DOI: 10.22092/spj.2024.365908.1360

"نهال و بذر"
جلد ۳۹، شماره ۳، سال ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

ارتباط عوامل محیطی با برخی خصوصیات فنولوژیکی و عملکرد دانه ارقام تجاری گندم نان در تاریخ‌های کاشت مختلف

The Relationship of Environmental Factors with Phenological Characteristics and Grain Yield of Some Commercial Bread Wheat Cultivars in Different Sowing Dates

شکوفه ساریخانی خرمی[1*] و سیروس طهماسبی[2]

۱- استادیار ، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

چکیده

ساریخانی خرمی، س. و طهماسبی، س. ۱۴۰۳. ارتباط عوامل محیطی با برخی خصوصیات فنولوژیکی و عملکرد دانه ارقام تجاری گندم نان در تاریخ‌های کاشت مختلف. **نهال و بذر ۳۹:** ۳۷۹-۳۵۵

به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و ارتباط عوامل آب و هوایی در مراحل مختلف رشد با مراحل فنولوژیکی و عملکرد دانه برخی تجاری ارقام گندم نان، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۹۹-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل پنج تاریخ کاشت (پنجم و بیستم آبان، پنجم و بیستم آذر و پنجم دی) و کرت‌های فرعی شامل پنج رقم گندم (مهرگان، برات، خلیل، سارنگ و ستاره) بودند. نتایج نشان داد که ارقام دیررس‌تر خلیل و برات در تاریخ کاشت‌های زودهنگام عملکرد دانه بالاتری داشتند. ارقام زودرس ستاره و مهرگان در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام، کاهش عملکرد دانه کمتری داشتند. بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه ارقام به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت‌های ۲۰ آبان (۶۹۳۴ کیلوگرم در هکتار) و پنجم دی (۵۷۷۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. تعداد روز و درجه-روز رشد (GDD) برای مراحل مختلف رشدی، با تاخیر در کاشت، کاهش یافت. این کاهش برای مراحل طویل‌شدن ساقه، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی از تاریخ کاشت اول به پنجم به‌ترتیب ۱۸۱، ۲۸۲ و ۵۲۸ درجه-روز رشد بود. بررسی همزمان ارتباط عوامل آب و هوایی و اثر تاریخ کاشت بر خصوصیات ارقام، دو مولفه اول در مجموع حدود ۴۰ درصد تغییرات را توجیه کردند. نتایج نشان داد که دما مهمترین عامل کنترل‌کننده در طول دوره‌های مختلف رشدی بود. با تغییر در تاریخ کاشت، درجه-روز رشد لازم برای مراحل مختلف مقدار ثابتی نبود که می‌تواند به‌دلیل اثر سایر عوامل محیطی باشد. نتایج این پژوهش می تواند به درک بهتر ارتباط عوامل آب و هوایی بر عملکرد دانه گندم نان و انتخاب ارقام سازگار برای منطقه داراب در شرایط تغییر اقلیم کمک کند.

واژه های کلیدی: گندم نان، درجه-روز رشد، طویل شدن ساقه،گرده افشانی، رسیدگی فیزیولوژیکی.

* نگارنده مسئول: sh.sarikhani@areeo.ac.ir تلفن: ۰۷۱۳۲۶۲۲۴۳۳

2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

گندم دارای تنوع ژنتیکی وسیع و یکی از سازگارترین محصولات کشاورزی به شرایط محیطی است که در سطح وسیعی در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳ تا ۶۰ درجه و تا ارتفاع ۲۴۰۰ متر کشت می‌شود. این گیاه زراعی دمای ۳۵ – درجه سانتی‌گراد در مرحله رشد رویشی (Haji and Hunt, 1999) تا بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد در مرحله پرشدن دانه (Elahmadi,1994) را می‌تواند تحمل کند. عملکرد گندم تحت تاثیر ترکیبی از عوامل ژنتیکی، اقلیمی، مدیریتی و در نهایت اثر متقابل مرتبط با این عوامل می‌باشد. اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را تغییر دهند، ولی مدیریت و تغییر در عناصری چون رقم و عوامل مدیریتی مانند تنظیم تاریخ کاشت می‌تواند در کاهش آثار سوء تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد (Sarikhani Khorami *et al.*, 2021).

تاریخ کاشت از طریق انطباق مراحل رشد و نمو گیاه با نوسانات حرارتی خاک و هوا، طول روز، تبخیر و تعرق، بارندگی، رطوبت هوا و سایر ویژگی‌های آب و هوایی در طول فصل رشد بر استقرار گیاه، رشد رویشی و زایشی آن و در نهایت عملکرد کمی و کیفیت محصول و برداشت آن تاثیر می‌گذارد (Khajehpour, 2014). نتایج پژوهش‌های مختلف که اثر تاریخ کاشت بر خصوصیات زراعی و عملکرد دانه گندم را بررسی کردند نشان داده است که تاریخ کاشت اثر معنی‌داری بر خصوصیاتی مانند روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت دارد (Ghanbari *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2020; Mousavi *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2023).

مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه عمدتا تابع شرایط محیطی هستند (Salazar-Gutierrez *et al.*,2013). عملکرد دانه تحت تاثیر طول فصل رشد و طول هر یک از مراحل فنولوژیکی قرار می‌گیرد. یکی از راهکارهای افزایش عملکرد دانه گندم، تغییر در یک یا چند جزء عملکرد با دست‌کاری در طول مراحل فنولوژیکی گیاه با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی منطقه است (Jalal Kamali and Sharifi, 2010; Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). در شرایط تغییر اقلیم می‌توان با پایش شرایط محیطی و تاثیر آن‌ها بر مراحل فنولوژیکی گیاه، واکنش گیاهان به تغییرات اقلیمی را مورد ارزیابی قرار داد (Parmesan and Hanley, 2015). تغییر طول مراحل فنولوژیکی با تنظیم تاریخ کاشت جهت فراهم کردن شرایط بهینه در دوره پرشدن دانه و تسهیم مناسب مواد پرورده، بسیار مهم است. هم‌چنین توانایی پیش‌بینی این مراحل موجب مدیریت مناسب آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌شود (Mkhabela *et al.*, 2016).

برای بررسی مراحل فنولوژیکی گیاه و رابطه

آن‌ها با عملکرد از شاخص‌های زراعی-اقلیمی مانند مجموع تعداد روز تا مرحله رشدی و مجموع درجه-روز رشد (Growing Degree Days = GDD) استفاده می‌شود. نتایج بررسی واکنش عملکرد دانه ارقام گندم به تاریخ کاشت براساس شاخص‌های زراعی- اقلیمی در گرگان نشان داد که تاریخ کاشت ۱۰ آذر بیشترین میزان شاخص‌های مورد بررسی برای ارقام احسان، تیرگان، معراج و کلاته را داشت (Soughi *et al.*, 2020). بنابراین تاریخ کاشت ۱۰ آذر شرایط بهینه‌ای را از نظر درجه حرارت، طول روز، رطوبت نسبی و کارایی مصرف انرژی در طول دوره پرشدن دانه فراهم کرد و خسارات ناشی از تنش‌های گرما و خشکی انتهای فصل را کاهش داد و در نتیجه بیشترین عملکرد دانه در این تاریخ کاشت را داشت (Soughi *et al.*, 2020). علاوه بر تغییر در طول مراحل فنولوژیکی با انتخاب تاریخ بهینه کاشت، معرفی ارقام پرمحصول و سازگار با شرایط اقلیمی منطقه نیز از عوامل تعیین‌کننده افزایش عملکرد دانه گندم است (Aula *et al.*, 2020). بنابراین آگاهی از اصول ژنتیک سازگاری و دلایل فیزیولوژیکی و محیطی آن در درک صحیح برهمکنش ژنوتیپ × محیط و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و سازگار به محیط‌ها و نوسانات آب و هوایی بسیار مهم است.

تغییرات اقلیمی در سطح جهانی به‌دلیل برهمکنش عواملی مانند دی‌اکسیدکربن جو، دما و بارندگی بر عملکرد محصول، چالشی بزرگ برای پایداری تولید محصول در آینده است (Nuttall *et al.*, 2018). در این شرایط بررسی اثر عوامل محیطی با استفاده از اطلاعات هواشناسی بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه و اثر متقابل این عوامل با ژنوتیپ در مراحل رویشی و زایشی گندم اهمیت بسزایی دارد. بسیاری از محققین با استفاده از تحلیل‌های همبستگی یا رگرسیون چندگانه، تاثیر عوامل محیطی بر عملکرد دانه گندم را بررسی کردند. در این روش‌ها همبستگی بالا بین متغیرها موجب بالا رفتن واریانس خطای برآورد می‌شود. بنابراین، برای تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی مواردی که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بیشتر از مشاهدات باشند و بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده چند خطی (Multicollinearity) وجود داشته باشد (پارامترهای هواشناسی)، روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (Partial Least Square Regressinon = PLSR) معرفی شده است (Abdi, 2010; Liu *et al.*, 2013; Ceglar *et al.*, 2016). این روش ترکیبی از ویژگی‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون خطی چندگانه را تعمیم می‌دهد (Abdi, 2010).

