

Water Cut Effects at Two Important Growth Stages on Agronomic Traits of Bread Wheat

Shahryar Sasani^{1*}, Reza Amiri², Rasoul Jalilian³

Received: 09 February 2023 Accepted: 11 December 2023

1-Assoc. Prof., Crop and Horticultural Sciences Research Dept., Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.

2-Assist. Prof., Crop and Horticultural Sciences Research Dept., Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.

3 -MSc. in Plant Breeding, Eslamabad-e-Gharb Agricultural Research Station, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Kermanshah, Iran.

*Corresponding Author Email: shahryar.sasani@areeo.ac.ir , shahryarsasani@gmail.com

Abstract

Background and Objective: This research was conducted to investigate the kernel yield of six bread wheat cultivars under irrigation cut conditions at two important stages of development and to determine the scope of different irrigation stages on grain yield.

Materials and Methods: The experiment was conducted as randomized complete blocks design with three replicates under four different conditions (four irrigation regims) across two cropping years. Portable rainout shelters were installed to protect the crop from rainfall during drought stress treatments.

Results: Combined analysis of variance across all environments indicated high significant genotypic and environmental differences for all the traits. Cultivars “Mihan” and “Sirwan” with 8321 and 7722 kg/ha had the highest and lowest kernel yield, respectively. The reduction of kernel yield was 20.27, 27.94 and 14.39% under stem elongation drought stress, terminal drought stress and terminal drought stress irrigated at milk development stage, respectively compared to normal irrigation conditions. The influence of environment on variation of the traits was twice as large as genotype and seven times as large as genotype by environment interaction. Rakhshan and Heydari cultivars were identified as early and late cultivars with 215 and 223 days, respectively.

Conclusion: Current research has improved our knowledge of these six latest popular wheat phenological developments, which can improve water conservation through an efficient irrigation approach based on the sensitivity of the phenological growth stage and their contribution toward final yield. GGE biplot was shown to be more informative than analysis of variance for distinguishing response of cultivars in different environments. The cultivar “Mihan” for incorporating its high potential traits is recommended for future breeding programs under drought stress conditions.

Keywords: Bread Wheat, Developmental Stages, Drought Stress, GYT Biplot, Kernel Yield

اثرات قطع آبیاری در دو مرحله مهم رشد بر خصوصیات زراعی گندم نان

شهریار ساسانی^{۱*}، رضا امیری^۲، رسول جلیلیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۰

۱- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
 ۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
 ۳- کارشناس ارشد اصلاح نباتات، ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
 *مسئول مکاتبه: Emai: shahryarsasani@gmail.com

چکیده

اهداف: این تحقیق با هدف بررسی عملکرد دانه شش رقم گندم نان در شرایط قطع آبیاری در دو مرحله مهم رشدی و نیز مشخص کردن دامنه تأثیر مراحل مختلف آبیاری بر عملکرد دانه، انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در چهار شرایط مجزا (چهار رژیم متفاوت آبیاری) در دو سال زراعی اجرا گردید. در هر یک از مراحل اعمال تنش، برای جلوگیری از ورود آب باران به پلات‌ها، از محافظ باران استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات در همه محیط‌ها نشان داد ارقام و سایت‌ها (شرایط آبیاری) از نظر همه صفات اختلاف بسیار معنی‌داری با یکدیگر دارند. ارقام میهن و سیروان با ۸۳۲۱ و ۷۷۲۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را دارا بودند. میانگین کاهش عملکرد دانه ارقام تحت شرایط تنش خشکی در مرحله طویل شدن ساقه، تنش آخر فصل و تنش آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه به ترتیب برابر ۲۰/۲۷، ۲۷/۹۴ و ۱۴/۳۹ درصد نسبت به شرایط نرمال بود. اثر محیط بر تغییرات صفات، دو برابر اثر ژنوتیپ و هفت برابر اثر ژنوتیپ × محیط بود. ارقام رخشان و حیدری با ۲۱۵ و ۲۲۳ روز، به ترتیب به‌عنوان ارقام زودرس و دیررس شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصله، دانش ما را در خصوص پیشرفت فنولوژیکی این شش رقم گندم بهبود بخشید که می‌تواند سبب بهبود حفظ آب در دسترس از طریق انجام آبیاری بر اساس مراحل حساس فنولوژیکی و نیز سهم آن‌ها در عملکرد نهایی گردد. GGE بای‌پلات، در تمایز ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون، کارا تر از تجزیه واریانس بود. رقم میهن به دلیل ویژگی‌های بالقوه بالا، برای بکارگیری در برنامه‌های اصلاحی آتی در شرایط تنش خشکی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات GYT، تنش خشکی، عملکرد دانه، گندم نان، مراحل رشدی

مقدمه

بخش بزرگی از جمعیت جهان از جمله ایران است. بنابراین، اهمیت اجتماعی و اقتصادی گندم، کشور را در موقعیتی قرار می‌دهد که هر گونه تلاش برای بهینه‌سازی

گندم (*Triticum aestivum* L.)، به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین و اصیل‌ترین غلات، جزء اصلی رژیم غذایی

گونه‌ای تنظیم شود که مراحل مهم رشد، در مناسب‌ترین زمان رخ دهد. از این‌رو، آگاهی از تغییرات فنولوژیکی می‌تواند برای ارزیابی واکنش گندم به تغییرات آب و هوایی و محدودیت‌های احتمالی ناشی از محیط بکار گرفته شود (استاکس و همکاران ۲۰۱۰، گاچ و همکاران ۲۰۱۲، سارتو و همکاران ۲۰۱۷). اگرچه ویژگی‌های مورفولوژیکی و فنوتیپی دانه، وراثت کمی دارند (پاتیل و همکاران ۲۰۱۳ و رشید و همکاران ۲۰۱۴)، اما داشتن اطلاعات بیشتر و بهتر در خصوص سایر صفات فنوتیپی از جمله اجزای عملکرد، ویژگی‌های سنبله و صفات مورفولوژیکی که در بهبود عملکرد تحت شرایط تنش خشکی نقش دارند، برای درک سازوکارهای سازگاری گندم اساسی است.

امروزه تولید محصولات زراعی و منابع جهانی آب، مرحله به مرحله در حال کاهش است (ایحسان و همکاران ۲۰۱۶). با کاهش شدید آب‌های جاری و افت نگران‌کننده سطح سفره‌های آب زیرزمینی، می‌باید راهبردهای خاصی در استفاده صحیح و مطلوب از آب موجود و در دسترس در مراحل انتهایی فصل رشد، به عمل آید که بتوان تا حد امکان از خسارت تنش خشکی بر تولید گیاهان زراعی کاسته و در ایجاد ثبات و پایداری عملکرد دانه مؤثر باشد. از این رو پایداری و ثبات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش از جمله شاخص‌های اصلی انتخاب برای یافتن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در بسیاری از برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد (فروزانفر و همکاران ۲۰۱۱ و احمدی و اهری‌زاد ۲۰۱۴).

رویکرد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بر آن است تا ارقام جدید گندم آبی نه تنها در شرایط بهینه، پرمحصول باشند، بلکه در شرایط خشکی نیز، داشتن عملکرد دانه قابل قبول از آن‌ها انتظاری دور از واقع نباشد. از این رو، محدودیت آبیاری مزارع گندم در پایان فصل و در نتیجه کاهش شدید عملکرد دانه، منجر به شناسایی و معرفی ارقام مناسبی از طریق برنامه‌های اصلاحی شده است که این قابلیت را دارند قبل از آغاز خشکی و دماهای بالا، مراحل گلدهی و پرشدن دانه را طی کنند. انتخاب رقم مقاوم به خشکی یک اولویت جهانی در مدیریت این تهدید برای تولید است (القباباری و

سیستم تولید آن، مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرد (محمدی ۲۰۱۸).

امنیت غذایی آینده، به سازگاری محصولات زراعی با تغییرات محیطی بستگی دارد (ویلگاس و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به تغییرات آب و هوای جهانی و ناهنجار در الگوهای بارندگی، گندم نیز همانند سایر محصولات پاییزه، در معرض تنش‌های محیطی مختلف به ویژه خشکی و دمای شدید که از جمله محدودیت‌های اصلی تولید غلات در سراسر جهان است، قرار دارد (ونکاتسوارلو و شانکر ۲۰۱۲). اثرات نامطلوب خشکی بر رشد گیاه، عملکرد و اجزای عملکرد، بستگی به مرحله نمو، زمان و شدت تنش دارد (تبسم و همکاران ۲۰۱۸). همواره تلاش‌های متعددی در سرتاسر جهان برای کاهش این مشکل که امروزه بشر با آن مواجه است، در جریان است.

