

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The Effect of Breeding for Tallness on Yield, Yield Components and Phenology of the Bread Wheat Cultivar "Excalibur"

Damghani¹, A., Dorrani-Nejad^{2*}, M., Kazemipour³, A., Pourtabrizi², S. and Abdolshahi⁴, R.

1, 2, 3 and 4. MSc. Student, Ph.D., Assistant Professor and Associate Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

*: Corresponding Author Email: m.dorraninejad@agr.uk.ac.ir

Received: 2025/07/02

Accepted: 2025/09/20

Introduction

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important food crops worldwide. Plant height is a key agronomic trait that directly influences grain yield. Optimizing wheat plant height according to environmental conditions can maximize grain productivity. To further investigate the effects of increased plant height on grain yield and early maturity in the bread wheat cultivar "Excalibur", this recent study was conducted across multiple regions.

Material and Methods

To investigate the effects of increasing plant height on grain yield and early maturity in the bread wheat cultivar "Excalibur," the recent study was conducted. In this study, the cultivars Excalibur and Roshan, the Excalibur semi-tall line (derived from the fourth backcross generation of Excalibur × Roshan), along with several local cultivars, were evaluated using a randomized complete block design with four replications. The experiment was conducted under different climatic conditions, including well-watered regimes (Arzuiyeh, Dashtkar, and Negar regions) and rain-fed conditions (Kazerun and Sepidan) during the 2022-2023 growing season. Several parameters were recorded, including grain yield (ton/ha), the number of spikes per square meter, the number of grains per spike, thousand-grain weight (gr), plant height (cm), days to heading, days to maturity, and grain-filling period. Data analysis of variance and mean comparison using the LSD test were performed in SAS v9.1 software, and figures were drawn in Excel 2016 software.

Results and Discussion

The results showed in the regions of Orzueeyeh, Kazerun, and Sepidan, increasing plant height had no effect on phenological traits. However, in Dashtkar and Negar regions, increased plant height extended the number of days to heading but reduced the grain filling period, resulting in no change in maturity time. The semi-tall Excalibur line was earlier-maturing compared to the control cultivars in Dashtkar, Negar, and Sepidan, but this difference was not significant in Orzueeyeh. In Kazerun, it was earlier-maturing than the Kalheydari cultivar. Increased plant height in Orzueeyeh reduced the number of spikes per square meter, but this reduction was not significant in Negar and Dashtkar. In Kazerun, increased plant height had no significant effect on spike density, whereas in Sepidan, it decreased the number of spikes. Under both well-watered and rain-fed conditions, no significant difference was observed between the semi-tall Excalibur line and the Excalibur cultivar in terms of grains per spike. This result indicates that, in this study, increased plant height had no effect on the number of grains per spike. Increased plant height in the Orzueeyeh, Negar, and Sepidan regions led to a higher thousand-grain weight whereas this increase was not significant in the Dashtkar and Kazerun regions. It can be inferred that higher plant height enhances biomass production and photosynthetic activity, thereby increasing the thousand-grain weight in some regions. In the Orzueeyeh region, the semi-tall Excalibur line had lower grain yield compared to the parent Excalibur, while this yield reduction was not significant in the Negar and Dashtkar regions. In Orzueeyeh, due to the region's high winds, extreme heat, and low humidity, wheat shedding is very high, and the semi-tall Excalibur line experienced significant shedding in this area. The grain yield of the semi-tall Excalibur line was lower than that of the control cultivars in the Dashtkar and Negar regions. In Orzueeyeh, it showed no difference with the Setare cultivar but was lower than the Sirvan cultivar. Therefore, it can be concluded that the semi-tall Excalibur line is not suitable for cultivation in the Dashtkar and Negar regions. However, in Orzueeyeh, due to its higher straw production compared to the Setare cultivar, it could serve as a replacement for Setare. In the Kazerun region, no significant difference in grain yield was observed between the semi-tall Excalibur line and the Excalibur cultivar. However, in the Sepidan region, a decrease in grain yield was observed due to increasing plant height. Unlike Kazerun, plants in Sepidan faced severe stress by the end of the growing season. In other words, rainfall distribution was much better in Kazerun than in Sepidan. Regarding grain yield in Sepidan, the semi-tall Excalibur line was lower than the Baran and Kalheydari cultivars but showed no difference with the Mahdavi cultivar. In Kazerun, it did not differ from the Karim and Koohdasht cultivars but was higher than Kalheydari. Therefore, this line could be a suitable replacement for the Kalheydari cultivar in the Kazerun region.

Damghani *et al.*, The Effect of Breeding for Tallness on...

Conclusion

It can be concluded that selecting for tallness under rain-fed conditions can be a beneficial and suitable approach in breeding programs to improve yield in bread wheat. Conversely, under well-watered conditions, selecting for dwarfism is recommended.

Keywords: Plant height, Earliness, Rain-fed condition, Well-watered condition, Grain yield.

Citations: Damghani, A., Dorrani-Nejad, M., Kazemipour, A., Pourtabrizi, S. and Abdolshahi, R. (2026). The Effect of Breeding for Tallness on Yield, Yield Components and Phenology of the Bread Wheat Cultivar "Excalibur", *Plant Production Technology*, 25(2), 101-114. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31166.2165>
© 2025 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Online ISSN: 2476-5651

Print ISSN: 2476-6321

تأثیر به‌نژادی برای پابندی بر عملکرد، اجزای عملکرد و فنولوژی گندم نان رقم "اکسکلیبر"

The Effect of Breeding for Tallness on Yield, Yield Components, and Phenology of the Bread Wheat Cultivar "Excalibur"

امین دامغانی^۱، مریم درانی‌نژاد^{۲*}، علی کاظمی‌پور^۳، ثریا پورتبریزی^۴ و روح‌اله عبدالشاهی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

(مقاله پژوهشی)

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات افزایش ارتفاع بوته بر عملکرد دانه و زودرسی در گندم نان رقم «اکسکلیبر» پژوهش اخیر انجام شد. ارقام اکسکلیبر و روشن، لاین اکسکلیبر نیمه‌پابلند و تعدادی رقم محلی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در شرایط نرمال رطوبتی (مناطق ارزوئیه، دشتکار و نگار) و دیم (کازرون و سپیدان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بررسی شدند. نتایج نشان داد در مناطق ارزوئیه، کازرون و سپیدان افزایش ارتفاع گیاه بر صفات فنولوژی بی‌تأثیر بوده است. درحالی که در مناطق دشتکار و نگار، افزایش ارتفاع تعداد روز تا سنبله‌دهی را افزایش، اما چون طول دوره پر شدن دانه را کاهش داد، تغییری در زمان رسیدگی ایجاد نشد. افزایش ارتفاع در ارزوئیه و سپیدان تراکم سنبله را کاهش، اما بر تعداد دانه در سنبله تأثیری نداشت. وزن هزار دانه در ارزوئیه، نگار و سپیدان با افزایش ارتفاع بهبود یافت. لاین اکسکلیبر نیمه‌پابلند در مناطق دشتکار، نگار و کازرون با رقم اکسکلیبر از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری نداشت. درحالی که در ارزوئیه به‌دلیل بادخیزی و ریزش گندم و در سپیدان به‌دلیل مواجه شدن با تنش خشکی شدید انتهای فصل، عملکرد کمتری داشت. از آنجایی که افزایش ارتفاع باعث افزایش وزن زیست‌توده می‌شود می‌توان نتیجه‌گیری کرد پابندی در شرایط دیم می‌تواند صفت مطلوبی باشد. لذا لاین نیمه‌پابلند حاصل از برنامه به‌نژادی اخیر می‌تواند مناسب کشت در برخی مناطق دیم کشور باشد و یا در برنامه‌های به‌نژادی برای شرایط دیم به‌عنوان یکی از والدین تلاقی در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، زودرسی، شرایط دیم، شرایط نرمال رطوبتی، عملکرد دانه.

