Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 2, 2024 p: 136-147

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of the Effect of the *Ppd-D1* Gene on Drought Stress Tolerance of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Isogenic Lines

Soraya Pourtabrizi[1], Ali Kazemi Pour[2], Ghasem Mohamadi-Nejad[3], Gholamreza Khajoei-Nejad[4] and Roohollah Abdolshahi [5]

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, (Corresponding author: s.poortabrizi@gmail.com)
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3- Professor, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
5- Associate Professor, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 15 October, 2023 Revised: 24 February, 2024 Accepted: 2 March, 2024 Available Online: 6 May, 2024

Extended Abstract

Background: One of the main challenges for wheat farmers and breeders worldwide is the limitation of growth, development, and yield in the face of environmental stresses. Dehydration is one of the most important stresses, leading to decreased efficiency and production of this agricultural product. As a classic adaptation mechanism, drought escape allows the plant to complete its life cycle before occurring drought stress. This issue is particularly important in areas where drought occurs at the end of the growing season. In addition to controlling the growth habit of wheat, photoperiod genes play a key role in the flowering time and earliness of wheat and are of interest in drought tolerance research. This research aimed to investigate drought stress tolerance in wheat isogenic lines using quantitative indices of stress tolerance.

Methods: In previous research, earliness was transferred from an Australian early-heading variety, Excalibur, to Roshan and Kolhaidari using the backcrossing method to develop the BC_3F_2 generation. In the present research, the early-heading plants of this generation were crossed with the recurrent parents (Roshan and Kolhaydari) in 2017 to obtain the first generation from the fourth backcross. In this generation, parents and offspring were evaluated for photoperiod-controlling genes. During the first to fourth generations of the fifth backcross, only heterozygous plants (*Ppd-D1a/Ppd-D1b*) were selected using specific markers for the *Ppd-D1* locus. Five generations of backcrossing and four generations of selfing were performed to have different alleles of *Ppd-D1* in the same genetic background. Both homozygous genotypes (*Ppd-D1a/Ppd-D1a* and *Ppd-D1b/Ppd-D1b*) were selected in the fifth generation of the fifth backcross to generate isogenic lines for *Ppd-D1*. In this generation, homozygous lines were selected for final field trials. To investigate the effect of photoperiod genes on drought tolerance, four isogenic lines were created in experiments with a randomized complete block design and four replications in the crop year 2018-2019 in the rainfed conditions of Sepidan and in the well-watered conditions of Kerman in the crop year 2019-2020. The number of days to flowering, number of days to maturity, grain-filling period, number of spikes per square meter, number of seeds per spike, 1000-grain weight, and grain yield were evaluated in this research. The drought tolerance of isogenic lines was evaluated using eight indices, including productivity mean, yield index, stress tolerance index, geometric mean of production, stress sensitivity index, yield stability index, and stress tolerance score.

Results: Unlike *Ppd-D1b*, which is a photoperiod-sensitive allele, *Ppd-D1a* as a photoperiod-insensitive allele, effectively improves early flowering under dryland and well-watered conditions. The *Ppd-D1a* allele reduced the number of days to flowering in the Roshan genetic background by 3.75 and 4.00 days, and in the Kolhaydari genetic background by 5.08 and 4.7 days in rainfed conditions of Sepidan and well-watered conditions of Kerman, respectively. These results were also reflected in the number of days to maturity, in which *Ppd-D1a* improved this trait by 7.04 and 8.02 days in the Roshan and Kalhaydari genetic backgrounds, respectively.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

Copyright ©2024 Pourtabrizi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

Ppd-D1a improved earliness in both genetic backgrounds, with better performance in the Kalhaydari genetic background. These findings confirm the interaction between genetic background and the *Ppd-D1* gene. Despite the positive effect of *Ppd-D1a* on earliness in both genetic backgrounds under all environments, there was an interaction between genetic backgrounds and *Ppd-D1a* alleles for earliness, implying that genetic backgrounds determine the extent of the response to selection. Among the studied isogenic lines under drought stress conditions, the *Ppd-D1a* allele significantly improved grain yield in the Roshan and Kalhaydari genetic backgrounds, respectively (96 kg/ha and 99 kg/ha). However, there were no significant differences between isogenic lines in both genetic backgrounds under well-watered conditions. These results highlight the importance of marker-assisted selection and backcrossing for *Ppd-D1a* in breeding programs for dryland conditions. According to yield correlation (0.952) in drought stress and normal environments, selection in both conditions can show high-yielding isogenic lines with good yield stability. In normal conditions, there was a high correlation between the geometric mean of production, stress tolerance index, yield index, stress sensitivity index, and grain yield. This correlation was high and significant for the geometric mean of productivity, stress tolerance index, and yield index under drought stress conditions. The stress tolerance score showed that *Ppd-D1a* isogenic lines in both Roshan and Kolhaydari genetic backgrounds, which had the photoperiod insensitivity allele, had the highest stress tolerance score. Principal component analysis showed that *Ppd-D1a* in the Roshan background was the most drought-tolerant isogenic line.