در روش تجزیه و تحلیل PLSR برهمکنش بین ژنوتیپ‌ها و متغیرهای محیطی به صورت گرافیکی در یک نمودار بای پلات توضیح داده می‌شود. این روش می‌تواند برای توضیح تغییرات کمی در فرایندهای بیولوژیکی از طریق تجزیه و تحلیل دما، بارش یا سایر متغیرهای محیطی مفید باشد. استفاده از این روش برای مطالعه تأثیرات آب و هوایی،

به‌دلیل امکان بررسی اثر عوامل محیطی متعدد و امکان آزمایش ترکیب‌های ژنوتیپ-محیط-مدیریت (مانند تاریخ کاشت × رقم) بسیار موثر است (Hammer *et al.*, 2006). تجزیه و تحلیل داده های پارامترهای محیطی با استفاده از روش PLSR می‌تواند برای توضیح تغییرات عملکرد محصول یا برای توصیف آسیب‌پذیری نظام‌های کشاورزی نسبت به تغییرات آب و هوایی در طول مراحل خاص از رشد محصول به‌کار رود و یک رویکرد قدرتمند برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف باشد و حساس‌ترین مراحل رشد به متغیرهای محیطی و اقلیمی را شناسایی کند (Porker *et al.*, 2020).

هدف این پژوهش بررسی شاخص زراعی-اقلیمی درجه-روز رشد (GDD) و تاثیر عوامل آب و هوایی بر مراحل مختلف رشد و عملکرد دانه ارقام تجاری گندم نان اقلیم گرم جنوب در تاریخ‌های مختلف کاشت بود، تا با درک بهتر تاثیرپذیری عملکرد دانه از تغییرات محیطی و آب و هوایی، بتوان از این یافته‌ها در برنامه‌های به‌نژادی و تولید ارقام جدید با طیف وسیع سازگاری به محیط‌ها و تغییرات آب و هوایی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب واقع در جنوب شرقی استان فارس با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۷۹ متر با میانگین بارندگی سی ساله ۲۴۸ میلی‌متر انجام شد. داده‌های هواشناسی ایستگاه داراب در دو سال آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل پنج تاریخ کاشت پنجم آبان، بیستم آبان، پنجم آذر، بیستم آذر و پنجم دی و کرت‌های فرعی شامل ارقام تجاری گندم نان شامل مهرگان، برات، خلیل، سارنگ و ستاره (جدول ۲) بودند. هر کرت فرعی شامل چهار پشته به طول پنج متر و به عرض ۶۰ سانتی‌متر بود که بر روی هر پشته سه ردیف گندم به فاصله ۱۵ سانتی‌متر بر اساس تراکم کاشت ۴۰۰ بذر در مترمربع در تاریخ‌های کاشت مورد نظر با بذرکار آزمایشی وینتراشتایگر کشت شد.

عملیات زراعی تهیه زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و کودپاشی و ایجاد جویچه‌های آبیاری بود. براساس نتایج آزمون خاک، کودهای فسفات و پتاس قبل از کاشت هم‌زمان با آماده‌سازی زمین و نیتروژن مورد نیاز هر کرت نیز بر اساس آزمون خاک محاسبه و در سه نوبت (هم‌زمان با کاشت، مرحله پنجه‌زنی و گرده‌افشانی) استفاده شد. مدیریت و کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ به ترتیب با علف‌کش تو-فور- دی و اکسیال در مراحل رشدی توصیه شده انجام شد. آبیاری به صورت نواری (تیپ) بود. عملکرد دانه با برداشت کل سطح کرت و محاسبه آن بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ایستگاه داراب در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸

Table 1. Meteorological information of Darab field station in 2018-19 and 2019-20 cropping seasons

		سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ 2018-19 cropping season				سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ 2019-20 cropping season			
Month	ماه	میانگین کمینه دما (درجه سانتی‌گراد) Mean minimum temperature (°C)	میانگین بیشینه دما (درجه سانتی‌گراد) Mean maximum temperature (°C)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Mean temperature (°C)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	میانگین کمینه دما (درجه سانتی‌گراد) Mean minimum temperature (°C)	میانگین بیشینه دما (درجه سانتی‌گراد) Mean maximum temperature (°C)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Mean temperature (°C)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)
Sep.-Oct.	مهر	17.8	32.8	25.3	7.4	18.4	35.4	26.9	0.2
Oct.-Nov.	آبان	11.9	24.8	18.4	40.8	10.8	26.2	18.5	26.1
Nov.-Dec.	آذر	5.6	20.9	13.2	22.5	6.3	19.8	13.1	117.3
Dec.-Jan.	دی	4.2	18.6	11.4	21.7	3.9	17.6	10.8	122.8
Jan.-Feb.	بهمن	5.5	17.9	11.7	94.2	3.8	18.3	11.1	24.6
Feb.-Mar.	اسفند	5.9	20.1	13.0	52.9	7.9	23.1	15.5	9.4
Mar.-Apr.	فروردین	12.2	24.6	18.4	103.4	10.8	23.6	17.2	158.7
Apr.-May.	اردیبهشت	15.1	32.0	23.5	8.4	15.8	31.9	23.9	24.5
May-Jun.	خرداد	21.9	40.2	31.0	3.1	21.3	40.5	30.9	2.6
Mean/total	میانگین/جمع	11.1	25.8	18.4	354.4	11	26.3	18.6	486.2

جدول ۲- نام، شجره، تاریخچه انتخاب و برخی خصوصیات ارقام گندم نان مورد مطالعه (Malihipour *et al.*, 2020)

Table 2. Name, pedigree, selection history and some characteristics of studied bread wheat cultivars (Malihipour *et al.*, 2020)

Cultivar	رقم	سال معرفی Year of release	شجره Pedigree	تاریخچه انتخاب Selection history	میانگین ارتفاع بوته (سانتی متر) Mean plant height (cm)	وضعیت رسیدگی Maturity status	میانگین وزن هزار دانه (گرم) Mean 1000 grain weight (g)	میانگین عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار) Mean grain yield (kg ha^{-1})	میانگین میزان پروتئین دانه (درصد) Mean grain protein content (%)
Mehregan	مهرگان	2014	OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR	CMSS-0Y01881T-050M-030Y-30M-030WGY-33M-0Y	89	زودرس Early maturity	40	5690	13.4
Barat	برات	2015	SLVS*2/PASTOR	CMSS98Y03489F-040M-0100M-40Y-020M-040SY-28M-0Y-0SY	97	نسبتاً زودرس Relatively early maturity	40	6430	12.1
Khalil	خلیل	2016	Bow"s"/Vee"s"//1-60-3/3/Cocoraque 75/4/Chamran	Not available	91	متوسطرس تا دیررس Medium to late maturity	35	5830	12.9
Sarang	سارنگ	2017	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE 1/3*CNO79//2*SERI82	CMSS02Y00596S-33Y-0M-099Y-5M-0WGY-0B	93	متوسط رس Medium maturity	43	6320	12.7
Setareh	ستاره	2018	Dez/SW891882	Not available	74	زودرس Early maturity	42	4920	12.2

برای هر تاریخ کاشت، مجموع تعداد روز از سبزشدن تا مراحل فنولوژیکی و شاخص مجموع درجه-روز رشد (GDD) در چهار مرحله فنولوژیکی از سبزشدن (GS11) تا شروع طویل‌شدن ساقه (GS31) (CSE)، سبزشدن تا گرده‌افشانی (GS61) (Anth)، سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیک (GS91) (PMA)، و از گرده‌افشانی تا پرشدن دانه (GFD) برای همه ارقام محاسبه شدند. شاخص مجموع درجه-روز رشد از طریق فرمول زیر محاسبه گردید. در محاسبه درجه-روز رشد، دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد و حداکثر دمای بر اساس آستانه تعریف شده برای گندم ۳۰ درجه سانتی‌گراد تصحیح گردید (Jalal Kamali *et al*., 2008).

$$GDD\ (Growing\ Degree\text{-}Days) = \sum (T_{min} + T_{max})\ /2\text{-}T_{base}$$

در این رابطه: T_{max}، T_{min}و T_{base} به‌ترتیب بیشینه دما، کمینه دما و دمای پایه می‌باشند.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.1 انجام شد. در تجزیه واریانس داده ها، اثر سال تصادفی و سایر اثار ثابت در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد انجام شد.

