Plant Prod., 2026, 49(2), 287- 302
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50133.2281
Received: 10 July 2025
Accepted: 19 October 2025

Plant Productions

Research Article

Effects of breeding for earliness and plant height on grain yield of bread wheat under rain-fed conditions

Fariba Mehrabi[1], Ali Kazemipour[1], Mohamad Ghader Ghaderi[2], Mehdi Mohayeji[1], Roohollah Abdolshahi[*1]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

Citation: Mehrabi, F., Kazemipour, A., Ghaderi, M.GH., Mohayeji, M., & Abdolshahi. R. (2026). Effects of breeding for earliness and plant height on grain yield of bread wheat under rain-fed conditions. *Plant Productions*, 49(2), 287- 302.

Abstract

Introduction
Earliness and tallness are two important traits for improving grain yield of rain-fed wheat cultivars under insufficient rainfall conditions. Earliness is a drought escape mechanism that enables early-heading plants to complete their life cycle before the onset of drought stress. As a result, these plants achieve higher grain yields under such conditions. Additionally, tall wheat cultivars tend to perform better under severe drought stress compared to semi-dwarf cultivars.

Materials and methods
In this study, early heading was transferred from the Australian cultivar, Excalibur, to three Iranian wheat varieties named, Roshan, Mahdavi, and Kalahdari, to have near isogenic lines (NILs) for early heading in these three genetic backgrounds. In the parallel breeding program, tall genes were transferred from Roshan into Excalibur to have NILs for plant height in the background of Excalibur. The resulting near-isogenic lines, along with the control varieties (Karim and Koohdasht), were evaluated in a randomized complete block design with four replications under rain-fed condition of Kazeroon.

Results and Discussion
Mean comparison of the isogenic lines showed that tallness character was significantly improved grain yield (0.29 t. ha^{-1}) in the rain-fed conditions of Kazeroon. However, early maturity had a much better impact on grain yield under these conditions, where significantly increasing 1000-grain weight (6.51 g) and grain yield (0.71 t. ha^{-1}). Regression analysis results also indicated the greater importance of the early maturity compared to tallness. Moreover, days to heading and plant height explained 72% and 9% of the variation of grain yield under rain-fed conditions of Kazeroon,

* **Corresponding Author:** Roohollah Abdolshahi
E-mail: abdoshahi@uk.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

respectively. The early heading and tall lines resulting from the present breeding program, known as early heading Kalahdari and early heading Roshan, showed acceptable grain yield (2.19 and 2.18 t. ha^{-1}, respectively) production under rain-fed condition of Kazeroon, and had no significantly difference grain yield with control varieties, Karim and Koohdasht (2.25 and 1.90 t. ha^{-1}, respectively). These breeding lines can potentially perform better than the control varieties in low-rainfall years. Introducing these lines into this region can enhance yield stability by diversifying the available wheat varieties in rain-fed condition of Kazeroon.

Conclusion

In conclusion, Under the rain-fed conditions of Kazerun, both plant height and early maturity significantly influenced grain yield. In the 2022–2023 growing season, when rainfall was adequate and the regional average yield was approximately 2 t ha^{-1}, early maturity had a greater effect on yield than plant height. In contrast, during drier years, when semi-dwarf cultivars may become too short for efficient harvesting, plant height may be the more important trait. These findings highlight the value of incorporating both traits into breeding programs, with particular emphasis on early maturity under favorable rainfall conditions. Among the evaluated materials, the breeding lines Kalhaydari + Earliness and Roshan + Earliness showed excellent adaptation to the rain-fed conditions of Kazerun. Their release as new cultivars could enhance varietal diversity and improve the stability of wheat production in the region.

Keywords: Drought stress, Isogenic lines, Response to selection, Secondary traits

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۲)، ۲۸۷ – ۳۰۲
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50133.2281
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/ ۰۴/ ۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/ ۲۷

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر به‌نژادی زودرسی و ارتفاع بوته بر عملکرد گندم نان در شرایط دیم

فریبا محرابی[۱]، علی کاظمی پور[۱]، محمد قادر قادری[۲]، مهدی مهیجی[۱]، روح اله عبدالشاهی[۱*]

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

زودرسی و پابلندی دو صفت مهم برای بهبود عملکرد گندم دیم در شرایط کم بارش هستند. در این پژوهش با انتقال صفت زودرسی از رقم استرالیایی اکسکلیبر به سه رقم ایرانی روشن، مهدوی و کل حیدری، لاین‌های ایزوژن برای صفت زودرسی در این سه زمینهٔ ژنتیکی ایجاد شد. همچنین با انتقال صفت پابلندی از رقم روشن به اکسکلیبر لاین‌های ایزوژن برای ارتفاع بوته ایجاد گردید. والدین تکراری، لاین‌های ایزوژن ایجاد شده و ارقام مورد کشت در منطقهٔ کازرون (کریم و کوهدشت) در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در شرایط کشت دیم مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه میانگین لاین‌های ایزوژن نشان داد که پابلندی باعث بهبود عملکرد دانه (۲۳ درصد) در شرایط دیم شد. با این حال، زودرسی اثر به مراتب بهتری بر عملکرد دانه داشت و به طور معنی داری منجر به افزایش وزن هزار دانه (۱۷درصد) و عملکرد دانه (۳۳ درصد) شد. نتایج تجزیه رگرسیون نیز اهمیت بیشتر صفت زودرسی در مقایسه با پابلندی را نشان داد، به طوری که صفات تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع بوته به ترتیب ۷۲ و ۹ درصد از تغییرات عملکرد دانه در شرایط دیم کازرون را توجیه کردند. لاین‌های زودرس و پابلند حاصل از برنامه های به‌نژادی با نام‌های کل حیدری زودرس و روشن زودرس عملکرد دانه قابل قبولی داشتند (به‌ترتیب ۲/۱۹ و ۲/۱۸ تن در هکتار) ولی تفاوت عملکرد آن‌ها با ارقام شاهد کریم و کوهدشت (به‌ترتیب ۲/۲۵ و ۱/۹۰ تن در هکتار) معنی‌دار نبود. این لاین‌ها در سال‌های کم باران می‌توانند عملکرد بهتری نسبت به ارقام شاهد داشته باشند. با معرفی این لاین‌ها برای این منطقه می‌توان با ایجاد تنوع ارقام، پایداری عملکرد در این منطقه را بهبود بخشید. در سال زراعی مورد بررسی که بارندگی کافی وجود داشت و میانگین عملکرد گندم در این سال زراعی بسیار بالاتر از میانگین بلند منطقه مدت بود، اهمیت زودرسی بسیار بیشتر از پابلندی بود، اما در سال‌های کم باران که ارقام پاکوتاه ارتفاع بسیار پایینی دارند و در برخی سال‌ها حتی قابل برداشت نیستند، اهمیت پابلندی ممکن است حتی بیشتر از زودرسی باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، به نژادگران گندم توصیه می‌شود که برای این دو صفت مهم در شرایط دیم برنامهٔ ویژه‌ای در نظر گرفته شود و زودرسی را به عنوان مهم‌ترین صفت مؤثر بر عملکرد در نظر بگیرند. در حال حاضر، دو رقم نیمه پاکوتاه کریم و کوهدشت در شرایط دیم کازرون کشت می‌شوند. اگرچه در سال زراعی مورد مطالعه، این ارقام با لاین‌های پابلند و زودرس تفاوت

نویسنده مسئول: روح اله عبدالشاهی
رایانامه: abdoshahi@uk.ac.ir

عملکرد معنی‌داری نداشتند، اما عملکرد آن‌ها در سال‌های کم باران به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به طور کلی، معرفی لاین‌های حاصل از برنامهٔ به‌نژادی مورد اشاره که پابلند و زودرس هستند می‌تواند به بهبود عملکرد گندم دیم کازرون در سال‌های کم باران کمک قابل‌توجهی نماید.