با توجه به اینکه در اغلب مناطق و اراضی زراعی ایران، بارندگی کم است و بیشترین مقدار بارش‌ها در پاییز، زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد، گندم در اواخر اردیبهشت و خرداد، اغلب با کمبود آب مواجه است. این دوره مصادف با مراحل گلدهی و پرشدن دانه است که منجر به محدودیت عملکرد می‌گردد. در چنین محیط‌هایی، توسعه ارقامی از گندم که زودرسی بهینه دارند، به‌عنوان یک مزیت و سازوکار حیاتی برای بهبود عملکرد شناخته می‌شود. امروزه اثبات شده است که تغییرات آب و هوایی، با تأثیر بر مراحل رویشی و زایشی محصولات، سبب تغییر در فنولوژی آن‌ها می‌گردند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین، درک پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی در مراحل مختلف رشد، لازمه پیشرفت در برنامه‌های اصلاحی است (شی و همکاران ۲۰۱۰).

اگرچه افزایش عملکرد دانه گندم به افزایش یک یا همه اجزای عملکرد بستگی دارد، فنولوژی و رشد رویشی نیز ممکن است مستقیماً در عملکرد دانه نقش داشته باشد. طول مدت مراحل رشد محصول، به‌عنوان پاسخ مستقیم به دما و فتوپریود، در گونه‌ها رقم‌های مختلف، متفاوت است (وان‌باسل و همکاران ۲۰۱۱ و وایت و همکاران ۲۰۱۱). بنابراین برای اصلاح ارقام گندم سازگار با شرایط محیطی خاص، لازم است چرخه زندگی آن‌ها به

بینابین استفاده شد. آزمایش در دو سال زراعی متوالی (۱۳۹۵-۱۳۹۷) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اسلام‌آبادغرب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه با میانگین بلندمدت ۵۰۰-۵۵۰ میلی‌متر بارندگی سالانه و خاک رسی-لومی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در چهار شرایط مجزا (چهار رژیم متفاوت آبیاری) اجرا شد. هر واحد آزمایشی در مزرعه شامل شش خط کاشت به طول شش متر با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. در هر دو سال، عملیات کاشت توسط بذرکار تحقیقاتی غلات مدل وینتراشتا تیگر ۲ صورت گرفت. پیش از کاشت، بذر آماده شده ارقام با قارچ‌کش تبوکونازول و به نسبت یک در هزار ضدعفونی شدند. اراضی تحت آزمایش در سال گذشته زیر کشت نخود پاییزه بود. میزان کودهای پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز بر اساس آزمون خاک تعیین و مصرف شدند. میزان توصیه شده کود ازته همراه با کاشت و باقیمانده در دو مرحله ساقه‌رفتن و ظهور سنبله با توجه به تیمار آبیاری و تنش خشکی مصرف گردید. جهت کنترل علف‌های هرز از علفکش توفوردی + ام‌سی‌پی‌ای و تاپیک و جهت مبارزه با سن گندم از سم دلتامترین استفاده شد. مراحل رشد گیاه بر اساس مقیاس زادوکس^۱ تعیین گردید (زادوکس و همکاران ۱۹۷۴). شرایط آبیاری عبارت بودند از: (۱) آبیاری نرمال، (۲) آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طویل‌شدن ساقه (ZS 33 - 30)، (۳) تنش خشکی آخر فصل (انجام آبیاری‌های ضروری تا اوایل اردیبهشت و قطع آبیاری از مرحله آبستنی - ZS 49 - و تداوم آن تا رسیدن فیزیولوژیک) و (۴) تنش خشکی آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه (ZS 77). با توجه به تیپ رشدی، ارقام مورد بررسی به دو گروه زودرس (سیروان، بهاران و رخشان) و متوسط‌رس (میهن، پیشگام و حیدری) دسته‌بندی شده و در داخل هر گروه جداگانه تصادفی شدن صورت گرفت تا بتوان به دلیل متفاوت بودن نیاز آبی دو گروه، موعد قطع آبیاری هر

همکاران ۲۰۱۴). شناسایی حساس‌ترین مرحله رشد این ارقام به تنش خشکی و جایگزینی آبیاری‌ها در آن مرحله یا مراحل، یکی از راهبردهای مدیریتی مؤثر در تقابل با محدودیت آب محسوب می‌گردد. به عبارت دیگر پاسخی به این پرسش که با پایان فصل نزولات در بهار، اگر چنانچه کشاورز تنها یک بار قادر به انجام آبیاری مزرعه گندم باشد، کدام رقم موفق‌تر عمل خواهد نمود. استفاده از این گونه ارقام می‌تواند هم به پایداری تولید گندم در کشور و هم به ارتقای بهره‌وری آب کمک کند.

با توجه به اینکه یک ژنوتیپ ایده‌آل، علاوه بر عملکرد بالا، باید دارای سطوح بالایی از سایر صفات مهم زراعی (اهداف اصلاحی) باشد، می‌توان برای گزینش، از روش گرافیکی بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT^۱) استفاده کرد. این روش، انتخاب ژنوتیپ را بر اساس صفات متعدد تسهیل می‌کند (یان و فرگا-رید ۲۰۱۸). این روش گرافیکی، ژنوتیپ‌ها را بر اساس سطح آن‌ها در ترکیب عملکرد دانه با سایر صفات هدف، رتبه‌بندی می‌کند.

برای این منظور، شش رقم جدید گندم نان مربوط به اقلیم معتدل و معتدل سرد کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت تا: (۱) عملکرد دانه ارقام در شرایط محدودیت آبیاری در دو مرحله مهم رشدی ارزیابی گردد، (۲) دامنه تأثیر و اهمیت مراحل مختلف آبیاری، بر عملکرد دانه ارقام جدید مشخص شود، (۳) با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت، رقمی شناسایی شود که بالاترین عملکرد قابل برداشت را در کنار سایر صفات مهم زراعی در تمامی محیط‌های مورد مطالعه داشته باشد و (۴) اطلاعات بیشتری در مورد فنولوژی این رقم‌ها به دست آید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و مشخصات آزمایش

در تحقیق حاضر از شش رقم جدید گندم نان شامل بهاران، رخشان و سیروان به‌عنوان ارقام زودرس بهاره و میهن، حیدری و پیشگام به‌عنوان ارقام متوسط‌رس

³ ZS

¹ Genotype by yield×trait

² Wintersteiger

بود که تقریباً سه برابر ارتفاع بوته را پوشش داده و سقف آن توسط پلاستیک گلخانه‌ای روشن پوشانیده شد. مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری) در جدول ۱ ارائه شده است.

گروه از ارقام را در هر بلوک جداگانه مدیریت کرد. در هر یک از مراحل اعمال تنش، برای جلوگیری از ورود بارش باران احتمالی به پلات‌ها و اعمال تیمار تنش خشکی، از محافظ باران^۱ آلومینیومی قابل حمل استفاده گردید. ابعاد محافظ باران به صورت 2.5 × 6 × 12 متر

جدول ۱- خصوصیات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

نام	سال معرفی	مبدأ	شجره
بهاران	۱۳۹۳	CIMMYT	KAUZ/PASTOR//PBW343
رخشان	۱۳۹۴	CIMMYT	SHARP/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/5/VEE/LIRA//BOW/3/BCN/4/KAUZ
سیروان	۱۳۹۰	CIMMYT	PRL/2*PASTOR
میهن	۱۳۸۷	ایران	Bkt/90-Zhong87
حیدری	۱۳۸۹	ایران	Bkt/90-Zhong87
پیشگام	۱۳۹۴	ایران	Ghk"s"/Bow"s"/90-Zhong87/3/Shiroodi
محیط (ژنوتیپ × شرایط آبیاری و سال)	E1	شرایط اول	آبیاری نرمال
	E2	شرایط دوم	آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طول‌شدن ساقه
	E3	شرایط سوم	تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله آبستنی و تداوم آن تا رسیدن فیزیولوژیک)
	E4	شرایط چهارم	تنش خشکی آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه
	E5	شرایط اول	آبیاری نرمال
	E6	شرایط دوم	آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طول‌شدن ساقه
	E7	شرایط سوم	تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله آبستنی و تداوم آن تا رسیدن فیزیولوژیک)
	E8	شرایط چهارم	تنش خشکی آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه

شدند. وزن دانه‌های هر کرت، به کیلوگرم در هکتار تبدیل و به‌عنوان عملکرد دانه در هکتار در نظر گرفته شد. وزن هزار دانه با استفاده از دستگاه بذرشمار (Pfeuffer GmbH, Kitzingen, Germany) اندازه‌گیری شد. پس از حصول داده‌ها و قبل از انجام تجزیه‌ها، نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها بار استفاده از نرم‌افزار SPSS ver.16.0 بررسی شد. تجزیه واریانس ساده و مرکب بر مبنای امید ریاضی و با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9.1 انجام گرفت که در آن، محیط (سال × شرایط آبیاری) و رقم به‌ترتیب به‌عنوان عوامل تصادفی و ثابت در نظر گرفته شدند. جهت مقایسات میانگین داده‌های

شرایط آب و هوایی در طول فصل‌های رشد

داده‌های اقلیمی از یک ایستگاه هواشناسی واقع در فاصله کمتر از یک کیلومتری از محل اجرای آزمایش به دست آمد. مجموع بارندگی در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ به ترتیب ۵۱۹ و ۵۸۰ میلی‌متر بود. میانگین دما (از مهر تا تیر) به ترتیب ۱۱/۵۴ و ۱۲/۶۵ درجه سانتی‌گراد در سال‌های زراعی اول و دوم بود.

