Plant Prod., 2025, 48(3), 507 - 526.
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.47888.2200
Received: 30 August 2024
Accepted: 19 April 2025

Plant Productions

Research Article

Investigation of the relationship between grain yield and heading time in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under terminal heat stress in northern Khuzestan

Seyed Mahmoud Tabib Ghaffary[1*], Mohsen Esmaeilzadeh Moghadam[2]

1. Assistant Professor, Department of Crop and Horticultural Science Research, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Dezful, Iran
2. Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Citation: Tabib Ghaffary, S.M., Esmaeilzadeh Moghadam, M. (2025). Investigation of the relationship between grain yield and heading time in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under terminal heat stress in northern Khuzestan. *Plant Productions*, 48(3), 507- 526.

Abstract

Introduction

Wheat (*Triticum* spp.) is a fundamental staple crop, globally cultivated on 219 million hectares in 2022, and producing over 808 million tons, ranking as the third most important crop by total world production. Adapted to a broad latitudinal range (67° N to 45° S), wheat thrives under widely varied environmental conditions. In Iran, wheat remains the foremost priority of agricultural development efforts, with recent years focused on attaining self-sufficiency. However, maximizing grain yield requires breeders to address both biotic and abiotic stresses, particularly terminal heat stress, which critically affects grain development. Among the phenological traits, heading date is pivotal in breeding and genotype selection, directly impacting adaptation and final yield under stress conditions.

Materials and Methods

This study analyzed the effects of temperature during critical developmental phases on grain yield across six growing seasons (2012-2018) in Northern Khuzestan. Data were complied from 14 international and 12 national wheat experiments conducted in a warm southern climate, comprising a total of 1,226 genotypes. For each genotype, the average minimum and maximum temperatures were recorded and analyzed for two distinct periods: from sowing to heading and from heading to physiological maturity. The impact of thermal factors especially during pre- and post-heading stages, on grain yield was assessed. Post-heading data from the first replicate in each experiment were used to calculate correlation coefficients between phenological traits and yield. Analysis of variance and estimation of genotypic and phenotypic correlation coefficients were conducted using META-R software.

* **Corresponding Author:** Seyed Mahmoud Tabib Ghaffary
E-mail: mahmoud.tabib@gmail.com

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Results and Discussion

Thermal amplitude (Tmax-Tmin) was employed as an environmental index to assess its impact on phenological development, growth, and yield. The variation in average minimum and maximum temperatures from sowing to heading ranged from 7.61 to 18.96°C in the early-heading genotypes and 7.62 to 21.46°C in late-heading genotypes. During the grain-filling period (heading to physiological maturity), the minimum and maximum temperature averages ranged from 11.1 to 15.74°C and 24.51 to 31.39°C, respectively. Although correlation coefficients between grain filling and thermal variables did not exhibit consistent trends, a significant relationship was observed between yield and thermal amplitude during the pre-heading stage. In contrast, correlations between yield and days to heading, as well as with average minimum and maximum temperatures from sowing to heading, were generally not statistically significant. Similarly, relationships observed during the reproductive phase were inconsistent, underscoring the pre-heading stage as a critical period of sensitivity to heat stress.

Conclusion

These results provide deeper insights into the complex interplay between temperature fluctuations and wheat developmental stages. The findings suggest that thermal amplitude before heading is a critical determinant of yield stability under terminal heat stress, guiding both breeders and farmers. For breeders, this underscores the value of selecting for optimal heading dates and heat resilience, while for farmers, understanding temperature effects can inform variety choice and sowing times. Ultimately, adopting such strategies has the potential to mitigate crop losses, support sustainable agriculture, and enhance food security amid climate variability.

Keywords: Days to heading, High temperatures, Phenological traits, Yield

تولیدات گیاهی، ۱٤۰٤، ٤۸(۳)، ۵۰۷ – ۵۲٦
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.47888.2200
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی رابطهٔ عملکرد دانه و زمان ظهور سنبله در گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش گرمای آخر فصل در شمال خوزستان

سید محمود طبیب غفاری[1*]، محسن اسماعیل‌زاده مقدم[2]

۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
۲- استاد پژوهشی، مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

تولید گندم به‌منظور دستیابی به خودکفایی همواره مورد توجه بوده است؛ از این رو، شناسایی محدودیت‌های زیستی و غیرزیستی در محیط هدف از اولویت‌های اصلی به شمار می‌آید. درجه حرارت یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که افزایش یا کاهش غیر متعارف آن منجر به کاهش عملکرد می‌گردد. زمان ظهور سنبله هنوز هم به عنوان یک شاخص کاربری مهم فنولوژیک برای مقایسه ژنوتیپ‌ها ثبت می‌گردد. ثبت دمای میانگین حداقل و حداکثر طی دو دورهٔ قبل و بعد از ظهور سنبله از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول و اثر آن بر عملکرد در این پژوهش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این بررسی از داده‌های ۱٤ خزانه بین المللی و ۱۲ آزمایش ملی اقلیم گرم جنوب (جمعاً به تعداد ۱۲۲٦ ژنوتیپ) استفاده شده است. دو مرحله قبل و بعد از ظهور سنبله و اثر فاکتورهای حرارتی در هر مرحله و رابطهٔ آن‌ها با عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این‌که تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک برای تکرار اول ثبت شده بود داده‌های مربوط به تکرار اول هر خزانه و آزمایش در مرحلهٔ ارزیابی پس از ظهور سنبله جهت محاسبه ضرایب همبستگی مورد استفاده قرار گرفت. دامنهٔ تغییرات میانگین حداقل و حداکثر دما از کاشت تا ظهور سنبله به ترتیب از ۷/٦۱ تا ۱۸/۹٦ درجهٔ سلسیوس برای زودرس‌ترین و از ۷/٦۲ تا ۲۱/٤٦ درجهٔ سلسیوس برای دیررس-ترین لاین‌ها ثبت گردید. در فاصلهٔ ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک میانگین حداقل و حداکثر دمای دوره به ترتیب بین ۱۵/۷٤-۱۱/۱ و ۳۱/۳۹- ۲٤/۵۱ درجهٔ سلسیوس بود. ضرایب همبستگی بین دورهٔ پر شدن دانه و فاکتور-های حرارتی از یک روند پایدار پیروی نمی‌کرد. رابطهٔ عملکرد با تعداد روز تا ظهور سنبله و میانگین حداقل یا حداکثر دمای این دوره رابطهٔ همبستگی پایدار و معنی‌داری نداشت. اما رابطهٔ بین عملکرد و تفاوت میانگین حداکثر و حداقل دمای دورهٔ کاشت تا ظهور سنبله در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بین عملکرد و سایر متغییرها از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک روند ثابت و پایداری در بازهٔ زمانی مورد مطالعه مشاهده نشد. نتایج این تحقیق به پژوهش‌گران کمک می‌کند تا اثرات دمایی بر مراحل مختلف رشد گندم را بهتر درک کرده و ارقام

نویسنده مسئول: سید محمود طبیب غفاری
رایانامه: mahmoud.tabib@gmail.com

متحمل به گرما را شناسایی کنند. برای کشاورزان، این اطلاعات امکان انتخاب ارقام مقاوم و بهینه‌سازی زمان کاشت را فراهم می‌آورد تا عملکرد بهتری در شرایط نامناسب دمایی به دست آورند.

کلیدواژه‌ها: دماهای بالا، روز تا سنبله دهی، صفات فنولوژیک، عملکرد

مقدمه

گندم، نقش مهمی در امنیت غذائی کشور دارد. حدود ۴۰ درصد انرژی روزانه هر ایرانی، که بر اساس آخرین آمار FAO در سال ۲۰۱۹ برابر با ۳۰۹۴ کیلوکالری در روز می‌باشد، که از گندم و فر آورده‌های آن تأمین می‌شود و بیش از دو برابر میانگین جهانی است. همین امر باعث شده، که روند افزایش تولید گندم در ایران در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۶ تقریباً پنج برابر شده است و از حدود ۲/۷ میلیون تن به ۱۴ میلیون تن در سال افزایش یابد. در ابعاد جهانی افزایش تولید گندم در مدت مشابه تقریباً ۳/۵ برابر شده و از ۲۲۲ میلیون تن به بیش از ۷۷۱ میلیون تن افزایش یافته است. هرچند نسبت افزایش تولید در ایران در مقایسه با آمار جهانی بیشتر بوده است، اما از نظر عملکرد، روند افزایش میانگین در واحد سطح در ایران در دورهٔ مورد اشاره ۲/۶ برابر شده است که در مقایسه با رشد ۳/۲ برابری عملکرد جهانی، کمتر می‌باشد، که پر کردن این شکاف عملکرد، نیازمند شناساییی دقیق‌تر محدودیت‌های محیطی و انتخاب و توسعهٔ کشت ژنوتیپ‌هایی است که در مقابله با این محدودیت‌ها قدرتمندتر باشند.