کلید واژه‌ها: لاین‌های ایزوژن، تنش خشکی، صفات ثانویه، پاسخ به گزینش

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان است که ۲۰ درصد انرژی مصرفی روزانه مردم جهان را تأمین می نماید (FAO, 2023). اگرچه عملکرد گندم در طی انقلاب سبز در دهه ۱۹۶۰ در اکثر کشورهای پیشرفته دو برابر شد، اما تولید آن در چند دههٔ اخیر افزایش قابل توجهی نداشته است (Ray *et al.*, 2012; Hazell, 2009; Hong *et al.*, 2023) با توجه به افزایش روز افزون جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ تولیدات گندم حداقل بایستی ۱۵ درصد افزایش یابد تا جوابگوی نیاز غذایی مردم جهان باشد. به نژادی یکی از موثرترین راه‌ها برای رسیدن به این هدف است. بخش بسیار بزرگی از اراضی تحت کشت گندم در ایران دیم هستند و این امر اهمیت به‌نژادی در شرایط دیم را به خوبی نشان می‌دهد. به‌نژادگران گندم برای شرایط دیم صفات متعددی از جمله زودرسی، سیستم ریشه‌ای، دمای کانوپی، ارتفاع بوته و چندین صفت دیگر را در نظر می‌گیرند.

از آنجایی که زودرسی اثر مهم و قابل توجهی بر عملکرد گندم نان در شرایط تنش خشکی دارد، این صفت یکی از مهم‌ترین صفات گندم برای فرار از خشکی در شرایط تنش خشکی پایان فصل است (Tshikunde *et al.*, 2019; Cao *et al.*, 2020; Alvarez *et al.*, 2023; Jalilifar *et al.*, 2025). در مناطقی که گندم به عنوان محصول دوم پس از ذرت، برنج یا دیگر محصولات کشت می‌شود به دلیل برخورد به دمای بالا، جوانه‌زنی قبل از برداشت و زودرسی بسیار اهمیت پیدا می‌کند (Shin *et al.*, 2013). به عنوان مثال، در کره جنوبی گندم به طور معمول به عنوان کشت دوم پس از برنج کشت می‌شود و ارقام دیررس قبل از برداشت به فصل بارندگی برخورد می‌نمایند که ریسک جوانه‌زنی قبل از برداشت و کاهش کیفیت دانه را در پی دارد (Shin *et al.*, 2013; Cho *et al.*, 2015). بنابراین فهم ژنتیک ساختار زودرسی برای به‌نژادی در این شرایط بسیار ضروری است (Hong *et al.*, 2023).

به نژادی برای تاریخ گلدهی بهینه در شرایط متنوع محیطی بسیار ضروری است، زیرا عملکرد تحت تأثیر طول دورهٔ رویشی، گلدهی و رسیدگی قرار می‌گیرد (Zhang *et al.*, 2021). زودرسی با اجتناب از خشکی و گرمای آخر فصل در خلال گلدهی و پر شدن دانه گندم باعث بهبود عملکرد دانه در مناطق گرم و خشک می‌شود (Bentey *et al.*, 2013; Mondal *et al.*, 2016; Hong *et al.*, 2023). در پژوهشی که در شرایط اقلیمی اهواز انجام شد، مشخص گردید که لاین‌های ایزوژن زودرس از نظر عملکرد و صفات زراعی و مورفولوژیک نسبت به لاین‌های ایزوژن دیررس خود برتری داشتند. همچنین نتایج نشان داد که لاین ایزوژن مهدوی زودرس در شرایط تنش گرما و خشکی، بیشترین عملکرد دانه را در شرایط اقلیمی خوزستان به خود اختصاص داد. (Kianpour *et al.*, 2024; Jalilifar *et al.*, 2025).

ارقام نیمه پاکوتاه در شرایط ایده‌آل نسبت به ارقام پابلند برتری دارند. این ارقام در شرایط محدودیت منابع رقابت کمتری دارند و به همین دلیل بخش اعظم مواد حاصل از فتوسنتز را به سنبله و تولید دانه اختصاص می دهند (Youssefian *et al.*, 1992). ژن‌های *Rht-B1b* و *Rht-D1b* که در دهه ۱۹۳۰ به برنامه‌های به‌نژادی گندم نان وارد شدند و باعث انقلاب سبز شدند هنوز هم به طور گسترده در ارقام گندم نان امروزی وجود دارند (Pearce, 2021).

در حال حاضر ۶۳ درصد گندم‌های زمستانه دنیا که در قرن ۲۱ معرفی شده‌اند دارای یکی از این دو ژن پاکوتاهی هستند (Wurschum *et al.*, 2017). در بیش از ۹۰ درصد گندم‌های مورد کشت در شرق و مرکز آمریکا ژن‌های *Rht-B1b* و *Rht-D1b* وجود دارد. در خلال انقلاب سبز ارقام نیمه پاکوتاه که ژن‌های *Rht-B1b* و *Rht-D1b* را داشتند با اعطای مقاومت به ورس در شرایط مصرف زیاد کودها و به‌ویژه کود نیتروژن و همچنین از طریق بهبود شاخص برداشت، موجب افزایش عملکرد در واحد سطح شدند (Peng *et al.*, 1999).

علی‌رغم گستردگی بسیار زیاد ژن‌های پاکوتاهی در سرتاسر جهان، این ژن‌ها در نواحی گرم و خشک مثل استرالیا و آب و هوای مدیترانه‌ای عملکرد ضعیف‌تری داشتند (Pearce, 2021). این آلل‌ها باعث کاهش بنیه گیاه و کلئوپتیل شدند و کاربرد آن‌ها در شرایط گرم و خشک که نیاز به کشت عمیق وجود داشت را محدود کرد (Rebetzke *et al.*, 1999; Rebetzke *et al.*, 2014). بنابراین پژوهشگران دنبال آلل‌های دیگری هستند که در شرایطی که از وضعیت بهینه خاک و آب فاصله می‌گیریم بتوانند بهتر عمل نمایند (Pearce *et al.*, 2021; Xiong *et al.*, 2022). در پژوهشی که با استفاده از لاین‌های ایزوژن نزدیک در شرایط دیم سپیدان انجام شد مشخص گردید پابلندی از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه باعث بهبود عملکرد در این شرایط می‌گردد (Salari *et al.*, 2024).

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر دو صفت زودرسی و ارتفاع بوته بر عملکرد گندم دیم در شرایط کازرون بود. به‌منظور دستیابی به این هدف و ایجاد لاین‌هایی با پتانسیل کشت در شرایط کازرون، لاین‌های ایزوژن نزدیک در زمینهٔ ژنتیکی سه رقم روشن، مهدوی و گل حیدری ایجاد شدند.