برای ارتباط همزمان متغیرهای آب و هوایی واثر تاریخ کاشت بر ارقام تجاری گندم نان از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) بر اساس داده‌های دوساله در نرم افزار GEA-R v4.1 (Pacheco *et al.*, 2015) استفاده شد. در این روش هم‌خطی بین متغیرها حذف و در نتیجه متغیرهای خارجی با بیشترین اثر در برهمکنش ژنوتیپ × محیط (Genotype × Environment Interaction = GEI) تعیین می‌شوند. روش PLSR یک روش توسعه یافته از تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی است که امکان استخراج الگوهای تغییرات اصلی و مطالعه ساختار بین متغیرهای مستقل (X) و متغیر وابسته (Y) را فراهم می‌کند. در این روش متغیرهای پنهانی استخراج می‌شوند که ماهیت موجود در متغیرهای X هستند که با ماتریس Y نیز مرتبط می‌باشند. به‌طوری‌که هر دو ماتریس به‌طور همزمان مدل می‌شوند (Pacheco *et al.*, 2015). نمایش دوخطی X و Y به شرح زیر است:

$$X = t1p1' + t2p2' + \ldots + E = TP' + E$$

$$Y = t1q1' + t2q2' + \ldots + F = TQ' + F$$

که در آن ماتریس T شامل امتیازهای X، ماتریس P حاوی بارهای X، ماتریس Q حاوی بارهای Y هستند. E و F به‌ترتیب باقی‌مانده ماتریس‌های X و Y را تشکیل می‌دهند. ایده اصلی این است که رابطه بین Y و X از طریق متغیرهای پنهان t منتقل می‌شود.

در آزمایش‌های چند محیطی (در اینجا چند

تاریخ کاشت)، ماتریس Y متشکل از متغیر عملکرد دانه است که برای ارقام در محیط‌های مختلف (تاریخ کاشت‌های مختلف) اندازه‌گیری می‌شوند و ماتریس X شامل متغیرهای مشترکی است که در هر تاریخ کاشت در مراحل مختلف رشدی اندازه‌گیری شده‌اند. متغیرهای مشترک شامل میانگین دمای حداقل، میانگین دمای حداکثر، ساعات آفتابی و مجموع بارندگی هستند که در هر تاریخ کاشت برای دوره‌های رشدی تعداد روز تا شروع طویل‌شدن ساقه، گرده‌افشانی، رسیدگی فیزیولوژیک و پرشدن دانه محاسبه شدند.

این متغیرهای کمکی اندازه‌گیری شده در X می‌توانند برخی از تغییرات موجود در Y را توضیح دهند. به عبارت دیگر، بررسی اثر متغیرهای محیطی می‌توانند به ما در توضیح آثار GEI کمک کنند. نتایج روش PLSR به‌صورت گرافیکی در قالب بای‌پلات نمایش داده می‌شوند که مختصات محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و متغیرهای مشترک محیطی مربوط به دو مولفه اول PLSR به‌طور همزمان توسط بردارهایی با نقاط شروع از مختصات (۰، ۰) نشان داده می‌شوند (Gabriel, 1971).

نتایج و بحث

اثر تاریخ کاشت بر مراحل فنولوژیک و شاخص مجموع درجه-روز رشد

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، تاریخ کاشت و رقم بر تعداد روز و مجموع درجه-روز رشد (GDD) برای مرحله شروع طویل‌شدن ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برای مرحله مذکور اثر متقابل سال × تاریخ کاشت، سال × رقم نیز معنی‌دار بود درحالی‌که سایر آثار متقابل معنی‌دار نبودند. تعداد روز از سبزشدن تا گرده‌افشانی (Anth) و درجه-روز رشد تا مرحله گرده‌افشانی اثر تاریخ کاشت، رقم و سایر آثار متقابل (به‌جز اثر سال × تاریخ کاشت برای درجه-روز رشد) معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر روی این صفات نشان داد که مرحله گرده‌افشانی ارقام و درجه-روز رشد مورد نیاز برای آن‌ها در تاریخ‌های کاشت مختلف یکسان نبود.

برای تعداد روز از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیکی و درجه-روز رشد مورد نیاز برای این مرحله رشدی اثر تاریخ کاشت، اثر متقابل سال × رقم و سال × تاریخ کاشت × رقم معنی‌دار بودند (جدول ۳). اثر رقم بر درجه-روز رشد مورد نیاز در این مرحله معنی‌دار بود، اما برای تعداد روز معنی‌دار نبود. اثر سال، تاریخ کاشت، رقم و اثر متقابل سال × تاریخ کاشت و سال × رقم برای تعداد روز و هچنین درجه-روز رشد تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی معنی‌دار بود. اما اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم و نیز اثر متقابل سال × تاریخ کاشت × رقم برای این دو صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). به‌طور کلی تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان دهنده روند نسبتاً یکسانی برای تعداد روز و مجموع درجه-روز رشد در همه مراحل رشدی به‌جز مرحله پرشدن دانه بود.

جدول۳ - تجزیه واریانس مرکب برای خصوصیات فنولوژیکی و عملکرد دانه ارقام گندم نان تحت تاثیر تاریخ‌های کاشت مختلف

Table 3. Combined analysis of variance for phenological characteristics and grain yield of bread wheat cultivars as affected by different sowing dates

			Mean Squares میانگین مربعات								
			Days number تعداد روز				مجموع درجه-روز رشد GDD				
S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	شروع طویل شدن ساقه CSE	گرده‌افشانی Anth	دوره پر شدن دانه GFD	رسیدگی فیزیولوژیکی PMA	شروع طویل شدن ساقه CSE	گرده‌افشانی Anth	دوره پر شدن دانه GFD	رسیدگی فیزیولوژیکی PMA	عملکرددانه Grain yield
Year (Y)	سال	1	784.0**	661.0*	18.7	374.0**	195279.0**	71482.0*	99.0	79892.0*	1980531.0
Replication (R)/Y	تکرار/سال	4	1.8	32.3	63.3	14.5	197.0	9126.0	22768.0	7845.0	4307714.0
Sowing date (D)	تاریخ کاشت	4	974.0**	2174.0**	2766.0**	8802.0**	163915.0**	390156.0**	326243.0**	1357818.0**	6722180.0**
Y × D	سال × تاریخ کاشت	4	185.0**	56.2*	92.6	113.0*	25532.0**	10582.0	34527.0	65371.0*	14635314.0**
R (Y × D)	تکرار (سال × تاریخ کاشت)	16	5.3	14.9	35.8	30.2	634.0	3886.0	17211.0	16453.0	1024231.0
Cultivar (C)	رقم	4	35.9**	263**	16.1	278.0**	5202.0**	58100.0**	23603.0**	140802.0**	5521140.0**
Y × C	سال × رقم	4	12.8**	19.9**	12.4*	24.9*	2103.0**	5552.0**	6240.0	12699.0**	164653.0
C × D	تاریخ کاشت × رقم	16	2.1	15.5**	14.5	5.3	308.0	3296.0**	4310.0	2627.0	1102090.0**
Y × D × C	سال × تاریخ کاشت × رقم	16	1.7	9.4**	20.3**	10.5	335.0	2591.0**	7608.0**	5065.0	1587195.0**
Error	خطا	80	1.7	2.9	6.7	7.1	251.0	791.0	3295.0	3484.0	413004.0

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

CSE: شروع طویل‌شدن ساقه، Anth: گرده‌افشانی، GFD: دوره پرشدن دانه ، PMA: رسیدگی فیزیولوژیکی.

CSE: Commencement of stem elongation, Anth: Anthesis, GFD: Grain filling duration, PMA: Physiological Maturity.

مقایسه میانگین ها برای اثر تاریخ کاشت نشان داد تفاوت ارقام مورد بررسی از لحاظ تعداد روز از سبز شدن تا شروع طویل‌شدن ساقه در پنج تاریخ کاشت تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۴). درجه-روز رشد مورد نیاز برای این مرحله رشدی ارقام گندم با تاخیر در کاشت از ۸۱۰ درجه-روز رشد در تاریخ کاشت پنجم آبان به ۶۲۹ درجه-روز رشد در تاریخ کاشت پنجم دی کاهش یافت (جدول ۵). نتایج بررسی اثر تاریخ کاشت‌های مختلف بر مراحل فنولوژیکی گندم نان توسط شریفی (Sharifi, 2016) نشان داد که تاخیر در کاشت سبب کاهش درجه-روز رشد مورد نیاز برای مراحل رشد رویشی شد و این کاهش در ارقام زمستانه به‌دلیل تسریع در تأمین نیاز بهاره‌سازی در کشت‌های دیرهنگام توجیه شد. درجه-روز رشد مورد نیاز برای مرحله رشدی طویل‌شدن ساقه در ارقام زودرس ستاره و مهرگان کمتر از سایر ارقام بود. تفاوت ارقام برات، خلیل و سارنگ از این نظر معنی‌دار نبود (جدول ۵).