استان خوزستان به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق تولید گندم، نقش مهمی را در امنیت غذائی کشور به خود اختصاص داده است. سهم استان خوزستان از کل تولید گندم کشور، در سال‌های زراعی ۹۱-۱۳۹۰ تا ۹۶-۱۳۹۵ بین ۱۱/۰۸ تا ۱۵/۱ درصد متغییر بوده و بر اساس آمار رسمی بین ۱ تا ۱/۸ میلیون تن از کل گندم کشور را در این سال‌ها تولید نموده است (Ahmadi *et al.*, 2015; 2016; 2017; 2018). سطح زیر کشت گندم در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ درکشور برابر ۶/۹۰۸ میلیون هکتار (با میزان تولید ۱۳/۲۸۳ میلیون تن) بوده، که از این سطح مقدار ۲/۳۶۹ میلیون هکتار با میزان تولید ۸/۸۱۰ میلیون تن به کشت گندم آبی و میزان ۴/۵۳۸ میلیون هکتار با میزان تولید ۴/۴۷۳ میلیون تن به کشت گندم دیم اختصاص یافته است. خوزستان با سطح زیرکشت ۷۰۱ هزار هکتار، کردستان ۶۱۶ هزار هکتار، آذربایجان غربی ۴۵۵ هزار هکتار، آذربایجان شرقی ۶۸۹ هزار هکتار، همدان ۴۲۴ هزار هکتار، فارس ۳۶۷ هزار هکتار، کرمانشاه ۴۲۶ هزار هکتار، گلستان ۳۸۰ هزار هکتار و زنجان با ۳۷۴ هزار هکتار از استان‌های پیشرو از نظر سطح زیر کشت گندم آبی و دیم هستند (Ministry of Agriculture Jahad, 2023).

دما، یکی از عوامل محیطی مهم است که در تحقیقات گندم همیشه مورد توجه قرار دارد و تأثیر زیادی بر رشد، توسعه و عملکرد این گیاه دارد. مدیریت صحیح دما می‌تواند به بهبود عملکرد و کیفیت گندم کمک کند (Liu *et al.*, 2019). ثبت زمان ظهور سنبله به دلیل سهولت در اندازه‌گیری و ارتباط نزدیک آن با زمان گرده‌افشانی، به‌عنوان یکی از نشانه‌های اولیه مرحلهٔ زایشی گندم، بیشترین کاربرد را در بررسی تعاملات ژنوتیپ و محیط در بین مراحل رشدی گندم دارد (Mondal *et al.*, 2020). به همین دلیل علی رغم توسعه روش‌های پیشرفته فنوتیپی هنوز ظهور سنبله به عنوان کاربردی‌ترین مرحلهٔ نموی مورد توجه محققین بوده است و دو دورهٔ قبل از ظهور سنبله (مرحلهٔ زادوکس با کد ۳۱) و پس از ظهور سنبله (مرحلهٔ زادوکس با کد ۶۰) به عنوان دو دورهٔ اصلی رشد و نمو گندم شناخته می‌شود (Wardlaw, 1994). توجه به تنش‌های گرمائی آخر فصل و تأثیر آن بر عملکرد بیشتر

مورد توجه پژوهش‌گران است، اما بررسی‌های مختلفی نیز برای شناخت اثر عامل محیطی درجه حرارت‌های بالا بر عملکرد و اجزای آن پیش از ظهور سنبله نیز انجام و نتایج آن منتشر شده است (Yadav *et al*., 2022; Ullah *et al*., 2022; Tomas *et al*., 2020).

تنش گرمایی آخر فصل در شرایط گرم و خشک اهواز باعث کاهش عملکرد کمی و کیفی گندم می‌شود. Moshatati *et al*. (2019) در پژوهشی گزارش کردند که تاریخ کاشت ۱۵ آذر با رقم چمران بیشترین عملکرد دانه (۷۲۵۴ کیلوگرم در هکتار) را داشت، در حالی که در شرایط تنش گرمایی شدید (کاشت ۱۵ بهمن)، رقم مارون با ۲۳۲۳ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد را نشان داد.

در این تحقیق با تمرکز بر یک دورهٔ شش ساله (سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷)، رابطهٔ بین عملکرد و تعداد روز تا ظهور سنبله مورد ارزیابی قرار گرفت. تلفیق داده‌های فنولوژیک با اطلاعات محیطی درجه حرارت طی دو مرحله در فاصله کاشت تا ظهور سنبله و همچنین ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این بررسی از داده‌های ۱۴ خزانهٔ بین‌المللی و ۱۲ آزمایش ملی اقلیم گرم جنوب (جمعاً به تعداد ۱۲۲۶ ژنوتیپ) در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷ استفاده شده است. سال آزمایش، عنوان خزانه بین المللی یا آزمایش ملی، مرحلهٔ رشدی استفاده از داده، تعداد ژنوتیپ، تعداد تکرار و قالب آزمایش در جدول (۱) درج گردیده است. دو مرحلهٔ قبل (کد زادوکس ۳۱) و بعد از ظهور سنبله (کد زادوکس ۶۵) و اثر عوامل حرارتی در هر مرحله و رابطهٔ آن‌ها با عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک برای تکرار اول ثبت شده بود، داده‌های مربوط به تکرار اول هر خزانه و آزمایش در مرحلهٔ ارزیابی پس از ظهور سنبله جهت محاسبهٔ ضرایب‌همبستگی استفاده شد.

از نرم افزار META-R، جهت تجزیه واریانس و محاسبه ضرایب همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی داده‌های هر آزمایش استفاده شد. با توجه به نتایج همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی بین عملکرد دانه و تعداد روز تا ظهور سنبله و با هدف بررسی دقیق‌تر این رابطه در خزانه‌ها، در آزمایشاتی که ضریب همبستگی ژنتیکی معنی‌دار شده بود، ژنوتیپ‌ها بر اساس تعداد روز تا ظهور سنبله در هر خزانه به طور جداگانه گروه‌بندی شدند و میانگین عملکرد هر گروه با تعداد روز تا ظهور سنبله به صورت نمودار در محیط Excel ترسیم گردید. همچنین ضرایب همبستگی ساده نیز با استفاده از نرم افزار Excel محاسبه شد. اطلاعات محیطی مورد نیاز شامل میانگین حداقل و حداکثر دما از کاشت تا ظهور سنبله بر اساس تاریخ‌های ثبت شده درمزرعه، از سامانهٔ دسترسی به اطلاعات ساعتی ایستگاه‌های RBSN سازمان هواشناسی ، پس از محاسبه میانگین تفاوت این دو متغیر محیطی برای خزانه-ها یا ژنوتیپ‌های مورد نظر محاسبه گردید.

ضرایب همبستگی بین میانگین حداقل و حداکثر دما و همچنین تفاوت آن‌ها از زمان ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک براساس تاریخ‌های ثبت شده در مزرعه برای ۶۷۰ ژنوتیپ در ۸۱۰ کرت آزمایشی طی شش سال زراعی محاسبه گردید. با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 ضرایب همبستگی و سطح معنی‌دار بودن آن‌ها برای داده‌های هر سال به طور مجزا محاسبه گردید.

جدول ۱- جزئیات و اطلاعات آزمایش‌ها/خزانه‌ها

Table 1. Trials/Nurseries detail and information

Year of evaluation	Nursery/Trial	Stage of data application: Pre-heading	Stage of data application: Post-heading	Number of genotype	Number of replication	Design layout
1391-92 (2012-2013)	1st WYCYT	X	X	30	2	α-Lattice
	7th EBWYT	X	X	30	3	α-Lattice
	2nd SATYN	X	X	50	2	α-Lattice
	33rd ESWYT	X	X	50	2	α-Lattice
	ARWYT-91	X	X	46	2	α-Lattice
	ERWYT-91*		X	18	4	RCBD
2013-2014	2nd WYCYT	X		42	2	α-Lattice
	8th EBWYT	X		30	3	α-Lattice
	3rd SATYN	X		24	2	α-Lattice
	34th ESWYT	X		50	2	α-Lattice
	ARWYT-92		X	46	2	α-Lattice
	ERWYT-91♦		X	18	4	RCBD
	ERWYT-92*		X	32	4	α-Lattice
2014-2015	4th SATYN	X		28	2	α-Lattice
	35th ESWYT	X		50	2	α-Lattice
	13th HTWYT	X		50	2	α-Lattice
	ARWYT-93	X	X	62	2	α-Lattice
	ERWYT-92♦		X	32	4	α-Lattice
	ERWYT-93*	X	X	28	4	α-Lattice
2015-2016	3rd WYCYT	X		42	2	α-Lattice
	36th ESWYT	X		50	2	α-Lattice
	14th HTWYT	X		50	2	α-Lattice
	ARWYT-94	X	X	64	2	α-Lattice
	ERWYT-93♦	X	X	28	4	α-Lattice
	ERWYT-94*	X	X	28	4	α-Lattice
2016-2017	ARWYT-95	X	X	64	2	α-Lattice
	ERWYT-94♦	X	X	28	4	α-Lattice
	ERWYT-95*	X	X	28	4	α-Lattice
2017-2018	ARWYT-96	X	X	68	2	α-Lattice
	ERWYT-95♦		X	28	4	α-Lattice
	ERWYT-96*		X	32	4	α-Lattice

First year of evaluation *
Second year of evaluation♦

اولین سال ارزیابی *
دومین سال ارزیابی♦

نتایج و بحث

کاشت تا ظهور سنبله

رابطهٔ بین عملکرد و تعداد روز تا ظهور سنبله در پژوهش‌های مختلف نتایج متفاوتی نشان داده است. در برخی گزارش‌ها، این رابطه معکوس گزارش شده، در حالی که در سایر مطالعات نتایج متفاوت یا غیرقابل تعمیم به دست آمده است (Oraki *et al.*, 2016; Agarwal *et al.*, 2021; Rehman *et al.*, 2021; Ullah *et al.*, 2022).