صفات مورد ارزیابی و تجزیه داده‌ها

صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی در طی مراحل رشد و روی ۱۰ بوته اندازه‌گیری شدند. پس از رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌ها، تمام ردیف‌های کشت هر کرت، توسط کمباین تحقیقاتی مدل وینتراشتایگر^۲ برداشت

^۲ Wintersteiger

^۱ Rain Shelter

بیشترین کاهش در مقدار صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، وزن سنبله، وزن دانه‌ها در سنبله و دوره پرشدن دانه، در شرایط آبیاری سوم (تنش خشکی آخر فصل) مشاهده شد؛ در حالی که شرایط آبیاری دوم (آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طولی شدن ساقه)، بیشتر سبب اثر بر صفات تعداد سنبله در مترمربع، ارتفاع بوته، طول پدانکل و صفات فنولوژیکی گردید. در مطالعات قبلی، یک الگوی کاهشی در صفات مورفولوژیکی مرتبط با عملکرد مانند ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه گندم تحت شرایط خشکی (دیم) نسبت به شرایط آبیاری بهینه تجربه شده است (کیلیچ و یانگاسانلار ۲۰۱۰). انجام آبیاری در مرحله شیری پرشدن دانه (شرایط آبیاری چهارم) سبب بهبود قابل توجه در مقدار اغلب صفات در مقایسه با شرایط آبیاری سوم (تنش خشکی آخر فصل) گردید که نشان‌دهنده اهمیت تأمین آب در این مرحله است. دوره پرشدن دانه به میزان ۱۱/۶۸ درصد در شرایط آبیاری چهارم نسبت به شرایط آبیاری اول (آبیاری نرمال) کاهش نشان داد، درحالی‌که سرعت پرشدن دانه به میزان ۵/۳۵ درصد افزایش یافت. خشکی آخر فصل اغلب چرخه رشد و دوره پرشدن دانه را در گندم کوتاه می‌کند. علاوه بر این، به نظر می‌رسد کاهش سرعت پرشدن دانه به دلیل کاهش فتوسنتز، تسریع پیری برگ و محدودیت‌های منبع در شرایط تنش خشکی باشد (مدنی و همکاران ۲۰۱۰). تنش خشکی در طول توسعه دانه، از طریق کاهش تخصیص ماده خشک به آن، بر اندازه بالقوه دانه تأثیر گذاشته (مدنی و همکاران ۲۰۱۰ و خاوانی و همکاران ۲۰۱۲) و در نتیجه وزن و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. در مطالعه حاضر، کاهش وزن هزاردانه به دلیل تنش خشکی ممکن است به دلیل چروک شدن دانه‌ها ناشی از تداخل در راندمان جذب مواد مغذی و نیز انتقال فتوسنتزی در داخل گیاه باشد. بنابراین، تنش خشکی به ویژه در دوره پرشدن دانه معمولاً وزن دانه را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد که در این مطالعه به خوبی مشاهده شد.

بدست آمده، از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار^۱ استفاده گردید. برای صفاتی که واریانس عامل رقم \times محیط معنی‌دار نبود، ادغام^۲ واریانس خطا انجام گرفت، بنابراین این اثر از مدل حذف، واریانس خطای جدید محاسبه و مدل اصلاح شد. تمام پلات‌های ارائه شده در این مطالعه از جمله بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد \times صفت (یان و فرگا-رید ۲۰۱۸)، با استفاده از نرم‌افزار GGE-Biplot ve.6.3 ترسیم شدند (یان ۲۰۰۱).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که رقم‌ها دارای اختلاف بسیار معنی‌داری از نظر تمام صفات مورد مطالعه می‌باشند (جدول ۲). اثر محیط (رژیم‌های مختلف رطوبتی) نیز بر تمامی صفات بسیار معنی‌دار بود. اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط برای برخی از صفات از جمله عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله، وزن دانه‌ها در سنبله، تراکم سنبله، روز تا ساقه‌دهی و دوره پرشدن دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین عملکرد دانه رقم‌ها در کل آزمایش، ۷۹۲۹ کیلوگرم در هکتار بود. ارقام میهن و سیروان با ۸۳۲۱ و ۷۷۲۲ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. ارقام متوسط‌سرس (میهن، حیدری و پیشگام) دارای بالاترین و ارقام زودرس (بهاران، رخشان و سیروان) دارای پایین‌ترین مقادیر صفات تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله، وزن دانه‌ها در سنبله، تراکم سنبله و صفات فنولوژیک بودند. در مقابل، ارقام زودرس از نظر صفات وزن هزار دانه، تعداد سنبله در متر مربع، ارتفاع بوته و سرعت پرشدن دانه مقادیر بیشتری نسبت به ارقام متوسط‌سرس داشتند. رقم رخشان با ۱۰۶/۰۸ سانتی‌متر و به‌عنوان پابلندترین رقم، دارای بیشترین طول پدانکل، طول سنبله، طول ریشک و سرعت پرشدن دانه بود. طولانی‌ترین دوره پرشدن دانه (۴۰ روز)، برای رقم سیروان ثبت گردید (جدول ۳).

اکثر صفات در مواجهه با تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، کاهش یافتند (جدول ۴). در این مطالعه،

² Pooling

¹ Least Significant Differences (LSD)

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات در همه محیطها (سال × شرایط آبیاری)

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی	منابع تغییر
وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در مترمربع	عملکرد دانه		
۳۲۸/۰۸۷۸**	۱۴۳۵/۷۶**	۲۰۹۲۴۵/۰۶**	۲۶۳۵۵۹۸۰/۷**	۷	محیط
۱۰/۳۹۸۸	۳۱/۹۳	۵۲۴۷/۱۰	۲۱۸۳۸۱۲/۰	۱۶	تکرار در داخل محیط (Ea)
۱۶۰/۶۸۱۹**	۱۵۲۵/۳۶**	۸۱۹۰/۱/۲۸**	۱۲۴۰۷۱۰/۶**	۵	رقم
۸/۲۳۶۲*	۳۰/۲۴ ^{ns}	۸۲۶۴/۲۱**	۹۰۸۸۸۸/۸ ^{ns}	۳۵	رقم × محیط
۴/۷۳۶۸	۲۰/۱۲	۲۹۰/۱/۱۹	۶۹۷۰۷۷/۵	۸۰	خطای آزمایشی (Eb)
-	۱۱/۶۰	-	۳۸۰۷۷۰/۹	۱۱۵	خطای ادغام شده
۴/۶۰	۷/۷۲	۸/۹۲	۱۰/۵۳	-	ضریب تغییرات (%)

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۲

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی	منابع تغییر
طول پدانکل	ارتفاع بوته	تراکم سنبله	وزن دانه‌ها در سنبله		
۲۷۱/۴۱**	۱۵۵۱/۶۹**	۳۰۶/۱۰**	۲/۹۲۲۹**	۷	محیط
۲/۸۲	۲۲/۰۶	۲۴/۱۵	۰/۱۲۲۹	۱۶	تکرار در داخل محیط (Ea)
۱۳۳/۳۰**	۱۳۵۲/۵۱**	۱۷۲۴/۹۶**	۱/۹۳۲۹**	۵	رقم
۷/۸۰**	۲۶/۶۶**	۱۷/۱۳ ^{ns}	۰/۰۷۴۶ ^{ns}	۳۵	رقم × محیط
۳/۳۵	۱۲/۰۱	۱۵/۶۸	۰/۰۵۴۲	۸۰	خطای آزمایشی (Eb)
-	-	۸/۰۶	۰/۰۳۰۲	۱۱۵	خطای ادغام شده
۵/۳۸	۳/۷۱	۷/۱۵	۸/۵۶	-	ضریب تغییرات (%)

