



روند تغییرات در صفات زراعی، عملکرد دانه و کارایی مصرف نور برخی ارقام تجاری گندم نان آزادسازی شده از سال ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۱ در ایران

Temporal Variation in Agronomic Traits, Grain Yield, and Radiation Use Efficiency of Some Commercial Bread Wheat Cultivars Released from 1979 to 2022 in Iran

شکوفه ساریخانی خرمی^{۱*}، محسن بذرافشان^۲، سیروس طهماسبی^۳

- 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- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
- ۳- 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: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۹

چکیده

ساریخانی خرمی، ش.، بذرافشان، م. و طهماسبی، س. ۱۴۰۴. روند تغییرات در خصوصیات زراعی، عملکرد دانه و کارایی مصرف نور برخی ارقام تجاری گندم نان آزادسازی شده از سال ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۱ در ایران. نهال و بذر ۴۱: ۱۷۳-۱۴۳

آگاهی از روند تغییرات در صفات زراعی مرتبط با دستاوردهای ژنتیکی برای پتانسیل عملکرد دانه گندم نان، برای بهبود درک عوامل محدودکننده عملکرد دانه و ارزیابی راهکارهای بهینه‌سازی ضروری است. به‌منظور بررسی روند تغییرات در صفات زراعی، عملکرد دانه و اجزای آن و کارایی مصرف نور ۱۶ رقم گندم نان تجاری آزادسازی شده از سال ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۱ شامل: فلات، بامداد، سپهر، دانش، جلال، امین، تری، طلایی، پارس، سیروان، شیراز، مرودشت، قدس، مهدوی، آزادی و نیک‌نژاد، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان فارس انجام شد. تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع گیاه، عملکرد دانه و اجزای آن اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف نور برای عملکرد دانه و ماده خشک در چهار مرحله فنولوژیکی شامل طویل شدن ساقه، ظهور سنبله، گلدهی و پر شدن دانه با اندازه‌گیری مقدار جذب نور فعال فتوسنتزی به‌وسیله دستگاه نور فعال فتوسنتزی سنج انجام شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه ارقام گندم آزادسازی شده، در دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۵۸، افزایش داشت که این افزایش بیشتر به‌دلیل افزایش وزن هزاردانه و تا حدودی بهبود شاخص برداشت بود. ارتفاع گیاه و تعداد روز تا رسیدگی ارقام جدیدتر نسبت به ارقام قدیمی‌تر کاهش داشت، که بیانگر موفقیت برنامه‌های بهینه‌سازی در معرفی ارقام پاکوتاه و زودرس بود. کارایی مصرف نور در مرحله گلدهی و کارایی مصرف نور عملکرد دانه نیز در طول فرایند بهینه‌سازی در دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۵۸، افزایش یافت. نتایج این بررسی نشان دهنده پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه در این دوره زمانی به‌دلیل افزایش وزن هزاردانه، کاهش ارتفاع گیاه، و تا حدودی افزایش کارایی مصرف نور در مرحله گلدهی بود.

واژه‌های کلیدی: گندم نان، روز تا گلدهی، روز تا رسیدن فیزیولوژیکی، وزن هزار دانه، شاخص برداشت.

تلفن: ۰۷۱۳۲۶۲۲۴۲۵

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



© 2025 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

از دهه ۱۹۶۰، افزایش عملکرد دانه جهانی گندم علاوه بر اعمال مدیریت به زراعی مانند استفاده از کودهای شیمیایی، آبیاری، کنترل علف‌های هرز و آفات، به دلیل پیشرفت در ژنتیک گندم، حاصل شده است (Fan *et al.*, 2012; Voss-Fels *et al.*, 2019). پژوهش‌های انجام شده و منتشر شده نشان داده اند که بهنژادی گندم منجر به بهبود قابل توجهی در عملکرد دانه، بویژه پس از انقلاب سبز شده است (Beche *et al.*, 2014; Aisawi *et al.*, 2015; Yao *et al.*, 2019; Xi *et al.*, 2024). پژوهش‌ها در ایران نیز نشان داد که عملکرد گندم همچنان در حال افزایش است و دستاوردهای ژنتیکی در عملکرد گندم بین سال‌های ۱۹۵۲ تا ۲۰۰۹ حدود ۸۳ کیلوگرم در هکتار در سال (Zand *et al.*, 2002)، و در سال‌های ۱۳۳۳ تا ۱۳۹۰ حدود ۴۰ کیلوگرم در هکتار در سال (Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2014) بوده است.

ارزیابی پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم معرفی شده در مرکز بین‌المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۸ و ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۹ میلادی (Lopes *et al.*, 2012; Aisawi *et al.*, 2015) به‌ترتیب نشان‌دهنده افزایش عملکرد ۳۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار در سال بود. مطالعات انجام شده در چین حاکی از افزایش ژنتیکی عملکرد دانه گندم در دره زرد جنوبی و

دره هاوییی از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۷، حدود ۴۸ کیلوگرم در هکتار در سال بود که با نتایج سایر پژوهشگران در استان‌های مجاور مطابقت داشت (Gao *et al.*, 2017; Yao *et al.*, 2019). نتایج این پژوهش‌ها و سایر پژوهشگران بیانگر نقش کلیدی افزایش وزن هزاردانه، کاهش ارتفاع گیاه، زودرسی، بهبود شاخص برداشت و کارایی تخصیص مواد فتوسنتزی در مرحله پرشدن دانه در پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه گندم در برنامه‌های بهنژادی بود (Aisawi *et al.*, 2015; Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2014).

عملکرد گندم دانه را می‌توان به سادگی بر اساس تجمع زیست توده و تخصیص آن به دانه‌ها یعنی شاخص برداشت تعریف کرد. اما شاخص برداشت بالاتر، زمانی که با کاهش زیست توده همراه باشد موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Rivera-Amado *et al.*, 2019). افزایش فتوسنتز که به توانایی کانوپی در جذب نور و کارایی مصرف نور بستگی دارد، یکی از امیدوارکننده‌ترین رویکردها برای افزایش زیست توده محسوب می‌شود (Parry *et al.*, 2011; Hubbart *et al.*, 2018; Molero *et al.*, 2019).

برخی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که فرایند بهنژادی تاثیر زیادی بر کارایی مصرف نور در مرحله گرده‌افشانی داشته است. آن‌ها گزارش کردند که کارایی مصرف نور در مرحله پس از گرده‌افشانی در ارقام جدید گندم

دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۵۸ در ایران برای شناسایی مهمترین سازکارهای موثر در پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه جهت بکارگیری در برنامه‌های بهنژادی گندم نان در ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان واقع در ۳۰ کیلومتری شمال شرقی شیراز با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۶۰۴ متر، میانگین سی‌ساله بارندگی ۳۰۱/۸۷ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۶/۶۸ درجه سانتی‌گراد انجام شد. داده‌های هواشناسی ایستگاه زرقان در دو سال اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

ارقام مورد بررسی شامل ۱۶ رقم گندم نان آزادسازی شده از سال ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۱ شامل: آزادی، قدس، نیک‌نژاد، مهدوی فلات، مرودشت، شیراز، پارسی، سیروان، طلایی، ترابی، امین، جلال، دانش، سپهر و بامداد بود (جدول ۲). آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

نان بیشتر از ارقام قدیمی است. اگرچه در مرحله پیش از گرده‌افشانی کارایی مصرف نور ارقام قدیمی و جدید یکسان بود (Calderini *et al.*, 1997; Reynolds *et al.*, 2005; Ghodsi *et al.*, 2008). درحالی‌که نتایج پژوهشی دیگر (Acreche *et al.*, 2008) نشان داد ارقام جدید گندم نسبت به ارقام قدیمی تابش کمتری جذب کردند، زیرا زمان رسیدن به مرحله گرده‌افشانی ارقام جدید کوتاه‌تر بود. گروهی دیگر از پژوهش‌گران گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین ارقام قدیمی و جدید گندم در استفاده از نور در مراحل مختلف رشد وجود ندارد و این که ارقام جدید دارای عملکرد دانه بیشتری هستند، می‌تواند به دلیل افزایش تعداد دانه در واحد سطح و افزایش سنبلچه در مرحله گرده‌افشانی باشد. آن‌ها بیان کردند که مقدار کارایی مصرف نور به مقدار زیادی به نوع گونه زراعی بستگی دارد تا ارقام یک گونه گیاهی (Acreche *et al.*, 2009; Zahed *et al.*, 2013).

این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات خصوصیات زراعی، عملکرد دانه و اجزای آن و همچنین کارایی مصرف نور در مراحل فنولوژیکی ارقام گندم معرفی‌شده در

جدول ۱- داده‌های هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳

Table 1. Meteorological data of Zarghan agricultural research field station in 2022-23 and 2023-24 cropping seasons

Month	ماه	2022-23 cropping season				2023-24 cropping season			
		Mean Minimum Temperature (°C)	Mean Maximum Temperature (°C)	Mean Temperature (°C)	Rainfall (mm)	Mean Minimum Temperature (°C)	Mean Maximum Temperature (°C)	Mean Temperature (°C)	Rainfall (mm)
Nov.-Dec.	آذر	2.7	15.6	9.1	61.0	0.8	19.0	9.9	1.5
Dec.-Jan.	دی	-0.4	9.8	4.7	130.0	-1.2	17.2	8.0	1.3
Jan.-Feb.	بهمن	1.7	13.2	7.4	63.8	0.7	17.2	8.9	24.1
Feb.-Mar.	اسفند	3.9	19.4	11.6	16.5	2.7	17.9	10.3	32.3
Mar.-Apr.	فروردین	4.5	22.2	13.4	8.7	7.5	22.1	14.8	120.2
Apr.-May.	اردیبهشت	9.6	28.9	19.2	2.7	10.2	26.0	18.1	46.7
May-Jun.	خرداد	16.4	35.5	26	0.0	15.9	36.0	26.0	1.3
Jun.-Jul.	تیر	18.7	39.5	29.1	0.0	20.8	40.1	30.5	0.0
Mean Temperature	میانگین دما	7.14	23.01	15.06	-	7.18	24.43	15.81	-
Total Rainfall	جمع بارندگی				282.7				227.4

جدول ۲- نام، سال آزادسازی و شجره ارقام تجاری گندم نان (Malhipour *et al.*, 2020)

Table 2. Name, year of release and pedigree of commercial bread wheat cultivars (Malhipour *et al.*, 2020)