براساس نتایج ضرایب همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی، بین عملکرد و تعداد روز تا ظهور سنبله، در سال‌های متفاوت و در ژنوتیپ‌های متفاوت هم رابطهٔ مثبت و منفی معنی‌دار و هم ضرایب همبستگی غیرمعنی‌دار از نظر آماری مشاهده گردید (جدول ۲). از مجموع ۲۴ خزانه ملی و بین المللی مورد ارزیابی در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷ در هفت مورد همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌دار و در چهار مورد منفی و معنی‌دار بوده است. از طرفی همبستگی فنوتیپی محاسبه شده در چهار مورد مثبت و معنی‌دار و در چهار مورد منفی و معنی‌دار به دست آمد. در برخی از خزانه‌ها و در برخی از سال‌ها عملکرد بیشتر در لاین‌های زودرس‌تر (رابطهٔ منفی) و در برخی موارد دیگر عملکرد بیشتر در لاین‌های دیررس‌تر (رابطهٔ مثبت) مشاهده شده است.

مقایسهٔ ضرایب همبستگیی ژنوتیپ‌های ثابت در دو سال متوالی نشان داد که جهت‌گیری رابطهٔ مستقیم و معکوس بین عملکرد و تعداد روز تا ظهور سنبله در دو سال متوالی تغییر نمی‌کند، هرچند این رابطهٔ در یک سال معنی‌دار باشد و در سال دیگر از نظر آماری معنی‌دار نباشد. در آزمایش ERWYT-93 در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ ضرایب همبستگی مثبت بوده است، هرچند فقط در سال دوم آزمایش ضریب همبستگی ژنوتیپی معنی‌دار شده است. از طرفی در آزمایش ERWYT-94 ضرایب همبستگی در دو سال آزمایش منفی به دست آمد، ولی فقط در سال دوم آزمایش (۹۶-۱۳۹۵) ضریب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی معنی‌دار شد. در نتیجه، نتایج نشان می‌دهند که رابطهٔ بین عملکرد و تعداد روز تا ظهور سنبله تحت تأثیر عواملی چون خزانه و شرایط سالانه است، و هیچ الگویی ثابت برای این رابطهٔ در تمامی شرایط موجود قابل استنباط نیست. این یافته‌ها می‌توانند به طور خاص در برنامه‌های به‌نژادی و بهینه‌سازی تولید گندم نان مؤثر واقع شوند (Langridge *et al.*, 2021).

با توجه به این‌که ضرایب همبستگی رابطهٔ معین و پایداری را بین عملکرد دانه و تعداد روز تا ظهور سنبله به اثبات نرساند، اما عامل محیطی درجه حرارت در فاصلهٔ کاشت تا ظهور سنبله به عنوان یک فاکتور مؤثر محیطی مورد توجه قرار گرفت. سوابق پژوهش در این رابطهٔ نشان داد که فاصلهٔ زمانی بین کاشت تا ظهور سنبله به طور کلی تحت اثر درجه حرارت است و ارقام گندم در تمامی مراحل نموی خود تحت اثر دمای محیط می‌باشند (Kianpour *et al.*, 2024; Agarwal *et al.*, 2021; Langridge *et al.*, 2021; Djanaguiraman *et al.*, 2020; Bonari *et al.*, 2020). بررسی اثر درجه حرارت روی ۱۰ ژنوتیپ شامل ۵ ژنوتیپ زمستانه و ۵ ژنوتیپ بهاره در دو سطح دمایی روز و شب، ۱۵/۵ و ۷/۲ درجه سلسیوس روز/شب در مقایسه با ۲۱ و ۱۲/۷ درجه سلسیوس روز/شب مشخص نمود که همهٔ ژنوتیپ‌ها در دمای بالاتر زودتر به سنبله می‌روند (Langridge *et al.*, 2021). با افزایش دما فاصلهٔ بین کاشت تا ظهور سنبله بر اساس یک روند منحنی کاهشی می‌شود، هرچند سرعت روند نمو در واکنش به افزایش دمای محیط افزایش می‌یابد. این رابطهٔ بین افزایش سرعت نمو و دما همیشه یک روند خطی را دنبال می‌کند (Slafer *et al.*, 2012).

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه و تعداد روز تا سنبله‌دهی و همچنین ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی

Table 2. Grain yield and days to heading analysis of variance as well as phenotypic and genotypic correlation coefficient

Year	Nursey/Trial	Yield (Kg. ha^{-1})			Day to heading			Genetic correlation	Phenotypic correlation
		Variation yield	CV	Genotype significance	Variation days	CV	Genotype significance		
2012-13	1st WYCYT	2023-5519	16.5	*P<0.001*	94-104	0.92	*P<0.001*	0.40*	0.34 ^{ns}
	7th EBWYT	4619-6761	11	*P<0.001*	91-102	1	*P<0.001*	-0.10^{ns}	-0.03 ^{ns}
	2nd SATYN	2684-6301	13.6	*P<0.001*	91-103	2.35	*P<0.01*	0.44**	0.19 ^{ns}
	33rd ESWYT	4068-7628	9.8	*P<0.001*	90-103	1.13	*P<0.001*	-0.04 ^{ns}	-0.09 ^{ns}
	ARWYT-91	2234-5795	19.2	*P<0.01*	93-103	1.38	*P<0.001*	-0.43 ^{ns}	-0.31*
2013-14	2nd WYCYT	3756-6729	9.8	*P<0.05*	105-116	1.1	*P<0.001*	-0.71**	-0.32*
	8th EBWYT	32.07-5855	13	*P<0.01*	99-109	0.9	*P<0.001*	0.56**	0.43*
	3rd SATYN	2890-5970	13	*P<0.05*	99-110	1.2	*P<0.001*	0.50*	0.42*
	34th ESWYT	2675-5853	11.5	*P<0.001*	94-108	1.01	*P<0.001*	0.81**	0.68**
2014-2015	4th SATYN	3724-6459	8.6	*P<0.01*	87-102	1.1	*P<0.001*	0.35 ^{ns}	0.29 ^{ns}
	35th ESWYT	4633-6658	5.2	*P<0.001*	88-98	1.15	*P<0.001*	0.21 ^{ns}	0.11 ^{ns}
	13th HTWYT	4000-6698	7.7	*P<0.001*	84-99	1.6	*P<0.001*	0.31*	0.29*
	ARWYT-93	4321-7237	7.9	*P<0.001*	89-104	1.6	*P<0.001*	0.12 ^{ns}	0.1 ^{ns}
	ERWYT-93*	5138-6960	6.6	*P<0.001*	89-105	2.7	*P<0.001*	0.36 ^{ns}	0.36 ^{ns}
2015-2016	3rd WYCYT	4065-6687	7.7	*P<0.01*	92-102	1.8	*P<0.01*	-0.14 ^{ns}	-0.2 ^{ns}
	36th ESWYT	4911-6331	6.3	*ns*	91-99	2.4	*P<0.001*	-0.14 ^{ns}	-0.25 ^{ns}
	14th HTWYT	3652-6080	8.3	*P<0.05*	87-105	1.5	*P<0.001*	0.38**	0.17 ^{ns}
	ARWYT-94	3308-6763	10.6	*P<0.001*	92-105	1.7	*P<0.001*	-0.26*	-0.24 ^{ns}
	ERWYT-93♦	4369-6104	8.6	*P<0.001*	92-102	1.12	*P<0.001*	0.39*	0.32 ^{ns}
	ERWYT-94*	4159-6662	10.6	*P<0.001*	91-102	1.4	*P<0.001*	-0.18 ^{ns}	-0.19 ^{ns}
2016-2017	ARWYT-95	5663-7945	5.7	*P<0.001*	93-107	1.6	*P<0.001*	0.22 ^{ns}	0.13 ^{ns}
	ERWYT-94♦	5134-6854	9	*P<0.001*	97-110	1.7	*P<0.001*	-0.59**	-0.44*
	ERWYT-95*	4509-6831	10.4	*P<0.001*	96-105	1.6	*P<0.001*	-0.62**	-0.43*
2017-2018	ARWYT-96	3665-7018	7.4	*P<0.001*	87-101	0.95	*P<0.001*	-0.20 ^{ns}	-0.23 ^{ns}

First year of evaluation* Second year of evaluation♦

اولین سال ارزیابی * دومین سال ارزیابی♦

بررسی همبستگی بین عملکرد، میانگین دمای حداقل و حداکثر دورهٔ مورد بررسی و تفاوت آن‌ها نشان داد که پیوستگی مثبت و معنی‌داری بین تفاوت دمای میانگین حداکثر و حداقل از زمان کاشت تا ظهور سنبله دیررس‌ترین لاین در هر سال و عملکرد میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در آن سال وجود دارد (جدول ۴). دامنهٔ تغییرات میانگین حداکثر از کاشت تا ظهور سنبله دیررس‌ترین لاین بین ۲۰/۰۳ تا ۲۱/۴۶ درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین دامنهٔ تغییرات میانگین حداقل نیز بین ۷/۶۲ تا ۹/۲۳ درجه سلسیوس برای دیررس‌ترین لاین محاسبه گردیده است (جدول ۳). بالاترین میانگین عملکرد نیز در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ که اختلاف دمای میانگین حداکثر و حداقل دیررس‌ترین لاین به ترتیب ۱۲/۸۵ و ۱۳/۰۱۴ درجه سلسیوس مشاهده و ثبت گردید. مقایسه میانگین دمای حداکثر دیررس‌ترین لاین در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ برابر با ۲۰/۴۷ درجه سلسیوس بود که حتی از میانگین دمای حداکثر در سال ۹۳-۱۳۹۲ (۲۰/۰۳) و سال ۹۵-۱۳۹۴ (۲۰/۴۳) بیشتر است. اما آنچه که سال ۹۶-۱۳۹۵ را از سایر سال‌ها متمایز نموده است، میانگین حداقل دمای دورهٔ کاشت تا ظهور سنبلهٔ دیررس‌ترین لاین بوده است که با ثبت رکورد ۷/۶۲ درجه سلسیوس خنک‌ترین میانگین در بین سال‌های مورد بررسی می‌باشد. هرچند ضریب همبستگی ساده این متغیر (۰/۴۹-) معنی‌دار نشده است. نتایج نشان می‌دهند که تفاوت دماهای حداقل و حداکثر در دورهٔ رشد گندم به‌ویژه در لاین‌های دیررس تأثیر زیادی بر عملکرد دارد. در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶، با افزایش تفاوت دمای حداکثر و حداقل، عملکرد بالاتری مشاهده شد. همچنین، در سال ۹۶-۱۳۹۵، دمای حداقل پایین‌تر از سایر سال‌ها بود که ممکن است باعث بهبود عملکرد شده باشد. اما علیرغم این تغییرات دمایی، ضریب همبستگی برای برخی متغیرها معنی‌دار نبوده، که نشان‌دهندهٔ پیچیدگی تأثیرات محیطی بر عملکرد است. این نتایج بر اهمیت توجه به ترکیب عوامل محیطی در بهینه‌سازی تولید گندم تأکید می‌کنند (Sohail *et al*., 2020).

