیل گیاه را در جذب نور و تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی نشان می‌دهد (Reynolds et al., 2009). احتمال می‌رود که تنش گرما در مراحل انتهایی از طریق کاهش ارتفاع بوته و کاهش استفاده از نور خورشید جهت فتوسنتز و اختلال در گلدهی و تولید دانه باعث کاهش عملکرد دانه و در نهایت زیست‌توده شده است. نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج گزارش‌های قبلی مبنی بر کاهش زیست‌توده تولیدی در شرایط کشت تأخیری و تنش گرمایی آخر فصل مطابقت داشت (Singh et al., 2011; Omidi et al., 2015).

عملکرد زیست‌توده همبستگی بالایی با تعداد دانه در سنبله ($r=0/85^{**}$) و وزن دانه در سنبله ($r=0/86^{**}$) و عملکرد دانه ($r=0/86^{**}$) داشت و به‌نظر می‌رسد این ارتباط نقش مهمی در تولید عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه داشته باشد. در این پژوهش برتری عملکرد زیست‌توده با نتایج عملکرد دانه نیز انطباق داشت (جدول ۶). به هر روی تأثیر تنش گرما در شروع گلدهی تا مراحل اولیه پر شدن دانه به‌مراتب شدیدتر از سایر مراحل رشدی است و باعث کاهش شدید تجمع ماده خشک و عملکرد دانه گندم می‌شود. بنابراین، مدیریت تنش گرمای آخر فصل به‌منظور حفظ و پایداری عملکرد گندم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Rehman et al., 2021).

شاخص برداشت

اثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود، ولی بین رقم‌ها و لاین‌ها و برهم‌کنش زمان کاشت با رقم‌ها و لاین‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۳). کشت دیرهنگام به‌طور متفاوتی منجر به تغییر شاخص برداشت (کاهش، عدم تغییر، افزایش) رقم‌ها و لاین‌ها شد. در کاشت به‌هنگام، بیش‌ترین شاخص برداشت در رقم‌های روشن و مهرگان و ایزولاین کل حیدری و کم‌ترین آن در رقم مهدوی مشاهده شد. در کاشت دیرهنگام نیز بالاترین عملکرد به رقم و ایزولاین کل حیدری و کم‌ترین آن به رقم مهدوی اختصاص یافت (جدول ۵). تنش گرما منجر به کاهش معنی‌دار شاخص برداشت در رقم روشن، لاین ایزوژن روشن، لاین ایزوژن کل حیدری، رقم مهدوی، لاین ایزوژن مهدوی و رقم مهرگان به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۸،

مورد مطالعه به دلیل اهداف به‌نژادی برای زودرسی، تعداد روز تا گلدهی کاهش یافته و از مواجه شدن دوران گلدهی و گرده‌افشانی با تنش گرمای آخر فصل و اثرات نامطلوب آن بر عملکرد و اجزای آن تا حدودی زیادی جلوگیری شده است. در مطالعه‌ای گزارش شده است که در کاشت دیرهنگام، تأخیر در نمو زایشی در اثر تأخیر در کاشت و افزایش تعداد روز تا خوشه‌دهی سبب می‌شود گل‌دهی و گرده‌افشانی با دمای بالا مواجه شود و سبب کاهش توان جوانه‌زنی دانه‌های گرده روی کلاله و در نتیجه کاهش لقاح و تعداد دانه در سنبله و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Mousavi et al., 2021). همچنین گزارش شده است که تنش گرما علاوه بر ایجاد اختلال در مراحل مختلف میوز و تولید گامت‌های نابارور، توانایی جوانه‌زنی دانه گرده را کاهش می‌دهد (Omid et al., 2015; Oraki et al., 2016).

تعداد روز از کاشت تا رسیدگی

بین زمان‌های کاشت و بین رقم‌ها و لاین‌ها از نظر تعداد روز از کاشت تا رسیدگی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت، ولی برهم‌کنش زمان کاشت با رقم‌ها و لاین‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). تنش گرمای آخر فصل در کشت دیرهنگام باعث کاهش معنی‌دار تعداد روز تا رسیدگی شد، به‌گونه‌ای که بالاترین تعداد روز تا رسیدگی در کشت به‌هنگام (۱۲۱ روز) و کم‌ترین تعداد در کشت دیرهنگام (۱۱۲ روز) مشاهده شد (جدول ۴). بین رقم‌ها و ایزولاین‌ها نیز از نظر تعداد روز از کاشت تا رسیدگی تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد روز تا رسیدگی مربوط به ارقام روشن، کل حیدری و مهدوی (۱۲۴ روز) و کم‌ترین آن مربوط به ایزولاین‌های مهدوی و مهرگان (۱۰۷ روز) و سپس ایزولاین‌های روشن و کل حیدری (۱۱۵ روز) بود.