ارجاع به مقاله: دامغانی، ا.، درانی‌نژاد، م.، کاظمی‌پور، ع. و پورتبریزی، ث. و عبدالشاهی، ر. (۱۴۰۴). تأثیر به‌نژادی برای پابندی بر عملکرد، اجزای عملکرد و فنولوژی گندم نان رقم "اکسکلیبر"، مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۲۵(۲)، ۱۰۱-۱۱۴.

<https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31166.2165/>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License

Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ

شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۲۴۷۶-۶۳۲۱

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱

۱، ۲، ۳ و ۴. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دکتری، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

Email: m.dorraninejad@agr.uk.ac.ir

*: نویسنده مسئول

۱. مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان است. افزایش عملکرد گندم برای پاسخ‌گویی به نیازهای جمعیت انسانی در حال گسترش و کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی به یک ضرورت راهبردی تبدیل شده است (Fan et al., 2012). ارتفاع بوته گندم یکی از صفات کلیدی است که به‌طور مستقیم بر عملکرد دانه، مقاومت به ورس (خوابیدگی) و کارایی مصرف کود تأثیر می‌گذارد. در دهه‌های اخیر، معرفی ژن‌های پاکوتاهی انقلابی در به‌نژادی گندم ایجاد کرده است، زیرا این ژن‌ها ضمن کاهش ارتفاع بوته، مقاومت به ورس را افزایش داده و امکان استفاده از سطوح بالاتر کود نیتروژن برای افزایش عملکرد را فراهم می‌کنند (Griffiths et al., 2012; Wang et al., 2023). ژن‌های پاکوتاهی عامل اصلی بهبود سازگاری و عملکرد با به‌نژادی و اهلی کردن در تمام غلات بوده‌اند (Hedden, 2003). در دهه ۱۹۶۰ ژن‌های پاکوتاهی *Rht1* (*Rht-B1b*) و *Rht2* (*Rht-D1b*) در به‌نژادی ارقام گندم معرفی و به‌طور قابل‌توجهی مقاومت به ورس و شاخص برداشت را بهبود بخشیدند و در نتیجه انقلاب سبز معرفی شد (Würschum et al., 2017). اکثر این ژن‌ها، علاوه بر افزایش کارایی برداشت ماشینی، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت را نیز افزایش می‌دهند (Du et al., 2018; Rebetzke et al., 2022). این ژن‌ها از طریق کاهش طول و عرض سلول، با کاهش طول پدانکل باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شوند (Liu et al., 2017). رخداد انقلاب سبز در دهه ۱۹۶۰ میلادی، به‌دلیل معرفی ارقام پاکوتاه در مناطق دارای آبیاری مناسب بود (Van De Velde et al., 2021; Sukhikh et al., 2021; Xu et al., 2023). ژن‌های پاکوتاهی انقلاب سبز *Rht-B1b* و *Rht-D1b* در شرایط مطلوب باعث افزایش عملکرد دانه اما در شرایط نامطلوب باعث کاهش رشد اولیه و سبز شدن گیاهچه می‌شوند (Rebetzke et al., 2022). در شرایط تنش خشکی، ارقام دارای ژن‌های پاکوتاهی ممکن است با مشکلاتی مواجه شوند، به‌ویژه در مراحل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه، این موضوع عمدتاً به‌دلیل کاهش طول کلئوپتیل و محدودیت در رشد اولیه ریشه است (Borrill et al., 2022; Schierenbeck et al., 2024). شناسایی و استفاده از ژن‌های نیمه‌پاکوتاهی، پتانسیل عملکرد و پایداری بیشتر ارقام جهانی

گندم را ارتقاء داده است. با این حال، ارزش این ژن‌ها در بهبود عملکرد در محیط‌های مواجهه با کم‌آبی کمتر است (Mathews et al., 2006). بنابراین، در شرایطی که کودهای شیمیایی، آب و سایر نهاده‌های کشاورزی به میزان مطلوب در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرند، ارقام پابلند از پایداری و عملکرد بیشتری برخوردارند (Kowalski et al., 2016). با بهینه‌سازی ارتفاع بوته در گندم متناسب با شرایط محیطی می‌توان حداکثر عملکرد دانه را داشت، بدین ترتیب که در شرایط مطلوب تغذیه و آبیاری مناسب، ارقام پاکوتاه و در شرایط تنش خشکی و گرما، ارقام پابلند بیشینه عملکرد دانه را خواهند داشت (Salari et al., 2024). نتایج یک بررسی نشان داد که ژن پاکوتاهی *Rht4* اثرات متوسطی بر ارتفاع بوته دارد و ترکیب *Rht4* و *Rht8* می‌تواند ارتفاع بوته را تا حد مطلوب کاهش دهد و صفات مربوط به عملکرد را در کشت دیم بهبود بخشد (Du et al., 2018). به‌منظور بررسی بیشتر تأثیر افزایش ارتفاع بوته بر عملکرد دانه و زودرسی در گندم نان رقم اسکلیبر در شرایط متفاوت محیطی اعم از شرایط دیم و نرمال رطوبتی، پژوهش اخیر در چند منطقه انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

در برنامه به‌نژادی گندم نان با هدف افزایش ارتفاع بوته رقم اسکلیبر، در سال ۱۳۹۴ این رقم با رقم روشن تلاقی داده شد. پس از چهار نسل تلاقی برگشتی و گزینش برای پابندی، چهار نسل دیگر خودگشنی انجام شد و لاین ایزوژن پابلند برای رقم اسکلیبر به نام لاین اسکلیبر نیمه‌پابلند ایجاد شد. این لاین به‌همراه والدین تلاقی (ارقام اسکلیبر و روشن) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شرایط مزرعه‌ای مختلف در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌های موردنظر به‌طور همزمان در پنج منطقه ارزوئیه، دشتکار و نگار (شرایط نرمال رطوبتی)، کازرون و سپیدان (شرایط دیم) انجام شد. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی مناطق مذکور در جدول ۱ آورده شده است. میزان بارندگی مناطق کازرون و سپیدان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ به ترتیب ۴۸۶ و ۷۲۰ میلی‌متر بود. در هر منطقه علاوه بر ارقام اسکلیبر و روشن و لاین ایزوژن پابلند حاصل از اسکلیبر (اسکلیبر نیمه‌پابلند) از ارقام محلی به‌عنوان ارقام شاهد استفاده شد. در

علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. در این پژوهش پارامترهای متعددی از جمله عملکرد دانه (اندازه‌گیری با ترازوی با دقت صدم برحسب تن در هکتار)، تعداد سنبله در مترمربع (از طریق شمارش)، تعداد دانه در سنبله (از طریق شمارش)، وزن هزاردانه (اندازه‌گیری با ترازوی با دقت صدم برحسب گرم)، ارتفاع بوته (اندازه‌گیری با خطکش برحسب سانتی‌متر)، تعداد روز تا سنبله‌دهی (تعداد روز از کاشت تا سنبله‌دهی)، تعداد روز تا رسیدگی (تعداد روز از کاشت تا رسیدگی) و دوره پر شدن دانه (تعداد روز از سنبله‌دهی تا رسیدگی) ثبت شد. از هر کرت نمونه‌ای متشکل از صد سنبله برای تعیین تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه به‌طور تصادفی انتخاب شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین با آزمون LSD در نرم‌افزار SAS v9.1 و رسم شکل‌ها در نرم‌افزار Excel 2016 انجام شد.