در سال ۹۲-۱۳۹۱ حداکثر میانگین عملکرد در آزمایش‌های 1stWYCYT و 2nd SATYN در ژنوتیپ‌هایی بوده است که به ترتیب ۱۰۴ و ۱۰۲ روز پس از کاشت ظهور سنبله در آن‌ها ثبت شده بود (شکل ۱). در سال ۹۳-۱۳۹۲ حداکثر میانگین عملکرد در آزمایش‌های 2ndWYCYT , 3rd SATYN, 8th EBWYT و 34th ESWYT در ژنوتیپ هایی بوده است که به ترتیب ۱۱۲، ۱۰۸، ۱۰۸ و ۱۰۶ روز پس از کاشت ظهور سنبله در آن‌ها ثبت شده بود (شکل ۲). در سال ۹۴-۱۳۹۳ حداکثر میانگین عملکرد در 13th HTWYT در ژنوتیپ‌هایی بوده است که ۹۶ روز پس از کاشت ظهور سنبله در آن‌ها ثبت شده بود (شکل ۳). در سال ۹۵-۱۳۹۴ حداکثر میانگین عملکرد در 14th HTWYT در ژنوتیپ هایی بوده است که ۹۲ روز پس از کاشت ظهور سنبله در آن‌ها ثبت شده بود، در حالی‌که در آزمایش‌های ملی ARWYT-94 و دومین سال اجرای ERWYT-93 حداکثر میانگین عملکرد به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۰۴ و ۱۰۲ روزه به دست آمد (شکل ۴). در سال ۹۶-۱۳۹۵ حداکثر میانگین عملکرد در آزمایش‌های ملی دومین سال اجرای ERWYT-94 و اولین سال اجرای ERWYT-95 حداکثر میانگین عملکرد به‌ترتیب در ژنوتیپ‌هایی که ۱۰۰ و ۹۷ روز پس از کشت به سنبله رفته بودند به دست آمد (شکل ۵).

ضریب همبستگی بین عملکرد و تفاوت میانگین حداکثر و حداقل دمای دوره معادل ۰/۶۰۵ به دست آمد که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. به عبارت دیگر مشابه استنتاج حاصل از داده‌های جدول (۴) هرچه تفاوت دما بین میانگین حداکثر و حداقل دوره بیشتر شده، عملکرد نیز افزایش یافته است. اما نکته قابل توجه معنی‌دار شدن رابطهٔ معکوس بین میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های پر پتانسیل و میانگین دمای حداقل دوره است که برابر با ۰/۵۸۷ - و در سطح پنج درصد معنی‌دار است، این نشان می‌دهد که اهمیت خنکی دمای شبانه از کاشت تا ظهور سنبله به مراتب بیشتر از کاهش دمای روز می‌باشد و این نکته به عنوان یک شیوهٔ مدیریتی مزرعه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. مدیریت دمای شبانه یا کاهش

دمای حداقل در دورهٔ کاشت تا ظهور سنبله با شیوه‌هایی مانند آبیاری‌های شبانه در طول این دوره به عنوان یک ضرورت برای افزایش پتانسیل عملکرد گندم در اقلیم گرم جنوب می‌تواند مورد آزمون قرار گیرد. زمان‌بندی ظهور سنبله و شرایط دمایی اثر زیادی بر عملکرد گندم دارند. ژنوتیپ‌هایی که در زمان‌های مشخصی از کاشت تا ظهور سنبله به سنبله می‌رسند، عملکرد بهتری به‌ویژه در محدوده ۹۲ تا ۱۱۲ روز پس از کاشت داشته‌اند. همبستگی‌های ژنوتیپی و فنوتیپی نیز تأیید می‌کنند که تفاوت دما بین حداکثر و حداقل دما در دورهٔ کاشت تا ظهور سنبله می‌تواند بر عملکرد تأثیرگذار باشد. از این رو، مدیریت دما به‌ویژه دمای شبانه نقش کلیدی دارد؛ همبستگی منفی بین میانگین دمای حداقل و عملکرد نشان می‌دهد که کاهش دمای شبانه تأثیر بیشتری بر عملکرد دارد. این یافته‌ها بر اهمیت استفاده از راهبردهای مدیریتی مانند آبیاری شبانه برای کاهش دمای حداقل در دوره بحرانی تأکید دارند. به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، این شیوه‌ها می‌توانند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش پتانسیل عملکرد گندم و بهبود بهره‌وری در کشاورزی استفاده شوند (Kumar *et al.*, 2023).

روابط همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی نشان داد که در دورهٔ بررسی شش ساله بین عملکرد و تعداد روز از کاشت تا ظهور سنبله نمی‌توان یک رابطهٔ پایدار را استنتاج نمود (جدول ۲). به عبارتی بالا بودن عملکرد یک ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها همیشه با زودرسی یا دیررسی ارتباط نداشت. در نتیجه سمت و سوی بررسی‌ها به بررسی رابطهٔ عملکرد با شرایط دمایی محیط در طول سال‌های مختلف هدایت شد. در نهایت با دو رویکرد متفاوت مشخص شد که رابطهٔ بین عملکرد و تفاوت میانگین حداکثر و حداقل دمای دورهٔ کاشت تا ظهور سنبله در سطح ۵ درصد معنی‌دار می باشد (جدول‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).

ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک

دامنهٔ تغییرات دورهٔ پر شدن دانه در ژنوتیپ‌های مختلف و سال‌های متفاوت بین حد اقل ۳۴ روز در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ تا حد اکثر ۵۸ روز در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ ثبت گردید. میانگین دمای مطلوب دورهٔ پر شدن دانه گندم با استناد به ۱۲ منبع که در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ میلادی به چاپ رسیده است معادل ۱/۲۷ ± ۲۱/۳ و حداقل و حداکثر دمای دورهٔ پر شدن دانه به ترتیب ۰/۷۵±۹/۶ و ۲/۶۶±۳۴/۳ درجهٔ سلسیوس گزارش شده است (Farooq *et al.*, 2011). دامنهٔ تغییرات میانگین حداقل و حداکثر دما در دورهٔ شش ساله این بررسی از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۱۱/۱ درجهٔ سلسیوس در سال ۹۴-۱۳۹۳ تا ۳۱/۳۹ درجهٔ سلسیوس در سال ۹۲-۱۳۹۱ ثبت شده است که با دامنهٔ دمایی حداقل و حداکثر اعلام شده در منابع سازگاری دارد.

ضرایب همبستگی بین میانگین حداقل و حداکثر دما از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک در تمام سال‌ها یک رابطهٔ مستقیم و معنی‌دار بوده است و تغییرات دمای حداکثر و حداقل به صورت موازی برقرار بوده است. رابطهٔ بین میانگین حداکثر و میانگین حداقل دمای دوره با تفاوت این دو در پنج سال از شش سال بررسی شده معنی‌دار بود. ضرایب همبستگی بین میانگین حداکثر دما و تفاوت حداکثر/حداقل همواره مثبت و بزرگتر از ضرایب نظیر بین میانگین حداقل دمای دوره و تفاوت حداکثر/حداقل بود. ضمن آن که ضرایب همبستگی بین میانگین حداقل و تفاوت حداکثر/حداقل گاهی بیانگر رابطهٔ مستقیم و گاهی نشان از رابطهٔ معکوس داشت (جدول ۸). تحلیل همبستگی‌های دمایی در این دوره نشان می‌دهد که تغییرات دما در حداقل و حداکثر به صورت موازی بوده است و رابطهٔ مستقیمی بین آن‌ها وجود دارد. به‌طور خاص، ضرایب همبستگی بین میانگین حداقل و حداکثر دما و تفاوت بین این دو در پنج سال از شش سال بررسی‌شده معنی‌دار بود. این نتیجه نشان می‌دهد که هرچه دمای حداقل و حداکثر بیشتر با هم هم‌راستا باشند، اثرات مثبت‌تری بر روی عملکرد گندم خواهند داشت. همچنین، ضرایب همبستگی میان میانگین دمای حداقل و تفاوت دمای حداکثر/حداقل گاهی نشان‌دهندهٔ رابطهٔ معکوس و گاهی رابطهٔ مستقیم بوده است، که این موضوع می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل پیچیده‌تری

در تحلیل اثرات دما بر رشد گندم در نظر گرفته شود (Posch *et al.*, 2019).