در کشت به‌هنگام، تعداد روز از کاشت تا رسیدگی در ایزولاین‌های روشن، کل حیدری و مهدوی، به‌ترتیب ۸، ۷ و ۱۴ روز کم‌تر از رقم‌های والدی بود، در حالی‌که مقادیر کاهش در کشت دیرهنگام به‌ترتیب ۵، ۴ و ۱۰ روز بود (جدول ۵). در بیش‌تر مناطق گرم و خشک جنوب کشور رقم‌های گندم کم‌ترین تعداد روز تا بلوغ و رسیدگی را در شرایط تنش نشان می‌دهند که بیانگر این است که این رقم‌ها مراحل رشد خود را با شرایط گرمای آخر فصل

بین رقم‌ها و ژنوتیپ‌های گندم از نظر ارتفاع بوته تنوع ژنتیکی وجود دارد، به‌گونه‌ای که کاهش ارتفاع بوته ارقام متحمل تحت شرایط تنش گرمای آخر فصل قبلاً نیز در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Modarresi et al., 2011; Omid et al., 2015; Rezaeizadeh et al., 2020). کاهش ارتفاع بوته گندم با شروع تنش گرمای به توقف رشد رویشی گندم و آغاز فاز زایشی و تولید سنبله و نیز تسریع تبدیل جوانه رویشی به زایشی نسبت داده شده است (Modarresi et al., 2011).

تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی

بین زمان‌های کاشت و برهم‌کنش زمان کاشت و ارقام و لاین‌ها از نظر تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی بین ارقام و لاین‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). زمان شروع دوره زایشی در گندم، یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده عملکرد دانه است. بین ارقام و ایزولاین‌ها از نظر تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد روز تا خوشه‌دهی مربوط به ارقام روشن، کل حیدری و مهدوی (به‌ترتیب ۱۰۴، ۱۰۳ و ۱۰۱ روز) در کشت به‌هنگام و کم‌ترین آن مربوط به ایزولاین مهدوی و رقم مهرگان (به‌ترتیب ۷۰ و ۷۲ روز) و سپس ایزولاین کل حیدری (۷۴ روز) در کاشت دیرهنگام بود (جدول ۵).

در کشت به‌هنگام، تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی در ایزولاین‌های روشن، کل حیدری و مهدوی، به‌ترتیب ۵، ۶ و ۱۱ روز کم‌تر از ارقام والد بود، در حالی‌که مقادیر کاهش در کشت دیرهنگام به‌ترتیب ۳، ۵ و ۷ روز بود (جدول ۵). تعداد روز بیش‌تر از کاشت تا خوشه‌دهی ارقام مورد مطالعه به مفهوم برخورد مرحله گلدهی این ارقام با دمای بالای محیط است و بنابراین به‌نظر می‌رسد که زودرسی رقم مهرگان و ایزولاین‌ها، یکی از دلایل مهم پایداری و حفظ عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط کاشت به‌هنگام و دیرهنگام باشد. در مطالعه‌ای با شرایط آب و هوایی مشابه با این پژوهش نیز مشخص شد که در بین ارقام مختلف گندم نان، تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی در ارقام حساس گندم به مراتب از ارقام متحمل به گرما در هر دو شرایط کاشت به‌هنگام و تأخیری بیش‌تر بود (Omid et al., 2015). به هر حال، در ایزولاین‌های

شدن دوران رشد زایشی با تنش گرمای ناشی از کاشت دیرهنگام به‌عنوان یکی از اهداف مهم به‌نژادی در مناطق گرمسیری جلوگیری می‌کند. در این پژوهش، تمامی لاین‌های ایزوژن به‌دلیل زودرسی و پایداری عملکرد، دارای عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با رقم‌های والدی خود بودند. با این‌حال، لاین ایزوژن مهدوی دارای بالاترین عملکرد دانه در هر دو تاریخ کاشت به‌هنگام و دیرهنگام بود و در مقایسه با سایر رقم‌ها و ایزولاین‌ها توانست عملکرد دانه خود را در مواجهه با تنش گرمای آخر فصل به‌خوبی حفظ کند و بنابراین همانند رقم مهرگان برای هر دو شرایط کشت به‌هنگام و دیرهنگام در منطقه خوزستان توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای اجرای این پژوهش به شماره پژوهانه SCU.AA1401.96 سپاسگزاری می‌کنند.