Cultivar	رقم	Year of Release	سال آزادسازی	Pedigree	شجره
Azadi	آزادی	1979	۱۳۵۸	4820/1.32.15409//MEXPIPAK	
Ghods	قدس	1989	۱۳۶۸	ROSHAN/5/WILLET/4/NORIN10/2*K54//FORONTANA/3/PTROTOR/6/OMID//KALYANSONA/BLUEBIRD	
Falat	فلات	1990	۱۳۶۹	KAVKAZ/BUHO” S” //KALYANSONA/BLUE BIRD = SERI-M-82	
Niknejad	نیک‌نژاد	1995	۱۳۷۴	F134-71/CROW” S”	
Mahdavi	مهدوی	1995	۱۳۷۴	TANOR-F-711/PICHON/5/MT-48/3/WILLET-ENANO*3//NARINO-59/TOTA-63/4/MUSALA	
Marvdasht	مرودشت	1999	۱۳۷۸	HD2172/BLOUDAN//AZADI	
Shiraz	شیراز	2002	۱۳۸۱	GAVILAN/D630//ALONDRA” S”/3/AZDADI	
Parsi	پارسی	2009	۱۳۸۸	DOVE” S”/BUCKBUCK” S”/2*DARAB	
Sirvan	سیروان	2011	۱۳۹۰	PRL/2*PASTOR	
Talei	طلایی	2011	۱۳۹۰	PASTOR//SITE/MO/3/CHEN/(TAUS)//BCN/4/ WBL1	
Torabi	ترابی	2018	۱۳۹۷	CHEN/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN/3/BAV92/4/BERKUT	
Amin	امین	2019	۱۳۹۸	KAUZ/LUCO-M//PVN/STAR/3/YACO/2*PARUS/4/PISHTAZ	
Jalal	جلال	2021	۱۴۰۰	BAJ #1/KISKADEE #1	
Danesh	دانش	2021	۱۴۰۰	SW89.5277/BORL95//SKAUZ/3/PRL/2*PASTOR/4/HEILO/5/WHEAR/ SOKOLL	
Sepehr	سپهر	2022	۱۴۰۱	W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBL1/6/VEERY/MJI//2*TUI/3/2*PASTOR/4/BERKUT/5/PFAU/MILAN	
Bamdad	بامداد	2022	۱۴۰۱	VEERY/MJI//2*TUI/3/2*PASTOR/4/BERKUT/5/2*BAVIS	

Radiation = PAR) جذب شده در طول چهار مرحله رشدی گندم شامل طویل شدن ساقه، ظهور سنبله، گلدهی و پرشدن دانه ثبت شدند (Pask *et al.*, 2012). جهت اندازه گیری وزن خشک زیست توده اندام های هوایی، نمونه برداری از کرت ها در مراحل فنولوژیکی یاد شده صورت گرفت. هر نمونه شامل همه بوته های کف بر شده دو پشته وسط کرت به طول ۱۰۰ سانتی متر بود. نمونه ها به پاکت های کاغذی بزرگ منتقل و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد (تا رسیدن به وزن ثابت) قرار گرفت. سپس نمونه های خشک شده توزین گردید.

میزان نور جذب شده به وسیله دستگاه سپتومتر خطی (AccuPAR, Linear PAR/LAI ceptometer, LP-80, 950 NE Nelson در Court Pullman, Washington 99163) در روزهای بدون ابر، در ساعات ظهر خورشیدی، و در طول دوره رشد گیاه (هم زمان با نمونه برداری از زیست توده) ثبت شد. حس گر دستگاه در هر کرت به صورت کاملاً افقی و تراز بر فراز یک متری بوته ها جهت ثبت مقدار نور فعال فتوسنتزی ورودی و منعکس شده و زیر سایه انداز، روی سطح خاک در سه جهت مختلف (وسط دو ردیف کاشت، نزدیک به ردیف کاشت شرقی و نزدیک به ردیف کاشت غربی) قرار گرفت و میانگین آن ها برای ثبت مقدار نور فعال فتوسنتزی عبور یافته نهایی محاسبه شد.

ابعاد هر کرت آزمایشی شامل چهار پشته به طول ده متر بود که بر روی هر پشته سه ردیف گندم به فاصله ۲۰ سانتی متر بر اساس تراکم کاشت ۴۰۰ بذر در مترمربع با در نظر گرفتن وزن هزاردانه ارقام مورد بررسی با بذر کار آزمایشی وینتراشتاگر در نیمه اول آذر کشت شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، لولر، کودپاشی و ایجاد فارو بود. براساس نتایج تجزیه خاک، کودهای فسفات (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل) و پتاس (۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) قبل از کاشت و هم زمان با آماده سازی زمین و نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه نوبت هم زمان با کاشت، مراحل پنجه زنی و گلدهی) استفاده شد. مدیریت و کنترل علف های هرز پهن برگ و باریک برگ به ترتیب با علف کش تو-فور-دی و اکسیال در مراحل رشدی توصیه شده انجام شد. آبیاری کرت ها به صورت قطره ای (نواری) بود. برای جلوگیری از تداخل بروز بیماری های زنگ زرد در شاخص های اندازه گیری، کنترل شیمیایی با قارچ کش آرتنا (پروپیکونازول ۲۵۰ گرم در لیتر + سیپروکونازول ۸۰ گرم در لیتر) به مقدار ۰/۳ لیتر در هکتار در زمان مشاهده آلودگی بر روی برگ پرچم ارقام حساس انجام شد.

برای تعیین کارایی مصرف نور (Radiation Use Efficiency = RUE) ، وزن خشک زیست توده اندام هوایی و مقدار نور فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active

میزان نور جذب شده (Light intercepted) = LI = به وسیله سایه انداز گیاهی در هر مرحله
 رشدی از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Pask *et al.*, 2012)

$$LI (\%) = ((PAR_a - PAR_b) - PAR_c) / (PAR_a - PAR_b) \times 100 \quad (1)$$

LI: درصد نور جذب شده به وسیله سایه انداز گیاهی
 PAR_a: مقدار نور فعال فتوسنتزی بالای سایه انداز گیاهی
 PAR_b: مقدار نور فعال فتوسنتزی پایین سایه انداز گیاهی
 PAR_c: مقدار نور فعال فتوسنتزی منعکس شده (به دلیل مقدار کم آن در محاسبه چشم پوشی شد).
 کارایی مصرف نور با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Pask *et al.*, 2012).

$$RUE (gMj^{-1}) = (DW_{t2} - DW_{t1}) / (Mj_{t2} - Mj_{t1}) \quad (2)$$

DW: وزن خشک تجمعی گیاه (گرم بر مترمربع)
 MJ: نور فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده (مگا ژول بر مترمربع)
 t₁ و t₂: به ترتیب نمونه برداری مرحله اول و دوم
 تابش خورشیدی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زرقان با فاصله نزدیک (حدود ۸۰۰ متری) به مزرعه آزمایشی برای محاسبه نور فعال فتوسنتزی روزانه و تجمعی مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۳) (Pask *et al.*, 2012).

$$\text{Daily PAR} = \text{Solar radiation} \times 0.5 \quad (3)$$

Daily PAR: نور فعال فتوسنتزی روزانه
 Solar radiation: تابش خورشیدی.
 در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع گیاه با اندازه گیری ارتفاع ده گیاه تصادفی (از سطح خاک تا نوک سنبله بدون لحاظ طول ریشک) از نقاط مختلف کرت اندازه گیری شد. قبل از برداشت، شمارش تعداد دانه در سنبله با انتخاب ۱۰ سنبله تصادفی انجام شد. همچنین
 یک مترمربع از هر کرت از سطح زمین بطور کامل برداشت و تعداد سنبله در مترمربع شمارش گردید. شاخص برداشت با اندازه گیری عملکرد بیولوژیکی (وزن کل نمونه برداشت شده از یک مترمربع) و عملکرد اقتصادی (وزن دانه نمونه برداشت شده از یک مترمربع)، با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$HI = \frac{EY}{BY} \times 100 \quad (4)$$

تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه و اجزای آن در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). این یافته وجود تغییرات ژنتیکی قابل توجهی در میان ۱۶ رقم گندم نان آزادسازی شده در دوره زمانی ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۱ را نشان داد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین ارقام گندم نان مورد بررسی برای تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع گیاه، تعداد دانه در سنبله، و وزن هزاردانه نشان داد که تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۴). ارقام شیراز و آزادی به ترتیب با میانگین ۱۹۹/۱۷ و ۱۹۸/۵ روز، دیررس‌ترین و رقم طلایی با میانگین ۱۹۲/۶۷ روز زودرس‌ترین ارقام تجاری گندم نان بودند. ارقام معرفی شده در سال‌های پیش از رقم طلایی حدود ۳-۷ روز و پس از آن ۲-۴ روز اختلاف در رسیدگی فیزیولوژیک داشتند (جدول ۴). انتخاب ارقام زودرس در برنامه به‌نژادی گندم نان یک راهبرد موفق بوده است و موجب شده است تا ارقام جدیدتر در شرایط تنش خشکی و گرمای انتهای فصل با سازگار فرار از تنش و بدون کاهش عملکرد دانه چرخه زندگی را تکمیل کنند (جدول ۴). این نتیجه موفقیت نسبی برنامه‌های به‌نژادی برای تلفیق زودرسی و عملکرد دانه بالا در ارقام جدیدتر بوده است.

HI: شاخص برداشت (درصد)

EY: عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در مترمربع)

BY: عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در مترمربع)

عملکرد دانه با برداشت کل سطح کرت (به همراه یک مترمربع برداشت شده قبل از برداشت) محاسبه گردید و وزن هزاردانه نیز از طریق یک نمونه تصادفی از دانه‌های برداشت شده، اندازه‌گیری شد (Pask *et al.*, 2012).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها و محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد. برای بررسی فرض همگنی واریانس خطاهای آزمایش از آزمون بارتلت با سطح معنی داری پنج درصد استفاده گردید. پس از تایید همگنی واریانس خطاهای آزمایش تجزیه واریانس مرکب برای داده‌ها انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج و یک درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات زراعی و اجزای عملکرد دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم بر خصوصیات زراعی شامل روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع گیاه،

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات زراعی و عملکرد دانه ارقام گندم نان در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳

Table 3. Combined analysis of variance for agronomic traits and grain yield of bread wheat cultivars in 2022-23 and 2023-24 cropping seasons.