مواد و روش‌ها

در برنامه به‌نژادی گندم در دانشگاه شهید باهنر کرمان زودرسی از رقم استرالیایی اکسکلیبر با استفاده از روش تلاقی برگشتی به رقم‌های روشن، مهدوی و کل-حیدری منتقل شد (Dorrani-nejad *et al.*, 2022). در برنامه قبلی سه نسل تلاقی برگشتی انجام شد و در ادامه این برنامه دو تلاقی برگشتی دیگر و سپس سه نسل خودگشنی انجام شد تا نسل BC_5F_4 حاصل شود. در تمام این نسل‌ها زودرس‌ترین بوته انتخاب می‌شد. نتاج نهایی ایزوژن نزدیک برای زودرسی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در پروژه به نژادی دیگری ارقام اکسکلیبر و روشن تلاقی داده شدند و نتاج F_1 با والد اکسکلیبر تلاقی داده شد و در ادامه با استفاده از روش تلاقی برگشتی نسل BC_5F_4 حاصل شد. در تمام این نسل‌ها برای پابلندی گزینش انجام گرفت. نتاج نهایی ایزوژن نزدیک برای ارتفاع بوته در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

در این پژوهش ارقام روشن، مهدوی، کل حیدری، اکسکلیبر، کریم و کوهدشت و لاین‌های حاصل از برنامه به‌نژادی دانشگاه شهید باهنر کرمان با نام‌های روشن زودرس، مهدوی زودرس، کل حیدری زودرس، اکسکلیبر نیمه‌پابلند، اکسکلیبر پابلند، روشن ریشکدار و روشن پاکوتاه و لاین نیمه‌پابلند در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در شهرستان کازرون مورد بررسی قرار گرفت. میزان بارندگی بر اساس آمار هواشناسی در طول دوره کشت ۴۷۵ میلی متر بود و مزرعه دارای خاک لومی بود. طول هر کرت ۷ و عرض آن ۶ متر بود. از هر طرف کرت ۰/۵۰ متر به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و سطح برداشت شده از هر کرت ۳۰ متر مربع بود. برای کنترل غیریکنواختی درون بلوک، در این طرح هر بلوک شامل دو ردیف ۷ کرتی بود تا طول بلوک کاهش و یکنواختی درون بلوک افزایش یابد. تراکم بذر ۳۰۰

بوته در متر مربع در نظر گرفته شد و با استفاده از بذرشمار تعداد بذر مورد نیاز در هر کرت تهیه و در پاکت جداگانه ای قرار گرفت تا در زمان کشت استفاده شود. ارقام کریم و کوهدشت از ارقام بسیار خوب دیم کشور هستند و کشاورزان کازرون به طور عمده از این دو رقم استفاده می‌نمایند و هر دو رقم محبوبیت خاصی نزد کشاورزان منطقه دارند. در این پژوهش این دو رقم به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. لاین روشن ریشکدار نیز از روش تلاقی برگشتی و با انتقال ریشک از مهدوی به روشن انجام شده است.

در این پژوهش صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در متر مربع مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. زمانی که ۵۰ درصد بوته های هر کرت وارد مرحله گلدهی شدند به عنوان تاریخ گلدهی کرت در نظر گرفته شد.

جدول ۱- سال معرفی، شجره و منشأ ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم

Table 1. Year of release, pedigree and origin of evaluated genotypes under rain-fed conditions

Genotype	Year of release	Pedigree	Origin
Excalibur	1991	RAC177/ 'Monoculm'//RAC311S	Australia
Excalibur+semi-tallness	-	Excalibur*6//Roshan	Iran
Excalibur+tallness	-	Excalibur*6//Roshan	Iran
Kalheydari	1930	Landrace collected in Iran	Iran
Kalheydari+earliness	-	Kalheydari*6//Excalibur	
Karim	2011	T.AEST/SPRW'S'//CA8055/3/BACANORA86	ICARDA
Koohdast	2000	BB/RON//CN067/TOTA/3/JAR TR8102200-29R	-
Mahdavi	1995	Ti/pch/mt48/3/wt*//Nar59/tota63/4/mus	ICARDA
Mahdavi+earliness	-	Mahdavi*6//Excalibur	Iran
Roshan	1958	Landrace collected in Esfahan, Iran	Iran
Roshan+awn	-	Roshan*6//Mahdavi	Iran
Roshan+semi-dwarfness	-	Roshan*6//Mahdavi	Iran
Roshan+earliness	-	Roshan*6//Excalibur	Iran
Semi-tall line	-	Roshan*2//Mahdavi	Iran

تاریخ رسیدگی زمانی در نظر گرفته شد که ۵۰ درصد بوته های هر کرت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. از اختلاف تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی طول دوره پر شدن محاسبه گردید. ارتفاع با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد و ریشک هم در این اندازه‌گیری مد نظر قرار گرفت. عملکرد با استفاده از تناسب به تن در هکتار تبدیل شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه از هر کرت ۱۰۰ سنبله به طور تصادفی انتخاب شد و پس از خرد کردن دستی و جدا کردن دانه‌ها با استفاده از بذرشمار شمارش گردید. تعداد بذرهای هر کرت به ۱۰۰ تقسیم شد تا تعداد دانه در سنبله مشخص شود. وزن بذرهای ۱۰۰ سنبله نیز با استفاده از ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد و با استفاده از تناسب وزن ۱۰۰۰ دانه محاسبه گردید. از آنجایی که عملکرد از حاصل ضرب سه جزء آن، یعنی تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع و وزن دانه حاصل می‌شود، تعداد سنبله در متر مربع از تقسیم عملکرد دانه به حاصل ضرب تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه حاصل گردید.

تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد و شکل‌ها با استفاده از Excel تهیه گردید. آزمون همگنی واریانس خطا نشان داد واریانس خطا برای تمام صفات توزیع نرمال دارد. آزمون به صورت یکساله بود و تجزیه واریانس، مقایسات گروهی و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از روش دانکن و در سطح پنج درصد انجام شد. برای محاسبه واریانس ژنتیکی از امید ریاضی واریانس استفاده شد و ابتدا واریانس خطا از واریانس ژنوتیپ‌ها کسر و حاصل بر تعداد تکرار تقسیم شد. با تقسیم واریانس ژنتیکی به واریانس فنوتیپی وراثت‌پذیری محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای تمام صفات به جز تعداد سنبله در متر مربع تنوع ژنتیکی معنی‌داری نشان می‌دهند. در این ارزیابی مقایسه گروهی بین ژنوتیپ‌های پابلند (رقم روشن و لاین اکسکلیبر پابلند) و لاین‌های ایزوژن پاکوتاه آن‌ها (لاین روشن پاکوتاه و رقم اکسکلیبر) انجام شد و دو گروه فقط برای صفات عملکرد دانه و ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری داشتند. همین طور مقایسه گروهی بین ارقام دیررس (روشن، مهدوی و کل حیدری) و لاین‌های ایزوژن زودرس آن‌ها (لاین روشن زودرس، لاین مهدوی زودرس و لاین کل‌حیدری زودرس) انجام شد و اختلاف دو گروه برای تمام صفات به جز ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع معنی‌دار بود (جدول ۲).

صفت تعداد دانه در سنبله بیشترین (۱۵/۷۵ درصد) و تعداد روز تا گلدهی کم‌ترین (۱/۱۸ درصد) تنوع ژنتیکی را داشتند. صفات زودرسی و ارتفاع بوته وراثت پذیری بالایی داشتند ولی با این وجود صفت تعداد روز تا گلدهی بالاترین میزان وراثت پذیری (۸۸ درصد) را بین صفات مورد بررسی به خود اختصاص داد. صفت تعداد سنبله در متر مربع کم‌ترین (۱۱ درصد) میزان وراثت‌پذیری را داشت (جدول ۲).