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۲

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی	منابع تغییر
روز تا سنبله‌دهی	روز تا آبیستی	روز تا ساقه‌دهی	طول ریشک		
۲۴۷۹/۳۴۹**	۲۸۰۳/۷۴۵**	۴۰۲۹/۱۷۴**	۳/۵۷۲۸**	۷	محیط
۳/۳۸۲	۶/۰۱۴	۱/۲۶۴	۰/۳۰۳۴	۱۶	تکرار در داخل محیط (Ea)
۳۰۹/۵۱۱**	۲۴۵/۰۲۹**	۴۰/۰۱۳**	۱۰/۲۰۴۸**	۵	رقم
۴/۵۰۲**	۵/۳۸۸**	۰/۷۲۴ ^{ns}	۰/۲۸۶۸**	۳۵	رقم × محیط
۰/۸۱۵	۱/۴۹۷	۲/۶۸۹	۰/۱۴۰۷	۸۰	خطای آزمایشی (Eb)
-	-	۱/۰۴۵	-	۱۱۵	خطای ادغام شده
۰/۵۱	۰/۷۳	۱/۲۰	۰/۳۸	-	ضریب تغییرات (%)

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۲

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی	منابع تغییر
سرعت پرشدن دانه	دوره پرشدن دانه	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	روز تا گرده‌افشانی		
۰/۱۵۱۶**	۴۵۶/۳۱۷**	۹۱۲/۵۷۸**	۲۱۷۸/۰۶۴**	۷	محیط
۰/۰۰۹۴	۶/۵۷۶	۸/۰۰۷	۴/۹۸۶	۱۶	تکرار در داخل محیط (Ea)
۰/۲۳۵۶**	۵۱/۵۲۹**	۳۷۵/۰۹۰**	۲۵۶/۳۶۱**	۵	رقم
۰/۰۰۷۸ ^{ns}	۳/۵۹۳**	۵/۴۰۵**	۳/۴۷۵**	۳۵	رقم × محیط
۰/۰۰۶۱	۱/۸۵۱	۱/۴۹۰	۱/۲۶۹	۸۰	خطای آزمایشی (Eb)
۰/۰۰۳۳	-	-	-	۱۱۵	خطای ادغام شده
۶/۱۸	۳/۶۱	۰/۵۶	۰/۶۲	-	ضریب تغییرات (%)

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۳- مقایسه میانگین ارقام از نظر صفات مورد مطالعه در همه محیطها (سال × شرایط آبیاری)

وزن دانه‌ها در سنبله (g)	وزن سنبله (g)	وزن هزاردانه (g)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در مترمربع	عملکرد دانه (Kg/ha)	رقم
۲/۴۳۹	۲/۴۶	۴۸/۱۵	۵۰/۸۲	۶۵۰/۸۳	۷۷۵۰	بهاران
۲/۷۱۵	۳/۸۲	۵۰/۰۵	۵۴/۵۷	۶۳۸/۴۲	۷۹۱۰	رخشان
۲/۴۴۸	۲/۴۹	۵۰/۱۵	۴۹/۰۷	۶۵۴/۰۸	۷۷۲۲	سیروان
۳/۰۶۰	۴/۲۶	۴۶/۲۹	۶۶/۳۲	۵۳۱/۷۱	۸۳۲۱	میهن
۲/۶۰۳	۲/۶۴	۴۳/۸۸	۵۹/۷۴	۶۱۷/۹۶	۷۸۱۷	حیدری
۳/۰۶۸	۴/۲۲	۴۵/۲۲	۶۸/۱۳	۵۲۸/۱۳	۸۰۵۸	پیشگام (شاهد)
۲/۷۲۲	۳/۸۲	۴۷/۲۹	۵۸/۱۱	۶۰۳/۵۲	۷۹۲۹	میانگین
-	-	۱/۲۵	-	۳۰/۹۴	-	LSD 5%
۰/۰۹۹	۰/۱۳	-	۱/۹۵	-	۳۵۳	LSD 5% (Pooled)

ادامه جدول ۳

روز تا ساقه‌دهی	طول ریشک (cm)	طول سنبله (cm)	طول پدانکل (cm)	ارتفاع بوته (cm)	تراکم سنبله	رقم
۱۳۴/۵۰	۷/۵۴	۹/۷۹	۳۲/۷۲	۹۷/۰۶	۵۱/۸۷	بهاران
۱۳۶/۵۰	۸/۹۸	۱۱/۷۰	۳۶/۲۲	۱۰۶/۰۸	۴۶/۵۰	رخشان
۱۳۷/۴۶	۷/۱۸	۱۰/۳۷	۳۴/۹۹	۹۳/۰۹	۴۷/۱۵	سیروان
۱۳۶/۱۳	۸/۱۷	۱۰/۶۸	۳۵/۴۷	۸۸/۰۹	۶۲/۰۰	میهن
۱۳۵/۳۳	۸/۳۷	۱۰/۴۵	۲۹/۸۴	۹۲/۰۹	۵۶/۷۷	حیدری
۱۳۷/۹۶	۸/۴۴	۱۰/۰۱	۳۴/۸۷	۸۴/۵۸	۶۷/۸۲	پیشگام (شاهد)
۱۳۶/۳۱	۸/۱۱	۱۰/۵۰	۳۴/۰۲	۹۳/۵۰	۵۵/۲۵	میانگین
-	۰/۲۲	۰/۲۷	۱/۰۵	۱/۹۹	-	LSD 5%
۰/۵۸	-	-	-	-	۱/۶۲	LSD 5% (Pooled)

ادامه جدول ۳

سرعت پرشدن دانه (mg/day)	دوره پرشدن دانه (day)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	روز تا گرده‌افشانی	روز تا سنبله‌دهی	روز تا آبستنی	رقم
۱/۳۳۷	۳۶/۵۴	۲۱۵/۲۱	۱۷۸/۶۷	۱۷۴/۰۰	۱۶۴/۸۸	بهاران
۱/۴۲۴	۳۵/۴۲	۲۱۴/۷۵	۱۷۹/۳۳	۱۷۴/۷۱	۱۶۴/۷۱	رخشان
۱/۲۷۳	۳۹/۵۸	۲۱۸/۲۵	۱۷۸/۶۷	۱۷۴/۲۵	۱۶۵/۵۴	سیروان
۱/۲۳۰	۳۷/۹۲	۲۲۲/۹۶	۱۸۵/۰۴	۱۸۱/۴۶	۱۷۱/۴۶	میهن
۱/۱۵۳	۳۸/۴۲	۲۲۲/۰۰	۱۸۴/۵۸	۱۷۹/۴۶	۱۶۸/۸۲	حیدری
۱/۱۹۶	۳۸/۰۰	۲۲۲/۸۸	۱۸۴/۸۸	۱۸۱/۲۹	۱۷۱/۴۶	پیشگام (شاهد)
۱/۲۶۹	۳۷/۶۵	۲۱۹/۵۱	۱۸۱/۸۶	۱۷۷/۵۳	۱۶۷/۸۱	میانگین
-	۰/۷۸	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۷۰	LSD 5%
۰/۰۳۳	-	-	-	-	-	LSD 5% (Pooled)

آبیاری آبیاری نرمال کاهش یافت. واضح است که یک بار آبیاری در مرحله شیری پرشدن دانه، موجب کاهش این

عملکرد دانه در شرایط آبیاری دوم، سوم و چهارم، به ترتیب ۲۰/۲۷، ۲۷/۹۴ و ۱۴/۳۹ درصد نسبت به شرایط

خشکی در مرحله آبستنی (بوتینگ) یا گرده‌افشانی گزارش شده است (خاوانی و همکاران ۲۰۱۲). اعمال تنش خشکی در مرحله رشد زایشی گندم بر باروری دانه گرده تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه، اهمیت تنش خشکی در طی طول شدن ساقه، به خوبی نشان داده شد، زیرا باعث کاهش ۲۰ درصدی عملکرد دانه گردید. وقوع تنش خشکی در مرحله طول شدن ساقه، سبب ممانعت از تولید سنبله توسط برخی از پنجه‌ها می‌گردد (سارتو و همکاران ۲۰۱۷). طولانی شدن مرحله طول شدن ساقه، می‌تواند به طور بالقوه سبب افزایش در دسترسی آسمیلات‌ها، باروری گلچه‌ها، گرده‌افشانی و در نهایت تعداد دانه گردد (وایت‌چرچ و همکاران ۲۰۰۷).