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی	Mean Squares						
			تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	ارتفاع گیاه	تعداد سنبله در متر مربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	عملکرد دانه
		df	Day to physiological maturity	Plant height	Spike no. m ⁻²	Grain n. spike ⁻¹	1000 Grain weight	Harvest index	Grain yield
Year (Y)	سال	1	2450.26**	1989.26**	4.17	138.26	644.13*	910.57 **	47292337*°
Replication/Y	تکرار/سال	4	4.89	100.60	1683.92	133.13	97.15	227.12	50538184
Cultivar (C)	رقم	15	19.34**	269.12**	9645.40 **	230.56 **	159.51 **	89.07**	6326099*°
Y × C	سال × رقم	15	3.34**	53.86	5353.34*	23.70	4.30	43.28	2724455**
Error	خطا	60	0.34	36.86	3016.67	30.94	5.68	34.88	746434
CV (%)	ضریب تغییرات		0.30	5.66	10.48	10.82	5.65	14.53	12.77

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

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات زراعی، عملکرد دانه و اجزای آن برای ارقام گندم نان مورد مطالعه

Table 4. Mean comparison of agronomic traits, and grain yield for studied bread wheat cultivars

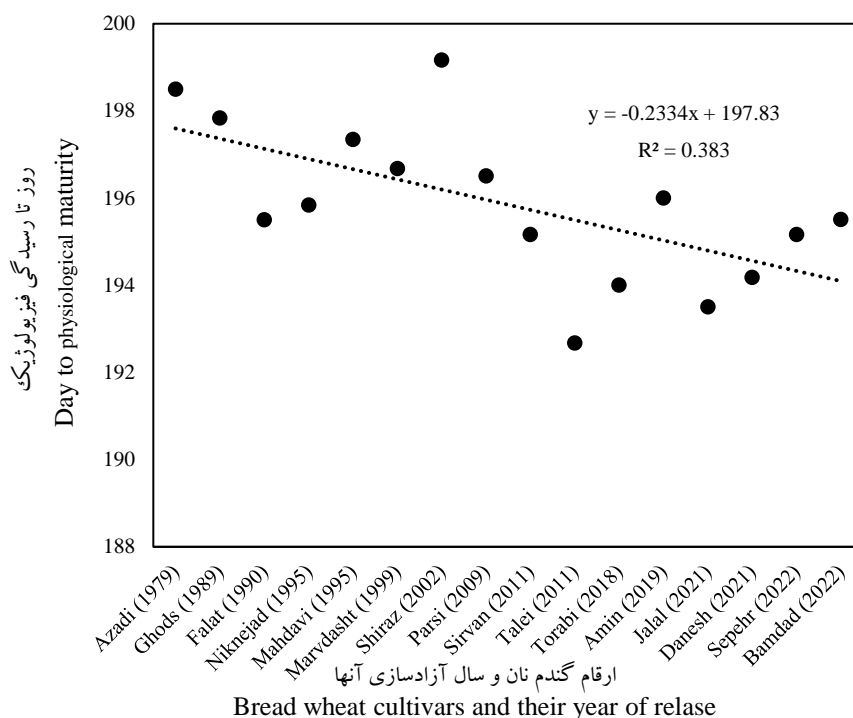
Cultivar	رقم	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day to physiological maturity	ارتفاع گیاه	تعداد سنبله در متر مربع Spike m ⁻²	تعداد دانه در سنبله Grain spike ⁻¹	وزن هزار دانه (گرم) 1000 Grain weight (g)	شاخص برداشت	عملکرد دانه
			(سانتی متر) Plant height (cm)				(درصد) Harvest index (%)	(کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)
Azadi	آزادی	198.50a	115.17abc	494.50a	57.17abc	33.93f	34.43a	4520a
Ghods	قدس	197.83ab	115.17abc	428.50a	61.13a	32.88f	35.48a	4958a
Falat	فلات	195.50abcd	101.16bcd	570.50a	51.44abcde	39.41de	42.91a	6903a
Niknejad	نیک‌نژاد	195.83abcd	117.00ab	519.50a	54.98abcd	37.54ef	41.86a	6872a
Mahdavi	مهدوی	197.33abc	119.00a	488.00a	60.64ab	40.11cde	38.16a	5733a
Marvdasht	مرودشت	196.67abcd	111.33abcd	498.33a	60.84a	37.46ef	39.98a	7215a
Shiraz	شیراز	199.17a	103.33abcd	538.67a	52.38abcde	37.64ef	33.83a	5545a
Parsi	پارسی	196.50abcd	103.33abcd	545.33a	45.14de	43.07bcd	40.05a	7618a
Sirvan	سیروان	195.17abcd	97.33d	544.67a	43.92de	47.14ab	44.51a	7548a
Talei	طلایی	192.67d	100.00bcd	520.17a	45.85cde	45.86ab	40.33a	6765a
Torabi	ترابی	194.00bcd	108.67abcd	551.33a	44.76de	47.34ab	45.48a	7117a
Amin	امین	196.00abcd	105.05abcd	586.00a	48.52cde	47.12ab	40.75a	7988a
Jalal	جلال	193.50cd	99.83cd	552.33a	50.28abcde	44.67abc	41.71a	7252a
Danesh	دانش	194.17bcd	106.83abcd	478.67a	42.73e	48.29a	42.53a	6967a
Sepehr	سپهر	195.17abcd	108.33abcd	556.83a	52.53abcde	45.27ab	47.79a	7518a
Bamdad	بامداد	195.500abcd	108.17abcd	505.33a	49.37bcde	47.17ab	41.51a	7723a

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.

این دوره زمانی گندم دیررس تر از ارقام گندم تجاری معرفی شده در سال‌های اخیر هستند و گزینش‌ها در برنامه‌های به‌نژاد برای زودرسی بوده است (شکل ۱).

روند تغییرات تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی برای ارقام گندم نان آزاد سازی شده در دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۵۸ بیانگر آن است که ارقام گندم نان معرفی شده در دو دهه نخست



شکل ۱- روند تغییرات در تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی ارقام گندم نان آزادسازی شده در دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۵۸

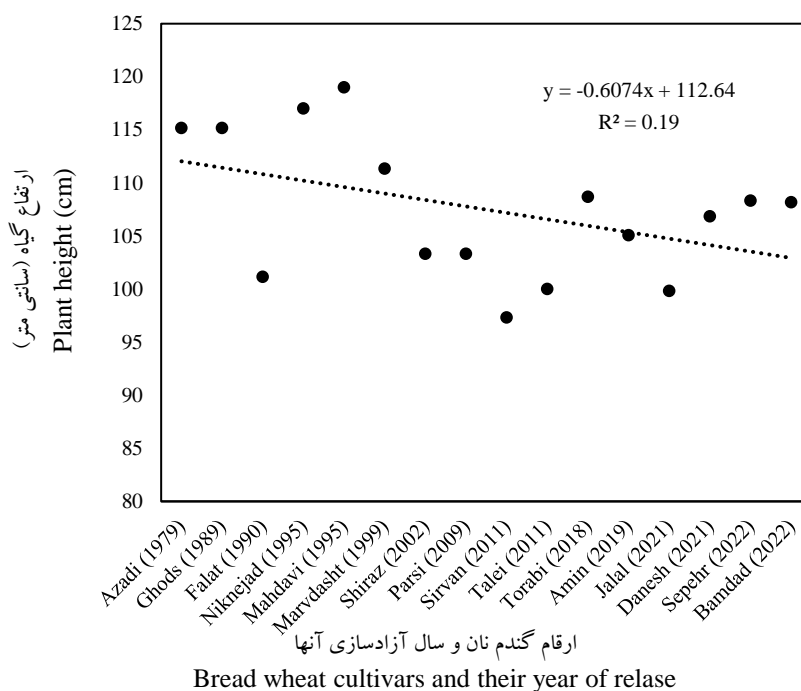
Fig. 1. Temporal variation in day to physiological maturity of bread wheat cultivars released from 1979 to 2022

بودند (جدول ۴). ارتفاع گیاه یکی از خصوصیات زراعی مهم در گندم نان است (Bellucci *et al.*, 2015; Hassan *et al.*, 2019) بعضی از پژوهشگرانیان کردند که گیاهان با ارتفاع بلندتر با جذب تابش بیشتر و بهبود کارایی مصرف نور موجب افزایش

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که بین ارقام گندم نان مورد بررسی از نظر ارتفاع گیاه تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت (جدول ۳). رقم مهدوی با میانگین ۱۱۹ سانتی‌متر و رقم سیروان با میانگین ۹۷/۳۳ سانتی‌متر به ترتیب بلندترین و کوتاه‌ترین ارقام

ارقام پابلند بود (Araus *et al.*, 2008). میانگین ارتفاع گیاه ارقام گندم نان معرفی شده در سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۵۸ حدود ۱۸ درصد کاهش داشت (شکل ۲).

عملکرد دانه می‌شوند (Shearman *et al.*, 2005). در صورتی که نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که کارایی مصرف نور در مراحل بعد از گرده‌افشانی در ارقام پاکوتاه گندم بیشتر از



شکل ۲- روند تغییرات در ارتفاع گیاه ارقام گندم نان آزاد شده در دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۵۸.

Fig. 2. Temporal variation in plant height of bread wheat cultivars released from 1979 to 2022.