مقایسه میانگین ها برای اثر تاریخ کاشت نشان داد که بیشترین تعداد روز تا گرده‌افشانی مربوط به تاریخ کاشت اول و دوم (پنجم و بیستم آبان) با میانگین ۱۲۴/۹ روز و کمترین آن مربوط به تاریخ کاشت پنجم دی با میانگین ۱۰۴/۵ روز بود (جدول ۴). همچنین، بیشترین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی ارقام گندم متعلق به تاریخ کاشت اول (پنجم آبان) با میانگین ۱۸۳/۴ روز و کمترین آن مربوط به تاریخ کاشت پنجم دی با میانگین ۱۴۰/۳ روز بود (جدول ۴). درجه-روز رشد مورد نیاز برای رسیدن به مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی ارقام گندم مورد بررسی در تاریخ کاشت اول بیشترین مقدار و در تاریخ کاشت پنجم کمترین مقدار بود.

کاهش درجه-روز رشد مورد نیاز برای رسیدن به مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی از تاریخ کاشت اول به تاریخ کاشت پنجم به ترتیب ۲۸۲ و ۵۲۸ درجه-روز رشد بود (جدول ۴). رقم ستاره با میانگین ۱۱۳/۵ و ۱۵۷/۳ روز به‌ترتیب کمترین تعداد روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک را در بین ارقام داشت. درحالی‌که بیشترین تعداد روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی متعلق به ارقام خلیل و برات بود (جدول ۵). رقم خلیل با ۱۴۱۳ و ۲۳۱۹ مجموع درجه-روز رشد بیشترین و رقم ستاره با ۱۳۲۵ و ۲۱۳۸ کمترین مجموع درجه-روز رشد را به‌ترتیب برای رسیدن به مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی داشتند.

سوقی و همکاران (Soughi *et al.*, 2020) با مطالعه چهار رقم گندم احسان، کلاته، تیرگان و معراج در پنج تاریخ کاشت نشان دادند که تاریخ کاشت اول (۱۰ آبان) بیشترین درجه-روز رشد را در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دریافت کرد. با مطالعه ارقام اقلیم گرم و مرطوب شمال (زاگرس- دیم و تجن-آبی) در

جدول ۴- مقایسه میانگین تعداد روز و درجه-روز رشد مورد نیاز برای مراحل مختلف فنولوژیکی ارقام گندم نان در پنج تاریخ کاشت

Table 4. Mean comparison of days and required growing degree-days (GDD) to phenological stages of bread wheat cultivars in five sowing dates

		تعداد روز از سبز شدن Days from emergence				مجموع درجه-روز رشد از سبز شدن Total GDD from emergence			
		شروع طویل‌شدن ساقه	گرده‌افشانی	رسیدگی فیزیولوژیکی	دوره پرشدن دانه	شروع طویل‌شدن ساقه	گرده‌افشانی	رسیدگی فیزیولوژیکی	دوره پرشدن دانه
Sowing date	تاریخ کاشت	CSE	Anth	PMA	GFD	CSE	Anth	PMA	GFD
27 October	۵ آبان	70.3a	124.4a	183.4a	58.9a	810a	1525a	2534a	1009a
11 November	۲۰ آبان	68.0a	124.9a	172.4b	47.5b	792ab	1482a	2360b	878b
26 November	۵ آذر	73.5a	120.7b	163.6c	42.9bc	773b	1380b	2235c	855bc
11 December	۲۰ آذر	67.0a	114.4c	150.4d	36.0d	710c	1330c	2081d	763c
26 December	۵ دی	72.1a	104.5d	140.3e	35.8d	629d	1243d	2006d	751c

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's test.

CSE: شروع طویل‌شدن ساقه، Anth: گرده‌افشانی، PMA: رسیدگی فیزیولوژیکی، GFD: دوره پرشدن دانه.

CSE: Commencement of stem elongation, Anth: Anthesis, PMA: Physiological Maturity, GFD: Grain filling duration.

جدول ۵- مقایسه میانگین تعداد روز و درجه-روز رشد برای مراحل مختلف فنولوژیکی ارقام گندم نان

Table 5. Mean comparison of days and growing degree-days to phenological stages of five bread wheat cultivars

		تعداد روز از سبز شدن Days from emergence				مجموع درجه-روز رشد از سبز شدن GDD from emergence			
		شروع طویل شدن ساقه	گرده‌افشانی	رسیدگی فیزیولوژیکی	طول دوره پر شدن دانه	شروع طویل شدن ساقه	گرده‌افشانی	رسیدگی فیزیولوژیکی	طول دوره پر شدن دانه
Cultivar	رقم	CSE	Anth	PMA	GFD	CSE	Anth	PMA	GFD
Mehregan	مهرگان	68.9c	116.9c	161.0c	44.0a	727b	1379b	2218c	839bc
Barat	برات	71.1ab	120.1a	163.4b	43.3a	755a	1428a	2275b	847abc
Khalil	خلیل	71.2a	120.4a	165.3a	44.9a	756a	1434a	2319a	885a
Sarang	سارنگ	70.5b	118.0b	163.0b	45.1a	746a	1393b	2266b	872ab
Setareh	ستاره	69.2c	113.5d	157.3d	43.8a	730b	1325c	2138d	814c

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's test.

CSE: شروع طویل‌شدن ساقه، Anth: گرده‌افشانی، PMA: رسیدگی فیزیولوژیکی، GFD: دوره پرشدن دانه.

CSE: Commencement of stem elongation, Anth: Anthesis, PMA: Physiological Maturity, GFD: Grain filling duration.

کنار سایر ارقام گندم تجاری نان ایران از اقلیم‌های سرد و معتدل سرد، معتدل و گرم و خشک جنوب مشخص شد که ارقام اقلیم گرم و مرطوب شمال نیاز حرارتی کمتری داشتند (Jalal Kamali and Sharifi, 2010). با توجه به این‌که گندم گیاهی روز بلند است، روزهای بلندتر باعث می‌شود تا طول دوره مراحل فنولوژیکی آن کوتاه‌تر شود و قبل از این‌که اندام‌های رویشی برای ایجاد منبع فیزیولوژیک به‌طور کامل توسعه یابند، وارد مرحله زایشی شده و در طول دوره رشد ممکن است با کمبود مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد مواجه شوند (Kalateh Arabi *et al.*, 2011).

تاخیر در کاشت گیاه گندم را با میانگین درجه حرارت روزانه بالاتری مواجه می کند و در نتیجه با کاهش طول دوره رشد سبب کاهش تعداد روزهای مورد نیاز برای رسیدن به مرحله ظهور سنبله و رسیدگی فیزیولوژیکی می‌شود (Kalateh Arabi *et al.*, 2011). نتایج مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت نشان داد که مرحله پرشدن دانه از پنجم آبان (تاریخ کاشت اول) تا پنجم دی (تاریخ کاشت پنجم)، حدود ۲۳ روز کاهش یافت. همچنین درجه-روز رشد مورد نیاز در این مرحله از تاریخ کاشت اول (با ۱۰۰۹ مجموع درجه-روز رشد) تا کمترین آن در تاریخ کاشت پنجم (با مجموع ۷۵۱ درجه-روز رشد) حدود ۲۵۸ درجه—روز رشد کاهش یافت (جدول ۴).

در پژوهش حاضر ارقام زودرس تعداد روز و درجه-روز رشد کمتری نسبت به ارقام دیررس برای رسیدن به مراحل رشدی مختلف نیاز داشتند (جدول ۵). بین ارقام از نظر تعداد روز لازم برای دوره پرشدن دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما درجه-روز رشد مورد نیاز برای مرحله پرشدن دانه در ارقام زودرس کمتر بود. ارقام زودرس ستاره و مهرگان به‌دلیل اینکه در هوای خنک‌تر به مرحله گرده‌افشانی رسیدند، به تعداد روز بیشتری برای دریافت درجه-روز رشد لازم برای دوره پرشدن دانه نیاز داشتند. بنابراین، از لحاظ تعداد روز برای دوره پرشدن دانه تفاوت معنی‌داری با ارقام دیررس‌تر نداشتند (جدول ۵). در تاریخ کاشت زودهنگام، دوره رسیدگی طولانی‌تر به‌دلیل دریافت کمتر میانگین درجه حرارت مورد نیاز برای تکمیل مرحله رشد رویشی و ورود به مرحله رشد زایشی گیاه بود (Ghanbari *et al.*, 2012). شریفی (Sharifi, 2016) نیز کاهش مجموع درجه-روز رشد مورد نیاز در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام نسبت به تاریخ کاشت‌های زودهنگام گزارش کردند.