منطقه ارزوئیه ارقام ستاره و سیروان، در منطقه دشتکار ارقام میهن و امید، در منطقه نگار رقم میهن، در منطقه کازرون ارقام کل‌حیدری، کریم و کوه‌دشت و در منطقه سپیدان ارقام باران، کل‌حیدری و مهدوی به‌عنوان ارقام شاهد، کشت شدند. ویژگی‌های ارقام شاهد در جدول ۲ آورده شده است (Mohajer et al., 2021). تاریخ کاشت با توجه به شرایط آب‌وهوایی در هر منطقه متفاوت بود. هر کرت شامل ۳۰ ردیف به طول هفت متر به‌طوری‌که فاصله بین ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها پنج سانتی‌متر (۴۲۰۰ گیاه در کرت) در نظر گرفته شد. پس از حذف حاشیه‌ها، سطح برداشت هر کرت ۳۰ مترمربع بود. در مناطق ارزوئیه، دشتکار و نگار (شرایط نرمال رطوبتی)، آبیاری تا قبل از ساقه‌دهی که هوا سرد بود دو هفته‌ای یکبار و بعد از مرحله ساقه‌دهی با گرم شدن هوا هفته‌ای یکبار انجام شد. از کود اوره به میزان یک‌صد کیلوگرم در هکتار استفاده شد. حذف

Table 1: Geographical and climate characteristics of the evaluated regions in the current study

Location	Geographic Longitude (°E)	Geographic Latitude (°N)	Elevation above sea level (m)	Geographical location	climate	Wheat harvesting time
Orzueeyeh	56	28	1053	Located in the south of Kerman province	Tropical region	Late April to mid-May
Dashtkar	56	29	2047	Located in the west of Kerman province	Cold region	Late June to mid-July
Negar	56	29	2000	Located in the west of Kerman province	Cold region	Late June to mid-July
Kazerun	51	29	860	Located in the west of Fars Province	Subtropical region	Mid to late May
Sepidan	51	30	2240	Located in the west of Fars Province	Cold region	Early to mid-July

Table 2: Agronomic characteristics of the control cultivars used in the current study

Cultivars	Characteristics
Setareh	Bread wheat cultivar for cultivation in tropical and subtropical regions facing end-season drought stress, drought-tolerant, early-maturing, lodging-resistant, susceptible to yellow rust disease
Sirvan	Bread wheat cultivar for cultivation in temperate regions facing end-season drought stress, drought-tolerant, lodging-resistant, moderately resistant to wheat rust diseases, with spring growth habit
Mihan	Bread wheat cultivar for cultivation under both well-watered and end-season drought stress in cold regions of the country, featuring high yield potential, medium maturity, lodging-resistant, resistance to yellow rust, moderate resistance to black rust and brown rust, with winter growth habit
Omid	Bread wheat cultivar moderately sensitive to both drought and cold stress, semi-late maturing, susceptible to lodging, resistant to major wheat diseases, with winter growth habit
Kalheydari	Bread wheat cultivar suitable for rain-fed cultivation in western regions of the country, drought-tolerant, semi-late maturing, with winter growth habit
Karim	Bread wheat cultivar suitable for rain-fed cultivation in both tropical and temperate regions of the country, tolerant to cold and drought stress, lodging-resistant, resistant to wheat rust diseases, with spring growth habit
Koohdasht	Bread wheat cultivar adapted to rain-fed cultivation in tropical and subtropical regions of the country, featuring high yield potential, drought-tolerant, early maturing, lodging-resistant, resistant to wheat rust diseases, with spring growth habit
Baran	Bread wheat cultivar adapted to rain-fed cultivation in cold and temperate regions of the country, featuring high yield potential, tolerant to cold and drought stress, lodging-resistant, moderate resistance to wheat rust diseases, with winter growth habit
Mahdavi	Bread wheat cultivar for well-watered conditions in temperate regions of the country, drought-tolerant, semi-late maturing, with spring growth habit

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات بررسی‌شده در لاین اکسکلیر نیمه پابلند، والدین (ارقام روشن و اکسکلیر) و ارقام شاهد در جداول ۳ تا ۷ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس صفات موردبررسی در منطقه ارزوئیه نشان داد بین لاین و ارقام گندم موردبررسی از لحاظ صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا سنبله‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزاردانه و عملکرد دانه (تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳). در منطقه دشتکار لاین و ارقام گندم مورد مطالعه از لحاظ ارتفاع بوته، تعداد روز تا سنبله‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پر شدن دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه (تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۴). در منطقه نگار همه صفات مورد بررسی معنی‌دار شدند (جدول ۵). در منطقه کازرون بین لاین و ارقام گندم موردبررسی از لحاظ صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا سنبله‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پر شدن دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه (تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۶). در منطقه سپیدان تفاوت معنی‌داری از لحاظ همه صفات به غیر از دوره پر شدن دانه بین لاین و ارقام گندم موردبررسی مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند، والدین (ارقام روشن و اکسکلیر) و ارقام شاهد برای صفات ارتفاع بوته و برخی صفات فنولوژی در شرایط نرمال رطوبتی (مناطق ارزوئیه، دشتکار و نگار) و دیم (مناطق کازرون و سپیدان) در جداول ۸ و ۹ آورده شده است. نتایج نشان داد در همه مناطق به غیر از منطقه کازرون تفاوت معنی‌داری بین لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند و والدین (ارقام روشن و اکسکلیر) از لحاظ ارتفاع بوته وجود دارد. لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند در مقایسه با والدین

اکسکلیر در مناطق ارزوئیه، دشتکار، نگار و سپیدان به ترتیب ۳۱/۴۳، ۴۶/۴۶، ۱۸/۹۴ و ۴۶/۳۳ درصد افزایش ارتفاع داشت. این افزایش در کازرون ۱۸/۹۳ درصد بود ولی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۸ و جدول ۹).

۳-۱. تأثیر ارتفاع بوته بر تعداد روز تا سنبله‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی

نتایج نشان داد در منطقه ارزوئیه بین لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند و رقم اکسکلیر از لحاظ تعداد روز تا سنبله‌دهی تفاوت معنی‌داری نیست؛ اما در مناطق دشتکار و نگار این تفاوت معنی‌دار بود و لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند در این مناطق به ترتیب ۱۳/۵ و ۱۵/۲۵ روز دیرتر از والد اکسکلیر وارد مرحله زایشی شد (جدول ۸). در یک بررسی گزارش شده است ژنوتیپ‌های بلندتر نسبت به ژنوتیپ‌های کوتاه‌تر به دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشد رویشی، دیرتر به مرحله زایشی و رسیدگی می‌رسند. این گزارش مطابق با نتایج پژوهش اخیر می‌باشد (Wooten et al., 2009). در مناطق کازرون و سپیدان بین لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند و رقم اکسکلیر از لحاظ تعداد روز تا سنبله‌دهی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و دو ژنوتیپ هم‌زمان وارد مرحله زایشی شدند. بنابراین افزایش ارتفاع در شرایط دیم تأثیر معنی‌داری بر زمان ورود به مرحله سنبله‌دهی نداشت (جدول ۹).

در همه شرایط مزرعه‌ای بررسی‌شده (ارزوئیه، دشتکار و نگار، کازرون و سپیدان) بین لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند و رقم اکسکلیر از لحاظ تعداد روز تا رسیدگی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸ و جدول ۹). می‌توان گفت افزایش ارتفاع در رقم اکسکلیر تأثیری بر زمان رسیدگی نداشت.