فرایند به‌نژای نشان داده است که انتخاب ارقام پاکوتاه و مقاوم به خوابیدگی بوته با کودپذیری بالاتر از اهداف برنامه به‌نژادی گندم نان بوده است. ژنوتیپ‌های پربتانسیل گندم دارای ارتفاع گیاه مناسب هستند، که افزایش بیشتر از آن عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. این ممکن است به دلیل کاهش انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها به اندام‌های زایشی برای

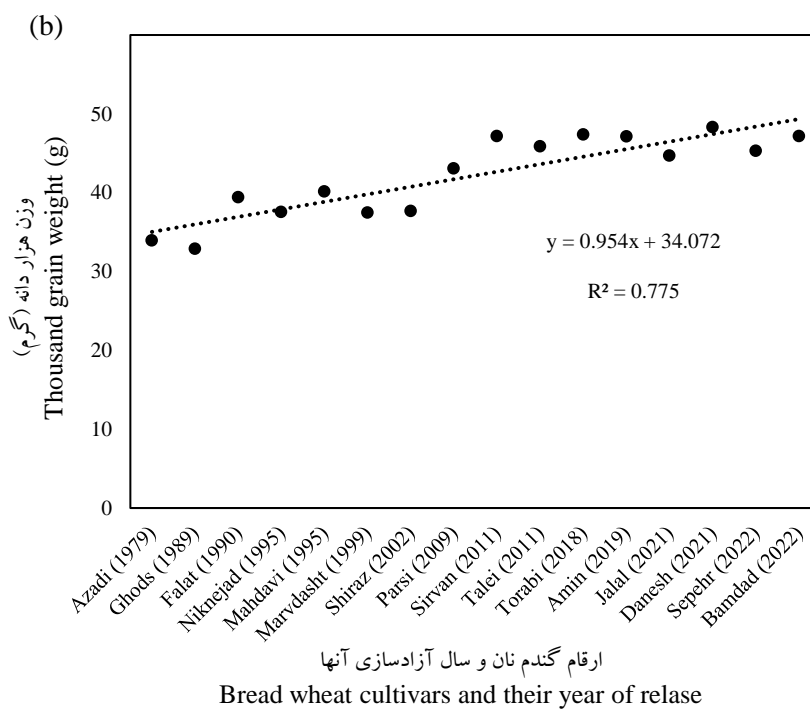
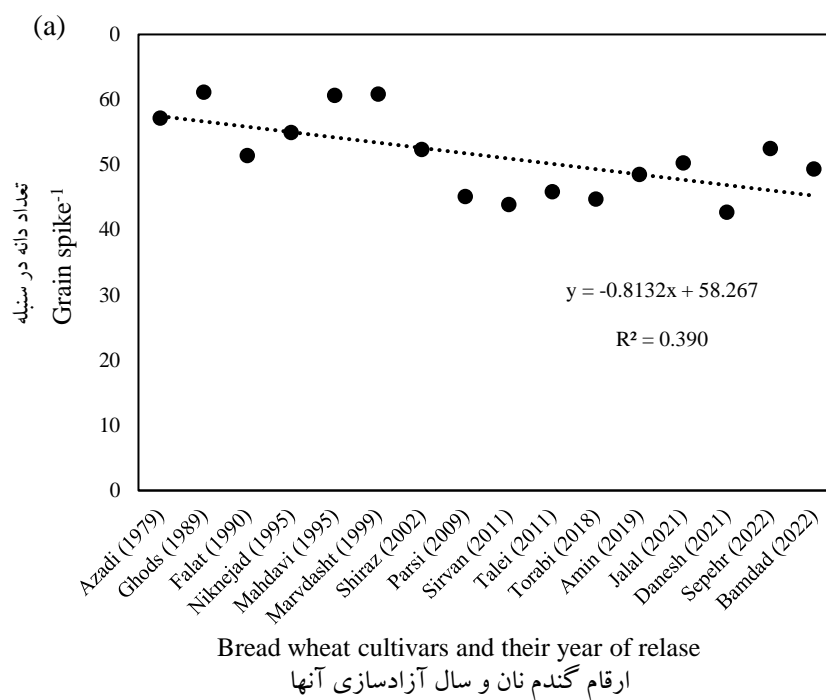
در بررسی ۱۵ رقم گندم معرفی شده بین سال‌های ۱۹۵۲ تا ۲۰۰۹ در ایران نیز میانگین ارتفاع گیاه از ۱۲۲/۶ به ۹۲/۵ سانتی‌متر کاهش یافت (Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2014) ارتفاع گیاه در نه ژنوتیپ گندم زمستانه در چین از ۱۰۳ سانتی‌متر در دهه ۱۹۶۰ به ۷۸ سانتی‌متر در دهه ۱۹۷۰ کاهش یافت (Yao *et al.*, 2019). روند تغییر ارتفاع گیاه در

یک جزء عملکرد، اجزای دیگر عملکرد تا حدودی کاهش می‌یابند (Sarikhani et al., 2021). رابطه منفی بین وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله به دلیل رقابت دانه‌ها برای جذب مواد فتوسنتزی جاری سبب کاهش وزن هزاردانه می‌شود. چون این جزء عملکرد دانه پس از تشکیل دانه‌ها تعیین می‌شود (Slafer and Rawson, 1994).

بررسی روند تغییرات تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه ارقام جدیدتر نسبت به ارقام قدیمی‌تر به ترتیب کاهشی و افزایشی بود (شکل ۳). این موضوع نشان می‌دهد که افزایش عملکرد دانه در ارقام گندم نان جدیدتر آزادسازی شده بیشتر به دلیل بهبود وزن هزاردانه بوده است. این صفت نقش کلیدی در افزایش عملکرد دانه دارد و روند موجود حاکی از موفقیت برنامه‌های به‌نژادی در افزایش وزن هزاردانه و کارایی تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه در مرحله پرشدن دانه است (Aisawi et al., 2015; Sun et al., 2014). برخلاف نتایج حاصل از پژوهش حاضر، بعضی از پژوهشگران دیگر تغییرات قابل توجه برای افزایش وزن هزاردانه ارقام گندم نان جدید نسبت به ارقام قدیمی گزارش نکرده‌اند (Esmailzadeh Moghaddam et al., 2014).

تشکیل و رشد دانه باشد (Poudel et al., 2017).

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم بر تعداد سنبله بارور در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها تفاوت معنی‌داری بین ارقام گندم نان از نظر تعداد سنبله بارور در واحد سطح نشان نداد (جدول ۴). این ممکن است در نتیجه استفاده از آزمون توکی برای مقایسه میانگین باشد و اشتباه نوع دوم اتفاق افتاده است. یائو و همکاران (Yao et al., 2019) نیز گزارش کردند که تعداد سنبله ارقام گندم مورد بررسی آنها در واحد سطح روند مشخصی نداشت. مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه نشان داد تفاوت معنی‌داری بین ارقام گندم نان مورد مطالعه وجود داشت (جدول ۴). رقم قدس با میانگین ۶۱/۱۳ بیشترین و رقم دانش با میانگین ۴۲/۷۳ کمترین تعداد دانه در سنبله را داشتند. در حالی که روند تغییرات برای وزن هزار دانه کاملاً برعکس بود. رقم دانش با میانگین ۴۸/۲۹ گرم بیشترین وزن هزار دانه و رقم قدس با میانگین ۳۲/۸۸ گرم کمترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). رابطه منفی بین اجزای عملکرد نشان می‌دهد که معمولاً با افزایش

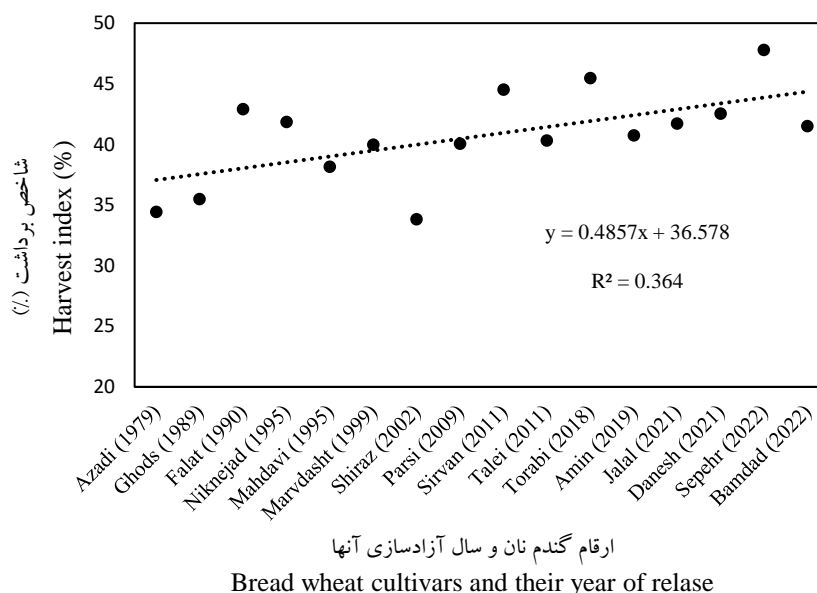


شکل ۳- روند تغییرات در تعداد دانه در سنبله (a) و وزن هزاردانه (b) ارقام گندم نان آزادسازی شده در دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۵۸.

Fig. 3. Temporal variation in grain spike⁻¹ (a) and 1000-grain weight (b) of bread wheat cultivars released from 1979 to 2022.

دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۵۸ افزایش یافت (شکل ۴). پژوهشگران دیگر بیان کرده اند که شاخص برداشت نقش مهمی در پیشرفت ژنتیکی عملکرد دانه گندم دارد (Xiao *et al.*, 2012; Beche *et al.*, 2014; Yao *et al.*, 2019). افزایش شاخص برداشت نشان‌دهنده کارایی بیشتر گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی جاری و ذخیره شده به دانه در ارقام جدیدتر است (Taiz *et al.*, 2015). با توجه به کاهش ارتفاع گیاه در دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۵۸، افزایش عملکرد بیولوژیکی ممکن است به دلیل داشتن ساقه‌های ضخیم‌تر باشد (Esmaeilzadeh Moghaddam *et al.*, 2014).

ارقام گندم نان مورد بررسی از لحاظ شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها تفاوت معنی‌داری بین ارقام گندم برای این صفت نشان نداد (جدول ۴). این ممکن است در نتیجه استفاده از آزمون توکی برای مقایسه میانگین باشد و اشتباه نوع دوم اتفاق افتاده است. شاخص برداشت در ارقام جدیدتر سپهر و ترابی (با میانگین به ترتیب ۴۷/۷۹ و ۴۵/۴۸ درصد)، بالاتر از ارقام قدیمی‌تر شیراز و آزادی (با میانگین به ترتیب ۳۳/۸۳ و ۳۴/۴۳) بود (جدول ۴). شاخص برداشت ارقام گندم معرفی شده در



شکل ۴- تغییرات در شاخص برداشت ارقام گندم نان آزادسازی شده در دروزه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۵۸
Fig. 4. Temporal variation in harvest index of bread wheat cultivars released from 1979 to 2022

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، ولی مقایسه میانگین دو ساله با آزمون توکی، تفاوت معنی‌داری بین ارقام گندم از نظر عملکرد دانه نشان نداد (جدول ۴). این طور استنباط می‌شود که استفاده از آزمون توکی به عنوان یک روش محافظه کارانه در مقایسه میانگین‌ها، موجب بروز اشتباه نوع دوم شد و تفاوت میانگین‌های ارقام گندم نان مورد مطالعه معنی‌دار نشد.