برای بررسی برهمکنش زمینهٔ ژنتیکی و ژن‌های کنترل کننده ارتفاع بوته، عملکرد لاین‌های ایزوژن در زمینه‌های ژنتیکی روشن و اکسکلیبر مد نظر قرار گرفت و نتایج نشان داد برهمکنش زمینهٔ ژنتیکی و ارتفاع بوته معنی‌دار است. به عبارتی دیگر این ژن‌ها تحت تأثیر زمینهٔ ژنتیکی قرار می‌گیرند و میزان پاسخ به زمینهٔ ژنتیکی بستگی خواهد داشت. همین‌طور برای بررسی برهمکنش زمینهٔ ژنتیکی و ژن‌های کنترل کننده زودرسی، عملکرد لاین‌های ایزوژن در زمینه های ژنتیکی روشن، مهدوی و کل حیدری مد نظر قرار گرفت و نتایج نشان داد برهمکنش زمینهٔ ژنتیکی و زودرسی معنی‌دار نیست. به عبارتی دیگر این ژن‌ها تحت اثر زمینهٔ ژنتیکی قرار نمی‌گیرند (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس، ضریب تغییرات ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات مورد بررسی در شرایط دیم

Table 2. Analysis of variance, genotypic CV and heritability of evaluated traits under rain-fed conditions

SOV	DF	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period	Grain yield	Grain number per spike	1000 grains weight	Spike number per m^2	Plant height
Replication	3	19.99**	0.65^{ns}	15.41^{ns}	0.07^{ns}	1.45^{ns}	20.04^{ns}	1669.62^{ns}	35.66^{ns}
Genotype	13	128.89**	20.80**	18.22*	0.66**	121.22**	72.15**	3524.92^{ns}	1117.61**
Tall vs dwarf	1	3.34^{ns}	12.36^{ns}	2.86^{ns}	0.55**	46.79^{ns}	0.24^{ns}	6742.16^{ns}	1496.14**
Early vs late heading	1	104017**	5324**	84.37**	3.51**	37.54^{ns}	254.61**	6620.85^{ns}	337.50^{ns}
Error	39	4.28	3.78	9.01	0.13	18.76	25.31	2330.37	88.28
CV	-	1.62	1.11	6.31	19.22	13.48	14.81	27.78	9.16
Genotypic CV	-	4.37	1.18	3.19	19.40	15.75	10.07	9.94	15.64
Heritability	-	0.88	0.53	0.20	0.50	0.58	0.32	0.11	0.74

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه در شرایط دیم کازرون با استفاده از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی

Table 3. Analysis of variance of grain yield under rain-fed condition of Kazeroon using a factorial experiment based on randomized complete block design

Factorial experiment for NILs of plant height

SOV	DF	Grain yield
Replication	3	0.06^{ns}
Genetic background	1	2.01*
Plant height	1	0.01^{ns}
Genetic background × Plant height	1	1.13*
Error	9	0.18

Factorial experiment for NILs of earliness

SOV	DF	Grain yield
Replication	3	0.01^{ns}
Genetic background	2	0.37^{ns}
Earliness	1	2.81**
Genetic background × Earliness	2	0.43^{ns}
Error	15	0.17

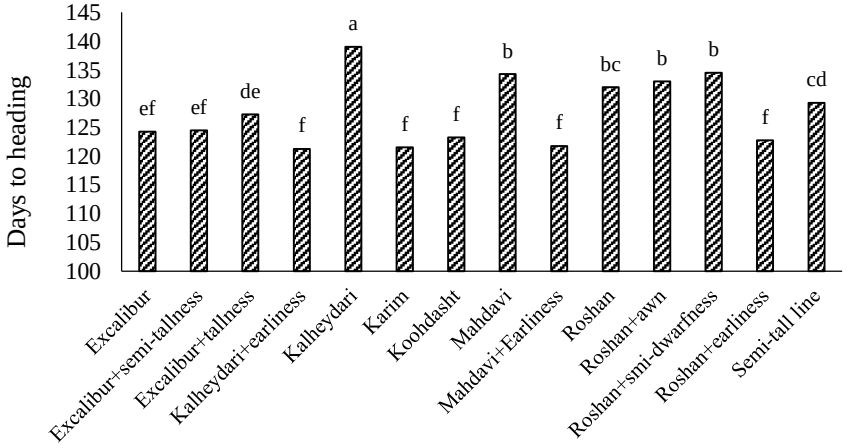
به‌نژادی زودرسی

به‌نژادی برای زودرسی به طور معنی‌داری باعث زودرس‌تر شدن ارقام روشن، مهدوی و کل‌حیدری شده است. این ارقام به ترتیب ۹، ۱۲ و ۱۸ روز نسبت به والد تکراری خود زودرس‌تر شده‌اند. از آنجایی که زودرسی تأثیر مهم و قابل توجهی بر عملکرد گندم نان در شرایط تنش خشکی دارد، این صفت یکی از مهم‌ترین صفات گندم برای فرار از خشکی در شرایط تنش خشکی پایان فصل است (Tshikunde *et al.*, 2019; Cao *et al.*, 2020; Alvarez *et al.*, 2023). ارقام کریم و کوهدشت بسیار زودرس هستند و اختلاف آن ها با روشن زودرس، مهدوی زودرس، کل حیدری زودرس، اکسکلیبر و اکسکلیبر نیمه‌پابلند معنی‌دار نبود (شکل ۱). از آنجایی که زودرسی باعث فرار از خشکی آخر فصل می‌شود در شرایط دیم ایران صفت بسیار مهمی محسوب می‌شود. عملکرد تحت تأثیر طول دوره رویشی، گلدهی و رسیدگی قرار می‌گیرد (Zhang *et al.*, 2021). زودرسی باعث اجتناب از خشکی و گرمای آخر فصل در خلال گلدهی و پر شدن دانه گندم می‌شود و عملکرد دانه در مناطق گرم و خشک را بهبود می‌بخشد (Bentey *et al.*, 2013; Mondal *et al.*, 2016; Hong *et al.*, 2023; Jalilifar *et al.*, 2025).

به‌نژادی ارتفاع بوته

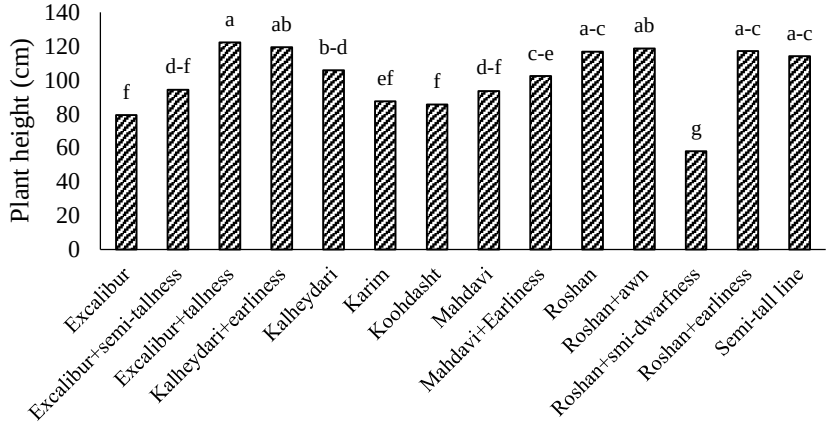
به‌نژادی برای پابلندی رقم اکسکلیبر و پاکوتاهی رقم روشن با عث تغییر معنی‌دار ارتفاع بوته این ارقام شد. رقم استرالیایی اکسکلیبر از لحاظ ارتفاع مشابه ارقام کریم و کوهدشت است و با آن‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد. لاین روشن پاکوتاه، پاکوتاه‌ترین ژنوتیپ در این پژوهش است و ارتفاع آن به طور معنی‌داری از ارقام کریم و کوهدشت کمتر است. از طرف دیگر