Table 3: Results of the analysis of variance (ANOVA) for studied traits in the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars at the Orzueeyeh site

Source of Variation	df	Mean Square							
		Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period (day)	The number of spikes per square meter	The number of grains per spike	Thousand-grain weight (gr)	Grain yield (ton/ha)
Block	3	21.77 ^{ns}	5.67 ^{ns}	10.61 ^{ns}	24.71 ^{ns}	3003.07 ^{ns}	12.13 ^{ns}	10.41 ^{ns}	0.4 ^{ns}
Treatment	4	2052.9 ^{**}	96.77 ^{**}	115.71 [*]	10 ^{ns}	30378.8 [*]	0.9 ^{ns}	79.16 [*]	4.52 ^{**}
Experimental Error	12	35.24	5.32	27.55	23.89	6319.27	21.37	22.8	0.42
Coefficient of Variation		6.78	2.78	4.56	15.13	36.56	15.48	10.43	23.03

** , *and ns: significant at 0.05, 0.01 probability levels and no-significant, respectively

Table 4: Results of the analysis of variance (ANOVA) for studied traits in the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars at the Dashtkar site

Source of Variation	df	Mean Square							
		Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period (day)	The number of spikes per square meter	The number of grains per spike	Thousand-grain weight (gr)	Grain yield (ton/ha)
Block	3	58.58 ^{ns}	1.92 ^{ns}	31.87 ^{ns}	33.93 ^{ns}	2828.75 ^{ns}	35.18 ^{ns}	12.35 ^{ns}	0.86 ^{**}
Treatment	4	1499.2 ^{**}	425.3 ^{**}	630.43 ^{**}	145.38 ^{**}	8877.22 ^{ns}	363.85 ^{**}	71.02 ^{ns}	1.37 ^{**}
Experimental Error	12	33.83	9.5	10.16	16.14	4148.44	34.06	24.76	0.13
Coefficient of Variation		7.84	2.06	1.63	8.83	39.05	20.7	13.06	22.99

** , *and ns: significant at 0.05, 0.01 probability levels and no-significant, respectively

Table 5: Results of the analysis of variance (ANOVA) for studied traits in the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars at the Negar site

Source of Variation	df	Mean Square							
		Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period (day)	the number of spikes per square meter	the number of grains per spike	thousand-grain weight (gr)	grain yield (ton/ha)
Block	3	97.13 ^{ns}	23.13 [*]	54.17 [*]	135.13 ^{**}	31827.51 ^{**}	47.18 [*]	23.37 [*]	2.43 ^{**}
Treatment	3	2432.13 ^{**}	663.46 ^{**}	707.5 ^{**}	374.79 ^{**}	28580.11 ^{**}	232.38 ^{**}	135.44 ^{**}	24.21 ^{**}
Experimental Error	9	41.05	3.69	6.98	5.81	3783.18	10.81	3.82	0.21
Coefficient of Variation		6.96	1.15	1.26	5.83	17.77	11.53	3.88	9.21

** , *and ns: significant at 0.05, 0.01 probability levels and no-significant, respectively.

Table 6: Results of the analysis of variance (ANOVA) for studied traits in the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars at the Kazerun site

Source of Variation	df	Mean Square							
		Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period (day)	The number of spikes per square meter	The number of grains per spike	Thousand-grain weight (gr)	Grain yield (ton/ha)
Block	3	28.11 ^{ns}	16.06*	0.38 ^{ns}	13.71 ^{ns}	2188.65 ^{ns}	7.41 ^{ns}	57.72*	0.1 ^{ns}
Treatment	5	786.67**	180.87**	61.74**	32.08**	2823.17 ^{ns}	160.45**	19.23 ^{ns}	1.05**
Experimental Error	15	117.51	4.22	3.08	6.54	2013.98	21.84	11.48	0.17
Coefficient of Variation		11.43	1.61	1	5.4	26.69	14.9	9.88	22.03

** , *and ns: significant at 0.05, 0.01 probability levels and no-significant, respectively

Table 7: Results of the analysis of variance (ANOVA) for studied traits in the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars at the Sepidan site

Source of Variation	df	Mean Square							
		Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period (day)	The number of spikes per square meter	The number of grains per spike	Thousand-grain weight (gr)	Grain yield (ton/ha)
Block	3	236.06**	4.06 ^{ns}	0.71 ^{ns}	2.71 ^{ns}	1906.72*	6.39 ^{ns}	9.13 ^{ns}	0.22*
Treatment	5	745.07**	235.7**	161.14**	12.54 ^{ns}	4352.14**	108.39**	44.82*	0.26**
Experimental Error	15	32.82	8.52	12	5.14	402.05	15.24	11.09	0.02
Coefficient of Variation		8.41	1.76	1.67	5.5	23.52	16.59	8.59	16.73

** , *and ns: significant at 0.05, 0.01 probability levels and no-significant, respectively

به طور کلی در منطقه ارزوئیه افزایش ارتفاع بر صفات فنولوژی گیاه بی تأثیر بود. در حالی که در مناطق دشتکار و نگار، افزایش ارتفاع گیاه تعداد روز تا سنبله دهی را افزایش، اما چون طول دوره پر شدن دانه را کاهش داد، بنابراین تغییری در زمان رسیدگی ایجاد نشد. در مناطق کازرون و سپیدان نیز افزایش ارتفاع بر صفات فنولوژی گیاه بی تأثیر بود. لاین اکسکلیبر نیمه پابلند در مناطق دشتکار، نگار و سپیدان نسبت به ارقام شاهد زودرس تر بود ولی در منطقه ارزوئیه این تفاوت غیرمعنی دار بود و در کازرون نسبت به رقم کل حیدری زودرس تر بود.

۳-۲. تأثیر ارتفاع بوته بر طول دوره پر شدن دانه
نتایج نشان داد در منطقه ارزوئیه بین لاین اکسکلیبر نیمه پابلند و رقم اکسکلیبر از لحاظ طول دوره پر شدن دانه تفاوت معنی داری وجود ندارد. اما در مناطق دشتکار و نگار این تفاوت معنی دار بود و افزایش ارتفاع بوته طول این دوره را در این مناطق به ترتیب ۱۷ و ۱۴/۷۵ روز کاهش داد (جدول ۸). در مناطق کازرون و سپیدان نیز بین لاین اکسکلیبر نیمه پابلند و رقم اکسکلیبر از لحاظ طول دوره پر شدن دانه تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۹).

Table 8: Comparison of means for semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars for the traits of plant height, days to heading, days to maturity and grain filling period under well-watered conditions

Location	Line and cultivars	Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period (day)
Orzueeyeh	Roshan	123.25 ^a	91.25 ^a	124.25 ^a	33 ^a
	Excalibur	70.25 ^c	78.5 ^c	111.25 ^b	32.75 ^a
	Semi-tall Excalibur	92.33 ^b	80 ^{bc}	112.33 ^b	32.33 ^a
	Setareh	66 ^c	81.25 ^{bc}	115 ^b	33.75 ^a
	Sirvan	87.25 ^b	82.5 ^b	112.25 ^b	29.75 ^a
Dashtkar	Roshan	87.25 ^b	152.5 ^b	198.5 ^b	46 ^a
	Excalibur	49.5 ^e	133.5 ^d	182.75 ^c	49.25 ^a
	Semi-tall Excalibur	72.5 ^c	147 ^c	182.25 ^c	32.25 ^b
	Mihan	63 ^d	153.5 ^b	200 ^b	46.5 ^a
	Omid	98.5 ^a	161.25 ^a	211.75 ^a	50.5 ^a
Negar	Roshan	116.5 ^a	174.5 ^a	216.25 ^a	41.75 ^a
	Excalibur	75.25 ^c	154.25 ^d	200.5 ^b	46.25 ^a
	Semi-tall Excalibur	89.5 ^b	169.5 ^c	201 ^b	31.5 ^b
	Mihan	87 ^b	172 ^b	217.75 ^a	45.75 ^a