خسارت تا ۵۰ درصد گردیده است. پاسخ گیاه به تنش خشکی بسیار متغیر بوده و بستگی به مرحله فنولوژیکی، دوره، شدت و فراوانی خشکی دارد (سارتو و همکاران ۲۰۱۷). ایحسان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند مراحل آبستنی (بوتینگ) و پر شدن دانه، حساس‌ترین مراحل رشد هستند که به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. اگرچه تنش خشکی ممکن است رشد گندم را در تمام مراحل فنولوژیکی تحت تأثیر قرار دهد، اما مراحل زایشی و پر شدن دانه، حساس‌ترین مراحل هستند که ممکن است به دلیل تسریع پیری برگ، عقیمی گرده، آسیب اکسیداتیو به سیستم جذب نوری و غیره ایجاد شود (فاروغ و همکاران ۲۰۱۴). در مطالعات قبلی، کاهش در صفات مربوط به عملکرد گندم در هنگام اعمال تنش

جدول ۴- اثر اعمال تنش خشکی بر میانگین صفات و درصد تغییرات آن‌ها نسبت به شرایط آبیاری نرمال

تنش خشکی تنها در مرحله طول‌شدن ساقه	تنش خشکی آخرفصل مرحله آبیاری تکمیلی	تنش آخرفصل منضم به یک مرحله آبیاری تکمیلی	صفت
-۲۰/۲۷	-۲۷/۹۴	-۱۴/۳۹	عملکرد دانه (kg/ha)
-۱۸/۲۷	-۱۲/۹۸	-۱۰/۹۷	تعداد سنبله در مترمربع
-۱۰/۴۷	-۸/۳۴	-۱۱/۲۳	تعداد دانه در سنبله
-۲/۲۴	-۱۷/۰۷	-۶/۸۶	وزن هزار دانه (g)
-۸/۲۲	-۱۸/۹۰	-۱۱/۷۴	وزن سنبله (g)
-۱۲/۷۰	-۲۴/۳۰	-۱۸/۱۴	وزن دانه‌ها در سنبله
-۷/۵۱	-۵/۶۴	-۸/۶۶	تراکم سنبله
-۷/۹۵	-۲/۵۶	-۰/۶۱	ارتفاع بوته (cm)
-۱۲/۱۹	-۵/۳۷	-۵/۳۷	طول پدانکل (cm)
-۲/۹۲	-۳/۰۹	-۳/۴۱	طول سنبله (cm)
-۲/۲۲	-۰/۳۵	۱/۱۴	طول ریشک (cm)
۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۰	روز تا ساقه‌دهی
-۳/۱۴	-۰/۱۱	۰/۲۵	روز تا آبستنی
-۲/۳۵	۰/۱۱	۰/۵۶	روز تا سنبله‌دهی
-۲/۳۷	-۰/۱۷	۰/۱۱	روز تا گرده‌افشانی
-۲/۴۳	-۲/۹۲	-۲/۰۴	روز تا رسیدن فیزیولوژیک
-۲/۷۳	-۱۵/۳۰	-۱۱/۶۸	دوره پر شدن دانه (day)
۰/۵۹	-۲/۲۵	۵/۲۵	سرعت پر شدن دانه (mg/day)

میانگین آن به صورت جداگانه در هر هشت محیط (ترکیب سال × شرایط آبیاری) در قالب جدول ۵ ارائه شده است. اثر معنی‌دار رقم بر عملکرد دانه، تنها برای

از آنجا که عملکرد دانه مهمترین صفت مورد بررسی در این مطالعه است و نیز با توجه به اینکه اثر محیط بر آن معنی‌دار شده است، تجزیه واریانس ساده و مقایسه

طوبتی) به ترتیب با ۹۷۶۷ و ۹۰۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. رقم میهن دارای بیشترین عملکرد دانه در چهار محیط از هشت محیط مورد بررسی بود. رقم بهاران در سال دوم کمترین مقدار عملکرد دانه در هر چهار شرایط آبیاری را داشت، در حالی که ارقام میهن و پیشگام برترین بودند (جدول ۵).

محیط E3 (یعنی ژنوتیپ‌هایی که در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل ارزیابی شدند) مشاهده گردید. البته کمترین عملکرد دانه نیز از این محیط مشاهده گردید. بیشترین عملکرد دانه مربوط به محیط E5 (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و شرایط نرمال طوبتی) و E1 (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و شرایط نرمال

جدول ۵- خلاصه تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) برای همه محیط‌ها

محیط	SE ± میانگین	حداقل	حداکثر	آزمون F	ضریب تغییرات (%)
E1	۹۰۳۴±۱۱۸	۸۶۶۷ (رخشان)	۹۳۹۵ (میهن)	ns	۱۲/۵۵
E2	۷۰۱۸±۱۴۰	۶۶۲۰ (حیدری)	۷۵۰۴ (سیروان)	ns	۱۱/۵۲
E3	۶۰۶۷±۳۱۱	۵۰۵۵ (رخشان)	۶۰۵۵ (سیروان)	**	۸/۶۳
E4	۷۲۹۸±۸۸	۷۰۹۴ (حیدری)	۷۶۹۵ (میهن)	ns	۱۵/۷۹
E5	۹۷۶۷±۲۳۳	۹۰۷۳ (بهاران)	۱۰۴۱۰ (پیشگام)	ns	۷/۵۵
E6	۷۹۷۲±۴۰۹	۶۷۴۷ (بهاران)	۹۴۵۶ (میهن)	ns	۱۲/۲۶
E7	۷۴۸۱±۱۸۳	۶۷۵۱ (بهاران)	۷۹۲۴ (پیشگام)	ns	۷/۶۲
E8	۸۷۹۸±۱۷۱	۸۲۱۳ (بهاران)	۹۲۶۵ (میهن)	ns	۵/۲۳

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. اطلاعات محیط‌ها (ترکیب سال در شرایط آبیاری)، در جدول ۱ ارائه شده است.

تفاوت ارقام در مراحل فنولوژیکی

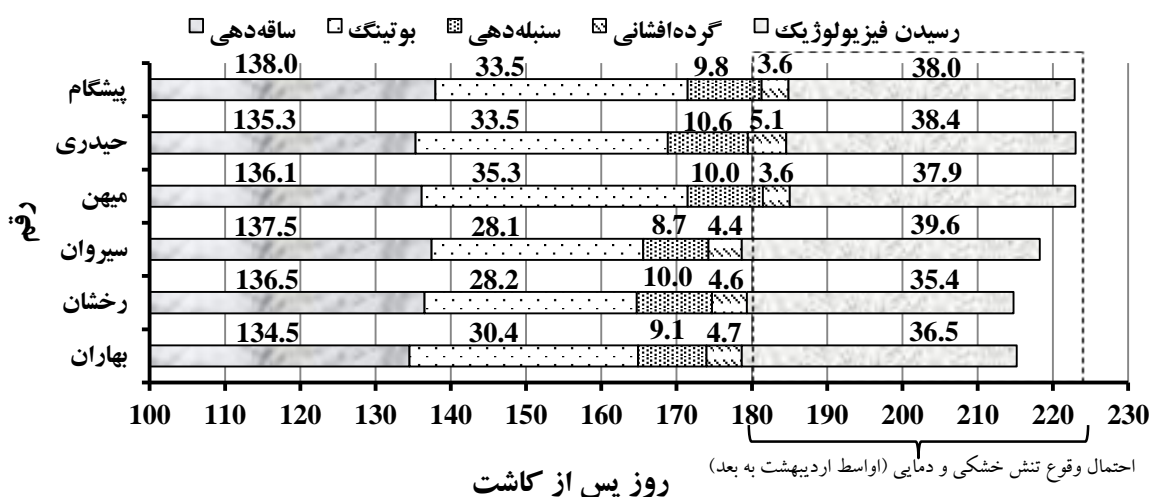
۳۹/۶ روز بود. در مجموع ارقام رخشان و حیدری با ۲۱۵ و ۲۲۳ روز، به ترتیب به عنوان ارقام زودرس و دیررس شناسایی شدند. میانگین تعداد روزهای لازم برای رسیدن به مرحله رسیدگی در ارقام زودرس (بهاران، رخشان و سیروان) و متوسط رس (میهن، حیدری و پیشگام) به ترتیب برابر ۲۱۶ و ۲۲۳ روز بود که تفاوت قابل توجهی دارند.