لاین به نژادی اکسکلیبرپابلند بیشترین ارتفاع را داشت ولی اختلاف آن با سایر ارقام و لاین‌های پابلند معنی‌دار نبود (شکل ۲). مقایسه گروهی ژنوتیپ‌های پابلند (رقم روشن و لاین اکسکلیبر پابلند) با لاین‌های ایزوژن پاکوتاه آن‌ها (لاین روشن پاکوتاه و رقم اکسکلیبر) نشان داد به‌نژادی برای افزایش ارتفاع به طور معنی‌داری باعث افزایش ۲۳ درصدی عملکرد دانه (۰/۲۹ تن در هکتار) شده است. دلیل این امر می‌تواند افزایش سطح سبزینه بوته و افزایش فتوسنتز باشد. همچنین در مطالعات مختلف ثابت شده است که ارقام پابلند دارای ریشه عمیق‌تری هستند و به دلیل استفاده بهتر از رطوبت اعماق خاک می‌توانند در شرایط تنش خشکی عملکرد بهتری داشته باشند.



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد روز تا گلدهی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 1. Mean comparison for days to heading of evaluated genotypes under rain-fed conditions using Duncan test at 5% probability

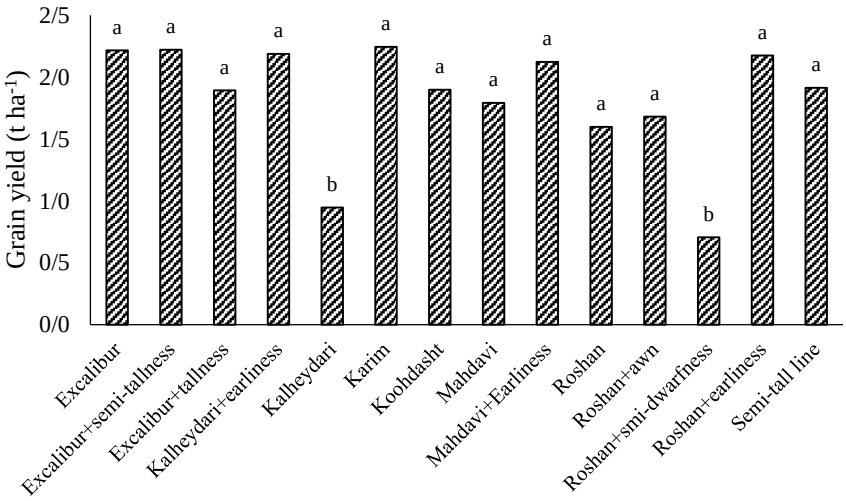


شکل ۲- مقایسه میانگی ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 2. Mean comparison for plant height of evaluated genotypes under rain-fed conditions using Duncan test at 5% probability

تأثیر به‌نژادی زودرسی و ارتفاع بر عملکرد دانه

مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط کازرون نشان داد به جز ژنوتیپ‌های روشن پاکوتاه و کل حیدری که به طور معنی‌داری عملکرد کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها داشتند، عملکرد سایر ارقام و ژنوتیپ‌ها با هم اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳). ارقام کریم و کوهدشت نسبتا پاکوتاه هستند (شکل ۲) و به مدت چندین سال در منطقه کازرون کشت می‌شوند. این ارقام به دلیل زودرسی (شکل ۱) و فرار از خشکی در شرایط دیم کازرون موفق عمل کرده‌اند. با این وجود، در برخی از سال‌ها که بارندگی کاهش می‌یابد عملکرد آن‌ها به شدت کاهش می‌یابد. در این شرایط لاین‌های زودرس و پابلندی مثل روشن زودرس و کل‌حیدری زودرس (شکلهای ۱ و ۲) می‌توانند عملکرد مناسب‌تری داشته باشند. این لاین‌ها در شرایط بارندگی مطلوب (سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱) دچار ورس نشدند و عملکردشان با ارقام شاهد (کریم و کوهدشت) اختلاف معنی‌داری نداشت. استفاده از این لاین‌ها در کنار ارقام موفق کریم و کوهدشت می‌تواند باعث بهبود پایداری عملکرد در شرایط کازرون گردد. مقایسه گروهی بین ارقام دیررس (روشن، مهدوی و کل حیدری) و لاین‌های ایزوژن زودرس آن‌ها (لاین روشن زودرس، لاین مهدوی زودرس و لاین کل‌حیدری زودرس) نشان داد زودرسی از طریق بهبود معنی‌دار وزن هزار دانه (۶/۵۱ گرم) باعث بهبود معنی‌دار عملکرد دانه (۰/۷۱ تن در هکتار) می‌شود. زودرسی تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در بوته و تعداد سنبله در متر مربع نداشت. مطالعات متعددی به اهمیت زودرسی در بهبود عملکرد ارقام دیم پرداخته‌اند. مطالعات نشان می‌دهند در قرن گذشته ارقام گندم نان ۱۰ تا ۱۳ روز زودرس‌تر شده‌اند (Isidro *et al*., 2011; Shavrukov *et al*., 2017). مطالعات متعددی نقش مثبت و معنی‌دار زودرسی در بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی را تایید کرده‌اند (Turner *et al*., 2001; Nagarajan *et al*., 2008; Joudi *et al*., 2014; Mondal *et al*., 2016; Shavrukov *et al*., 2017; Dorraninejad *et al*., 2022; Jalilifar et al., 2025). یافته‌های این پژوهش و پژوهش‌های پیشین نقش برجسته زودرسی در بهبود عملکرد گندم در شرایط دیم را نشان می‌دهند.



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 3. Mean comparison for grain yield of evaluated genotypes under rain-fed conditions using Duncan test at 5% probability