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 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.

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.

منطبق می‌کنند و در نهایت با کاهش عملکرد کم‌تری مواجه می‌شوند (Mousavi *et al.*, 2021). کاهش تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی و همچنین تعداد روز از کاشت تا رسیدگی در کشت تأخیری به‌دلیل وقوع تنش گرمای آخر فصل و کاهش دوره رشد و نمو گندم در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (Singh *et al.*, 2011). در این پژوهش نیز ارقام مورد مطالعه دارای بیش‌ترین تعداد روز از کاشت تا رسیدگی بودند و طولانی بودن مراحل فنولوژیک منجر به برخورد مرحله زایشی با تنش گرمای آخر فصل شد و بنابراین کاهش عملکرد بیش‌تری مشاهده شد. از سوی دیگر، تنش گرمای ناشی از تاریخ کاشت دیرهنگام به‌دلیل هم‌زمانی مراحل زایشی با تنش گرمای آخر فصل و دریافت واحدهای دمایی موردنیاز، تعداد روز تا رسیدگی را کاهش داده و مقادیر این کاهش در لاین‌های ایزوژن مورد مطالعه بیش‌تر بوده و از مواجهه دوران پرشدن دانه با تنش گرمای آخر فصل و اثرات نامطلوب آن بر عملکرد و اجزای آن تا حدودی زیادی جلوگیری شده است. دلیل کاهش تعداد روز تا رسیدگی در شرایط تنش، سرعت بیش‌تر دریافت واحدهای حرارتی ژنوتیپ‌ها جهت تکمیل مراحل رشدی و ورود به مرحله زایشی و رسیدگی بیان شده است (Bavei *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تنش گرمای ناشی از کشت دیرهنگام، از طریق کاهش صفات فنولوژیک تعداد روز از کاشت تا خوشه‌دهی و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی و اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، به‌طورمتفاوتی سبب کاهش عملکرد دانه در ارقام و لاین‌های ایزوژن شد. لاین‌های ایزوژن در مقایسه با رقم‌ها در هر دو تاریخ کاشت به‌هنگام و دیرهنگام دارای عملکرد بالاتری بودند و در برخی موارد با وجود کاهش بیش‌تر عملکرد دانه در کاشت دیرهنگام، به‌دلیل مقادیر بالاتر عملکرد دانه در هر دو تاریخ کاشت نسبت به رقم‌ها دارای برتری بودند. مواجهه شدن مراحل فنولوژیک ارقام با تنش گرمای آخر فصل در مراحل گلدهی و پس از آن، یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد گندم در شرایط آب و هوایی خوزستان می‌باشد. بر همین اساس، در شرایط کشت به‌هنگام، استفاده از ایزولاین‌های زودرس، اگرچه بر عملکرد دانه تأثیر دارد، اما کوتاه شدن دوره رشد از مواجهه