رقم امین با ۷۹۸۸ کیلوگرم در هکتار بالاترین و رقم آزادی با ۴۵۲۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). برتری عملکرد دانه رقم امین را می‌توان به تعداد بالای سنبله بارور در واحد سطح (۵۸۶ سنبله در مترمربع) و وزن هزار دانه بیشتر (۴۷/۱۲ گرم) در این رقم نسبت داد (جدول ۴). عملکرد دانه همه ارقام گندم در سال اول آزمایش حدود ۱۸/۶۲ درصد بیشتر از عملکرد دانه آنها در سال دوم بود. این تفاوت عملکرد دانه در دو سال آزمایش را می‌توان به تغییرات شرایط محیطی و آب و هوایی متفاوت (جدول ۱) مانند عدم یکنواختی توزیع بارش و اختلاف‌های دمایی در طول دوره‌های حساس رشدی مانند گرده‌افشانی و پرشدن دانه‌نسب داد (Ghanbari et al., 2012; Ashena et al., 2015). تفاوت عملکرد دانه ارقام گندم در در سال‌های آزمایش ممکن است دلیل دیگری برای عدم تفاوت بین میانگین عملکرد دانه ارقام

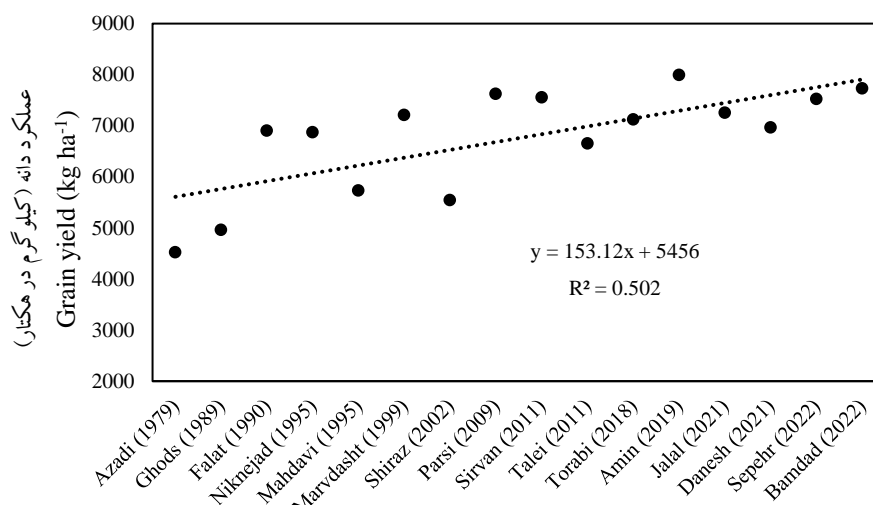
باشد.

روند تغییرات عملکرد دانه از ارقام قدیمی‌تر به ارقام جدیدتر افزایشی بود (شکل ۵). ضریب تبیین نسبتاً بالا ($R^2 = 0.50$) بیانگر آن است که ۵۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه با سال آزادسازی رقم (پیشرفت ژنتیکی در طول زمان) مرتبط است. این نتایج نشان‌دهنده بهبود مداوم و قابل توجه عملکرد دانه در ارقام جدید حاصل از فعالیت به‌ترادی چند دهه اخیر است (Lopes et al., 2012; Esmailzadeh Moghaddam et al., 2014; Aisawi et al., 2011).

وزن ماده خشک و کارایی مصرف نور

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تفاوت وزن ماده خشک در ارقام گندم نان مورد مطالعه در مرحله ظهور سنبله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). وزن ماده خشک در سایر مراحل رشدی گندم (طویل شدن ساقه، گلدهی و پرشدن دانه) در بین ارقام تفاوت معنی‌داری نشان نداد. رقم قدس با میانگین ۱۱۶۷/۵۰ گرم در مترمربع بیشترین و رقم ترابی با میانگین ۸۹۱/۵۰ گرم در مترمربع، کمترین وزن ماده خشک در واحد سطح در مرحله ظهور سنبله را داشتند، ولی مقایسه میانگین‌ها تفاوت معنی‌داری بین ارقام نشان نداد (جدول ۶).

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که کارایی مصرف نور ارقام در مراحل طویل شدن ساقه و ظهور سنبله به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵)، ولی نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از عدم وجود تفاوت



ارقام گندم نان و سال آزادسازی آنها
Bread wheat cultivars and their year of release

شکل ۵- روند تغییرات در عملکرد دانه ارقام گندم نان آزادسازی شده در دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۵۸
Fig. 5. Temporal variation in grain yield of bread wheat cultivars released from 1979 to 2022

دیگر هم گزارش شده است. زاهد و همکاران (Zahed *et al.*, 2013) تفاوت قابل توجهی در مقدار کارایی مصرف نور در مراحل رشدی (ساقه رفتن، آبستن و ظهور سنبله) در رقم‌های گندم (تجن، فلات و لاین امیدبخش N-81-18) مشاهده نکردند. ایشان بیان کردند که میزان کارایی مصرف نور بستگی زیادی به نوع گونه زراعی دارد نه ارقام یک گونه. همچنین اسلافر و همکاران (Slafer *et al.*, 1990)، شرمین و همکاران (Shearman *et al.*, 2005) و آکریچه و همکاران (Acreche *et al.*, 2009) بیان کردند که تفاوت معنی‌داری بین رقم‌های قدیمی و جدید گندم در استفاده از نور وجود نداشت.

معنی‌دار بین ارقام گندم نان مورد مطالعه از نظر کارایی مصرف نور در مراحل طویل شدن ساقه و ظهور سنبله بود (جدول ۶). این ممکن است در نتیجه استفاده از آزمون توکی برای مقایسه میانگین باشد و اشتباه نوع دوم اتفاق افتاده است. البته عدم محدودیت نور و فراوانی روزهای آفتابی در منطقه اجرای آزمایش که ارقام گندم نان مورد بررسی به آن سازگاری دارند و توصیه شده اند نیز می‌تواند دلیل دیگر این عدم تفاوت معنی‌دار برای کارایی مصرف نور در بین آنها باشد.

عدم وجود تفاوت معنی‌دار در مقدار ماده خشک و کارایی مصرف نور ارقام گندم در مراحل مختلف رشدی توسط پژوهش‌گران

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب برای وزن ماده خشک و کارایی مصرف نور ارقام گندم نان در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳

Table 5. Combined analysis of variance for dry matter weight, and radiation use efficiency of bread wheat cultivars in 2022-23 and 2023-24 cropping seasons

S.O.V.	منبع تغییرات	df	Mean Squares				میانگین مربعات				
			Dry matter weight		وزن ماده خشک		Radiation use efficiency			کارایی مصرف نور	
			طول شدن ساقه	ظهور سنبله	گلدهی	پر شدن دانه	طول شدن ساقه	ظهور سنبله	گلدهی	پر شدن دانه	عملکرد دانه
درجه آزادی	Stem elongation	Heading	Flowering	Grain filling	Stem elongation	Heading	Flowering	Grain filling	Grain yield		
Year (Y)	سال	1	1105730**	4348380**	1203729**	176584	8.05**	4.06**	0.98**	0.11*	0.14**
Replication/Y	تکرار/سال	4	7731	4707	47998	86819	0.04	0.004	0.03	0.03	0.02
Cultivar (C)	رقم	15	2257	43777*	78379	103865	0.02°	0.04**	0.06*	0.04	0.02**
Y × C	سال × رقم	15	1777	31537	30214	88532	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01**
Error	خطا	60	2224	21141	56687	84339	0.01	0.01	0.03	0.03	0.00
CV (%)	ضریب تغییرات		16.27	13.85	17.19	14.39	15.80	14.01	16.82	14.31	12.97

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

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

جدول ۶- مقایسه میانگین وزن ماده خشک در مرحله ظهور سنبله و کارایی مصرف نور در مراحل رشدی ارقام گندم

Table 6. Mean comparison of dry matter weight at heading stage, and radiation use efficiency at the growth stages of wheat cultivars

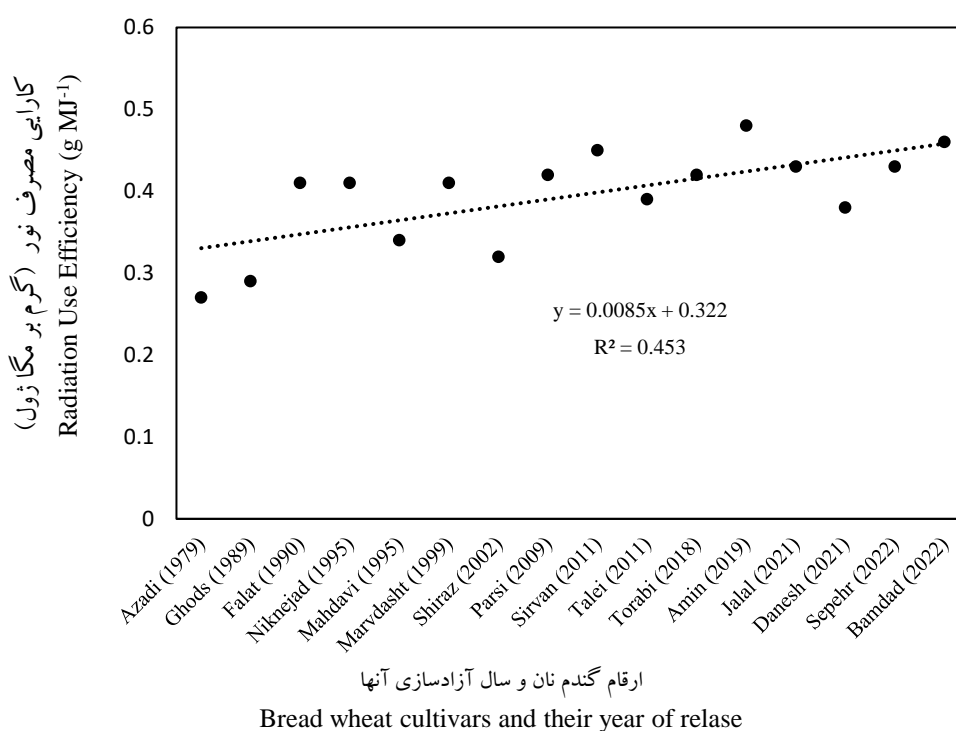
Cultivar	رقم	وزن ماده خشک (گرم در متر مربع)		کارایی مصرف نور (گرم بر مگا ژول)			
		Dry matter weight (g m ⁻²)		Radiation use efficiency (g MJ ⁻¹)			
		ظهور سنبله	Heading	طولیل شدن ساقه	ظهور سنبله	گلدهی	عملکرد دانه
		Heading	Stem elongation	Heading	Flowering	Grain yield	
Azadi	آزادی	1044.6a	0.58a	0.92a	1.16a	0.27b	
Ghods	قدس	1167.5a	0.53a	0.98a	1.00ab	0.29ab	
Falat	فلات	1015.5a	0.61a	0.89a	1.10ab	0.41ab	
Niknejad	نیک‌نژاد	1153.5a	0.60a	1.03a	1.02ab	0.41ab	
Mahdavi	مهدوی	1156.3a	0.62a	1.04a	1.13ab	0.34ab	
Marvdasht	مرودشت	1103.6a	0.57a	0.95a	1.08ab	0.41ab	
Shiraz	شیراز	1109.2a	0.51a	0.95a	0.97ab	0.32ab	
Parsi	پارسی	1129.6a	0.57a	0.93a	1.06ab	0.42ab	
Sirvan	سیروان	998.6a	0.62a	0.87a	0.96ab	0.45ab	
Talei	طلایی	966.6a	0.55a	0.83a	1.02ab	0.39ab	
Torabi	ترابی	891.5a	0.56a	0.77a	0.99ab	0.42ab	
Amin	امین	1024.6a	0.67a	0.95a	1.13ab	0.48a	
Jalal	جلال	903.9a	0.56a	0.79a	0.95ab	0.43ab	
Danesh	دانش	992.8a	0.51a	0.79a	0.81b	0.38ab	
Sepehr	سپهر	1044.2a	0.61a	0.89a	0.95ab	0.43ab	
Bamdad	بامداد	1067.5a	0.69a	0.94a	1.22a	0.46ab	