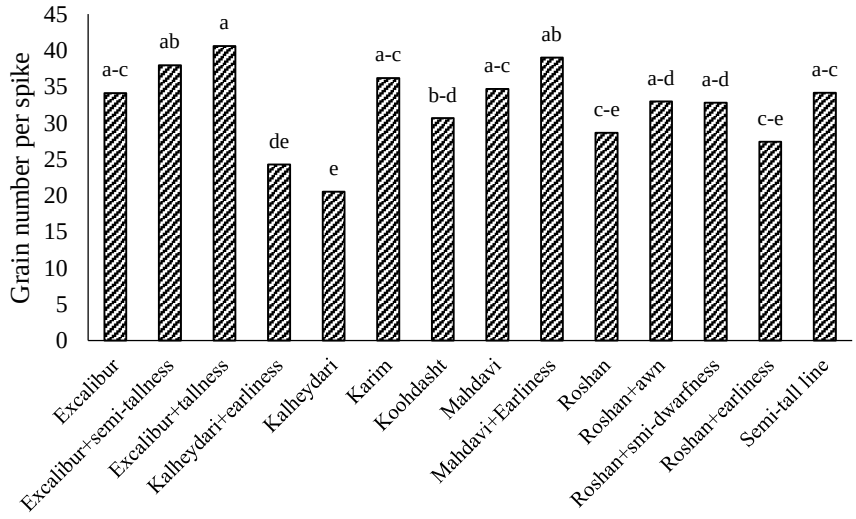
انتقال صفت پاکوتاهی به رقم روشن به طور معنی-داری باعث کاهش عملکرد در شرایط دیم کازرون شد. در حالی که انتقال پابلندی به رقم اکسکلیبر باعث تغییر در عملکرد نشده است. به نظر می‌رسد دلیل این موضوع به زودرسی رقم اکسکلیبر و دیررسی رقم روشن و پاکوتاه‌تر بودن لاین روشن پاکوتاه نسبت به اکسکلیبر مربوط باشد. به عبارت دیگر در سال‌هایی که بارندگی مطلوب وجود دارد (مثل سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱)، پاکوتاهی به تنهایی باعث کاهش عملکرد نمی‌شود ولی ترکیب پاکوتاهی و دیررسی می‌تواند باعث کاهش معنی دار عملکرد شود. نکته مهم دیگری که بایستی به آن توجه داشت این است که روشن پاکوتاه به طور معنی-داری ارتفاع کوتاه‌تری نسبت به رقم اکسکلیبر دارد (شکل ۲). به‌نژادی برای زودرسی باعث بهبود معنی‌دار عملکرد رقم کل‌حیدری در شرایط دیم کازرون شد (شکل ۳). با توجه به نتایج حاصله به نظر می‌رسد ارقام نسبتا پابلند و زودس در این منطقه موفق‌تر عمل نمایند و توصیه می‌شود به‌نژادگران گندم برای این منطقه به پابلندی و زودرسی توجه ویژه‌ای داشته باشند. به نظر می‌رسد به‌نژادی برای انتقال پابلندی به رقم کریم بتواند نتایج بسیار مطلوبی داشته باشد. اگرچه ژن‌های *Rht-B1b* و *Rht-D1b* با اعطای مقاومت به ورس انقلاب سبز را رقم زدند (Peng *et al*., 1999)، در نواحی گرم و خشک مثل استرالیا و آب و هوای مدیترانه‌ای عملکرد مناسبی ندارند (Pearce, 2021) و باعث کاهش بنیه گیاه و کلئوپتیل می‌شوند و همین امر کاربرد آن‌ها در این شرایط محدود می‌نماید (Rebetzke *et al*., 2014; Rebetzke *et al*., 1999). بنابراین پژوهشگران دنبال آلل‌های دیگری هستند که در شرایطی که وضعیت خاک و آب بهینه نباشد بهتر عمل نمایند (Pearce *et al*., 2021; Xiong *et al*., 2022).

تأثیر به‌نژادی زودرسی و ارتفاع بر اجزای عملکرد

هر سه جزء عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله، وزن هزار-دانه و تعداد سنبله در متر مربع مورد بررسی قرار گرفت. لاین اکسکلیبر پابلند بیشترین (۴۱ دانه در سنبله) و رقم کل‌حیدری کمترین (۲۱ دانه در سنبله) تعداد دانه در سنبله را داشتند. به‌نژادی برای تغییر ارتفاع در هر دو زمینهٔ ژنتیکی روشن و اکسکلیبر باعث تغییر معنی‌داری در تعداد دانه در سنبله در مقایسه با والد تکراری نشد. همین طور، به‌نژادی برای زودرسی ارقام روشن، مهدوی و کل‌حیدری نیز باعث تغییر معنی‌دار تعداد دانه در سنبله در مقایسه با والد تکراری نشد (شکل ۴). به طور کلی این نتایج نشان داد به‌نژادی برای تغییر ارتفاع و زمان رسیدگی تأثیری بر تعداد دانه در سنبله در شرایط دیم کازرون ندارد. نتایج مقایسه گروهی لاین‌های ایزوژن نیز این نتایج را تایید نمود (جدول ۲).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد کل‌حیدری زودرس بیشترین (۴۳ گرم) و روشن ریشکدار کمترین (۲۸ گرم) وزن هزار دانه را داشتند (شکل ۵). به‌نژادی برای افزایش ارتفاع تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت ولی به‌نژادی برای زودرسی به طور معنی‌داری باعث بهبود این صفت شد. مقایسه گروهی بین ارقام دیررس (روشن، مهدوی و کل حیدری) و لاین‌های ایزوژن زودرس حاصل از آن‌ها (لاین روشن زودرس، لاین مهدوی زودرس و لاین کل‌حیدری زودرس) نشان داد زودرسی به طور معنی‌داری باعث بهبود وزن هزار دانه (۶/۵۱ گرم) می‌شود. بهبود وزن ۱۰۰۰ دانه در لاین‌های زودرس در پژوهش Doraninejad *et al*., (2022) نیز به اثبات رسیده است، آن‌ها همچنین نشان دادند زودرسی باعث تغییر سایر اجزای عملکرد نمی‌شود.

تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲) نشان داد ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ تعداد پنجه بارور در متر مربع با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. همچنین این نتایج نشان داد به‌نژادی برای زودرسی و افزایش ارتفاع نیز بر این جزء عملکرد تأثیر معنی-داری ندارد.



شکل ٤- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

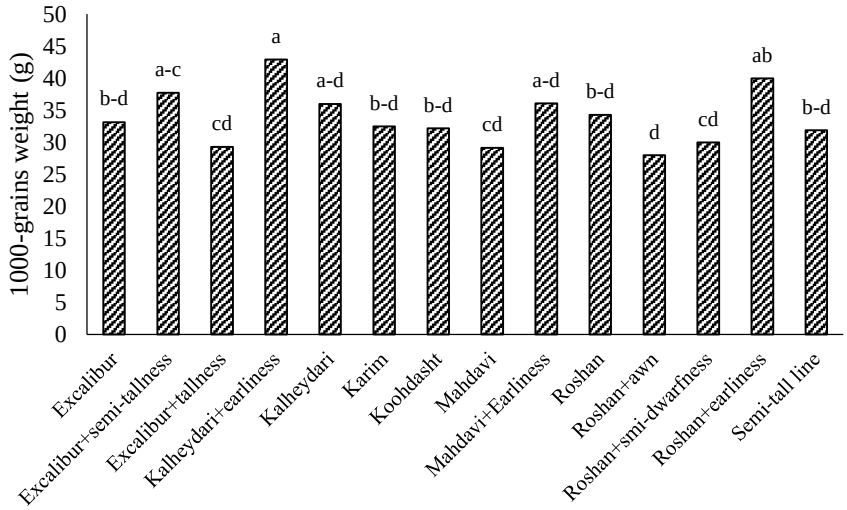
Figure 4. Mean comparison for grain number per spike of evaluated genotypes under rain-fed conditions using Duncan test at 5% probability

به‌نژادی بهبود ارتفاع در مقابل زودرسی: کدام ارجحیت دارد؟

مقایسه لاین‌های ایزوژن نشان داد هر دو صفت عملکرد را در شرایط دیم کازرون تحت تأثیر قرار می‌دهند و صفات مهم و اثرگذاری هستند. مقایسه لاین‌های ایزوژن نشان داد پابلندی باعث افزایش عملکرد به میزان ۰/۲۹ تن در هکتار می‌شود. در حالی که مقایسه لاین‌های ایزوژن زودرس و دیررس نشان داد زودرسی باعث افزایش عملکرد به میزان ۰/۷۱ تن در هکتار می‌شود. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد بازده ژنتیکی به‌نژادی برای بهبود زودرسی بیش از دو برابر افزایش ارتفاع بوده است. به طور کلی چنین استنباط می‌شود اثر زودرسی یا دیررسی و پاکوتاهی یا پابلندی بستگی به زمینهٔ ژنتیکی دارد که در برخی از زمینه‌ها (ارقام) اثر قاطعی نشان می‌دهد و در برخی دیگر اثری ندارد.