References

- Bavei, V., Vaezi, B., Abdipour, M., Kamali, M. J., & Roustaii, M. (2011). Screening of tolerant spring barleys for terminal heat stress: different importance of yield components in barleys with different row type. *International Journal of Plant Breeding & Genetics*, 5(3), 175-193. doi: [10.3923/ijpb.2011.175.193](https://doi.org/10.3923/ijpb.2011.175.193).
- Behneh, M., Rezvan, S., Sanjani, S., & Masoud Sinaki, J. (2022). Response of agronomic and phenological characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars with different growth habit to delayed planting. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(4), 451-466. [In Persian]. doi: [10.22067/jcesc.2022.75720.1151](https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75720.1151).
- Blum, A. (2010). *Plant Breeding for Water Limited Environments*. Springer, New York. doi: [10.1007/978-1-4419-7491-4](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4).
- Cockram, J., Jones, H., Leigh, F. J., O'Sullivan, D., Powell, W., Laurie, D. A., & Greenland, A. J. (2007). Control of flowering time in temperate cereals: Genes, domestication, and sustainable productivity. *Journal of Experimental Botany*, 58, 1231-1244. doi: [10.1093/jxb/erm042](https://doi.org/10.1093/jxb/erm042).
- Fischer, R. A. (2011). Wheat physiology: A review of recent developments. *Crop & Pasture Science*, 62(2), 95-114. doi: [10.1071/CP10344](https://doi.org/10.1071/CP10344).
- Dorrani-Nejad, M., Kazemipour, A., Maghsoudi-Moud, A. A. & Abdolshahi, R. (2022). Wheat breeding for early heading: does it improve grain yield under drought stress and well-watered conditions? *Environmental & Experimental Botany*, 200, 104902. doi: [10.1016/j.envexpbot.2022.104902](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104902).
- Garshasbi, L., Paknejad, F., Jasemi, S., Ilkaee, M. N., & Sanjani, S. (2020). Evaluation of quantitative traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in different planting dates. *Journal of Agroecology*, 12(4), 703-721. [In Persian]. doi: [10.22067/agry.2021.37597](https://doi.org/10.22067/agry.2021.37597).
- Harrison, M. T. (2021). Climate change benefits negated by extreme heat. *Nature Food*, 2(11), 855-856. doi: [10.1038/s43016-021-00387-6](https://doi.org/10.1038/s43016-021-00387-6).
- Hill, C. B., & Li, C. (2022). Genetic improvement of heat stress tolerance in cereal crops. *Agronomy*, 12(5), 1205. doi: [10.3390/agronomy12051205](https://doi.org/10.3390/agronomy12051205).
- Hyles, J., Bloomfield, M. T., Hunt, J. R., Trethowan, R. M., & Trevaskis, B. (2020). Phenology and related traits for wheat adaptation. *Heredity*, 125, 417-430. doi: [10.1038/s41437-020-0320-1](https://doi.org/10.1038/s41437-020-0320-1).
- Izanloo, A., Condon, A., Langridge, P., Tester, M., & Schnurbusch, T. (2008). Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany*, 59, 3327-3346. doi: [10.1093/jxb/ern199](https://doi.org/10.1093/jxb/ern199).
- Joshi, M. A., Faridullah, S., & Kumar, A. (2016). Effect of heat stress on crop phenology, yield and seed quality attributes of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agrometeorology*, 18(2), 206-215. doi: [10.54386/jam.v18i2.937](https://doi.org/10.54386/jam.v18i2.937).
- Khichar, M. L., & Niwas, R. (2006). Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. *Journal of Agrometeorology*, 8, 201-209. doi: [10.54386/jam.v8i2.1048](https://doi.org/10.54386/jam.v8i2.1048).
- 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., Aggarwal, P. K., et al. (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).
- Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A., & Mardi, M. (2011). Evaluation of heat stress tolerance indices in wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(3), 465-474. [In Persian]. doi: [20.1001.1.20084811.1390.42.3.4.4](https://doi.org/20.1001.1.20084811.1390.42.3.4.4).
- Moshatati, A., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., & Jalal-Kamali, M. R. (2018). The effect of growth and development periods on grain yield of spring bread wheat under terminal heat stress in Ahwaz. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 197-209. [In Persian]. doi: [10.22077/escs.2017.355.1067](https://doi.org/10.22077/escs.2017.355.1067).
- Mousavi, F., Siahpoosh, M. R., & Sorkheh, K. (2021). Influence of sowing date and terminal heat stress on phenological features and yield components of bread wheat genotypes. *Plant Productions*, 44(2), 157-170. [In Persian]. doi: [10.22055/ppd.2019.28957.1744](https://doi.org/10.22055/ppd.2019.28957.1744).
- Omidi, M., Siahpoosh, M., Mamghani, R., & Modarresi, M. (2015). Heat tolerance evaluating of wheat cultivars using physiological characteristics and stress tolerance indices in Ahwaz climatic conditions. *Plant Productions*, 38(1), 103-113. [In Persian]. doi: [10.22055/ppd.2015.11135](https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11135).
- Oraki, A., Siahpoosh, M. R., Rahnama, A., & Lakzadeh, I. (2016). The effects of terminal heat stress on yield, yield components, and some morpho-phenological traits of barley genotypes (*Hordeum*