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.

رقم بامداد با میانگین ۱/۲۲ گرم بر مگاژول و رقم دانش با میانگین ۰/۸۱ گرم بر مگاژول بود (جدول ۶). کارایی مصرف نور برای عملکرد دانه نشان داد که کارایی مصرف نور در طول فرایند بهنژادی از سال ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۱ افزایش یافته است (شکل ۶).

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها حاکی از تفاوت معنی‌دار بین ارقام گندم نان مورد بررسی از نظر کارایی مصرف نور در مرحله گلدهی و همچنین کارایی مصرف نور برای عملکرد دانه بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف نور در مرحله گلدهی به ترتیب متعلق به



شکل ۶- روند تغییرات کارایی مصرف نور برای عملکرد دانه ارقام گندم نان آزادسازی شده در دوره زمانی ۱۳۵۸-۱۴۰۱

Fig. 6. Temporal variation in radiation use efficiency for grain yield of bread wheat cultivars released from 1979 to 2022

را دارد (Calderini *et al.*, 1997; Reynolds *et al.*, 2017; Rahman *et al.*, 2021). البته پیچیدگی اندازه‌گیری، نیاز به نمونه‌برداری‌های تخریبی در مراحل مختلف رشدی، نیروی کار

پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند که فرایند بهنژادی تاثیر زیادی بر کارایی مصرف نور گندم داشته و این صفت ارزش قرار گرفتن جزو اهداف مهم در برنامه‌های بهنژادی

برنامه‌های بهنژادی گندم جهت دستیابی به عملکرد دانه بالا بوده است.

همبستگی کارایی مصرف نور با سایر صفات در مراحل مختلف فنولوژیکی متفاوت بود. کارایی مصرف نور در مرحله طویل شدن ساقه با تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ($r = 0.780^{**}$)، ارتفاع گیاه ($r = 0.638^{**}$) و تعداد دانه در سنبله ($r = 0.732^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۷). این نتایج حاکی از آن است که ارقام با دوره رشد طولانی‌تر، ارتفاع گیاه بلندتر و تولید دانه بیشتر در سنبله، کارایی نور بیشتری داشتند (Shearman *et al.*, 2005; Rachana *et al.*, 2021). همبستگی کارایی مصرف نور عملکرد دانه با تعداد سنبله در مترمربع مثبت و معنی‌دار بود ($r = 0.615^*$)، که بیانگر اهمیت این صفت در افزایش کارایی مصرف نور عملکرد دانه بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین کارایی مصرف نور در مراحل ظهور سنبله، گلدهی و پرشدن دانه نشان‌دهنده پایداری رتبه ارقام و روند یکسان این صفت در طول مراحل مختلف زایشی و تشکیل دانه است. همبستگی مثبت قوی و معنی‌دار بین کارایی مصرف نور در مرحله پرشدن دانه با وزن ماده خشک در همین مرحله رشدی ($r = 0.865^{**}$) وجود داشت (جدول ۷). رابطه قوی بین کارایی مصرف نور و زیست توده تجمعی نشان‌دهنده اثر مثبت کارایی مصرف نور بر رشد و افزایش ماده خشک در ارقام گندم نان بود که می‌تواند حاکی از اثر

زیاد و هزینه‌بر بودن آن‌ها ممکن است مانع بررسی‌های بیشتر و نیز عدم استفاده از پتانسیل این صفات برای افزایش عملکرد دانه ارقام گندم در برنامه‌های بهنژادی شده باشد (Robles-Zazueta *et al.*, 2021).

همبستگی بین صفات مورد بررسی

ضرایب همبستگی روابط معنی‌داری بین خصوصیات زراعی، فنولوژیک، اجزای عملکرد دانه و کارایی مصرف نور در رقم گندم نان نشان داد (جدول ۷). عملکرد دانه با تعداد سنبله در مترمربع ($r = 0.619^*$)، وزن هزاردانه ($r = 0.679^{**}$)، شاخص برداشت ($r = 0.562^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری و با تعداد دانه در سنبله ($r = -0.641^*$) و ارتفاع گیاه ($r = -0.537^*$) رابطه منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۷). این همبستگی‌ها نشان می‌دهند که عملکرد بالا، به دلیل افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، وزن هزاردانه، شاخص برداشت (تخصیص بیشتر ماده خشک به دانه) و کاهش ارتفاع گیاه است (Rachana *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2017; Xiao *et al.*, 2012).

تعداد دانه در سنبله با وزن هزاردانه همبستگی منفی بسیار قوی ($r = 0.906^{**}$) داشتند. وجود این رابطه معکوس نشان‌دهنده یک رابطه جبرانی بین دو جزء اصلی عملکرد دانه است. ارقام گندم با تعداد بیشتر دانه در سنبله، دانه‌های کوچکتری تولید می‌کنند و برعکس (Slafer and Rawson, 1994). وجود رابطه جبرانی بین این دو جزء عملکرد دانه همواره یک چالش مهم در

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات زراعی، عملکرد دانه، وزن ماده خشک و کارایی مصرف نور ۱۶ رقم گندم نان (درجه آزادی = ۱۴)

Table 7- Correlation coefficients between different agronomic traits, grain yield, dry matter weight and radiation use efficiency of 16 bread wheat cultivars (df = 14)

صفت Trait	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day to physiological Maturity (1)	ارتفاع گیاه Plant height (2)	تعداد سنبله در متر مربع Spike m ⁻² (3)	وزن ماده خشک Dry matter weight							کارایی مصرف نور Radiation use efficiency					
				تعداد دانه در سنبله Grains spike ⁻¹ (4)	وزن هزار دانه 1000GW (5)	شاخص برداشت HI (6)	عملکرد دانه Grain yield (7)	طول شدن ساقه Stem elongation (8)	ظهور سنبله Heading (9)	گلدهی Flowering (10)	پر شدن دانه Grain filling (11)	طول شدن ساقه Stem elongation n (12)	ظهور سنبله Heading (13)	گلدهی Flowering (14)	پر شدن دانه Grain filling (15)	عملکرد دانه Grain yield (16)
1	1															
2	0.560*	1														
3	-0.415	-0.439	1													
4	0.696**	0.781**	-0.371	1												
5	-0.769**	-0.664*	0.396	-0.905**	1											
6	-0.517*	-0.598	0.668*	-0.616*	0.643**	1										
7	-0.413	-0.537*	0.619*	-0.641*	0.679**	0.562**	1									
8	-0.222	-0.214	-0.17	-0.276	0.415	0.079	0.452	1								
9	0.736**	0.514*	-0.147	0.585*	-0.587*	-0.245	-0.079	-0.080	1							
10	0.529**	0.509	-0.028	0.566*	-0.613*	-0.426	-0.079	-0.200	0.624**	1						
11	0.387	0.536	0.016	0.307	-0.229	-0.393	0.214	0.187	0.524*	0.492*	1					
12	0.780**	0.638**	-0.324	0.732**	-0.708	-0.619	-0.364	0.028	0.828**	0.630**	0.540*	1				
13	0.380	0.487*	0.117	0.474	-0.550*	-0.406	-0.051	-0.152	0.510*	0.878**	0.603*	0.559	1			
14	0.364	0.489*	0.122	0.484*	-0.544*	-0.408*	-0.793	-0.144	0.474	0.852**	0.587*	0.555*	0.994**	1		
15	0.324	0.624**	0.158	0.448	-0.263	-0.239	0.111	0.243	0.535*	0.512*	0.865**	0.591	0.578	0.579*	1	
16	-0.492*	-0.211	0.615*	-0.343	0.435	0.442	0.309	0.211	-0.278	-0.130	0.036	-0.261**	0.013	0.022	0.305	1

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

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

1000GW: 1000-grain weight, HI: Harvest index

دقیق، سریع، غیرمخرب و کم هزینه برای اندازه گیری کارایی مصرف نور است، تا بتوان از آن به عنوان یک معیار کارآمد در کنار سایر معیارهای کلیدی مانند شاخص برداشت بالا و وزن هزار دانه مناسب در برنامه های بهنژادی گندم نان از آن برای انتخاب ژنوتیپ های برتر استفاده کرد.