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). تاخیر در کاشت سبب کاهش معنی‌دار عملکرد شد. بیشترین میانگین عملکرد دانه (۶۹۳۵ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت ۲۰ آبان و کمترین آن (۵۷۷۵ کیلوگرم در

هکتـار) در تـاریخ کاشـت پـنجم دی بدسـت آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسـد، در تـاریخ‌هـای کاشت دوم و سوم (۲۰ آبان و پنجم آذر) ارقـام گنـدم نـان بـا اسـتفاده از شـرایط مناسـب محیطی در پـاییز، رشـد اولیـه و اسـتقرار خـوبی داشتند و با زمستان‌گذرانی با بوته‌های قـوی، در بهار بـا وضعیت رشد مطلوبی به سـاقه رفتـه و در نهایـت با سپری کردن دوران گلدهی و پرشـدن دانه در دمـای مطلـوب، عملکـرد دانـه مناسـبی داشتند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ارقام گندم نان

Table 6. Mean comparison of sowing date × cultivar interaction effect on grain yield (kg ha^{-1}) of bread wheat cultivars

		Sowing date تاریخ کاشت					
Cultivars	رقم	پنجم آبان 27th October	بیستم آبان 11th November	پنجم آذر 26th November	بیستم آذر 11th December	پنجم دی 26th December	میانگین Mean
Mehregan	مهرگان	5650b	6746b	6493a	6295a	6018a	6242b
Barat	برات	6198ab	6953b	6945a	5950ab	5720a	6353ab
Khalil	خلیل	6682a	7982a	6698a	6652a	5181b	6639a
Sarang	سارنگ	6192ab	7021b	6896a	6586a	6099a	6559ab
Setareh	ستاره	4858c	5972c	5701b	5392b	5860a	5557c
Mean	میانگین	5917c	6935a	6547ab	6175bc	5775c	

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند. برای تاریخ کاشت مقایسه میانگین‌ها روی ردیف انجام شده است.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's comparison test. Mean comparison for sowing dates has been performed in row.

بیشـترین و کمتـرین میـانگین عملکـرد دانـه به‌ترتیب متعلق به ارقـام خلیـل (۶۶۳۹ کیلـوگرم در هکتار) و ستاره (۵۵۵۷ کیلـوگرم در هکتـار) بود، درحالی‌که بین ارقام خلیل، سارنگ و برات تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). رقـم خلیـل بیشـترین عملکـرد دانـه را در تـاریخ‌هـای کاشت اول، دوم و چهارم دارا بـود (جـدول ۶). درحالی‌که در تاریخ کاشت پنجم آذر بیشـترین عملکرد دانه مربوط به رقم برات بود که بـا رقـم خلیـل تفـاوت معنـی‌داری نداشـت. رقـم نسـبتاً دیررس خلیل کمترین عملکرد دانه را در تاریخ کاشت پنجم داشت. بنابراین، ارقام نسبتاً دیررس مانند خلیل و برات در تاریخ‌های کاشت زودتـر از عملکرد دانه خوبی برخوردار بودند.

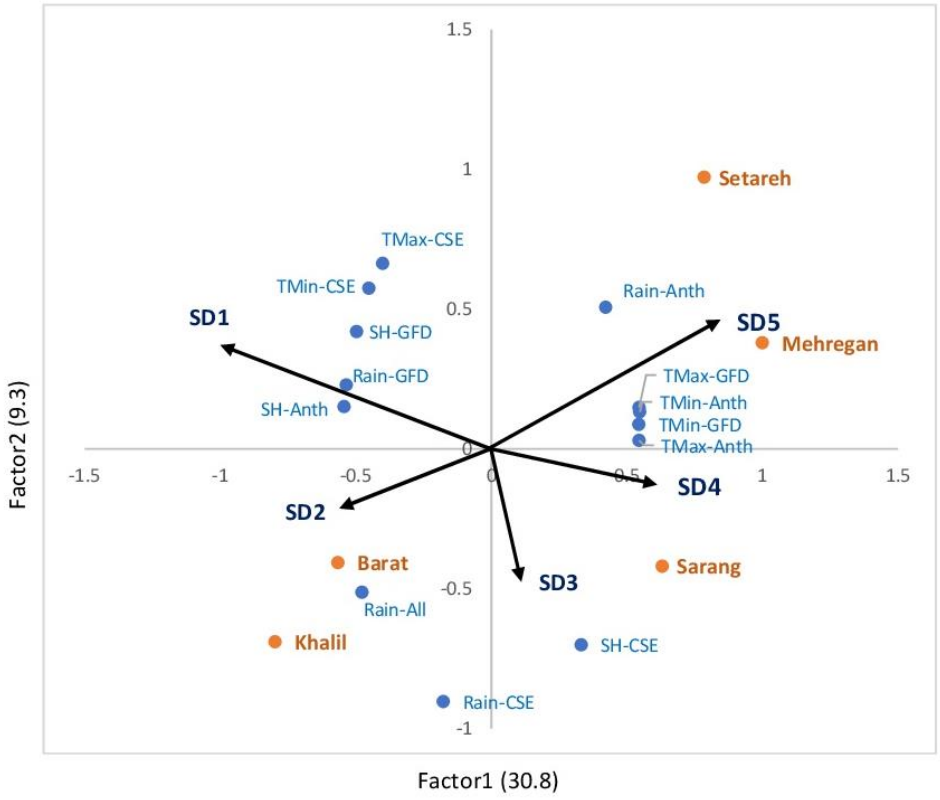
ارقـام زودرس مهرگـان و سـتاره در تـاریخ کاشت پنجم عملکرد دانه بالاتری در مقایسـه بـا تاریخ کاشت اول داشتند (جدول ۶). ایـن ارقـام زودرس، تغییـرات عملکـرد دانـه کمتـری در تـاریخ‌هـای کاشـت دیرهنگـام داشـتند. رقـم سارنگ عملکـرد دانـه نسـبتاً بـالا و پایـداری در

همه تاریخ‌های کاشت داشت (جدول ۶). کمتر بودن تغییرات عملکرد دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت در ارقام مهرگان و ستاره را می‌توان به زودرسی آنها، تکمیل سریع‌تر مراحل رشدی حتی در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام و عدم مصادف‌شدن آن‌ها با تنش گرمای آخر فصل نسبت داد. نتایج این پژوهش در رابطه با تغییرات عملکرد دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت و اثر متقابل آنها با نتایج پژوهشگران دیگر (Kalateh Arabi *et al.*, 2011; Ghanbari *et al.*, 2012; Shirinzadeh *et al.*, 2017; Mousavi *et al.*, 2021) مطابقت داشت.

اثر همزمان عوامل اقلیمی و تاریخ کاشت بر عملکرد ارقام گندم

در پژوهش حاضر تأثیر متغیرهای آب و هوایی در پنج تاریخ کاشت بر عملکرد ارقام گندم نان با استفاده از روش PLSR بررسی شد. نتایج تجزیه PLSR به‌صورت بای‌پلات نمایش داده شده است (شکل ۱). در نمودار بای‌پلات، متغیرهای محیطی و ژنوتیپی به صورت مختصات نقاط و تاریخ کاشت‌ها به صورت بردار نشان داده شده‌اند. موقعیت نسبی یک رقم نسبت به بردار یک تاریخ کاشت یا نقاط متغیرهای محیطی، نشان‌دهنده اثر متقابل رقم با آن‌ها است. معنی‌دار بودن اثر یک ژنوتیپ، تاریخ کاشت یا متغیر مشترک محیطی در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GEI) به فاصله از مبدا آن مربوط می‌شود. هر چه خطوط مستقیم فرضی دو مختصات با مبدا زاویه حاده‌تر بسازد، ارتباط آن دو متغیر بیشتر است. زوایای ۹۰ درجه یک رابطه صفر، زوایای بزرگتر از ۹۰ یک رابطه منفی و زوایای نزدیک به ۱۸۰ یک همبستگی منفی قوی را نشان می‌دهند.

در نمایش گرافیکی بای‌پلات حاصل از تجزیه PLSR براساس میانگین داده‌های دوساله، اولین و دومین مولفه در مجموع ۴۰ درصد از تغییرات اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم را توجیه کردند (شکل ۱). در این بای‌پلات، تاریخ کاشت اول (SD1) و پنجم (SD5) بردارها دارای فاصله بیشتری از مبدا هستند، که نشان می‌دهد در این دو تاریخ کاشت اثر متقابل GEI اهمیت بیشتری داشت (شکل ۱). متغیرهای محیطی بارندگی در مراحل رشد رویشی (Rain-CSE) و گرده‌افشانی (Rain-Anth) که از مبدأ دورتر بودند، احتمالاً تأثیر بیشتری در تعیین GEI داشتند. در مطالعه محیط‌های مختلف گندم با استفاده از روش‌های چند متغیره AMMI، PLSR و FR، مشخص شد که روش PLSR تفاسیر بیشتر و بهتری از برهمکنش GEI نسبت به سایر روش‌ها ارائه کرد. عوامل اقلیمی میانگین دما، بیشینه دما و بارندگی عوامل اصلی تعیین‌کننده GEI در گندم بودند (Mohammadi *et al.*, 2020).