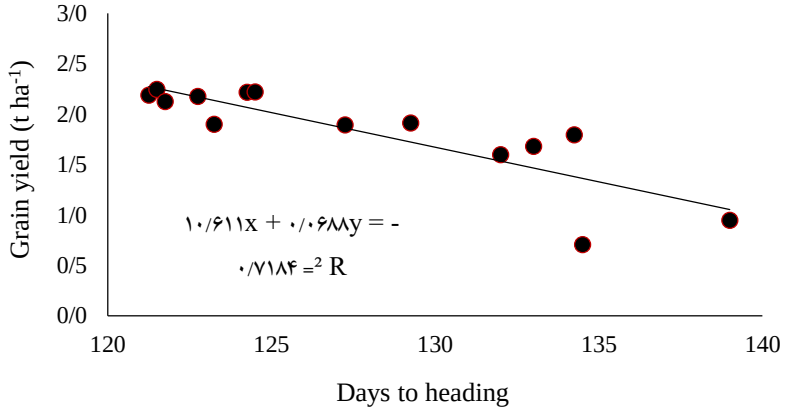
بررسی رابطه رگرسیونی ارتباط عملکرد دانه با تعداد روز تا گلدهی (شکل ۶) نیز اهمیت این صفت را در شرایط دیم کازرون نشان می‌دهد. این صفت ۷۲ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌نماید. این نتایج نشان داد به ازای هر روز زودرسی عملکرد گندم در شرایط دیم کازرون ۶۸/۸ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد.

بررسی ارتباط رگرسیونی عملکرد دانه و ارتفاع بوته (شکل ۷) نشان داد پابلندی باعث بهبود عملکرد دانه در شرایط دیم کازرون می‌شود. ولی این ارتباط رگرسیونی ضعیف است و این صفت تنها ۹ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌نماید. این نتایج نشان داد به ازای هر یک سانتی‌متر افزایش ارتفاع بوته، عملکرد گندم در شرایط دیم کازرون ۷/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد. با در نظر داشتن نتایج حاصله، به‌نژادی برای زودرسی بازده ژنتیکی بالاتری دارد و بیشتر از پابلندی می‌تواند باعث بهبود عملکرد شود.



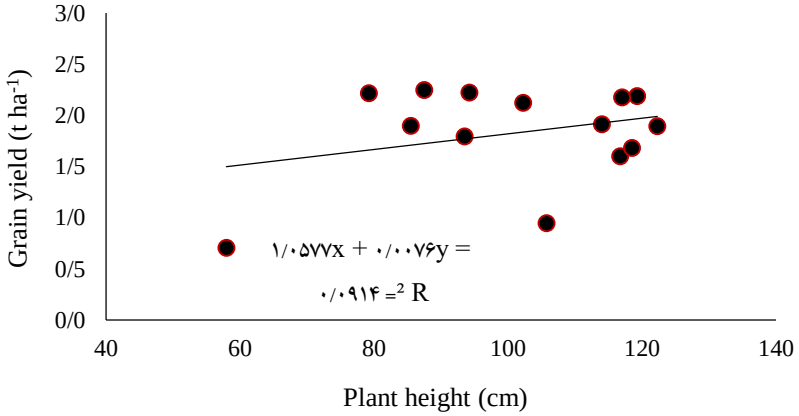
شکل۵- مقایسه میانگین وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 5. Mean comparison for 1000-grains weight of evaluated genotypes under rain-fed conditions using Duncan test at 5% probability



شکل ٦- ارتباط بین عملکرد دانه و تعداد روز تا گلدهی در شرایط دیم

Figure 6. Relationship between grains yield and days to heading under rain-fed conditions



شکل۷- ارتباط بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته در شرایط دیم

Figure 7. Relationship between grain yield and plant height under rain-fed conditions

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل شده، هر دو صفت پابلندی و زودرسی بر عملکرد دانه در شرایط دیم کازرون اثر مثبت و معنی‌داری دارند. در شرایط سال زراعی جاری (۱۴۰۲-۱۴۰۱) که بارندگی به میزان کافی وجود داشت و میانگین عملکرد منطقه حدود دو تن در هکتار بود، اهمیت زودرسی بسیار بیشتر از پابلندی بود. در شرایط دیم سپیدان و در سالی که بارندگی مناسب نبود صفت ارتفاع نقش بسیار مهمی بر عملکرد دانه داشت (Salari *et al.*, 2024). ممکن است در سال‌های کم باران که ارقام پاکوتاه ارتفاع بسیار پایینی خواهند داشت (در شرایط تنش خشکی شدید، ارقام پابلند ارتفاع کم و ارقام پاکوتاه ارتفاع ناچیزی خواهند داشت) و در برخی موارد قابل برداشت نیستند اهمیت پابلندی حتی بیشتر از زودرسی باشد. به طور کلی این نتایج به‌نژادگران گندم را تشویق می‌نماید که برای این دو صفت مهم در شرایط دیم برنامه ویژه‌ای داشته باشند و زودرسی را به عنوان مهم‌ترین صفت موثر بر عملکرد در نظر بگیرند. دو ژنوتیپ پابلند و زودرس حاصل از برنامه‌های به‌نژادی دانشگاه شهید باهنر کرمان با نام‌های کل‌حیدری زودرس و روشن زودرس پاسخ بسیار خوبی به شرایط دیم کازرون دادند. اختلاف عملکرد این لاین‌ها با ارقام شاهد (کریم و کوهدشت) که در منطقه کشت می‌شوند معنی‌دار نبود. نکته مهم که بایستی مور توجه قرار گیرد این است که نتایج یکساله، به خصوص در شرایطی که میزان بارندگی نسبت به میانگین بلندمدت به طور قابل توجهی بیشتر بوده است، ممکن است قابل تعمیم به سال‌های خشک یا دیگر مناطق دیم نباشد. بنابراین، برای اطمینان حداقل یک سال دیگر بایستی آزمایش تکرار گردد.

سپاس‌گزاری

نگارندگان مقاله از کشاورز محترم جناب آقای فردوس قلی‌پور به خاطر در اختیار گذاشتن مزرعه، جهاد کشاورزی بالاده کازرون، به‌ویژه مهندس غلامان، به خاطر همکاری و همفکری در اجرای طرح و دانشگاه شهید باهنر کرمان به دلیل تNامین مالی پروژه صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

References

Alvarez, M.A., Li, C., Lin, H., Joe, A., Padilla, M., Woods, D.P., & Dubcovsky, J. (2023). EARLY FLOWERING 3 interactions with PHYTOCHROME B and PHOTOPERIOD1 are critical for the photoperiodic regulation of wheat heading time. *PLoS Genetics*, 19(5), e1010655. https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1010655

Bentley, A.R., Horsnell, R., Werner, C.P., Turner, A.S., Rose, G.A., Bedard, C., Howell, P., Wilhelm, E.P., Mackay, I.J., Howells, R.M., & Greenland, A. (2013). Short, natural, and extended photoperiod response in BC2F4 lines of bread wheat with different Photoperiod-1 (Ppd-1) alleles. *Journal of Experimental Botany*, 64(7), 1783-1793. https://doi.org/10.1093/jxb/ert038

Braun, H.J. (2012). Genetic systems regulating flowering response in wheat. In Wheat: Prospects for Global Improvement: Proceedings of the 5th International Wheat Conference, 10–14 June, 1996, Ankara, Turkey (6, 491). Springer Science & Business Media.