ضرایب همبستگی بین دورهٔ پر شدن دانه و عوامل حرارتی از یک روند پایدار پیروی نمی‌کرد. مشابه همین شرایط بین عملکرد از یک طرف و میانگین حداقل، میانگین حداکثر، تفاوت حداکثر/حداقل و دورهٔ پر شدن دانه از سوی دیگر نیز مشاهده شد. در این بین، رابطهٔ بین عملکرد و تعداد روز پر شدن دانه بیش از سایر عوامل مورد توجه می‌باشد، زیرا کاهش دورهٔ پر شدن دانه به عنوان یک عامل مؤثر می‌تواند منجر به کاهش عملکرد نهایی دانه گردد (Farooq *et al.*, 2011). در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و همچنین ۹۶-۱۳۹۵ این رابطهٔ مثبت و معنی‌دار بود، که با یافته‌های مورد اشاره در سایر منابع سازگار بوده و بیان‌گر عملکرد بالاتر در ژنوتیپ‌هایی است که دورهٔ پر شدن دانه آن‌ها طولانی‌تر است. اما بر خلاف این سال‌ها، در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۷-۱۳۹۶ ضرایب همبستگی بین عملکرد و دورهٔ پر شدن دانه یک رابطهٔ معکوس و معنی‌دار را نشان داد. بدین معنی که ژنوتیپ‌هایی عملکرد بالاتری داشتند که دورهٔ پر شدن دانه در آن‌ها کوتاه‌تر بوده است (جدول ۸). تنها وجه اشتراک این دو سال زراعی مربوط به دامنهٔ تغییرات میانگین حداکثر دمای دوره می‌باشد که بین ۲۶ تا ۲۹/۸۶ درجه سلسیوس متغیر است (جدول ۷). با استناد به این مشاهده میانگین سالانه متغیرهای دمایی با ضرایب همبستگی بین عملکرد و دورهٔ پر شدن دانه هر سال زراعی تهیه و تنظیم شد (جدول ۹). بر این اساس مشاهده شد که هرگاه میانگین دمای حداکثر تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دوره (از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک) بیش از ۲۹ درجه سلسیوس باشد رابطهٔ بین عملکرد و دورهٔ پر شدن یک رابطهٔ مستقیم و معنی‌دار است. به عبارتی در دمای بالاتر که تنش گرمای انتهای دوره بیشتر است ژنوتیپ‌هایی که فرصت تکمیل پر شدن دانه را دارند عملکرد بیشتری را تولید می‌نمایند. در مقابل هر زمان میانگین دمای حداکثر تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دوره (از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک) در محدودهٔ ۲۶ درجه سلسیوس بود (۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴)، رابطهٔ بین عملکرد و دورهٔ پر شدن معنی‌دار نبود. این می‌تواند بدین معنا باشد که در سال‌هایی که دما در دورهٔ پر شدن دانه خنک‌تر است تنش گرمای انتهای دوره به طور جدی عامل محدودکننده عملکرد نبوده است و تمام ژنوتیپ‌ها فرصت کافی برای تکمیل روند پر شدن دانه را داشته‌اند. اما برای توضیح رابطهٔ معکوس و معنی‌دار بین عملکرد و دورهٔ پر شدن در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۷-۱۳۹۶ نمودار روزانهٔ حداکثردرجه حرارت از زمان ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک رسم شد و در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ (2013-2014) در دو مقطع زمانی در میانه دورهٔ پر شدن دانه کاهش ناگهانی دمای حداکثر روزانه به وقوع پیوسته است (شکل ۶). به ترتیب بین ۱۹ تا ۲۷ اسفند ۱۳۹۲ (March 10^{th} –March 18^{th} 2014) و همچنین بین ۱۰ تا ۱۸ فروردین ۱۳۹۳ (March 30^{th} –April 7^{th} 2014) دمای حداکثر روزانه یک کاهش متفاوت نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ نیز در میانهٔ دورهٔ پر شدن دانه دمای حداکثر روزانه در فاصلهٔ ۲۷ اسفند ۱۳۹۶ تا ۱۰ فروردین ۱۳۹۷ (March 18^{th} -30^{th} 2018) یک افزایش ناگهانی را به ثبت رسانده است. البته توجیه این‌که چگونه این تنش‌های گرمایی سبب معکوس شدن رابطهٔ بین عملکرد دانه و مدت زمان دورهٔ پر شدن دانه شده است با استناد به منابع می‌تواند ناشی از افزایش سرعت پر شدن دانه باشد. به عبارتی همان‌گونه که در پژوهش‌های مرتبط نیز اشاره شده است اهمیت سرعت پر شدن دانه در افزایش وزن دانه به عنوان یکی از اجزای اصلی عملکرد به مراتب از دورهٔ پر شدن دانه بیشتر است. ضمن آن که ارتباط بین سرعت پر شدن دانه و دورهٔ پر شدن دانه نیز در مطالعات مورد اشاره تؤیید نشده است (Bruckner and Frohberg, 1987). در این بررسی نیز رابطهٔ بین عملکرد و طول دورهٔ ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک از یک روند ثابت و پایدار پیروی نکرد.

جدول ۳- میانگین حداقل و حداکثر دما از کاشت تا تاریخ سنبله دهی برای هر سال و تفاوت بین آنها در ژنوتیپ زودرس و دیررس در مقایسه با شاهد محلی، چمران ۲

Tabel 3. Average of minimum and maximum of temperature from planting to heading date for each year and difference between them in early-maturing and late-maturing genotype in comparison with the local check, Chamran 2

Year	Sowing date dd/mm/yy	Days to heading: Earliest genotype	Days to heading: Latest genotype	Days to heading: Local check*	$\bar{t}$ Min / $\bar{t}$ Max in the period Δ in the period: Earliest genotype	$\bar{t}$ Min / $\bar{t}$ Max in the period Δ in the period: Latest genotype	$\bar{t}$ Min / $\bar{t}$ Max in the period Δ in the period: Local check*	Grain yield (Kg ha^{-1})
2012-2013	03/12/2012	89	104	103	8.60 / 19.90 11.30	9.03 / 20.72 11.69	8.99 / 20.60 / 11.61	4862
2013-2014	02/12/2013	94	116	108	7.62 / 18.96 11.34	8.66 / 20.03 11.37	8.34 / 19.43 / 11.09	4964
2014-2015	22/11/2014	88	106	99	9.37 / 21.11 11.74	9.23 / 21.08 11.85	9.24 / 21.02 / 11.78	5919
	25/11/2014	83	103	96	9.15 / 21.00 11.85	9.03 / 21.18 12.15	9.09 / 20.89 / 11.08	5615
2015-2016	02/12/2015	87	105	102	7.61 / 19.32 11.71	8.42 / 20.43 12.01	8.24 / 20.37 / 12.13	5350
2016-2017	01/12/2016	87	112	110	6.77 / 19.13 12.36	7.62 /20.47 12.85	7.59 / 20.41 / 12.82	6336
2017-2018	21/11/2017	87	101	102	7.97 / 21.48 13.51	8.45 / 21.46 13.01	8.46 / 21.51 / 13.05	5958

*: Local check Chamran 2

$\bar{t}$ Min= Average of minimum temperature in the period — Period#= Sowing to Heading date

$\bar{t}$ Max= Average of minimum temperature in the period — $\Delta = (\bar{t}\text{Max} - \bar{t}\text{Min})$

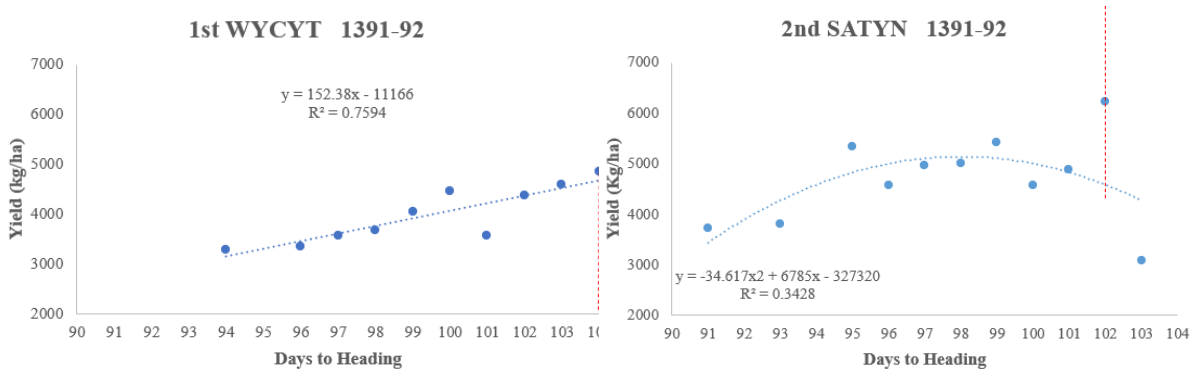
جدول ٤- ضرایب همبستگی ساده بین متغیرهای جدول ۳

Table 4. Simple correlation of coefficient of table 3 variables

Traits	$\bar{t}$Min period# earliest genotype	$\bar{t}$Max period# earliest genotype	Earliest genotype	$\bar{t}$Min period# latest genotype	$\bar{t}$Max period# latest genotype	Latest genotype	Average grain yield
$\bar{t}$Min period# earliest genotype	1						
$\bar{t}$Max period# earliest genotype	0.709	1					
Earliest genotype	-0.244	0.511	1				
$\bar{t}$Min period# latest genotype	0.933*	0.509	-0.437	1			
$\bar{t}$Max period# latest genotype	0.585	0.968	0.617	0.342	1		
Latest genotype	-0.360	0.344	0.910	-0.623	0.522	1	
Average grain yield	-0.176	0.347	0.691	-0.490	0.443	0.814*	1