سپاسگزاری

این مقاله با استفاده از داده های پروژه پژوهشی شماره ۰۰۱۰۴۹-۱۴۲-۰۳-۵۰-۴ مصوب سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با عنوان "بررسی میزان زیست توده و کارایی مصرف نور برای تعیین معیار انتخاب در برنامه های بهنژادی گندم نان" تهیه و نگارش شده است. نگارندگان این مقاله از رئیس و معاون وقت بهبود تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی استان فارس به خاطر پشتیبانی مالی برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می کنند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می کنند که هیچگونه تعارض منافی با سایر اشخاص حقیقی/حقوقی ندارند.

غیرمستقیم این صفت بر عملکرد دانه از طریق سایر صفات مرتبط باشد (Reynolds *et al.*, 2012; Hubbart *et al.*, 2018; Molero *et al.*, 2019). اگرچه کارایی مصرف نور بالا سبب تولید بیشتر زیست توده است، اما عملکرد نهایی دانه بیشتر تحت تأثیر کارایی تسهیم ماده خشک تولید شده به اندام های زایشی (شاخص برداشت) قرار دارد (Sierra-Gonzalez *et al.*, 2021).

در پژوهش حاضر شاخص برداشت ($r = 0.562^{**}$) و وزن هزاردانه ($r = 0.679^{**}$) نسبت به کارایی مصرف نور ارتباط مستقیم و قوی تری با عملکرد دانه داشتند (جدول ۷)، که بر اهمیت کارایی تولید ماده خشک (از طریق صفاتی مانند کارایی مصرف نور و تعداد سنبله) و افزایش تخصیص ماده خشک به دانه (از طریق شاخص برداشت و وزن هزار دانه) در برنامه های بهنژادی ارقام تأکید دارد. انتخاب برای کارایی مصرف نور بالا، به ویژه در مراحل زایشی، می تواند به عنوان یک راهکار مکمل و بلندمدت در برنامه های بهنژادی برای پایداری تولید مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به برهمکنش معنی دار ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه و کارایی مصرف نور (جدول ۵)، نیاز ضروری به توسعه روش های

References

- Acevedo, E., Silva, P. and Silva, H. 2002. Wheat growth and physiology. Pp. 39-70. In: Curtis, B.C., Rajaram, S. and Gomez Macpherson, H. (eds.) *Bread wheat improvement and production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

- Acreche, M.M., Briceño-Félix, G., Martí n Sa´nchez, J.A. and Slafer, G.A. 2009.** Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. *Field Crops Research*, 110, pp.91-97. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.07.005
- Acreche, M.M., Briceño-Félix, G., Martí n Sa´nchez, J.A. and Slafer, G.A. 2008.** Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European Journal of Agronomy*, 28, pp.162–170. DOI: 10.1016/j.eja.2007.07.001
- Aisawi, K.A.B., Reynolds, M.P., Singh, R.P. and Foulkes, M.J. 2015.** The physiological basis of the genetic progress in yield potential of CIMMYT spring wheat cultivars from 1966 to 2009. *Crop Science*, 55, pp. 1749-1764. DOI: 10.2135/cropsci2014.09.0601
- Araus, J.L., Slafer, G.A., Royo, C. and Serreat, M.D. 2008.** Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Review in Plant Science*, 27, pp.377-412. DOI: 10.1080/07352680802467736
- 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 Neyshabur. *Crop Production*, 8(4), pp.143-162 (in Persian). DOI: 20.1001.1.2008739.1394.8.4.8.4
- Beche, E., Benin, G., Silva, C.L.D., Munaro, L.B. and Marchese, J.A. 2014.** Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. *European Journal of Agronomy*, 61, pp.49–59. DOI: 10.1016/j.eja.2014.08.005
- Bellucci, A., Torp, A.M., Bruun, S. and Rasmussen, S.K. 2015.** Association mapping in Scandinavian winter wheat for yield, plant height, and traits important for second-generation bioethanol production frontiers in plant. *Science*, 6, pp.1–12. DOI: 3389/fpls.2015.01046
- Calderini, D.F., Dreccer, M.F. and Slafer. G.A. 1997.** Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation-use efficiency in wheat. *Field Crops Research*, 52, pp.271-281. DOI: 10.1016/S0378-4290(96)03465-X
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Jalal Kamali, M.R., Anet, Z., Roshani, M. and Ghodsi, M. 2014.** Temporal variation in phenological characteristics, grain yield, and yield components of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars released in Iran between 1952 and 2009. *Crop Breeding Journal* 4(1), pp. 57-64. DOI: 10.22092.cbj.2014.109673

- Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W.J. and Zhang, F. 2012.** Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. *Journal of Experimental Botany*, 63 (1), pp.13–24. DOI: 10.1093/jxb/err248
- Gao, F.M., Ma, D.Y., Yin, G.H., Rasheed, A., Dong, Y., Xiao, Y.G., Xia, X.C., Wu, X.X. and He, Z.H. 2017.** Genetic progress in grain yield and physiological traits in Chinese wheat cultivars of α since 1950. *Crop Science*, 57, pp.760–773. DOI: 10.2135/cropsci2016.05.0362
- Ghanbari, A., Roshan, H. and Tavassoli, A. 2012.** Effect of sowing date on some agronomic characteristics and grain yield of winter wheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, 6 (2), pp.127-144 (in Persian).
- Ghodsi, M., Jalal Kamali, M.R., Mazaheri, D. and Chaichi, M.R. 2008.** Water and radiation use efficiency in different developmental stages in four bread wheat under moisture stress conditions. *DESERT*, 12, pp.129-137. DOI: 10.22059/jdesert.2008.27112
- Hassan, M.A., Yang, M., Fu, L., Rasheed, A., Zheng, B., Xia, X., Xiao, Y. and He, Z. 2019.** Accuracy assessment of plant height using an unmanned aerial vehicle for quantitative genomic analysis in bread wheat. *Plant Methods*, 15(1), pp.1-12. DOI: 10.1186/s13007-019-0419-7
- Hubbart, S., Smillie, I.R.A., Heatley, M., Swarup, R., Foo, C.C., Zhao, L. and Murchie, E.H. 2018.** Enhanced thylakoid photo protection can increase yield and canopy radiation use efficiency in rice. *Communications Biology*, 1, e22. DOI: 10.1038/s42003-018-0026-6
- Lopes, M.S., Reynolds, M.P., Manes, Y., Singh, R.P., Crossa, J. and Braun, H.J. 2012.** Genetic yield gains and changes in associated traits of CIMMYT spring bread wheat in a “Historic” set representing 30 years of breeding. *Crop Science*. 52, pp.1123–1131. DOI: 10.2135/cropsci2011.09.0467
- Malihipour, A., Esmailzadeh 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). Nashr-e-Amoozesh Keshavarzi. Karaj, Iran. 186 pp.
- Molero, G., Joynson, R., Pinera-Chavez, F.J., Gardiner, L.J., Rivera-Amado, C., Hall, A. and Reynolds, M.P. 2019.** Elucidating the genetic basis of biomass accumulation and radiation use efficiency in spring wheat and its role in yield potential. *Plant Biotechnology*

Journal, 17(7), pp.1276–1288. DOI: 10.1111/pbi.13052

- Parry, M.A.J., Reynolds, M., Salvucci, M.E., Raines, C., Andralojc, P.J., Zhu, X.G., Price, G.D., Condon, A.G. and Furbank, R.T. 2011.** Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 62(2), pp. 453–467. DOI: 10.1093/jxb/erq304
- Pask, A. 2012.** Determining key developmental stages. Pp.72-77. In: Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping. Pask, A., Petragella, J., Debra, M. and Reynolds, M. (eds.), CIMMYT. 140 pp.
- Poudel, A., Ghimire, S.K., Ojha, B.R., Acharya, B.D. and Thapa, D.B. 2017.** Effect of terminal drought stress on morpho-physiological and yield potential traits of bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 6(1), ISSN (Online) 2319-1473.
- Rachana, P., Binju, M., Suprava, A., K.C, B., Rishav, P., Rashmi, R., Bishnu, B., Pritika, N., Kushal. B. and Ram, P.M. 2021.** Correlation and path coefficient analysis of yield in wheat: A review. *RJOAS*, 5(113), pp. 121-127. DOI: 10.18551/rjoas.2021-05.14
- Rahman, M.M., Crain, J., Haghghattalab, A., Singh, R.P. and Poland, J. 2021.** Improving wheat yield prediction using secondary traits and high-density phenotyping under heat-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*, 12, e633651. DOI: 10.3389/fpls.2021.0633651
- Reynolds, M.P., Pask, A.J.D., Hoppitt, W.J.E., Sonder, K., Sukumaran, S., Molero, G., [...] and Joshi, A.K. 2017.** Strategic crossing of biomass and harvest index source and sink achieves genetic gains in wheat. *Euphytica*, 213(11), e257. DOI: 10.1007/s10681-017-2040-z
- Reynolds, M.P., Pellegrineschi, A. and Skovmand, B. 2005.** Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Annual Application of Biology*, 146, pp.39–49. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2005.03100.x
- Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., Parry, M. and Slafer, G. 2012.** Achieving yield gains in wheat. *Plant Cell and Environment*, 35, pp.1799–1823. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2012.02588.x
- Rivera-Amado, C., Trujillo-Negrellos, E., Molero, G., Reynolds, M.P., Sylvester- Bradley,**

- R. and Foulkes, M.J. 2019.** Optimizing dry-matter partitioning for increased spike growth, grain number and harvest index in spring wheat. *Field Crops Research*, 240, pp.154–167. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.04.016
- Robles-Zazueta, C.A., Molero, G., Pinto, F., Foulkes, M.J., Reynolds, M.P. and Murchie, E.H. 2021.** Field-based remote sensing models predict radiation use efficiency in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 4:72(10), pp.3756-3773. DOI: 10.1093/jxb/erab115
- 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. Registration No: 60596. Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. 102 pp. (in Persian).
- Sharma, S., Acharya, N.R., Adhikari, S. and Mishra, K.K. 2017.** Varietal improvement of wheat under rainfed conditions in mid-western Terai of Nepal. *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences*, 6(4), pp.15-19. DOI: 10.24105/gjbahs.6.4.1704
- Shearman, V.J., Sylvester-Bradley, R. and Foulkes, M.J. 2005.** Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science*, 45, pp.175–185. DOI: 10.2135/cropsci2005.0175a
- Sierra-Gonzalez, A., Molero, G., Rivera-Amado, C., Babar, M.A., Reynolds, M.P. and Foulkes, M.J. 2021.** Exploring genetic diversity for grain partitioning traits to enhance yield in a high biomass spring wheat panel. *Field Crops Research*, 260, pp.107979-108086. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107979
- Slafer, G.A. and Rawson, H.M. 1994.** Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, pp.393-426. DOI: 10.1071/PP9940393
- Slafer, G.A., Andrade, F.H. and Satorre, E.H. 1990.** Genetic-improvement effects on pre anthesis physiological attributes related to wheat grain-yield. *Field Crops Research*, 23, pp.255–263. DOI: 10.1016/0378-4290(90)90058-J
- Sun, Y.Y., Wang, X.L., Wang, N., Chen, Y.L. and Zhang, S.Q. 2014.** Changes in the yield