آگاهی از مراحل فنولوژی گندم برای کشاورزان، متخصصان اصلاح نباتات و زراعت، بسیار مهم است و می‌تواند با ارائه تاریخ بهینه عملیات مختلف کشاورزی، به بهبود عملکرد و کیفیت غذا کمک کند. در آزمایش حاضر مشخص شد که مدت زمان رسیدن به هر مرحله فنولوژیک در دو گروه ارقام (شامل زودرس و میان‌رس) مورد مطالعه، متفاوت است. اثرگذاری عوامل محیطی بر تعداد روزهای مورد نیاز برای رسیدن به مراحل مختلف رشد گندم، به دلیل تفاوت‌های ذاتی بین ارقام و ساختار ژنتیکی متفاوت آن‌ها است. رقم سیروان در دو محیط از هشت محیط دارای بیشترین مقدار عملکرد دانه بود. در این رقم، زودسنبله‌دهی و دیررسی سبب شده است که

تفاوت بین ارقام از نظر مراحل فنولوژیکی، با جزئیات کامل در شکل ۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ارقام (بر اساس همه داده‌ها) از نظر مرحله روز تا ساقه‌دهی تفاوت چندانی ندارند. ارقام بهاران و پیشگام با ۱۳۴/۵ و ۱۳۸ روز، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را داشتند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، ارقام زودرس (بهاران، رخشان و سیروان) به روزهای کمتری برای رسیدن به مرحله آبستنی نیاز داشتند. ارقام سیروان و میهن با ۲۸/۱ و ۳۵/۳ روز، به ترتیب دارای کمترین و بیشترین فاصله زمانی بین ساقه‌دهی و آبستنی بودند. کمترین و بیشترین فاصله زمانی بین آبستنی و سنبله‌دهی، به ترتیب مربوط به ارقام سیروان و حیدری با ۸/۷ و ۱۰/۶ روز بود. اگرچه ارقام میهن و پیشگام، دارای کمترین فاصله زمانی (۴ روز) بین سنبله‌دهی و گرده‌افشانی بودند، اما بیشترین (نزدیک به ۱۸۵ روز) تعداد روز از کاشت تا گلدهی متعلق به آن‌ها بود. کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین زمان بین گلدهی و رسیدگی، مربوط به ارقام رخشان و سیروان و به ترتیب با ۳۵/۴ و

و جدید گندم نان ایرانی، ارقام پرمحصول جدید خصوصیات مانند زودگلهی و زودرسیدی در شرایط خشکی آخرفصل از خود نشان دادند، اما دوره پر شدن دانه در آن‌ها در مقایسه با ارقام قدیمی طولانی‌تر بود (جودی و همکاران ۲۰۱۴). در کشورهای با اقلیم مدیترانه‌ای و شیوع تنش خشکی، یک روند تدریجی در حرکت برنامه‌های به‌نژادی گندم به سمت زودگلهی و زودرسیدی ارقام مشاهده شده است و پیش‌بینی می‌شود در صورت ادامه پدیده گرمایش جهانی، این روند برای تولید گندم ادامه یابد (شاوورکوف و همکاران ۲۰۱۷).

دوره پر شدن دانه طولانی شده (۴۰ روز) و در نتیجه اجزای فتوسنتزی سبز باقی بمانند و سهم آسمیلات‌های پس از گرده‌افشانی را در پر شدن دانه بهبود بخشند. ارقام بهاران و رخشان به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، به‌عنوان ارقام زودرس (رسیدی فیزیولوژیک) معرفی شدند. این مهم سبب می‌شود که این دو رقم تاحدودی از تنش خشکی آخرفصل مصون بمانند. بنابراین این موضوع نشان می‌دهد که اصلاح و معرفی ارقام زودرس، یکی از اهداف اصلی متخصصان به‌نژادی در مناطق نیمه‌خشکی مانند ایران است که همواره، تنش‌های خشکی و دمایی آخرفصل در طی دوره پر شدن دانه رخ می‌دهد (بلوم ۲۰۱۰). در مقایسه ۷۵ رقم قدیمی



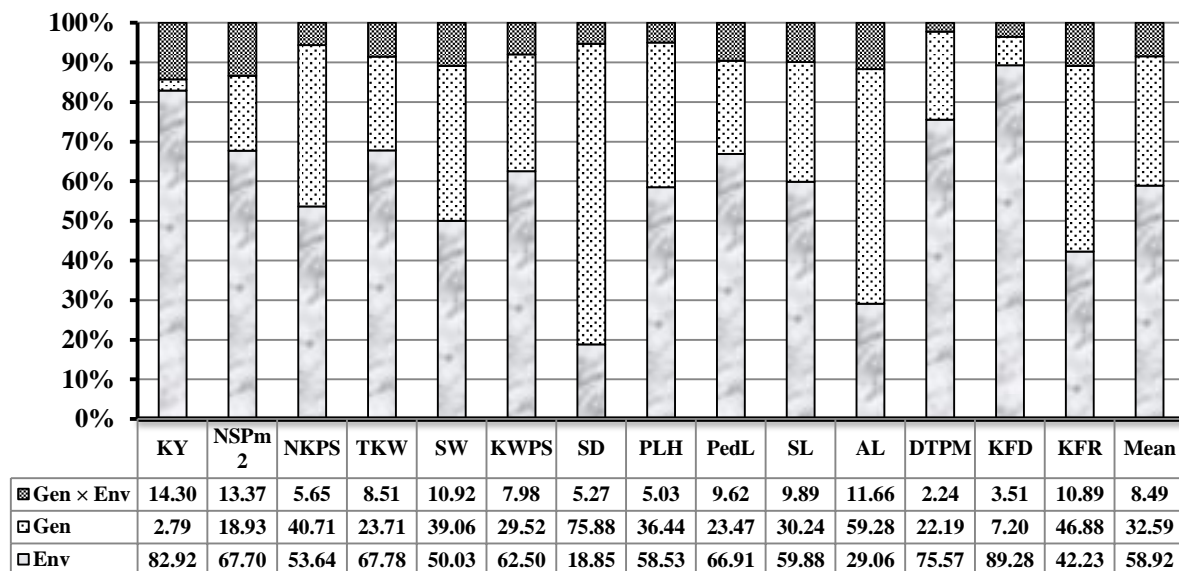
شکل ۱- تفاوت بین ارقام بر اساس مراحل فنولوژیکی در میانگین تمامی محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

پایین (کمتر از ۱۰ درصد) بود. اثر محیط درصد بالایی از کل تغییرات را در صفات دوره پر شدن دانه (۸۹/۲۸ درصد)، عملکرد دانه (۸۲/۹۲ درصد) و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (۷۵/۵۷ درصد)، ایجاد کرد که حاکی از تأثیر بیشتر عوامل محیطی بر بیان فنوتیپی این صفات است و نشان می‌دهد که این صفات به اندازه کافی برای معیار انتخاب در نسل‌های اولیه از طریق برنامه‌های اصلاحی، سازگار نیستند. از سوی دیگر، اثر محیط بیش از ۵۰ درصد از واریانس همه صفات به جز تراکم سنبله، طول ریشک و سرعت پر شدن دانه را به خود اختصاص داده است. به این معنی که برای این صفات، فراهم بودن آب

درصد منابع تغییرات حاصل از واریانس مرکب سهم هر منبع تغییر در تجزیه مرکب (بدون در نظر گرفتن خطاهای آزمایش)، برای صفات مطالعه شده در شکل ۲ به عنوان درصد مجموع مربعات کل نشان داده شده است. دامنه تنوع ژنوتیپی برای صفات تراکم سنبله (۷۵/۸۸ درصد) و طول ریشک (۵۹/۲۸ درصد) بالا، برای صفات تعداد دانه در سنبله (۴۰/۷۱ درصد)، وزن سنبله (۳۹/۰۶ درصد)، ارتفاع بوته (۳۶/۴۴ درصد) و سرعت پر شدن دانه (۴۶/۸۸ درصد) متوسط و برای سایر صفات، مقادیری پایین به دست آمد. برای صفات عملکرد دانه و دوره پر شدن دانه، اثر ژنوتیپی به طور قابل ملاحظه‌ای

ستون سمت راست شکل ۲ که با نام میانگین (Mean) آمده است، نشان‌دهنده میانگین درصد هر منبع تغییرات در صفات است. بر اساس این ستون، تأثیر محیط (۵۸/۹۲ درصد) تقریباً دو برابر ژنوتیپ (۳۲/۵۹ درصد) و هفت برابر بیشتر از اثر متقابل (۸/۴۹ درصد) بوده است.

در مراحل بحرانی رشد در مقایسه با تغییرات ناشی از ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، اثر قابل توجهی بر صفات نداشت، به طوری که حداکثر اثر آن، روی عملکرد دانه و به میزان ۱۴/۳۰ درصد بود. آخرین



شکل ۲- منابع تغییرات صفات (پس از حذف خطاهای آزمایش) به صورت درصد مجموع مربعات کل

ستون "میانگین" نشان‌دهنده میانگین صفات است. YLD: عملکرد دانه، NSPm²: تعداد سنبله در مترمربع، NKPS: تعداد دانه در سنبله، TKW: وزن هزاردانه، SW: وزن سنبله، KWPS: وزن دانه‌ها در سنبله، SD: تراکم سنبله، PLH: ارتفاع بوته، PedL: طول پدانکل، SL: طول سنبله، AL: طول ریشک، DTSE: روز تا ساقه‌دهی، DTB: روز تا آبستنی (بوتینگ)، DTH: روز تا سنبله‌دهی، DTA: روز تا گرده‌افشانی، DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، KFD: دوره پرشدن دانه، KFR: سرعت پرشدن دانه.