شکل ۱- نمودار بای‌پلات حاصل از تجزیه PLSR بر اساس دو عامل اول برای شناسایی برهمکنش بین ژنوتیپ‌ها و متغیرهای آب و هوایی برای تمایز مراحل فنولوژیکی حاصل از تاریخ کاشت‌های مختلف در پنج رقم گندم نان.SD1 تا SD5: به‌ترتیب بردارهای تاریخ کاشت اول تا پنجم، TMax: میانگین دمای بیشینه، TMin: میانگین دمای کمینه، SH: جمع ساعات آفتابی در طول روز، Rain: مقدار بارندگی، CSE : شروع طویل‌شدن ساقه، Anth: گرده‌افشانی، PMA: رسیدگی فیزیولوژیکی، GFD: دوره پرشدن دانه

Fig. 1. Biplot resulted from PLSR analysis based on the first two factors to identify genotypes × meteorological variables interactions to differentiate phenological stages from different sowing dates in five bread wheat cultivars. SD1 to SD5: vectors of the first to fifth sowing date, TMax: mean maximum temperature, TMin: mean minimum temperature, SH: the sum of sunny hours during the day, Rain: rainfall, CSE: Commencement of stem elongation, Anth: Anthesis, PMA: Physiological maturity, GFD: Grain filling duration

ارتباط متغیرهای محیطی میانگین دمای بیشینه(TMax)، میانگین دمای کمینه (TMin)، جمع ساعات آفتابی در طول روز (SH) و مقدار بارندگی (Rain) در مراحل رشد رویشی از سبزشدن تا شروع طویل‌شدن ساقه (CSE)، گرده‌افشانی (Anth) و دوره پرشدن دانه

(GFD) در ارقام گندم مورد بررسی در پنج تاریخ کاشت نیز در نمودار بای‌پلات آمده است (شکل ۱). این نمودار نشان داد که میانگین دمای کمینه و بیشینه در مرحله گرده‌افشانی (TMin-Anth و TMax-Anth) و پرشدن دانه (TMax-GFD و TMin-GFD) در تاریخ‌های کاشت چهارم و پنجم بالا تر بود. قرار گرفتن ارقام مهرگان و ستاره در این محدوده، نزدیک به میانگین دمای کمینه و بیشینه در مرحله گرده‌افشانی و نزدیک بودن به بردارهای تاریخ کاشت چهارم و پنجم نشان می‌دهد که احتمالاً این ارقام دمای بالاتری را در مرحله گرده‌افشانی نسبت به سایر ارقام تحمل می‌کنند (شکل ۱). رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 2004) در تشریح اثر متقابل ژنوتیپ و محیط با استفاده از تجزیه PLSR نشان دادندکه اثر دمای بالا در مرحله پرشدن دانه برای تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان مناسب بود و برای تعدادی دیگر سبب کاهش عملکرد دانه شد (Reynolds *et al.*, 2004).

تاریخ‌های کاشت اول و دوم تحت تاثیر کمترین میانگین دمای کمینه و بیشینه در مرحله گرده‌افشانی و پرشدن دانه بودند. ارقام نسبتاً دیررس خلیل و برات در تاریخ کاشت دوم با کمترین میانگین دمای کمینه و بیشینه در زمان گرده‌افشانی و پرشدن دانه مواجه بودند و بیشترین عملکرد دانه در این تاریخ کاشت ثبت شد. تاریخ کاشت اول (پنجم آبان) بالاترین دمای کمینه و بیشینه را در طول دوره رشد رویشی داشت (شکل ۱). باتوجه به عملکرد دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت، به‌نظر می‌رسد که در تاریخ کاشت‌های زودهنگام در اقلیم گرم دماهای بالاتر در اوایل دوره رشد رویشی به‌دلیل کوتاه کردن طول این دوره اثر نامطلوبی بر عملکرد دانه ارقام گندم داشت. نتایج سایر پژوهشگران نشان داد که دمای خنک تر روزانه و تشعشع بیشتر آفتاب در مرحله رشد رویشی و قبل از تشکیل سنبله‌ها سبب افزایش تعداد دانه در سنبله و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود (Reynolds *et al.*, 2004).

از لحاظ مجموع ساعات آفتابی، بیشترین ساعات آفتابی در مرحله رشد رویشی، گرده‌افشانی و پرشدن دانه به‌ترتیب مربوط به تاریخ کاشت سوم، دوم و اول بود. پارکر و همکاران (Porker *et al.*, 2020) با استفاده از روش PLSR، تاثیر دما و تشعشع آفتاب برخصوصیات فنولوژیکی ارقام جو را بررسی کردند و نشان دادند که از بین این دو عامل دما اثر بیشتری در تعیین زمان گرده‌افشانی ارقام داشت. بیشترین بارندگی در مرحله رشد رویشی به‌ترتیب مربوط به تاریخ‌های کاشت سوم و دوم بود. بیشترین بارندگی در مرحله پرشدن دانه مربوط به تاریخ کاشت اول و بیشترین مجموع بارندگی در همه مراحل رشدی مربوط به تاریخ کاشت دوم بود. بیشترین بارندگی در مرحله گرده‌افشانی مربوط به تاریخ کاشت پنجم (پنجم دی) بود. عملکرد دانه بالاتر در تاریخ کاشت دوم احتمالا می‌تواند به‌دلیل اثر مجموع

بارندگی در مراحل مختلف رشدی و دمای پایین‌تر در مراحل گرده‌افشانی و پرشدن دانه باشد. محمدی‌پور و همکاران (Mohammadi-Pour *et al.*, 2014) با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی نشان دادند که در بین عوامل آب و هوایی مورد بررسی در مشهد، گرگان و شیراز دو متغیر بارندگی و ساعات آفتابی بیشترین نقش را در عملکرد گندم داشتند و اثر دیگر متغیرها ناچیز بود.

استفاده از نتایج این پژوهش همراه با مدلسازی داده‌های آب و هوایی بلندمدت می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد دانه نسبی گندم در تاریخ‌های مختلف کاشت و یا در واکنش به تغییرات آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرد. تعیین اثر این عوامل در GEI می‌تواند در برنامه های به نژادی برای تولید ارقام جدید گندم نان برای انتخاب والدین دورگ گیری ها با هدف بهبود عملکرد دانه و پایداری آن در نتایج جدید و همچنین تعیین فشار انتخاب در سال‌ها/محیط‌های مختلف برای کاهش آسیب‌پذیری محصول نسبت به GE کمک نماید (Porker *et al.*, 2020). برای مثال، در این بررسی رقم مهرگان و ستاره به عنوان منابع بالقوه برای بهبود تحمل به گرما شناسایی شدند.

به‌طور کلی در پژوهش حاضر واکنش ارقام گندم نان مورد بررسی به تاریخ‌های کاشت مختلف با توجه به پتانسیل عملکرد دانه و خصوصیات زراعی آنها متفاوت بود. ارقام دیررس‌تر خلیل و برات در تاریخ کاشت‌های زودهنگام عملکرد بالاتری نسبت به تاریخ کاشت‌های دیرهنگام داشتند. ارقام زودرس ستاره و مهرگان کاهش عملکرد دانه کمتری در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام داشتند. تعداد روز و درجه-روز رشد لمورد نیاز برای مراحل مختلف رشدی با تاخیر در کاشت کاهش یافت. ارقام زودرس‌تر کاهش درجه-روز رشد مورد نیاز برای مراحل رشد رویشی کمتری داشتند. تاخیر در کاشت سبب کاهش درجه-روز رشد مورد نیاز در ارقام مورد بررسی و کاهش تعداد روز برای رسیدن به مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی شد.

در تاریخ کاشت زودهنگام، دوره رسیدگی طولانی‌تر به‌دلیل دریافت دیرتر درجه روز-رشد مورد نیاز برای تکمیل مرحله رشد رویشی و ورود به مرحله رشد زایشی گیاه بود. از نقطه نظر تفاوت ارقام گندم در مراحل مختلف رشدی در این بررسی مشخص شد که ارقام زودرس در مراحل رشدی مختلف روز و درجه-روز رشد مورد نیاز کمتری نسبت به ارقام دیررس داشتند.

بررسی اثر همزمان عوامل محیطی بر خصوصیات گیاه با استفاده از روش PLSR نشان داد که میانگین دمای بیشینه و کمینه در مراحل گرده‌افشانی و پرشدن دانه در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام بالاتر بود و ارقام زودرس احتمالا دمای بالاتر را در مرحله گرده‌افشانی و پرشدن دانه بهتر تحمل کردند. بیشتر بودن عملکرد دانه در تاریخ کاشت دوم می‌تواند به‌دلیل بالاتر بودن مجموع

بارندگی در مراحل مختلف رشدی و دمای خنک‌تر در مراحل گرده افشانی و پرشدن دانه باشد. در مجموع نتایج پژوهش حاضر نشان داد که دما مهمترین عامل در کنترل طول دوره‌های مختلف رشدی بود. نتایج نشان داد که با وجود اهمیت دما، با تغییر در تاریخ کاشت درجه-روز رشد مورد نیاز برای مراحل مختلف رشدی گندم یک مقدار ثابت نیست و می‌تواند در اثر سایر عوامل اقلیمی و محیطی تغییرکند.