- and associated photosynthetic traits of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.) from the 1940s to the 2010s in Shanxi province of China. *Field Crops Research*, 167, pp.1–10. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.07.002
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A. 2015.** Plant physiology and development. Sixth Edition. Sinauer Associates Inc. USA. 888 pp.
- Voss-Fels, K.P., Stahl, A., Wittkop, B., Lichthardt, C., Nagler, S., Rose, T., Chen, T.W., Zetzsche, H., Seddig, S., Baig, M.M., Ballvora, A., Frisch, M., Ross, E., Hayes, B., Hayden, M.J., Ordon, F., Leon, J., Kage, H., Friedt, W., Stützel, H. and Snowdon, R.J. 2019.** Breeding improves wheat productivity under contrasting agrochemical input levels. *Nature Plants*, 5 (7), pp.706–714. DOI: 10.1038/s41477-019-0445-5
- Xi, Y., Du, Y.L., Wang, D., Ren, J.Y., Luo, W.Y., Peng, Q., Feng, W.Y. and Li, F.M. 2024.** Wheat genetic progress in biomass allocation and yield components: A global perspective. *Field Crop research*, 318, e109617. DOI: 10.1016/j.fcr.2024.109617
- Xiao, Y.G., Qian, Z.G., Wu, K., Liu, J.J., Xia, X.C., Ji, W.Q. and He, Z.H. 2012.** Genetic gains in grain yield and physiological traits of winter wheat in Shandong Province, China, from 1969 to 2006. *Crop Science*, 52, pp.44–56. DOI: 10.2135/cropsci2011.05. 0246
- Yao, Y., Lv, L., Zhang, L., Yao, H., Dong, Z., Zhang, J., Ji, J., Jia, X. and Wang, H. 2019.** Genetic gains in grain yield and physiological traits of winter wheat in Hebei Province of China, from 1964 to 2007. *Field crop research*, 239, pp. 114-123. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.03.011
- Zahed, M., Galeshi, S., Latifi, N., Soltani, A., Kalateh. M. and Hosseini, R. 2013.** The effect of plant density on extinction coefficient and radiation use efficiency in modern and old wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(3), pp.506-514. DOI: 10.22067/GSC.V11I3.29767
- Zand, E., Koocheki, A., Rahimian, H. and Nasiri Mahalti. M. 2002.** Study of the trend of morphological and physiological characteristics in some Iranian wheat cultivars over 50 years. *Journal Science of Agricultural Industry* 16(1), pp.116-171. (In Persian.)

RESEARCH ARTICLE

Temporal Variation in Agronomic Traits, Grain Yield, and Radiation Use Efficiency of Some Commercial Bread Wheat Cultivars Released from 1979 to 2022 in Iran

Sh. Sarikhani Khorami^{1*} , M. Bazrafshan², and S. Tahmasebi³

1. Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Sciences Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Iran.

2. Assistant Professor, Sugar Beet Seed Improvement Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Iran.

3. Associate Professor, Field and Horticultural Crops Sciences Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Iran.

ABSTRACT

Sarikhani Khorami, Sh., Bazrafshan, M. and Tahmasebi, S. 2025. Temporal variation in agronomic traits, grain yield, and radiation use efficiency of some commercial bread wheat cultivars released from 1979 to 2022 in Iran. *Seed and Plant*, 41, pp.143-173 (in Persian).

To study the temporal variation in agronomic traits, grain yield, yield components, and radiation use efficiency of sixteen commercial bread wheat cultivars released from 1979 to 2022, a field experiment was carried-out using randomized complete block design with three replications at Zarqhan agricultural research station, Fars province, Iran, in 2022-23-2023-24 cropping seasons. Days to physiological maturity, plant height, grain yield and its components were measured. Radiation use efficiency for four phenological stages and grain yield was also measured. The results showed that the temporal variation of grain yield of bread wheat cultivars released from 1979 to 2022 was increasing, which was mainly due to increase in 1000-grain weight and harvest index. Plant height and days to physiological maturity of newer cultivars decreased. The results implied that increasing temporal variation in grain yield mainly was due to increases in 1000-grain weight, shorter plant height, and to improvement in radiation use efficiency at the flowering stage in newer bread wheat cultivars.

Keywords: Bread wheat, day to flowering, day to physiological maturing, yield 1000 grain weight, harvest index.

Introduction

Since the 1960s, global wheat yield improvement has resulted from both genetic progress and agronomic management. Breeding has significantly increased grain yield, especially after the Green Revolution. In Iran, genetic gain in wheat grain yield has been reported as $83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2014). Key factors driving this progress include increased 1000-grain weight (TGW), reduced plant height, earlier maturity, improved harvest index (HI).

Further increase in grain yield, however, requires enhanced biomass production, which depends on radiation use efficiency (RUE). Some studies found that breeding improved RUE at flowering, while others reported no significant difference between old and new cultivars (Aisawis *et al.*, 2015). Given the lack of information on RUE temporal variations at different phenological stages of Iranian bred wheat cultivar released from 1979 to 2022, this study aimed to investigate temporal variation in grain yield, yield components, and RUE in 16 bread wheat cultivars released over four decades.

Materials and Methods

A field experiment was carried-out to study the temporal variations in grain yield, yield components, and radiation use efficiency of 16 bread wheat cultivars released from 1979 to 2022 in Iran. The experiment was carried-out using randomized complete block design with three replications in 2022-23 and 2023-24 cropping seasons at Zarghan agricultural research station, Fars province, Iran. Sixteen commercial bread wheat cultivars included: Azadi, Ghods, Falat, Niknejad, Mahdavi, Marvdasht, Shiraz, Parsi, Sirvan, Talaei, Torabi, Amin, Jalal, Danesh, Sepehr, and Bamdad.

Each plot consisted of four rows of 10 meter length and 20 centimeter row spacing with seeding rate of 400 seed m^{-2} . Dry matter weight and absorbed photosynthetically active radiation (PAR) at four growth stages: stem elongation, heading, flowering, and grain filling were measured. PAR interception was recorded using a linear PAR/LAI ceptometer (AccuPAR LP-80). RUE (g MJ^{-1}) was calculated as the ratio of accumulated dry matter to accumulated intercepted PAR. Agronomic traits including days to physiological maturity, plant height, spikes m^{-2} , grains spike⁻¹, TGW, HI, and grain yield were measured. Combined analysis of variance was performed using SAS software, and means were compared using Tukey's test.

Results and Discussion

Combined analysis of variance revealed significant ($p < 0.01$) differences between bread wheat cultivars for all agronomic traits and grain yield, indicating considerable genetic variation. Grain yield showed highly significant ($R^2 = 0.50^{**}$) increasing temporal variation in bread wheat cultivars released from 1979 to 2022, mainly due to increased TGW ($R^2 = 0.78^{**}$) and, to some extent, improved HI. Plant height and days to physiological maturity decreased in newer cultivars, implying the success story of breeding programs in developing semi-dwarf and early-maturing bread wheat cultivars.

Although grains spike⁻¹ showed a decreasing temporal variation, this reduction was

compensated by increased grain weight. RUE at the flowering stage and RUE for grain yield significantly increased during the period of 1979 to 2022. High-yielding cultivars (e.g., Amin, Bamdad, Parsi, Sirvan) generally showed greater RUE at the flowering stage.

Correlation analysis revealed that grain yield was positively correlated with spikes m^{-2} ($r = 0.619^*$), TGW ($r = 0.679^{**}$), and HI ($r = 0.562^{**}$), but negatively correlated with plant height ($r = -0.537^*$) and grains spike $^{-1}$ ($r = -0.641^*$). These findings are in agreement with the results reported by other researchers (Aisawi *et al.*, 2015; Esmailzadeh Moghaddam *et al.*, 2014). The results demonstrated that increased grain weight and reduced plant height have been the main characteristics contributed to enhancement of grain yield.

The lack of significant differences in RUE at early growth stages agrees with Acreche *et al.* (2009), however, the improved RUE at the flowering stage in newer cultivars supported the positive impact of breeding on this trait during the reproductive stage (Reynolds *et al.*, 2017). Consequently, future breeding programs should focus and prioritize selection for increased 1000-grain weight and reduced plant height as well as incorporating radiation use efficiency at the flowering as a complementary trait to further enhance genetic gain in grain yield. These findings provide invaluable insights for future breeding programs aimed at developing high yielding bread wheat genotypes adapted to temperate agro-climatic zone of Iran.

References

- Acreche, M.M., Briceño-Félix, G., Martín Sánchez, J.A. and Slafer, G.A. 2009. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. *Field Crops Research*, 110, pp.91-97. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.07.005
- Aisawi, K.A.B., Reynolds, M.P., Singh, R.P. and Foulkes, M.J. 2015. The physiological basis of the genetic progress in yield potential of CIMMYT spring wheat cultivars from 1966 to 2009. *Crop Science*, 55, pp. 1749-1764. DOI: 10.2135/cropsci2014.09.0601
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Jalal Kamali, M.R., Anet, Z., Roshani, M. and Ghodsi, M. 2014. Temporal variation in phenological characteristics, grain yield, and yield components of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars released in Iran between 1952 and 2009. *Crop Breeding Journal* 4(1), pp. 57-64. DOI: 10.22092.cbj.2014.109673
- Reynolds, M.P., Pask, A.J.D., Hoppitt, W.J.E., Sonder, K., Sukumaran, S., Molero, G., [...] and Joshi, A.K. 2017. Strategic crossing of biomass and harvest index source and sink achieves genetic gains in wheat. *Euphytica*, 213(11), e257. DOI: 10.1007/s10681-017-2040-z

*Corresponding author: sh.sarikhani@areeo.ac.ir

Tel.: +9807132622433

Received: 09 April 2025

Accepted: 10 July 2025



2025© 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.