$\bar{t}$ Min= Average of minimum temperature in the period — Period#= Sowing to heading date — P< 0.05; df=5 Critical value =0.755

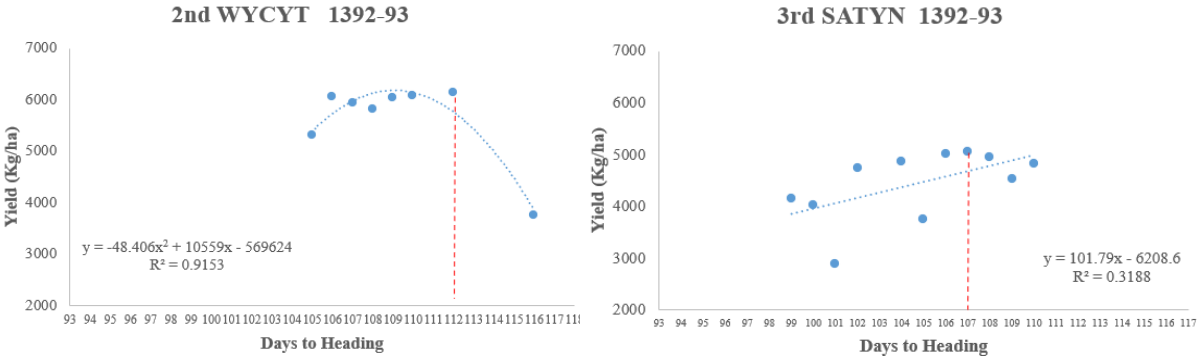
$\bar{t}$ Max= Average of minimum temperature in the period — $\Delta = (\bar{t}\text{Max} - \bar{t}\text{Min})$



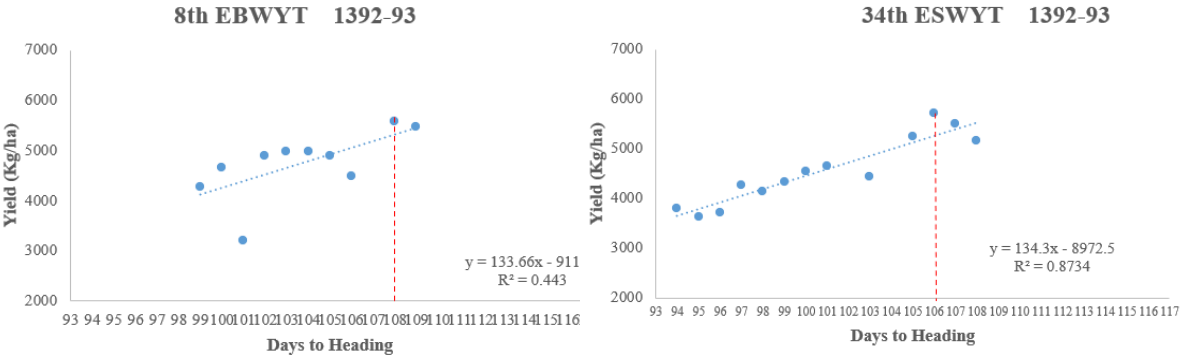
a b

شکل ۱- رابطه بین عملکرد و تعداد روز تا سنبله‌دهی با ضریب همبستگی ژنتیکی معنی‌دار، در خزانه‌های (الف)، اولین WYCYTو (ب)، دومین SATYN که در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۱۳ انجام شد، خط چین قرمز: حداکثر میانگین عملکرد

Figure 1. Relationship between yield and days to heading with significant genetic correlation coefficient, in the (a), 1st WYCYT and (b), 2nd SATYN nurseries conducted in 2012-2013, Red dotted line: maximum average yield



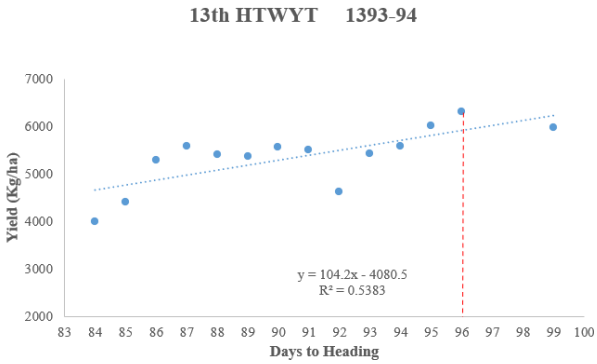
a b



c d

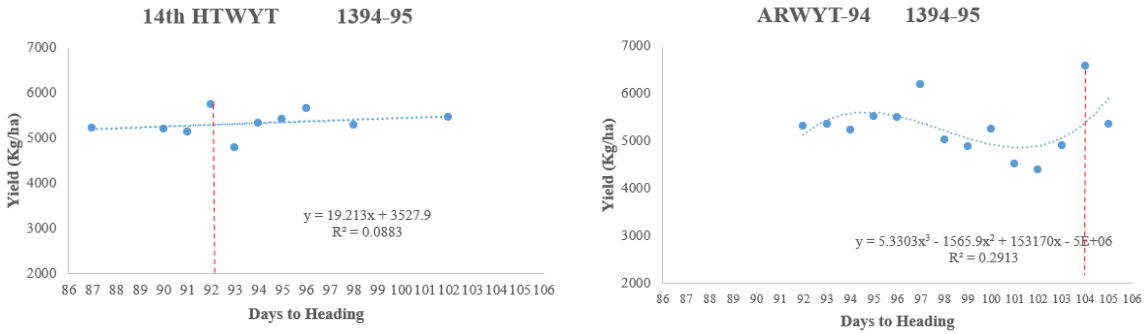
شکل ۲- رابطه بین عملکرد و تعداد روز تا ظهور سنبله با ضریب همبستگی ژنتیکی معنی‌دار، در دومین(a) WYCYT ، سومین SATYN (b)، هشتمین EBWYT (C) و سی و چهارمین(d) ESWYT ، خزانه‌های انجام شده در سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱٤، خط نقطه‌چین قرمز: حداکثر میانگین عملکرد

Figure 2. Relationship between yield and days to heading with significant genetic correlation coefficient, in the 2nd WYCYT (a), 3rd SATYN (b), 8th EBWYT(C) and 34th ESWYT (d), nurseries conducted in 2013-2014, Red dotted line: maximum average yield

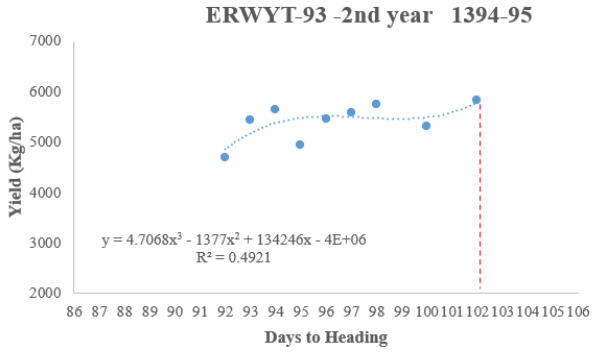


شکل ۳- رابطه بین عملکرد و تعداد روز تا سنبله دهی با ضریب همبستگی ژنتیکی معنی‌دار، در سیزدهمین خزانه HTWYT انجام شده در سال‌های ۲۰۱٤-۲۰۱۵، خط چین قرمز: حداکثر میانگین عملکرد

Figure 3. Relationship between yield and days to heading with significant genetic correlation coefficient, in the 13th HTWYT conducted in 2014-2015, Red dotted line: maximum average yield



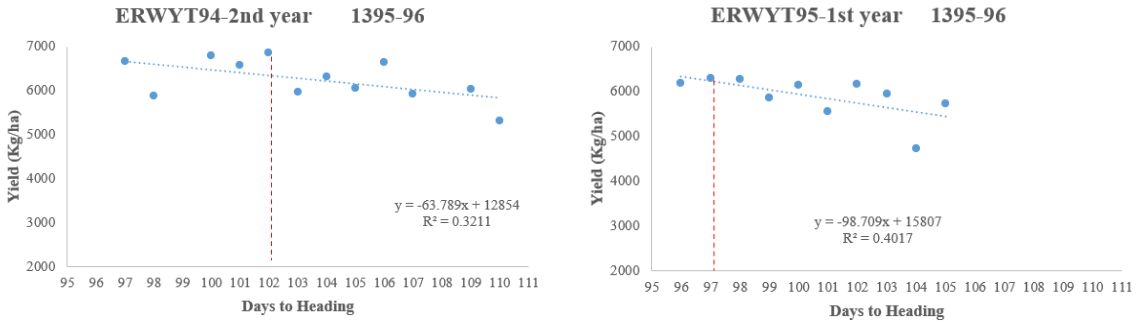
a b



c

شکل ٤- رابطه بین عملکرد و تعداد روز تا ظهور سنبله با ضریب همبستگی ژنتیکی معنی‌دار، در چهاردهمین (a) HTWYT، (b) ARWYT-94 و دومین سال اجرای (c) ERWYT-93، خزانه‌های انجام شده در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱٦، خط چین قرمز: حداکثر میانگین عملکرد