تراکم سنبله، دوره پر شدن دانه و ارتفاع بوته بهترین بود. رقم رخشان بر اساس ترکیبات $YLD \times TKW$ ، YLD و $KFR \times YLD \times NSPm^2$ بهترین بود. به عبارت دیگر این رقم، دارای بهترین ترکیب عملکرد دانه با صفات وزن هزاردانه، سرعت پرشدن دانه و تعداد سنبله در مترمربع بود. رقم میهن از نظر بقیه ترکیبات عملکرد-صفت، به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شد.

تجزیه GGE-Biplot

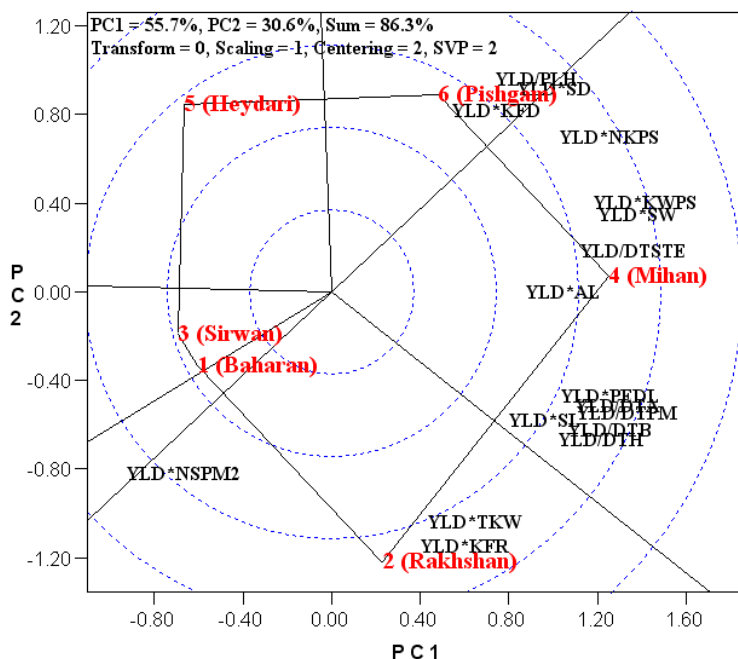
الگوی چند ضلعی "کدام- برتر-کجا" به‌عنوان یکی از مهمترین ویژگی‌های GGE بای‌پلات، در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق این پلات، رقم میهن سازگاری خصوصی بالایی به اغلب محیط‌های مورد بررسی نشان داد. ژنوتیپ‌های موجود در رأس‌های چندضلعی، نمایانگر

بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT)

در مطالعه حاضر، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه معنی‌دار نبود، اما زمانیکه به مقایسه میانگین‌ها در هشت محیط آزمایشی دقت می‌شود، تفاوت قابل‌توجهی بین میانگین این صفت (از ۶۰۶۷ تا ۹۷۶۷ کیلوگرم در هکتار) ملاحظه می‌گردد. در هر بخش مشخص شده از این بای‌پلات (شکل ۳)، ژنوتیپ برتر روی رأسی قرار می‌گیرد که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشته و دارای بیشترین مقادیر برای ترکیب‌های عملکرد-صفت است. دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب حدود ۵۵/۷ و ۳۰/۶ درصد از کل تغییرات مجموعه داده را به خود اختصاص دادند. رقم پیشگام بیشترین مقادیر را برای ترکیبات $YLD \times SD$ ، $YLD \times KFD$ و YLD/PLH داشت، به این معنی که این رقم در ترکیب عملکرد دانه با

در مرحله طویل شدن ساقه) و E3 (سال اول- تنش خشکی آخر فصل) بود (شکل ۴). رقم رخشان فقط در محیط E5 (سال دوم- آبیاری نرمال) برتری نشان داد. ارقام حیدری و پیشگام نزدیک مرکز پلات قرار گرفتند که

ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی بالا به محیط‌های واقع در محدوده آن چندضلعی هستند. بنابراین رقم بهاران دارای سازگاری خصوصی بالا به محیط‌های E2 (سال اول- آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها



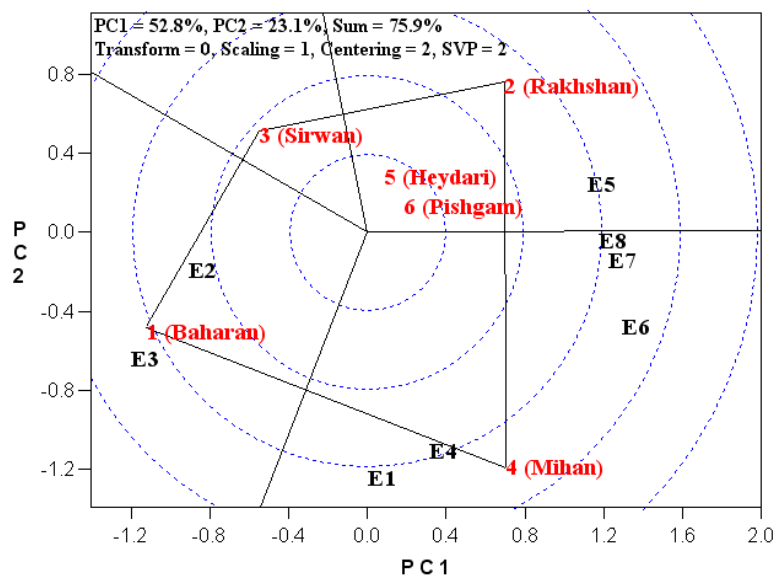
شکل ۳- بای پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT) در طول تمامی محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

YLD: عملکرد دانه، NSPM²: تعداد سنبله در مترمربع، NKPS: تعداد دانه در سنبله، TKW: وزن هزاردانه، SW: وزن سنبله، KWPS: وزن دانه‌ها در سنبله، SD: تراکم سنبله، PLH: ارتفاع بوته، PedL: طول پدانکل، SL: طول سنبله، AL: طول ریشک، DTSE: روز تا ساقه‌دهی، DTB: روز تا آبستنی (بوتینگ)، DTH: روز تا سنبله‌دهی، DTA: روز تا گرده‌افشانی، DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، KFD: دوره پرشدن دانه، KFR: سرعت پرشدن دانه.

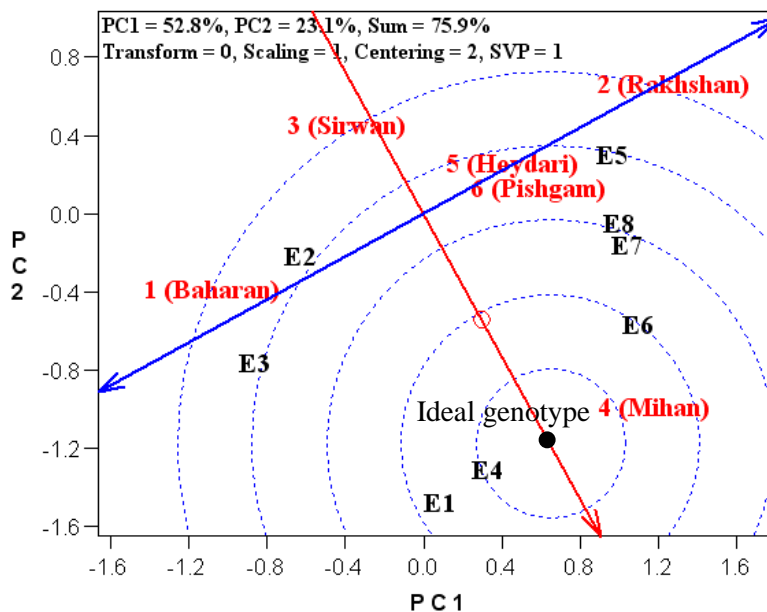
در این پلات، خطی که دارای دو پیکان در انتهای خود است، نشان دهنده اثرمتقابل بیشتر با محیط‌ها (پایداری ضعیف‌تر) در هر دو جهت است. بنابراین ارقام بهاران و رخشان کمترین پایداری و سایر ارقام بیشترین پایداری را داشتند. همان‌طور که توسط یک دایره سیاه کوچک در شکل ۵ نشان داده شده است، رقم مطلوب رقمی است که کمترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل دارد (یان و همکاران ۲۰۰۷). بر این اساس، رقم میهن با کمترین فاصله نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل، به عنوان رقم مطلوب شناخته شد.

نشان‌دهنده پاسخ کم آن‌ها به تغییرات محیط است. مؤلفه اول و دوم جمعاً ۷۵/۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. مشابه با این مطالعه، از تکنیک بای پلات GGE به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای تخمین عملکرد ژنوتیپ در محیط‌های مختلف به‌طور گسترده توسط به‌نژادگران در سراسر جهان استفاده شده است (یان و همکاران ۲۰۰۷، محمدی و همکاران ۲۰۱۰، کوتیس و همکاران ۲۰۱۲، امیری و همکاران ۲۰۱۸).