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر به همراه اطلاعات آب و هوایی بلندمدت می‌تواند بینش خوبی در مورد چگونگی واکنش ارقام گندم نان به شرایط محیطی متفاوت در تاریخ کاشت‌های مختلف برای استفاده در برنامه های به نژادی گندم نان و تولید ارقام جدید واجد مراحل فنولوژیکی مناسب با شرایط محیطی هدف بوجود آورد.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از رئیس و معاون وقت بهبود تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی فارس به خاطر پشتیبانی مالی برای اجرای این پژوهش و نیز از مساعدت‌های کارشناسان و کارکنان فنی مزرعه که در اجرای هرچه دقیق‌تر پژوهش ما را یاری کردند، سپاسگزاری می کنند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می کنند که هیچگونه تعارض منافعی ندارند.

References

Abdi, H. 2010. Partial least squares regression and projection on latent structure regression (pls regression). *WIREs Computational Statistics,* pp.1–10. DOI: 10.1002/wics.051

Aula, L., Omara, P., Eickhoff, E., Oyebiyi, F., Dhillon, J.S. and Raun, W.R. 2020. Effect of winter wheat cultivar on grain yield trend under different nitrogen management. *Agrosystem, Geosciences and Environment*, *3*(1), pp.1-7. DOI: 10.1002/agg2.20017

Ceglar, A., Toreti, A., Lecerf, R., Van der Velde, M. and Dentener, F. 2016. Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, *216*, pp. 58-67. DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.10.004

Elahmadi, A.B. 1994. Development of wheat germplasm tolerant to heat stress in Sudan. Pp. 48-84. In: Saunders, D.A., Hettel, G.P. (eds.) *Wheat in Heat-stressed Environments: Irrigated, Dry Areas and Rice–Wheat Farming Systems.* CIMMYT,

Mexico DF.

Gabriel, K.R. 1971. Biplot display of multivariate matrices with application to principal component analysis. *Biometrica 58*(3), pp. 435-467. DOI: 10.2307/2334381

Ghanbari, A., Roshani. H. and Tavasso. A. 2012. Effect of sowing date on some agronomic characteristics and seed yield of winter wheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*. *2*(22), pp. 127-144. (in Persian).

Haji, H.M. and Hunt, L.A. 1999. Genotype-environment interactions and underlying environmental factors for winter wheat in Ontario. *Canadian Journal of Plant Science, 79*, pp. 497-505. DOI: 10.4141/P98-075

Hammer, G., Cooper, M., Tardieu, F., Welch, S., Walsh, B., van Eeuwijk, F., Chapman, S. and Podlich, D. 2006. Models for navigating biological complexity in breeding improved crop plants. *Trends Plant Science, 11*(12), pp. 587-593. DOI: 10.1016/j.tplants.2006.10.006

Jalal Kamali, M.R., Sharifi, H.R., Khodarahmi, M., Jokar, R., Turkeman, H. and Qavidel, N. 2008. Variation in developmental stages and its relationship with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions I: Phenology. *Seed and Plant Journal, 23*(4), pp.445-472. (in Persian).

Jalal Kamali, M.R. and Sharifi, H.R. 2010. Variation in developmental stages and its relationship with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions II: Yield and yield components. *Seed and Plant Production Journal, 26*(1), pp.1-23. (in Persian).

Kalateh Arabi, M., Sheikh, F., Soqi, H. and Hivehchie, J. 2011. Effects of sowing date on grain yield and its components of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in gorgan in Iran. *Seed and Plant Production, 27*(3), pp. 285-296. (in Persian). DOI: 10.22092/SPPJ.2017.110438

Khajehpour, M.R. 2014. Principles and foundatals of crop production. Jihad-e-Daneshgahi of Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. 658 pp. (in Persian).

Liu, Y., Gao, M.S., Wu, W., Tanveer, S.K., Wen, X.X. and Liao, Y.C. 2013. The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China. *Soil and Tillage Research, 130*, pp.7–12. DOI: 10.1016/j.still.2013.01.012

Liu, J., He, Q., Zhou, G., Song, Y., Guan, Y. and Xiao, X. 2023. Effects of sowing

date variation on winter wheat yield: conclusions for suitable sowing dates for high and stable yield. *Agronomy*, *13*, pp.991-1002. DOI: 10.3390/agronomy13040991

Malihipour, A., Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Najafian, G., Roustaei, M., Najafi Mirak, T., Amini, A., Khodarahmi, M. and Bakhtiar, F. 2020. Iranian wheat cultivars (Released from 1931 to 2019). Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran. 172 pp. (in Persian).

Mkhabela, M., Ash, G., Grenier, M. and Bullock, P. 2016. Testing the suitability of thermal time models for forecasting spring wheat phenological development in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, *96*, pp. 765-775. DOI: 10.1139/cjps-2015-0351

Mohammadi, R., Sadeghzadeh, B., Ahmadi, M.M. and Amri, A. 2020. Biological interpretation of genotype × environment interaction in rainfed durum wheat. *Cereal Research Communications*, *48*(4), pp.547-554. DOI: 10.1007/s42976-020-00056-7

Mohammadi-Pour, M., Mousavi Baygi, M., Sarmad, M. and Ansari, H. 2015. Investigating the effect of weather factors on the yield of rainfed and irrigated wheat in three important wheat production regions. Pp. 13398. In: Proceedings of International conference on sustainable development, strategies and challenges, with a focus on agriculture, natural resources, environment and tourism. 25 Feb. 2015, Tabriz, Iran (in Persian).

Mousavi, F., Siahpoosh, M.R. and Sorkheh, K. 2021. Influence of sowing date and terminal heat stress on phonological features and yield components of bread wheat genotypes. *Journal of Plant Production, 44*(2), pp.157-170. (in Persian). DOI: 10.22055/ppd.2019.28957.1744

Nuttall, J.G., Barlow, K.M., Delahunty, A.J., Christy, B.P. and O'Leary, G.J. 2018. Acute high temperature response in wheat. *Agronomy Journal*, *110*(4), pp.1296-1308. DOI: 10.2134/agronj2017.07.0392

Pacheco, A., Rodriguez, F., Alvarado, M., Lopez, M., Crossa, J. and Burgueno, J. 2015. GEA-R (genotype × environment analyses with R for Windows) version 4.1. CIMMYT Research Data and Software Repository Network, V16. https://hdl.handle.net/11529/10203

Parmesan, C. and Hanley, M.E. 2015. Plants and climate change: complexities and surprises. *Annals Botany*, *116*, pp. 849-864. DOI: 10.1093/aob/mcv169

Porker, K., Coventry, S., Fettell, N.A., Cozzolino, D. and Eglinton, J. 2020. Using a novel PLS approach for envirotyping of barley phenology and adaptation. *Field Crops Research, 246*, pp.1-11. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107697

Reynolds, M.P., Trethowan, R., Crossa, J., Vargas, M. and Sayre, K.D. 2004. Erratum to ‘‘Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat’’. *Field Crops Research, 8,* pp.253-274. DOI: 10.1016/S0378-4290(03)00057-1

Salazar-Gutierrez, M., Johnson. J., Chaves-Cordoba, B. and Hoogenboom, G. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production, 7,* pp.741-762. DOI: 10.22069/IJPP.2013.1267

Sarikhani Khorami, Sh., Tahmasebi, S., Salehi, P., Yassaei. M., Zali, H., Amini, A.A., Ghaedsharaf. F., Minoo, M.J. and Ghahari. Gh.R. 2021. Sowing date ranges for commercial varieties and elite bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines in three climates zones of Fars province. Final report. Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Seed and Plant Improvement Department. 102 pp. (in Persian).

Sharifi, H.R. 2016. Response of phenological development stages, grain yield and yield components of bread wheat cultivars with different growth habits to delayed planting. *Seed and Plant Production Journal, 32*, pp.21-44. (in Persian). DOI: 10.22092/SPPJ.2017.110577

Shirinzadeh, A., Heidari, Sharif Abad, H., Nourmohammadi, G., Majidi Haravan, E. and Madani, H. 2017. Effect of planting date on growth periods, yield, and yield components of some bread wheat cultivars in Parsabad Moghan. *International Journal of Farming and Allied Sciences, 6*(4), pp.109-119. Available online at www.ijfas.com.