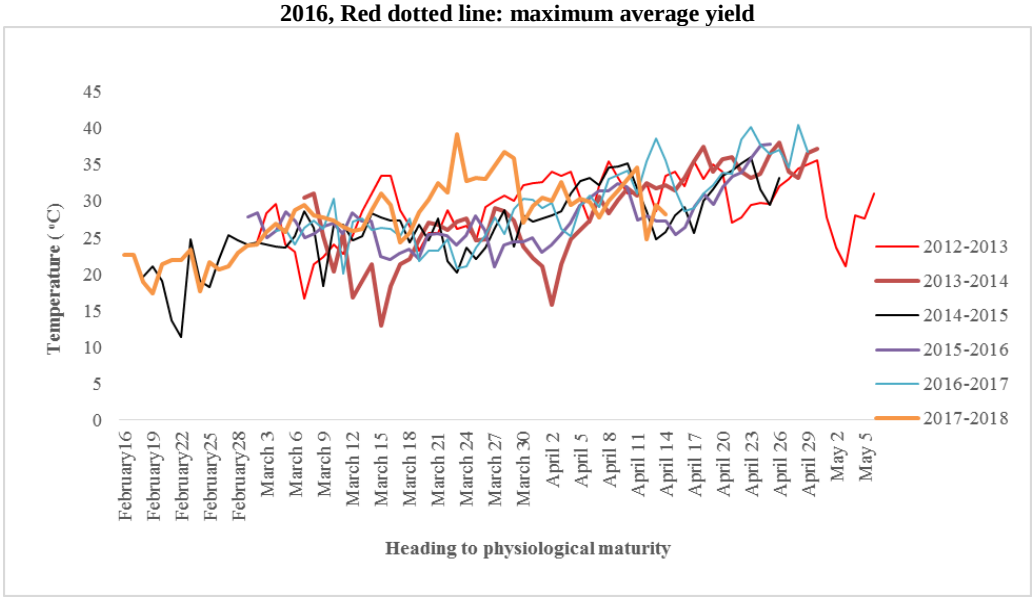
Figure 4. Relationship between yield and days to heading with significant genetic correlation coefficient, in the 14th HTWYT (a), ARWYT-94 (b) and the second year of performing ERWYT-93 (c), nurseries conducted in 2015-2016, Red dotted line: maximum average yield



a b

شکل ۵- رابطه بین عملکرد و تعداد روز تا سنبله‌دهی با ضریب همبستگی ژنتیکی معنی‌دار، در سال دوم اجرای ERWYT-93 (الف) و سال اول اجرای ERWYT-95 (ب) که در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۶ انجام شد، خط چین قرمز: حداکثر میانگین عملکرد

Figure 5. Relationship between yield and days to heading with significant genetic correlation coefficient, in the second year of performing ERWYT-93 (a) and the first year of performing ERWYT-95 (b) conducted in 2015-2016, Red dotted line: maximum average yield



شکل ٦- دمای بیشینه روزانه از مرحلهٔ ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک

Figure 6. Daily maximum temperature from heading to physiological maturity

جدول ۵- میانگین دمای حداقل و حداکثر، به همراه تفاوت بین آن‌ها، برای ژنوتیپ‌های پرمحصول منحنی‌های شماره ۱ تا ۵

Table 5. Average minimum and maximum temperatures, along with the difference between them, for the high-yielding genotypes of curves no. 1 to 5

Year	Nursery/Trial	Grain yield (Kg. ha^{-1})	Sowing date (dd/mm/yy)	Days to heading	Average of temperature from sowing to heading		
					$\bar{t}$Min of period$^{\#}$ (^{0}C)	$\bar{t}$Max of period$^{\#}$ (^{0}C)	Δ ($\bar{t}$Max -$\bar{t}$Min) ^{0}C
2012-2013	1st WYCYT	4852	03/12/2012	104	9.03	20.72	11.69
	2nd SATYN	6219		102	8.95	20.47	11.52
2013-2014	2nd WYCYT	6146	02/12/2013	112	8.43	19.70	11.27
	3rd SATYN	5059		107	8.26	19.36	11.1
	8th EBWYT	5574		108	8.34	19.43	11.09
	34th ESWYT	5725		106	8.2	19.31	11.11
2014-2015	13th HTWYT	6318	25/11/2014	96	9.24	21.02	11.78
2015-2016	14th HTWYT	5759	02/12/2015	92	7.90	19.62	11.72
	ARWYT-94	6581		104	8.33	20.39	12.06
	ERWYT-93 ♦	5830		102	8.19	20.31	12.12
2016-2017	ERWYT-94 ♦	6787	01/12/2016	100	7.14	19.94	12.80
	ERWYT-95 ♣	6289		97	7.07	19.69	12.62

First year of evaluation ♣ Second year of evaluation♦

$\bar{t}$ Min= Average of minimum temperature in the period $\bar{t}$ Max= Average of minimum temperature in the period

Period$^{\#}$= Sowing to Heading date $\Delta = (\bar{t}\text{Max} - \bar{t}\text{Min}$

جدول ٦- ضریب همبستگی ساده متغیرهای جدول ۵

Table 6. Simple correlation of coefficient of table 5 variables

Traits	Grain yield	$\bar{t}$Min of period$^{\#}$ ^{0}C	$\bar{t}$Max of period$^{\#}$ ^{0}C	Δ ($\bar{t}$Max -$\bar{t}$Min) ^{0}C
Yield	1			
$\bar{t}$Min of Period$^{\#}$ ^{0}C	-0.354	1		
$\bar{t}$Max of Period$^{\#}$ ^{0}C	0.197	0.575	1	
Δ ($\bar{t}$Max -$\bar{t}$Min) ^{0}C	0.605*	-0.587*	0.324	1

P< 0.05; df=10 Critical value = 0.576

$\bar{t}$ Min: Average of minimum temperature in the period $\bar{t}$ Max: Average of minimum temperature in the period

Period$^{\#}$: Sowing to heading date

جدول ۷- دامنه تغییرات عملکرد دانه، دوره پر شدن دانه و متغیر حرارتی در دوره

Table 7. Variation range of grain yield, grain filling period and thermal variable in the period

Year	$\bar{t}$Min of Period# ^{0}C	$\bar{t}$Max of Period# ^{0}C	Δ ($\bar{t}$Max -$\bar{t}$Min) ^{0}C	GFP (days)	Yield (Kg. ha)
2012-2013	13.11 – 15.08	28.57 – 31.39	15.38 – 16.93	34 – 49	1115- 7834
2013-2014	13.73 – 15.55	26.39 – 29.86	12.63 – 14.45	37 – 48	1598 - 6704
2014-2015	11.10 – 16.5	24.53 – 27.8	11.27 – 14.63	36 – 58	2325 - 7884
2015-2016	11.74 – 13.34	26.12 – 27.60	13.77 – 14.46	37 – 47	2809 - 6984
2016-2017	13.46 – 15.74	26.07 – 30.95	11.86 – 15.5	36 – 55	4775 - 8467
2017-2018	11.3 – 12.9	26 – 29.7	14.3 – 17.4	31 – 53	3225 - 8208

$\bar{t}$ Min= Average of minimum temperature in the period $\bar{t}$ Max= Average of minimum temperature in the period

Period#= Heading to physiological maturity

جدول ۸- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه و تغییرات دمایی محیط در دورهٔ پر شدن دانه

Table 8. Simple correlation of coefficient between grain yield and environmental thermal variation in grain filling period (GFP)

	Year	N	$\bar{t}$Min of Period# ^{0}C	$\bar{t}$Max of Period# ^{0}C	Δ ($\bar{t}$Max -$\bar{t}$Min)^{0}C	GFP
$\bar{t}$Max of Period# ^{0}C	2012-2013	224	0.808 **			
	2013-2014	96	0.962 **			
	2014-2015	122	0.870 **			
	2015-2016	120	0.938**			
	2016-2017	120	0.874 **			
	2017-2018	128	0.660 **			
Δ ($\bar{t}$Max -$\bar{t}$Min) ^{0}C	2012-2013	224	0.236 **	0.763 **		
	2013-2014	96	0.849 **	0.961 **		
	2014-2015	122	-0.322 **	0.186 *		
	2015-2016	120	-0.238 **	0.114		
	2016-2017	120	0.549 **	0.885 **		
	2017-2018	128	0.172	0.853 **		
GFP	2012-2013	224	-0.024	-0.184 **	-0.277 **	
	2013-2014	96	-0.381 **	-0.500 **	-0.582 **	
	2014-2015	122	-0.086	-0.015	0.144	
	2015-2016	120	0.218 *	0.378**	0.434 **	
	2016-2017	120	-0.298 **	-0.193 *	-0.048	
	2017-2018	128	0.841 **	0.288 **	-0.206 *	
Grain yield	2012-2013	224	-0.038	0.033	0.097	0.165*
	2013-2014	96	0.527 **	0.575 **	0.579 **	-0.203 *
	2014-2015	122	0.245 **	0.197 *	-0.111	0.089
	2015-2016	120	-0.139	-0.165	-0.064	0.117
	2016-2017	120	-0.064	-0.010	0.044	0.421 **
	2017-2018	128	-0.307 **	-0.266 **	-0.136	-0.249 **

Period#= Heading to Physiological Maturity $\bar{t}$ Max= Average of minimum temperature in the period $\bar{t}$ Min= Average of minimum temperature in the period

جدول ۹- مرتب‌سازی ضریب همبستگی عملکرد دانه سالانه/GFP

Table 9. Sorting annual grain yield/ GFP correlation coefficient

Year	Annual $\bar{t}$Min of Periodm# ^{0}C	Annual $\bar{t}$Max of Period# ^{0}C	Δ ($\bar{t}$Max -$\bar{t}$Min) ^{0}C	Yield/GFP Correlation coefficient
2015-2016	12.4	26.49	14.09	0.117^{ns}
2014-2015	12.68	26.84	14.16	0.089^{ns}
2017-2018	12.35	28.23	15.88	-0.249**
2013-2014	14.72	28.63	13.9	-0.203*
2016-2017	14.53	29.38	14.85	0.421**
2012-2013	14.07	30.41	16.33	0.165*