Table 9: Comparison of means for semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars for the traits of plant height, days to heading, days to maturity and grain filling period under rain-fed conditions

Location	Line and cultivars	Plant height (cm)	Days to heading	Days to maturity	Grain filling period (day)
Kazerun	Roshan	116.75 ^a	132 ^b	178 ^b	46 ^{bc}
	Excalibur	79.25 ^c	124.25 ^c	172.75 ^c	48.5 ^{ab}
	Semi-tall Excalibur	94.25 ^{bc}	124.5 ^c	173.25 ^c	48.75 ^{ab}
	Kalheydari	105.75 ^{ab}	139 ^a	181.25 ^a	42.25 ^c
	Karim	87.5 ^c	121.5 ^c	171.5 ^c	50 ^a
	Koohdasht	85.5 ^c	123.25 ^c	172 ^c	48.75 ^{ab}
Sepidan	Roshan	77.25 ^a	170.25 ^{ab}	211.25 ^{ab}	41 ^{ab}
	Excalibur	44.25 ^c	156 ^c	199 ^c	43 ^a
	Semi-tall Excalibur	64.75 ^b	157.25 ^c	200.75 ^c	43.5 ^a
	Baran	79.25 ^a	173.5 ^a	213.75 ^a	40.25 ^{ab}
	Kalheydari	79.25 ^a	172.25 ^{ab}	213 ^a	40.75 ^{ab}
	Mahdavi	63.75 ^b	168.25 ^b	207 ^b	38.75 ^b

مشاهده شد، به طوری که افزایش ارتفاع، تعداد سنبله در مترمربع را در این منطقه به میزان ۲۳۴/۰۸ کاهش داد، اما این کاهش در مناطق نگار و دشتکار غیرمعنی دار بود. در منطقه کازرون بین

۳-۳. تأثیر ارتفاع بوته بر تعداد سنبله در مترمربع
در منطقه ارزوئیه تفاوت معنی داری بین لاین اکسکلیبر نیمه پابلند و والد اکسکلیبر برای صفت تعداد سنبله در مترمربع

دامغانی و همکاران: تأثیر به‌نژادی برای پابندی بر عملکرد، اجزای ...

سپیدان، لاین اکسکلیبر نیمه‌پابلند در مقایسه با والد اکسکلیبر ۴۵/۹۹ سنبله در مترمربع کمتری داشت (شکل ۱).

لاین اکسکلیبر نیمه‌پابلند و رقم اکسکلیبر از لحاظ تعداد سنبله در مترمربع تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما در منطقه

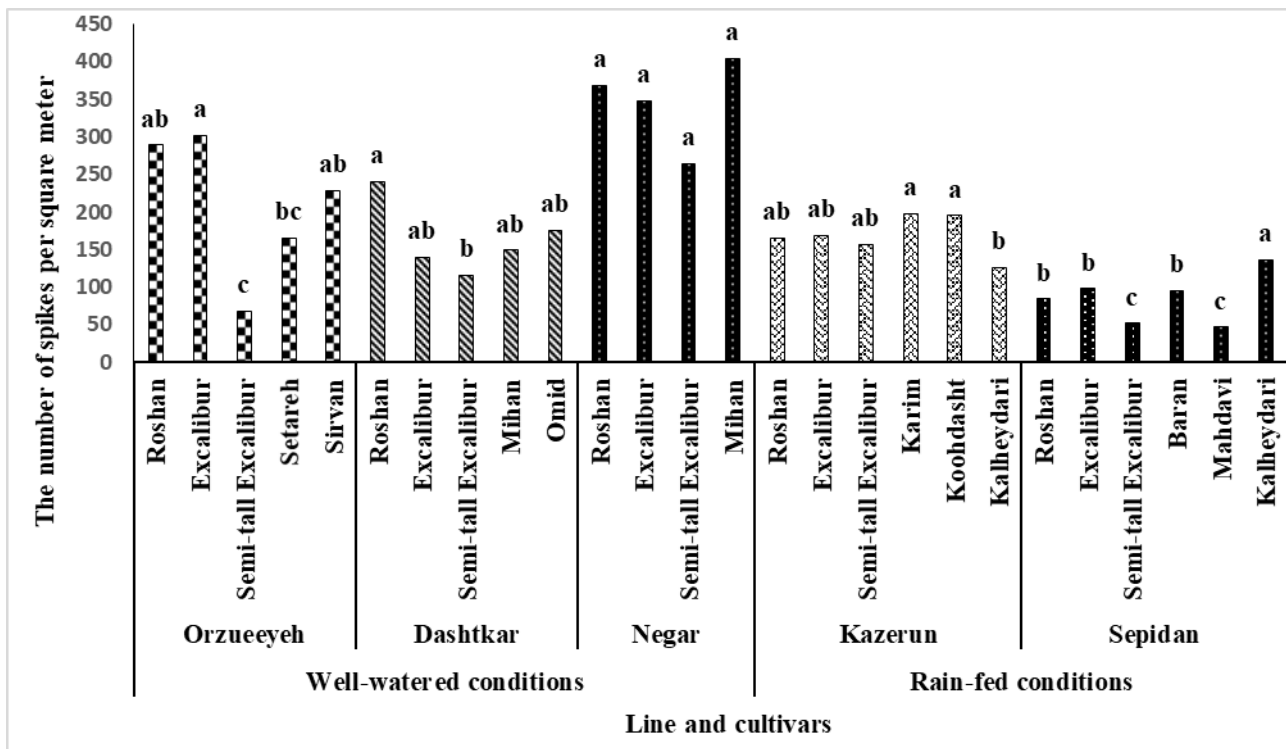


Fig. 1: Comparison of the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars for the number of spikes per square meter under rain-fed and well-watered conditions. Means with the same letter do not differ significantly

افزایش داد، اما این افزایش در منطقه دشتکار غیرمعنی‌دار بود. همین‌طور افزایش ارتفاع این رقم در کازرون تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت. درحالی‌که در منطقه سپیدان باعث افزایش وزن هزاردانه شد (شکل ۳). می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش ارتفاع باعث افزایش زیست‌توده و فتوسنتز می‌شود و از این طریق در برخی از مناطق باعث افزایش وزن هزاردانه شد. در یک مطالعه ژن پاکوتاهی *Rht15* در گندم دوروم با کاهش ارتفاع بوته مقاومت به ورس را افزایش اما تأثیر منفی بر وزن زیست‌توده و وزن هزاردانه داشت (Zhao et al., 2021). در بررسی دیگری تأثیر منفی ژن پاکوتاهی *Rht12* بر وزن هزاردانه در تربیتکاله گزارش شده است (Hao et al., 2022). تأثیر منفی ژن‌های پاکوتاهی بر وزن هزاردانه در گزارش‌های دیگری نیز آمده است (Nagel et al., 2013; Duan et al., 2020). نتایج این بررسی‌ها مطابق با نتایج پژوهش اخیر می‌باشد.