Cao, S., Xu, D., Hanif, M., Xia, X., & He, Z. (2020). Genetic architecture underpinning yield component traits in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 133, 1811-1823. https://doi.org/10.1007/s00122-020-03562-8

Cho, E.J., Kang, C.S., Jung, J.U., Yoon, Y.M., & Park, C.S. (2015). Allelic variation of Rht-1, Vrn-1 and Ppd-1 in Korean wheats and its effect on agronomic traits. *Plant Breeding and Biotechnology*, 3(2), 129-138. http://dx.doi.org/10.9787/PBB.2015.3.2.129

Dorrani-Nejad, M., Kazemipour, A., Maghsoudi-Moud, A.A., & Abdolshahi, R. (2022). Wheat breeding for early heading: Does it improve grain yield under drought stress and well-watered conditions? *Environmental and Experimental Botany*, 200, 104902. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104902

FAO (Food and Agriculture Organization). (2023). Online statistical database: Food balance. FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database) http/www.fao.org/faostat/en/

Hazell, P.B.R. (2009). The Asian green revolution. International Food Policy Research Institute 911.

Hong, S., Kim, K.M., Choi, C., Cho, S.W., Park, C.S., & Mo, Y. (2023). QTL mapping for heading date and yield-related traits in a doubled haploid population derived from two Korean wheat cultivars. *Plant Breeding and Biotechnology*, 11(3), 197-207. https://doi.org/10.9787/PBB.2023.11.3.197

Isidro, J., Alvaro, F., Royo, C., Villegas, D., Miralles, D.J., & García del Moral, L.F. (2011). Changes in duration of developmental phases of durum wheat caused by breeding in Spain and Italy during the 20th century and its impact on yield. *Annals of Botany*, 107(8), 1355-1366. https://doi.org/10.1093/aob/mcr063

Jalilifar, M., Rahnama, A., & Abdolshahi, R. (2025). Responses of morphological, phenological and yield traits of wheat cultivars and early maturing near-isogenic lines to irrigation cut-off at reproductive growth stages. *Cereal Research*, 15(4), 351-367. https://doi.org/10.22124/cr.2025.31509.1878 [In Persian].

Joudi, M., Ahmadi, A., Mohammadi, V., Abbasi, A., & 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

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

Mondal, S., Singh, R.P., Crossa, J., Huerta-Espino, J., Sharma, I., Chatrath, R., Singh, G.P., Sohu, V.S., Mavi, G.S., Sukuru, V.S.P., & Kalappanavar, I.K. (2013). Earliness in wheat: a key to adaptation under terminal and continual high temperature stress in South Asia. *Field crops research*, 151, 19-26. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.06.015

Mondal, S., Singh, R.P., Mason, E.R., Huerta-Espino, J., Autrique, E., & Joshi, A.K. (2016). Grain yield, adaptation and progress in breeding for early-maturing and heat-tolerant wheat lines in South Asia. *Field Crops Research*, 192, 78-85. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.04.017

Nagarajan, S., Anand, A., & Chaudhary, H.B. (2008). Response of spring wheat (Triticum aestivum) genotypes under changing environment during grain filling period. *Indian Journal of Agricultural Sciences* (India). 78(2), 71-73.

Pearce, S. (2021). Towards the replacement of wheat 'Green Revolution'genes. *Journal of Experimental Botany*, 72(2), 157-160. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa494

Peng, J., Richards, D.E., Hartley, N.M., Murphy, G.P., Devos, K.M., Flintham, J.E., Beales, J., Fish, L.J., Worland, A.J., Pelica, F., & Sudhakar, D. (1999). 'Green revolution'genes encode mutant gibberellin response modulators. *Nature*, 400(6741), 256-261. https://doi.org/10.1038/22307

Ray, D.K., Ramankutty, N., Mueller, N.D., West, P.C., & Foley, J.A. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*, 3(1), 1293. https://doi.org/10.1038/ncomms2296

Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Fischer, V.M., & Mickelson, B.J. (1999). Breeding long coleoptile, reduced height wheats. *Euphytica*, 106, 159-168. https://doi.org/10.1023/A:1003518920119

Rebetzke, G.J., Verbyla, A.P., Verbyla, K.L., Morell, M.K., & Cavanagh, C.R. (2014). Use of a large multiparent wheat mapping population in genomic dissection of coleoptile and seedling growth. *Plant Biotechnology Journal*, 12(2), 219-230. https://doi.org/10.1111/pbi.12130

Salari, M., Kazemipour, A., Kashigarzadeh, M., Pourtabrizi, S., Ghaderi, M., & Abdolshahi, R. (2024). Effect of breeding for plant height on yield and yield component of bread wheat under rain-fed conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17(2), 243-253. https://doi.org/10.22077/escs.2023.5698.2168 [In Persian].

SAS Institute. (2004). Base SAS 9.1 procedures guide. Cary (NC): SAS Institute Inc.

Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., De Groot, S., Soole, K., & Langridge, P. (2017). Early flowering as a drought escape mechanism in plants: how can it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science*, 8, 1950. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01950

Shin, S., Kim, K., Kang, C., Park, J., Hyun, J., & Park, C. (2013). Effects of agronomic characteristics and grain morphology on pre-harvest sprouting in Korean wheat cultivar. *Korean Journal of Breeding Science*, 45(4), 346-357. https://doi.org/10.9787/KJBS.2013.45.4.346

Tshikunde, N.M., Mashilo, J., Shimelis, H., & Odindo, A. (2019). Agronomic and physiological traits, and associated quantitative trait loci (QTL) affecting yield response in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1428. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01428

Turner, N.C., Wright, G.C., & Siddique, K.H.M. (2001). Adaptation of grain legumes (pulses) to water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 71, 193-231. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71015-2

Würschum, T., Langer, S.M., Longin, C.F.H., Tucker, M.R., & Leiser, W.L. (2017). A modern Green Revolution gene for reduced height in wheat. *The Plant Journal*, 92(5), 892-903. https://doi.org/10.1111/tpj.13726

Xiong, H., Zhou, C., Fu, M., Guo, H., Xie, Y., Zhao, L., Gu, J., Zhao, S., Ding, Y., Li, Y., & Zhang, J. (2022). Cloning and functional characterization of Rht8, a "Green Revolution" replacement gene in wheat. *Molecular Plant*, 15(3), 373-376. https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.01.014

Youssefian, S., Kirby, E.J.M., & Gale, M.D. (1992). Pleiotropic effects of the GA-insensitive Rht dwarfing genes in wheat. 2. Effects on leaf, stem, ear and floret growth. *Field Crops Research*, 28(3), 191-210. https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90040-G

Zhang, J., She, M., Yang, R., Jiang, Y., Qin, Y., Zhai, S., Balotf, S., Zhao, Y., Anwar, M., Alhabbar, Z., & Juhász, A. (2021). Yield-related QTL clusters and the potential candidate genes in two wheat DH populations. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 11934. https://doi.org/10.3390/ijms222111934