Soughi, H., Khodarahmi, M. Bagherikia S. and Nazari, M. 2020. Response of grain yield of new bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to sowing date based on agro-climatic indices under Gorgan environmental conditions. *Seed and Plant Journal, 36*(1), pp.1-31. (in Persian). DOI: 10.22092/sppi.2020.122874

Zhou, B., Sun, X., Ge, J., Li, C., Ding, Z., Ma, Sh., Ma, W. and Zhao, M. 2020. Wheat growth and grain yield responses to sowing date-associated variations in weather conditions. *Agronomy Journal, 112*(2), pp.985-997. DOI: 10.1002/agj2.20122

RESEARCH ARTICLE

The Relationship of Environmental Factors with Phenological Characteristics and Grain Yield of Some Commercial Bread Wheat Cultivars in Different Sowing Dates

Sh. Sarikhani Khorami[1*] and S. Tahmasebi[2]

1. Assistant Professor, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Iran.
2. Associate professor, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Iran.

ABSTRACT

Sarikhani Khorami1, Sh. and Tahmasebi, S. 2023. The relationship of environmental factors with some phenological characteristics and grain yield of commercial bread wheat cultivars in different sowing dates. *Seed and Plant*, *39*, pp.355-379 (in Persian).

This study aimed to investigate the effect of sowing date and enviromental factors during different growth stages on some phenological characterisitcs and grain yield of commercial bread wheat cultivars. The experiment was carried out as split-plot arrangements in randomized complete block design with three replications at the Darab reaesrch field station in 2018-19 and 2019-20 cropping cycles. Five sowing dates: October 27, 11, and November 26, December 11, and 26, were assigned to the main plots. Five commercial wheat cultivars: Mehregan, Barat, Khalil, Sarang, and Setareh, were randomized in the subplots. Results showed that the late maturity cultivars, Khalil and Brat, had higher grain yield in earlier sowing dates. Early maturity cultivars, Setareh and Mehregan, had less yield reduction in later sowing dates. The highest and lowest mean grain yield obtained from November 11 (6934 Kg ha^{-1}) and December 26 (5775 kg ha^{-1}), respectively. Number of days and required growing degree-days (GDD) decreased with delaying sowing date. The decrease of required GDD to reach commencement of stem elongation, anthesis and maturity stages from the first to fifth sowing date was 181, 282 and 528 GDD, respectively. Simultaneous effect of weather variables and sowing date on some characteristics revealed that the first two components explained approximately 41% of total variation. Results showed that temperature was the most important factor controlling the phenological stages duration. Despite the importance of temperature, changes in sowing date can alter the required GDD for phenological stages due to other environmental factors. In general, the results of this study can provide an insight into bread wheat cultivars responses to different climatic conditions and development of new bread wheat cultivars adapted to target environments.

Keywords: Bread wheat, growing degree-days, stem elongation, anthesis, physiological maturity.

Introduction

Global warming due to climate change is significant challenge for the sustainability of wheat production due to the complex interactions between genotype and climate factors (Nuttall *et al.*, 2018). Under conditions of climate change, it is important to evaluate the response of plant phenological stages to climate change. Therefore, accurate understanding of genotype × environment interactions (GEI) and selecting superior genotypes adapted to environments and climate fluctuations requires thorough knowledge of genetic adaptation principles and their physiological and environmental bases (Ashworth *et al.*, 2023). In this context, it is crucial to investigate the effect of environmental factors such as meteorological data on wheat phenological stages and grain yield as well as their interaction effects during vegetative and reproductive growth. Partial least squares regression (PLSR) analysis of environmental parameters can elucidate changes in crop yield resulting from genotypic responses in different environments and identify the most sensitive growth stages to environmental and climatic variables (Porker *et al.*, 2020). The main objective of this study was to investigate the impact of agroclimatic indices and meteorological factors on different phenological stages and grain yields of commercial bread wheat cultivars in different dates for bread wheat breeding programs for development of new cultivars with wide adaptability to chamging climate in target environments.

Materials and methods

Five commercial bread wheat cultivars, Mehregan, Barat, Khalil, Sarang, and Setareh, as sub-plots were planted in five sowing dates, October 27, November 11, November 26, December 11, and December 26 as main plots using split-plot arrangement in randomized complet block design with three replications at the Darab resrach field station in 2018-2019 and 2019-2020 cropping cycles. For each sowing date, the number of days and required growing degree-days (GDD) from emergence to commencement of stem elongation (CSE), anthesis (Anth) and physiological maturity (PMA), and grain filling duration (GFD) from anthesis stage were calculated for all bread wheat cultivars. Analysis of variance was performed using SAS ver. 9.1 software, and Tukey's test was used for mean comparisons. To investigate the simultaneous effect of meteorological covariables and sowing date on bread wheat cultivars, the partial least squares regression (PLSR) method was used in GEA-R v4.1 software (Pacheco *et al.*, 2015). The Y matrix consists of grain yield variables measured on five cultivars in five sowing dates, and the X matrix contains meteorological covariables including mean minimum temperature, mean maximum temperature, number of sunny hours per day and total rainfall, whcich were calculated for the four phenological stages in each

sowing date. Finally, the PLSR results were displayed graphically using biplot with the coordinates of environments, genotypes, and meteorological covariables simultaneously based on the first two components.

Results and Discussion

Combine analysis of variance showed that the difference in the number of days to CSE stage among the studied bread wheat cultivars in the five different sowing dates was not significant. However, the required GDD for this stage decreased by 181 degree-days from the first sowing date (October 27) to the fifth sowing date (December 26). The longest number of days to Anth and PMA for the cultivars corresponded to the first sowing date. Additionally, the highest and lowest required GDD for the Anth and PMA stages belonged to the first and last sowing dates, respectively. Cv. Khalil had the most and Setareh had the least number of days and total required GDD to reach different phenological stages. Generally, the temperature requirement of early breadwheat cultivars was lower than late cultivars (Jalal Kamali and Sharifi, 2010). Delaying the sowing date exposed the cultivars to higher mean daily temperatures and reduces the length of the phenological periods, thereby decreasing the number of days needed for anthesis and physiological maturity (Ashena *et al.*, 2015). The number of days and required GDD for GFD both decreased from the first sowing date to the last. While the number of days required for the GFD stage did not differ significantly among bread wheat cultivars, the required GDD for this stage was lower in early-maturing bread wheat cultivars.

The highest average grain yield of 6935 kg ha^{-1} obtained from the second sowing date (November 11), while the lowest grain yield of 5775 kg ha^{-1} belonged to the last sowing date (December 26). The highest and lowest averages grain yield belonged to cv. Khalil (6639 kg ha^{-1}) and Setareh (5557 kg ha^{-1}), respectively. Relatively late cv. Khalil and cv. Barat performed well in early sowing dates. While, the early cv. Setareh and cv. Mehregan showed less variation in grain yield in latest sowing date when compared with the earliest.

Study of the simultaneous effects of meteorological covariates and sowing date on grain yield using PLSR showed that mean minimum and maximum temperatures during Anth and GFD stages had a substantial impact on grain yield for delayed sowing dates. Early cv. Setareh and cv. Mehregan were more tolerant to higher temperatures during Anth and GFD stages. The higher grain yield in the second sowing date could be due to greater total rainfall as well as lower temperatures during Anth and GFD. Overall, temperature strongly controlled the duration of different phenological stages. Despite the importance of temperature, changes in sowing date also altered the required GDD

for the duration of phenological stages of bread wheat due to other climatic and environmental factors. In conclusion, the results of this study can provide an insight into bread wheat cultivars responses to different climatic conditions and development of new bread wheat cultivars adapted to target environments.

Reference

Ashena, M., Kafi, M., Jafarnejad, A. and Sharifi, H.R. 2015. Evaluation of planting date and nitrogen effects on the development stages of wheat cultivars and their relationship with yield and yield components in Nishabur. *Crop Production, 8*(4), pp.143-162. (in Persian). DOI: 20.1001.1.2008739.1394.8.4.8.4

Ashworth, A.J., Allen, F.L. and Saxton, A.M. 2023. Using partial least squares and regression to interpret temperature and precipitation effects on maize and soybean genetic variance expression. *Agronomy, 13*(11), pp. 2752. DOI:10.3390/agronomy13112752

Jalal Kamali, M.R. and Sharifi, H.R. 2010. Variation in developmental stages and its relationship with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions II: Yield and yield components. *Seed and Plant Production Journal, 26*(1), pp.1-23. (in Persian).

Nuttall, J.G., Barlow, K.M., Delahunty, A.J., Christy, B.P. and O'Leary, G.J. 2018. Acute high temperature response in wheat. *Agronomy Journal, 11*0(4), pp.1296-1308. DOI: 10.2134/agronj2017.07.0392

Corresponding author: sh.sarikhani@areeo.ac.ir **Tel**.: +9807132622470

Received: 31 July 2023
Accepted: 18 September 2023

2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.