۴-۳. تأثیر ارتفاع بوته بر تعداد دانه در سنبله

در شرایط نرمال رطوبتی (مناطق ارزوئیه، دشتکار و نگار) و شرایط دیم (کازرون و سپیدان) بین لاین اکسکلیبر نیمه‌پابلند و رقم اکسکلیبر از لحاظ تعداد دانه در سنبله تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). این نتیجه بیانگر این است که در این مطالعه، افزایش ارتفاع گیاه تأثیری بر تعداد دانه در سنبله نداشت. نتایج یک پژوهش نشان داد ژن پاکوتاهی *Rht15* در گندم دوروم تأثیر معنی‌داری بر بیشتر اجزای عملکرد (تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، زیست‌توده و عملکرد دانه) نداشت فقط وزن هزاردانه را کاهش داد که با نتایج پژوهش اخیر هم‌خوانی دارد (Duan et al., 2020).

۴-۵. تأثیر ارتفاع بوته بر وزن هزاردانه

براساس نتایج مشخص شد در مناطق ارزوئیه و نگار، تفاوت معنی‌داری بین لاین اکسکلیبر نیمه‌پابلند و والد اکسکلیبر برای صفت وزن هزاردانه وجود دارد، به‌طوری‌که افزایش ارتفاع، وزن هزاردانه را در این مناطق به‌ترتیب ۱۰/۷۵ و ۹/۹۱ گرم

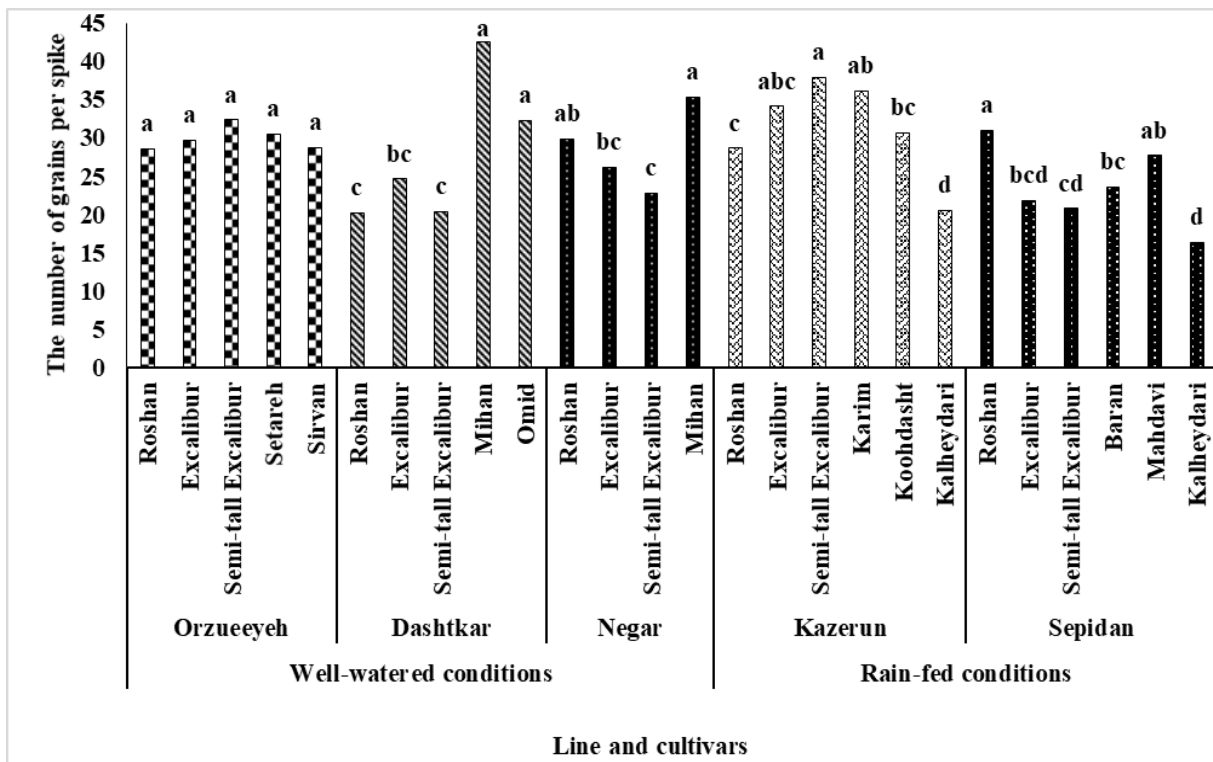


Fig. 2: Comparison of the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars for the number of grains per spike under rain-fed and well-watered conditions. Means with the same letter do not differ significantly

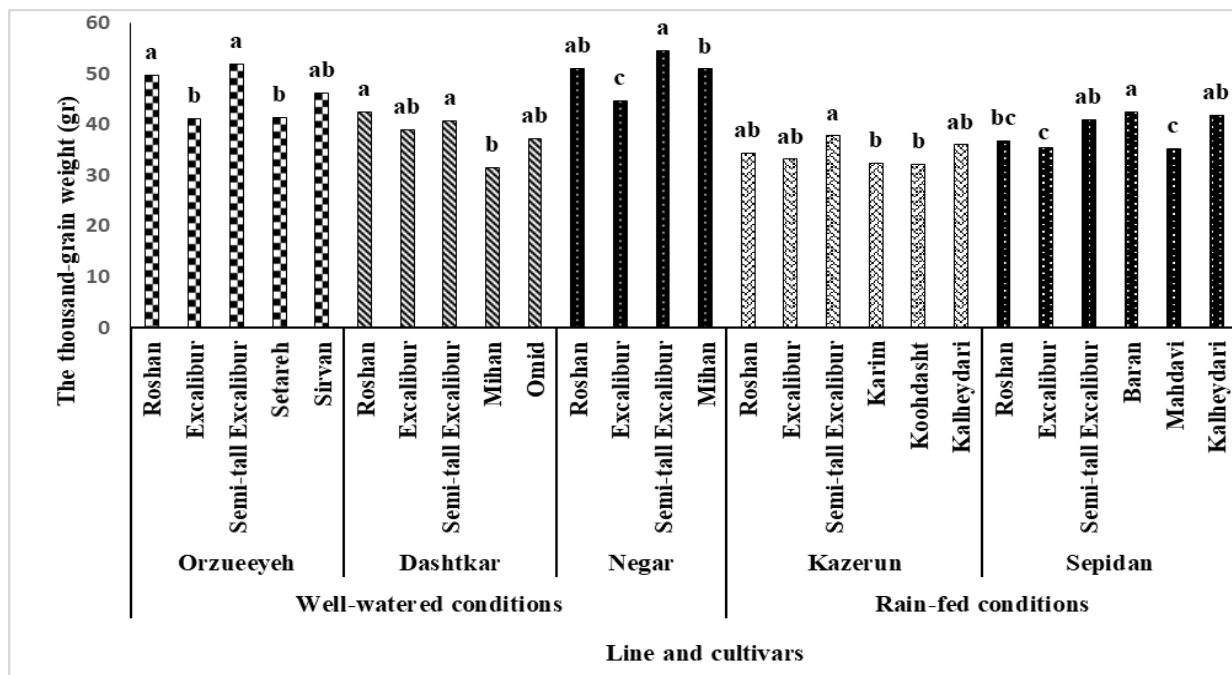


Fig. 3: Comparison of the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars for the thousand-grain weight under rain-fed and well-watered conditions. Means with the same letter do not differ significantly

۲/۵۲ تن در هکتار کاهش داد درحالی که این کاهش عملکرد در مناطق نگار و دشتکار غیرمعنی دار بود. در ارزیابی به دلیل بادخیزی، گرمای زیاد و رطوبت کم منطقه، میزان ریزش گندم بسیار زیاد است و لاین اکسکلیبر نیمه پابلند در این منطقه

۳-۶. تأثیر ارتفاع بوته بر عملکرد دانه (تن در هکتار)