Period#= Heading to physiological maturity

سنبله دهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که رابطهٔ بین عملکرد گندم و تعداد روز تا ظهور سنبله در شرایط مختلف متغیر و ناپایدار است. این رابطهٔ در برخی سال‌ها و ژنوتیپ‌ها مثبت و در برخی دیگر منفی بوده است، که نشان‌دهندهٔ پیچیدگی تعاملات ژنتیکی و محیطی در این زمینه می‌باشد. بررسی‌های بیشتر نشان داد که دمای محیط از عوامل مؤثر در این رابطهٔ است، به‌ویژه تفاوت دما بین حداکثر و حداقل دما در دورهٔ کاشت تا ظهور سنبله که ارتباطی معنی‌دار با عملکرد گندم داشت. این تحقیق همچنین نشان داد که رابطهٔ بین عملکرد و دورهٔ پر شدن دانه در شرایط دمایی مختلف قابل تغییر است و در شرایط دمایی بالاتر، ژنوتیپ‌هایی با دورهٔ پر شدن طولانی‌تر عملکرد بهتری نشان می‌دهند. به‌طور کلی، این مطالعه بر این نکته تأکید دارد که انتخاب ژنوتیپ‌های گندم برای عملکرد بهتر نباید صرفاً بر اساس زودرسی یا دیررسی آن‌ها صورت گیرد، بلکه باید شرایط دمایی محیط و تأثیر آن بر دوره‌های مختلف رشدی گیاه مورد توجه قرار گیرد. همچنین، استفاده از روش‌های مدیریتی مانند آبیاری‌های شبانه برای کنترل دمای حداقل دورهٔ رشد می‌تواند به بهبود عملکرد گندم در مناطق گرم کمک کند.

سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از پروژه‌های ملی موسسه اصلاح و تهیه و نهال و بذر به شماره‌های مصوب ۰-۰۳-۰۳-۹۱۲۱۸، ۰-۰۳-۰۳-۹۱۲۵۰، ۰-۰۳-۰۳-۹۲۲۶۳، ۰-۰۳-۰۳-۹۳۲۸۹، ۰-۰۳-۰۳-۹۳۲۱۶، ۰-۰۳-۰۳-۹۳۳۱۰، ۰-۰۳-۰۳-۹۴۲۲۳، ۰-۰۳-۰۳-۹۴۲۶۵، ۰-۰۳-۰۳-۹۴۲۲۳، ۰-۰۳-۰۳۰۷۱-۰۳-۹۵۰۳۶۷، ۰-۰۳-۰۳-۰۷۹-۹۵۰۳۸۸ و ۰-۰۳-۰۳-۱۶۴-۹۶۰۹۷۱ می‌باشد. از موسسه اصلاح و تهیه و نهال و بذر به سبب تامین هزینه‌های مالی و همچنین از تمامی همکاران محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد که در انجام این پروژه ما را یاری نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی داریم.

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(3), 375-383. https://doi.org/10.1007/s42976-020-00116-y

Ahmadi, K., Ebad Zadeh, H.R., Abdeshah, H., Kazemian, A., & Rafiei, M. (2018). Statistics data of agronomic crops. Annual Report 2016-2017. Iran's Jihad Agriculture ministry, Deputy of economy and planning, Information technology center. pp, 116. [In Persian].

Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebad Zadeh, H.R., Hatami, F., Fazli Estabragh, M., Hoseynpoor, R., Kazemian, A., & Rafiei, M. (2016). Statistics of agronomic crops. *Annual Report*, 2014-2015. Iran's Jihad Agriculture ministry, Deputy of economy and planning, Information technology center. pp, 163. [In Persian].

Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebad Zadeh, H.R., Hoseynpoor, R., Abdeshah, H., Kazemian, A., & Rafiei, M. (2017). Statistics data of agronomic crops. Annual Report 2015-2016. Iran's Jihad Agriculture ministry, Deputy of economy and planning, Information technology center. pp, 117. [In Persian].

Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebad Zadeh, H.R., Hoseynpoor, R., Hatami, F., Mohiti, Z., Fazli Estabragh, M., Kazemian, A., & Rafiei, M. (2015). Statistics of agronomic crops. Annual Report 2012-2013. Iran's Jihad Agriculture ministry, Deputy of economy and planning, Information technology center. pp, 156. [In Persian].

Ministry of Agriculture Jahad. (2023). Statistical year book of agricultural crops. 1st Volume: Filed Crops. Tehran, Iran. pp, 103. [In Persian].

Bonari, A., Edalat, M., Ghadiri, H., Kazemeini, S. A., & Modarresi, M. (2020). The study of temperature depression and its association with grain yield in six wheat cultivars under heat stress conditions and salicylic acid application. *Iran Agricultural Research*, 39(1), 99-108. https://doi.org/10.22099/iar.2020.31975.1318

Bruckner, P., & Frohberg, R. (1987). Rate and duration of grain fill in spring wheat 1. *Crop Science*, *27*(3), 451-455. https://doi.org/10.2135/cropsci1987.0011183X002700030005x

Djanaguiraman, M., Narayanan, S., Erdayani, E., & Prasad, P.V. (2020). Effects of high temperature stress during anthesis and grain filling periods on photosynthesis, lipids and grain yield in wheat. *BMC Plant Biology*, 20, 1-12. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02479-0

Food and Agriculture Organization Statistics. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations-Statistic Division. https://www.fao.org/faost at/en/# data:QC.

Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A., & Siddique, K. H. (2011). Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(6), 491-507. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.615687

Kianpour, S., Rahnama, A., Monsefi, A., &Abdolshahi, R. (2024). Evaluating morpho-phenological 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. https://doi.org/10.22124/cr.2024.26382.1804

Kumar, H., Chugh, V., Kumar, M., Gupta, V., Prasad, S., Kumar, S., & Panwar, G. (2023). Investigating the impact of terminal heat stress on contrasting wheat cultivars: a comprehensive analysis of phenological, physiological, and biochemical traits. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1189005. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1189005

Langridge, P., & Reynolds, M. (2021). Breeding for drought and heat tolerance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 1753-1769. https://doi.org/10.1007/s00122-021-03795-1

Liu, L., Song, H., Shi, K., Liu, B., Zhang, Y., Tang, L., & Zhu, Y. (2019). Response of wheat grain quality to low temperature during jointing and booting stages on the importance of considering canopy temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278, 107658. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107658

Mondal, S., Dutta, S., Crespo-Herrera, L., Huerta-Espino, J., Braun, H. J., & Singh, R. P. (2020). Fifty years of semi-dwarf spring wheat breeding at CIMMYT: Grain yield progress in optimum, drought and heat stress environments. *Field Crops Research*, 250, 107757. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107757

Moshatati, A., Siadat, A., Alami Saeed, K., Bakhshande, A., & Jalal Kamali, M.R. (2019). The effect of terminal heat stress on grain growth and quantitative and qualitative yield of spring bread wheat in Ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(4), 45-57. https://doi.org/10.29252/jcpp.8.4.45

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. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2016.63586

Posch, B.C., Kariyawasam, B.C., Bramley, H., Coast, O., Richards, R.A., Reynolds, M. P., & Atkin, O. K. (2019). Exploring high temperature responses of photosynthesis and respiration to improve heat tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 70(19), 5051-5069. https://doi.org/10.1093/jxb/erz257

Rehman, H.U., Tariq, A., Ashraf, I., Ahmed, M., Muscolo, A., Basra, S.M., & Reynolds, M. (2021). Evaluation of physiological and morphological traits for improving spring wheat adaptation to terminal heat stress. *Plants*, 10(3), 455. https://doi.org/10.3390/plants10030455

Slafer, G., Reynolds, M., Pask, A., & Mullan, D. (2012). Wheat development: its role in phenotyping and improving crop adaptation. *Physiological breeding I: interdisciplinary approaches to improve crop adaptation. Mexico DF: CIMMYT*, 107-121.

Sohail, M., Hussain, I., Qamar, M., Tanveer, S.K., Abbas, S.H., Ali, Z., & Imtiaz, M. (2020). Evaluation of spring wheat genotypes for climatic adaptability using canopy temperature as physiological indicator. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 33(1), 89-96.

Tomas, D., Rodrigues, J.C., Viegas, W., & Silva, M. (2020). Assessment of high temperature effects on grain yield and composition in bread wheat commercial varieties. *Agronomy*, 10(4), 499. https://doi.org/10.3390/agronomy10040499

Ullah, A., Nadeem, F., Nawaz, A., Siddique, K.H., & Farooq, M. (2022). Heat stress effects on the reproductive physiology and yield of wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(1), 1-17. https://doi.org/10.1111/jac.12572

Wardlaw, I.F. (1994). The effect of high temperature on kernel development in wheat: variability related to pre-heading and post-anthesis conditions. *Functional Plant Biology*, 21(6), 731-739. https://doi.org/10.1071/PP9940731

Yadav, M.R., Choudhary, M., Singh, J., Lal, M.K., Jha, P.K., Udawat, P., & Maheshwari, C. (2022). Impacts, tolerance, adaptation, and mitigation of heat stress on wheat under changing climates. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2838. https://doi.org/10.3390/ijms23052838