در شکل ۵، رقم میهن با قرار گرفتن در فاصله دور از مبدأ در جهت مثبت، بالاترین میانگین عملکرد را داشت.



شکل ۴- شمای چندضلعی "کدام- برتر- کجا" در بای پلات ژنوتیپ × محیط اطلاعات محیطها (ترکیب سال در شرایط آبیاری)، در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۵- بای پلات GGE مقایسه ژنوتیپها با ژنوتیپ ایده آل اطلاعات محیطها (ترکیب سال در شرایط آبیاری)، در جدول ۱ ارائه شده است.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که تنش خشکی به ویژه در مرحله آبستنی باعث کاهش شدید عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن می‌شود. نتایج حاصله، دانش ما را در خصوص پیشرفت فنولوژیکی این شش رقم گندم نان بهبود بخشید که می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مختلف تحقیقات کشاورزی بسیار مفید بوده و سبب بهبود حفظ

آب در دسترس کشاورزی از طریق انجام آبیاری بر اساس مراحل حساس فنولوژیکی و نیز استفاده از ارقام متحمل به تنش در آن مرحله رشدی گردد. نتایج به وضوح نشان داد که مدل GGE بای پلات برای نشان دادن تفاوت‌های ارقام و همچنین توانایی تمایز و بازنمایی محیط‌های آزمایش، بسیار مؤثر بود که با نتایج کوتیس و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر کارا بودن تجزیه و تحلیل

سیاسگزاری

این پژوهش برگرفته از پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب ۲۴-۵۵-۰۳-۰۴۰-۹۶۰۴۱۷ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد که بدین وسیله اعلام قدردانی می‌گردد. همچنین از آقایان دکتر گودرز نجفیان، مهندس مصیب نوروزی، دکتر سیدافشین صفوی و خام دکتر فرحناز صیادی به دلیل همکاری‌های مرتبط با این پروژه، سپاسگزاری می‌شود.

GGE بای‌پلات در تشخیص برخی از ویژگی‌های خاص در ارقام مشخص که در محیط‌های مختلف بیان می‌شود، همخوانی دارد. در مجموع از نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شناخت مراحل حساس رشد و واکنش‌های عملکرد و اجزای عملکرد دانه به آبیاری، نقش مهمی در افزایش تولید گندم دارد. در مجموع، رقم میهن به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بالقوه بالا، برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی در شرایط غیرقابل پیش‌بینی پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi V and Aharizad S. 2014. Evaluation of bread wheat recombinant inbred lines for water deficit stress tolerance indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 23(4): 9-22. (In Persian).
- Alghabari F, Lukac M, Jones H and Gooding M. 2014. Effect of *Rht* alleles on the tolerance of wheat grain set to high temperature and drought stress during booting and anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200: 36-45. <https://doi.org/10.1111/jac.12038>.
- Amiri R, Bahraminejad S and Cheghamirza K. 2018. Estimating genetic variation and genetic parameters for grain iron, zinc and protein concentrations in bread wheat genotypes grown in Iran. *Journal of Cereal Science*, 80: 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.009>.
- Blum A. 2010. *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Springer, London. pp. 1-210. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4>
- Farooq M, Hussain M and Siddique KHM. 2014. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33: 331-349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>.
- Foroozfar M, Bihanta M, Peyghambari A and Zeynali H. 2011. Evaluation of bread wheat genotypes under normal and water stress conditions for agronomic traits. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 21(3): 33-46. (In Persian).
- Gouache D, Le Bris X, Bogard M, Deudon O, Page C and Gate P. 2012. Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France. *European Journal of Agronomy*, 39: 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.01.009>.
- Ihsan MZ, El-Nakhlawy FS, Ismail SM, Fahad S and Daur I. 2016. Wheat phenological development and growth studies as affected by drought and late season high temperature stress under arid environment. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00795>.
- Joudi M, Ahmadi A, Mohammadi V, Abbasi A and Mohammadi H. 2014. Genetic changes in agronomic and phenologic traits of Iranian wheat cultivars grown in different environmental conditions. *Euphytica*, 196: 237-249. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-1027-7>
- Khakwani AA, Dennett MD, Munir M and Abid M. 2012. Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. *Pakistan Journal of Botany*, 44: 879-886.
- Kilic H and Yağbasanlar T. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum*) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 38: 164-170. <https://doi.org/10.15835/nbha3814274>.

- Koutis K, Mavromatis AG, Baxevanos D and Koutsika-Sotiriou M. 2012. Multi environmental evaluation of wheat landraces by GGE biplot analysis for organic breeding. *Agricultural Science*, 3: 66-74. <https://doi.org/10.4236/as.2012.31009>.
- Madani A, Rad AS, Pazoki A, Nourmohammadi G and Zarghami R. 2010. Wheat (*Triticum estivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source: sink modifications under postanthesis water and nitrogen deficiency. *Acta Scientiarum Agronomy*, 32: 145-151. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.6273>.
- Mohammadi R. 2018. Breeding for increased drought tolerance in wheat: a review. *Crop and Pasture Science*, 69: 223-241. <https://doi.org/10.1071/CP17387>.
- Mohammadi R, Haghparast R, Amri A and Ceccarelli S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science*, 61: 92-101. <https://doi.org/10.1071/CP09151>.
- Patil RM, Tamhankar SA, Oak MD, Raut AL, Honrao BK, Rao VS and Misra SC. 2013. Mapping of QTL for agronomic traits and kernel characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Euphytica*, 190(1): 117-129. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0785-y>.
- Rasheed A, Xia X, Ogonnaya F, Mahmood T, Zhang Z, Mujeeb-Kazi A and He Z. 2014. Genome-wide association for grain morphology in synthetic hexaploid wheats using digital imaging analysis. *BMC Plant Biology*, 14: 128. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-128>
- Sarto MVM, Sarto JRW, Rampim L, Rosset JS, Bassegio D, Da Costa PF and Inagaki AM. 2017. Wheat phenology and yield under drought: A review. *Australian Journal of Crop Science*, 11(8): 941-946. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.08.pne351>.
- Shavrukov Y, Kurishbayev A, Jatayev S, Shvidchenko V, Zotova L, Koekemoer F, DE Groot S, Soole K and Langridge P. 2017. Early flowering as a drought escape mechanism in plants: how can it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science*, 8: 1-8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01950>.
- Shi J-F, Mao X-G, Jing R-L, Pang X-B, Wang Y-G and Chang X-P. 2010. Gene expression profiles of response to water stress at the jointing stage in wheat. *Agricultural Sciences in China*, 9(3): 325-330. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60100-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60100-0).
- Stacks WJ, Deryng D, Foley JA and Navin R. 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 607-620. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00551.x>.
- Tabassum T, Farooq M, Ahmad R, Zohaib A, Wahid A and Shahid M. 2018. Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(5): 845-856. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0547-y>.
- Van Bussel LGJ, Ewert F and Leffelaar PA. 2011. Effects of data aggregation on simulations of crop phenology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142: 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.019>.
- Venkateswarlu B and Shanker AK. 2012. Dryland agriculture: bringing resilience to crop production under changing climate. In: Venkateswarlu B, Shanker AK, Shanker C and Maheswari M. (Eds), *Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies*, (Dordrecht: Springer), 19-44. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2220-0_2
- Villegas D, Alfaro C, Ammar K, Catedra MM, Crossa J, Garcia Del Moral LF and Royo C. 2016. Daylength, temperature and solar radiation effects on the phenology and yield formation of spring durum wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202: 203-216. <https://doi.org/10.1111/jac.12146>.
- White JW, Kimball BA, Wall GW, Ottman MJ and Hunt LA. 2011. Responses of time of anthesis and maturity to sowing dates and infrared warming in spring wheat. *Field Crops Research*, 124: 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.020>.

- Whitechurch EM, Slafer GA and Miralles DJ. 2007. Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193: 138-145.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00260.x>.
- Yan W. 2001. GGEbiplot—a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93: 1111-1118.
<https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351111x>.
- Yan W and Frégeau-Reid J. 2018. Genotype by yield×trait (GYT) biplot: a novel approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports*, 8: 8242.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-26688-8>.
- Yan W, Kang M, Ma B, Woods S and Cornelius P. 2007. GGE biplot vs AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47: 643-655. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>.
- Zadoks JC, Chang TT and Konzak CF. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>.
- Zhang X, Wang S, Sun H, Chen S, Shao L and Liu X. 2013. Contribution of cultivar, fertilizer and weather to yield variation of winter wheat over three decades: a case study in the North China Plain. *European Journal of Agronomy*, 50: 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.005>.