نتایج (شکل ۴) نشان داد در منطقه ارزوئیه لاین اکسکلیبر نیمه پابلند با والد اکسکلیبر از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی داری دارد، به طوری که افزایش ارتفاع، عملکرد دانه را

ریزش قابل توجهی داشت، به‌همین دلیل عملکرد آن نسبت به اکسکلیر به‌طور معنی‌داری کمتر بود. عملکرد دانه لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند در مناطق دشتکار و نگار از ارقام شاهد کمتر بود و در منطقه ارزوئیه با رقم ستاره تفاوتی نداشت اما از رقم سیروان کمتر بود. بنابراین می‌توان گفت لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند مناسب کشت در مناطق دشتکار و نگار نمی‌باشد؛ اما در منطقه ارزوئیه به‌دلیل تولید کاه بیشتر در مقایسه با رقم ستاره می‌تواند جایگزین رقم ستاره شود. در منطقه کازرون بین لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند و رقم اکسکلیر از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما در منطقه سپیدان، کاهش عملکرد دانه به میزان ۰/۳۲ تن در هکتار برای لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند در مقایسه با والد اکسکلیر ثبت شد. در سپیدان برخلاف کازرون، گیاه در پایان فصل رشد با تنش شدید مواجه شده است به‌عبارت‌دیگر پراکندگی بارندگی در کازرون بسیار بهتر از سپیدان بود. لاین اکسکلیر نیمه‌پابلند از نظر عملکرد دانه در سپیدان از باران و کل‌حیدری کمتر اما با رقم مهدوی تفاوت نداشت و در کازرون تفاوتی با ارقام کریم و کوه‌دشت نداشت؛ اما از کل‌حیدری بیشتر بود. بنابراین این لاین می‌تواند در منطقه کازرون جایگزین خوبی برای رقم کل‌حیدری باشد. در مطالعات زیادی تأثیر مثبت ژن‌های پاکوتاهی بر عملکرد دانه در شرایط فاریاب و بالعکس عملکرد دانه بیشتر ارقام پابلند نسبت به ارقام پاکوتاه در شرایط دیم گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. به‌طور مثال در یک

بررسی، کاهش عملکرد دانه لاین حاوی ژن نیمه‌پاکوتاهی در مقایسه با لاین ایزوژن پابلند به‌دلیل کاهش همزمان تعداد دانه و تعداد سنبله بدون تغییر در وزن دانه و شاخص برداشت در شرایط آبیاری کم در بریتانیا و در سایت دمای بالا در اسپانیا گزارش شده است (Kowalski et al., 2016). در یک بررسی گزارش شد در سایت‌های با عملکرد پایین، لاین‌های نیمه‌پاکوتاه در مقایسه با لاین‌های پابلندتر (نوع وحشی) عملکرد کمتری داشتند، بنابراین به‌نژادی برای تولید لاین‌های پابلندتر برای سازگاری و عملکرد بهتر در این محیط‌ها ایده‌آل خواهد بود (Hyles et al., 2020). (Chapman et al., 2007) در بررسی روابط بین ارتفاع گیاه و عملکرد دانه در ارقام بهاره ایزوژن گندم مشاهده کردند لاین‌های بلندتر و قدیمی‌تر در مقایسه با لاین‌های جدیدتر که دارای ژن‌های پاکوتاهی بودند در محیط‌های با محدودیت آبی عملکرد بیشتری داشتند به‌طوری‌که در خشک‌ترین محیط‌ها، تفاوت ارتفاع و عملکرد بین لاین‌ها بسیار کم یا ناچیز بود. با این حال، با افزایش میزان آبیاری، شیب رابطه بین عملکرد و ارتفاع به‌طور مداوم منفی شد. آلل‌های کاهش ارتفاع در جایگاه‌های ژنی *Rht-B1* و *Rht-D1* به‌طور گسترده در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) با هدف بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه گنجانده شده‌اند، اگرچه به‌طورکلی در افزایش عملکرد در محیط‌های پربازده مؤثر هستند؛ اما اثرات آن‌ها تحت تنش گرما و خشکی متغیر است (Butler et al., 2005).

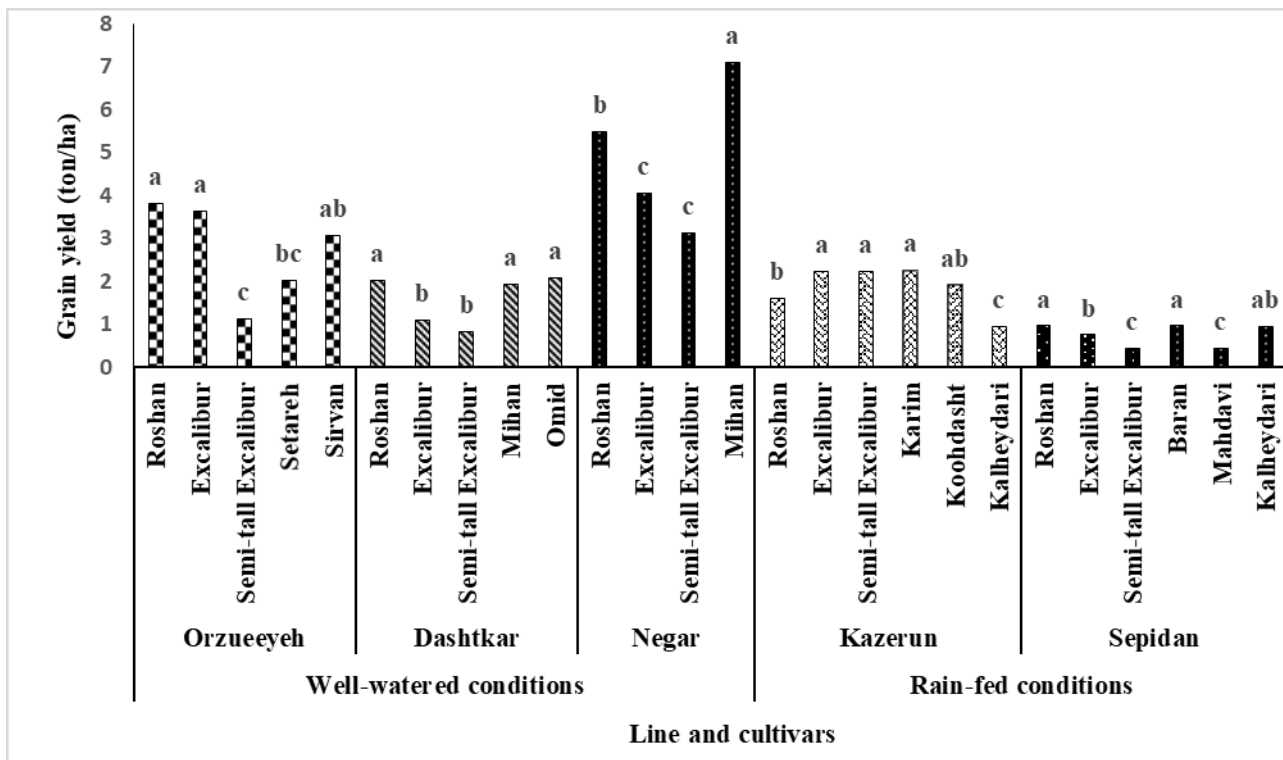


Fig. 4: Comparison of the semi-tall Excalibur line, parents (Roshan and Excalibur) and control cultivars for the grain yield (ton/ha) under rain-fed and well-watered conditions. Means with the same letter do not differ significantly

معنی داری بر عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله نداشت، فقط وزن هزاردانه را افزایش داد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد گزینش برای پابندی در شرایط دیم می تواند امری مفید و مناسب در برنامه های به نژادی برای افزایش عملکرد در گندم نان باشد و برعکس در شرایط نرمال رطوبتی گزینش برای پاکوتاهی پیشنهاد می گردد.