- vulgare* L.) in Ahvaz weather conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 47(1), 29-40. [In Persian]. doi: [10.22059/ijfcs.2016.63586](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2016.63586).
- Rajaram, S. (2001). Prospects and promise of wheat breeding in the 21st century. *Euphytica*, 119, 3-15. doi: [10.1023/A:1017538304429](https://doi.org/10.1023/A:1017538304429).
- Rehman, H. U., Tariq, A., Ashraf, I., Ahmed, M., Muscolo, A., Basra, S. M. A., & Reynolds, M. (2021). Evaluation of physiological and morphological traits for improving spring wheat adaptation to terminal heat stress. *Plants*, 10(3), 455. doi: [10.3390/plants10030455](https://doi.org/10.3390/plants10030455).
- Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A., Snape, J. W., & Angus, W. J. (2009). Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(7), 1899-1918. doi: [10.1093/jxb/erp016](https://doi.org/10.1093/jxb/erp016).
- Rezaeizadeh, A., Mohammadi, V., Siahpoosh, M., & Ahmadi, A. (2020). The response of Iranian spring wheat cultivars to heat stress at anthesis and grain filling stages. *Journal of Crop Breeding*, 12(33), 102-109. [In Persian]. doi: [10.29252/jcb.12.33.102](https://doi.org/10.29252/jcb.12.33.102).
- Rousset, M., Bonnin, I., Remoué, C., Falque, M., Rhoné, B., Veyrieras, J. B., Madur, D., Murigneux, A., Balfourier, F., & Le Gouis, J. (2011). Deciphering the genetics of flowering time by an association study on candidate genes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical & Applied Genetics*, 123, 907-926. doi: [10.1007/s00122-011-1636-2](https://doi.org/10.1007/s00122-011-1636-2).
- Sade, N., del Mar Rubio-Wilhelmi, M., Umnajkitikorn, K., & Blumwald, E. (2018). Stress-induced senescence and plant tolerance to abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 69(4), 845-853. doi: [10.1093/jxb/erx235](https://doi.org/10.1093/jxb/erx235).
- Sadras, V. O. (2007). Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. *Field Crops Research*, 100(2-3), 125-138. doi: [10.1016/j.fcr.2006.07.004](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.004).
- Salehi, F., Rahnema, A., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, K., & Ghorbanpour, M. (2023). Physiological and metabolic changes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to terminal heat stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 6585-6600. doi: [10.1007/s00344-023-10911-6](https://doi.org/10.1007/s00344-023-10911-6).
- Seimrizade, S., Moshatati, A., Bakhshandeh, A., Khodaei Joghhan, A., & Koochekzadeh, A. (2021). The effect of vermicompost on yield and yield components of wheat under terminal heat stress conditions in Ahvaz. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(4), 1139-1145. [In Persian]. doi: [10.22077/escs.2020.3384.1853](https://doi.org/10.22077/escs.2020.3384.1853).
- Sharma, D., Singh, R., Rane, J., Gupta, V. K., Mamrutha, H. M., & Tiwari, R. (2016). Mapping quantitative trait loci associated with grain filling duration and grain number under terminal heat stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Breeding*, 135, 538-545. Doi: [10.1111/pbr.12405](https://doi.org/10.1111/pbr.12405).
- Shirdelmoghanloo, H., Chen, K., Paynter, B., Angessa, T. T., Westcott, S., Khan, H. A., Hill, C. B., & Li, C. (2022). Grain-filling rate improves physical grain quality in barley under heat stress conditions during the grain-filling period. *Frontiers in Plant Science*, 13, 858652. doi: [10.3389/fpls.2022.858652](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.858652).
- Shirdelmoghanloo, H., Taylor, J. D., Lohraseb, I., Rabie, H., Brien, C., Timmins, A., Martin, P., Mather, D. E., Emebiri, L., & Collins, N. C. (2016). A QTL on the short arm of wheat (*Triticum aestivum* L.) chromosome 3B affects the stability of grain weight in plants exposed to a brief heat shock early in grain filling. *BMC Plant Biology*, 16(100), 2-15. doi: [10.1186/s12870-016-0784-6](https://doi.org/10.1186/s12870-016-0784-6).
- Singh, Kh., Sharma, S. N., & Sharma, Y. (2011). Effect of high temperature on yield attributing traits in bread wheat. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 36, 415-426. doi: [10.3329/BJAR.V36I3.9270](https://doi.org/10.3329/BJAR.V36I3.9270).
- Tewolde, H., Fernandez, C. J., & Erickson, C. A. (2006). Wheat cultivars adapted to post-heading high temperature stress. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 192, 111-120. doi: [10.1111/j.1439-037X.2006.00189.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00189.x).
- Wilhelm, E. P., Mullen, R. E., Keeling, P. L., & Singletary, G. W. (1999). Heat stress during grain filling in maize: Effects on kernel growth and metabolism. *Crop Sciences*, 39, 1733-1741. doi: [10.2135/cropsci1999.3961733x](https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961733x).
- Yin, X., Guo, W., & Spiertz, J. H. A. (2009). Quantitative approach to characterize sink-source relationships during grain filling in contrasting wheat genotypes. *Field Crops Research*, 114, 119-126. doi: [10.1016/j.fcr.2009.07.013](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.013).