۴. نتیجه گیری کلی

نتایج بررسی تأثیر افزایش ارتفاع بر عملکرد و صفات فنولوژی گندم نان رقم اکسکلیبر نشان داد افزایش ارتفاع تأثیر معنی داری بر زمان رسیدگی در رقم اکسکلیبر نداشت. افزایش ارتفاع در شرایط نرمال رطوبتی وزن هزار دانه را افزایش و تعداد سنبله در مترمربع را کاهش داد اما تأثیر معنی داری بر تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه نداشت در حالی که در شرایط دیم تأثیر

۵. منابع

- Borrill, P., Mago, R., Xu, T., Ford, B., Williams, S. J., Derkx, A. and Spielmeyer, W. (2022). An autoactive NB-LRR gene causes Rht13 dwarfism in wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(48), e2209875119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2209875119>
- Butler, J. D., Byrne, P. F., Mohammadi, V., Chapman, P. L. and Haley, S. D. (2005). Agronomic performance of *Rht* alleles in a spring wheat population across a range of moisture levels. *Crop Science*, 45(3), 939-947. doi:10.2135/cropsci2004.0323
- Chapman, S. C., Mathews, K. L., Trethowan, R. M. and Singh, R. P. (2007). Relationships between height and yield in near-isogenic spring wheats that contrast for major reduced height genes. *Euphytica*, 157, 391-397. DOI 10.1007/s10681-006-9304-3
- Du, Y., Chen, L., Wang, Y., Yang, Z., Saeed, I., Daoura, B. G. and Hu, Y. G. (2018). The combination of dwarfing genes *Rht4* and *Rht8* reduced plant height, improved yield traits of rainfed bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 215, 149-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.015>
- Duan, S., Zhao, Z., Qiao, Y., Cui, C., Morgunov, A., Condon, A. G. and Hu, Y. G. (2020). GAR dwarf gene *Rht14* reduced plant height and affected agronomic traits in durum wheat (*Triticum durum*). *Field Crops Research*, 248, 107721. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107721>
- 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), 13-24. doi:10.1093/jxb/err248

- Griffiths, S., Simmonds, J., Leverington, M., Wang, Y., Fish, L., Sayers, L. and Snape, J. (2012). Meta-QTL analysis of the genetic control of crop height in elite European winter wheat germplasm. *Molecular Breeding*, 29, 159-171. DOI 10.1007/s11032-010-9534-x
- Hao, J., Zhao, Z., Sun, N., Zhi, L., Qiao, P., Amo, A. and Chen, L. (2022). Wheat dwarf genes *Rht12* and *Rht-B1b* affected the performance of agronomic traits in hexaploid triticale. *Agronomy Journal*, 114(4), 2147-2158. <https://doi.org/10.1002/agj2.21052>
- Hedden, P. (2003). The genes of the Green Revolution. *TRENDS in Genetics*, 19(1), 5-9.
- Hyles, J., Bloomfield, M. T., Hunt, J. R., Trethowan, R. M. and Trevaskis, B. (2020). Phenology and related traits for wheat adaptation. *Heredity*, 125(6), 417-430. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-0320-1>
- Kowalski, A. M., Gooding, M., Ferrante, A., Slafer, G. A., Orford, S., Gasperini, D. and Griffiths, S. (2016). Agronomic assessment of the wheat semi-dwarfing gene *Rht8* in contrasting nitrogen treatments and water regimes. *Field crops research*, 191, 150-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.026>
- Liu, Y., Zhang, J., Hu, Y. G. and Chen, J. (2017). Dwarfing genes *Rht4* and *Rht-B1b* affect plant height and key agronomic traits in common wheat under two water regimes. *Field Crops Research*, 204, 242-248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.020>
- Mathews, K. L., Chapman, S. C., Trethowan, R., Singh, R. P., Crossa, J., Pfeiffer, W. and DeLacy, I. (2006). Global adaptation of spring bread and durum wheat lines near-isogenic for major reduced height genes. *Crop Science*, 46(2), 603-613. doi:10.2135/cropsci2005.05-0056
- Mohajer, A., Sohrabi, S. and Ahmadi Far, M. (2021). Reproduction and Preparation of Wheat Seeds. *Agricultural Education and Extension Publications*.
- Nagel, M., Behrens, A. K. and Börner, A. (2013). Effects of *Rht* dwarfing alleles on wheat seed vigour after controlled deterioration. *Crop and Pasture Science*, 64(9), 857-864. <https://doi.org/10.1071/CP13041>
- Rebetzke, G. J., Rattey, A. R., Bovill, W. D., Richards, R. A., Brooks, B. J., Ellis, M. and Palta, J. (2022). Agronomic assessment of the durum *Rht18* dwarfing gene in bread wheat. *Crop and Pasture Science*, 73(4), 325-336. doi:10.1071/CP21645
- Salari, M., Kazemipour, A., Kashigarzadeh, M., Pourtabrizi, S., Ghaderi, M. and 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. (In Persian). <https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5698.2168>
- SAS Institute. (2004). SAS System for Windows, Release 9.1. Cary, NC: Statistical Analysis System Institute.
- Schierenbeck, M., Alqudah, A. M., Lantos, E., Avogadro, E. G., Simón, M. R. and Börner, A. (2024). Green Revolution dwarfing *Rht* genes negatively affected wheat floral traits related to cross-pollination efficiency. *The Plant Journal*, 118(4), 1071-1085. doi: 10.1111/tpj.16652
- Sukhikh, I. S., Vavilova, V. J., Blinov, A. G. and Goncharov, N. P. (2021). Diversity and phenotypical effect of allelic variants of *Rht* dwarfing genes in wheat. *Russian Journal of Genetics*, 57, 127-138. DOI: 10.1134/S1022795421020101
- Van De Velde, K., Thomas, S. G., Heyse, F., Kaspar, R., Van Der Straeten, D. and Rohde, A. (2021). N-terminal truncated RHT-1 proteins generated by translational reinitiation cause semi-dwarfing of wheat Green Revolution alleles. *Molecular Plant*, 14(4), 679-687. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.01.002>
- Wang, Q., Xiong, H., Guo, H., Zhao, L., Xie, Y., Gu, J. and Liu, L. (2023). Genetic analysis and mapping of dwarf gene without yield penalty in a γ -ray-induced wheat mutant. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1133024. doi:10.3389/fpls.2023.1133024
- Wooten, D. R., Livingston III, D. P., Lyerly, H. J., Holland, J. B., Jellen, E. N., Marshall, D. S. and Murphy, J. P. (2009). Quantitative trait loci and epistasis for oat winter-hardiness component traits. *Crop Science*, 49(6), 1989-1998. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.10.0612>
- Würschum, T., Langer, S. M., Longin, C. F. H., Tucker, M. R. and Leiser, W. L. (2017). A modern Green Revolution gene for reduced height in wheat. *The Plant Journal*, 92(5), 892-903. doi: 10.1111/tpj.13726
- Xu, D., Hao, Q., Yang, T., Lv, X., Qin, H., Wang, Y. and Ma, W. (2023). Impact of “Green Revolution” gene *Rht-B1b* on coleoptile length of wheat. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1147019. doi: 10.3389/fpls.2023.1147019
- Zhao, Z., Duan, S., Hao, J., Cui, C., Yang, Y., Condon, A. G. and Chen, L. (2021). The dwarf gene *Rht15* improved lodging resistance but differentially affected agronomic and quality traits in durum wheat. *Field Crops Research*, 263, 108058. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108058>