Conclusion: The results showed that *Ppd-D1a* not only improved earliness in the isogenic lines but also improved drought tolerance using the drought escape mechanism.

Keywords: Correlation, Earliness, Grain yield, Stress tolerance score

How to Cite This Article: Pourtabrizi, S., Kazemi Pour, A., & Mohamadi-Nejad, Gh., Khajoei-Nejad, Gh., Abdolshahi, R. (2024). Evaluation of the Effect of the *Ppd-D1* Gene on Drought Stress Tolerance of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Isogenic Lines. *J Crop Breed,* 16(2), 136-147. DOI: 10.61186/ jcb.16.2.136

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر ژن *Ppd-D1* بر تحمل تنش خشکی در لاین‌های ایزوژن گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

ثریا پورتبریزی[۱]، علی کاظمی‌پور[۲]، قاسم محمدی‌نژاد[۳]، غلامرضا خواجویی‌نژاد[۴] و روح‌اله عبدالشاهی[۵]

۱- دانشجوی دکتری، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، (نویسنده مسوول: s.poortabrizi@gmail.com)
۲- استادیار، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳- استاد، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی و بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۴- دانشیار، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۵- دانشیار، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی و بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۲/۱۷
صفحه: ۱۳۶ تا ۱۴۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: یکی از چالش‌های اصلی کشاورزان و به‌نژادگران گندم در دنیا، محدودیت رشد و نمو و عملکرد آن، در مواجهه با تنش‌های محیطی است. کم‌آبی یکی از مهمترین تنش‌ها است که باعث کاهش در راندمان و تولید این محصول زراعی می‌گردد. فرار از خشکی به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری کلاسیک، به گیاه در حال رشد این امکان را می‌دهد تا چرخه زندگی خود را قبل از وقوع تنش خشکی کامل کند. این مسأله در مناطقی که خشکسالی در پایان فصل کشت رخ می‌دهد، بسیار قابل اهمیت است. ژن‌های دوره‌ی نوری علاوه بر کنترل عادت رشدی گندم، نقش کلیدی در زمان گلدهی و زودرسی گندم ایفا می‌نمایند و در پژوهش‌های تحمل خشکی موردتوجه هستند. هدف از این تحقیق بررسی تحمل تنش خشکی در لاین‌های ایزوژن گندم با استفاده از شاخص‌های کمی تحمل تنش بود.

مواد و روش‌ها: در پژوهش‌های قبلی، زودرسی از یک رقم زودرس استرالیایی به نام اکسکلیبر با استفاده از روش تلاقی برگشتی و برای توسعه نسل دوم از تلاقی برگشتی سوم به رقم روشن و کل‌حیدری منتقل شد. در تحقیق حاضر، گیاهان زودرس این نسل با والد تکراری (روشن و کل‌حیدری) در سال ۱۳۹۷ تلاقی داده شد تا نسل اول از تلاقی برگشتی چهارم به‌دست آید. در این نسل، والدین و فرزندان از نظر ژن‌های کنترل‌کننده دوره‌ی نوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. در طول نسل‌های اول تا چهارم از تلاقی برگشتی پنجم، تنها گیاهان هتروزیگوت (*Ppd-D1a/Ppd-D1b*) با استفاده از نشانگرهای اختصاصی برای جایگاه *Ppd-D1* انتخاب شدند. پنج نسل تلاقی برگشتی و چهار نسل خودگشنی برای داشتن آلل‌های مختلف *Ppd-D1* در زمینه ژنتیکی یکسان انجام شد. هر دو ژنوتیپ هموزیگوت (*Ppd-D1a/Ppd-D1a* و *Ppd-D1b/Ppd-D1b*) در نسل پنجم از تلاقی برگشتی پنجم برای ایجاد لاین‌های ایزوژن برای *Ppd-D1* انتخاب شدند. در این نسل، لاین‌های هموزیگوت برای آزمایش‌های مزرعه‌ای نهایی انتخاب شدند. با هدف بررسی تاثیر ژن‌های دوره‌ی نوری بر تحمل خشکی، چهار لاین ایزوژن ایجاد شده در آزمایش‌هایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شرایط دیم شهرستان سپیدان و در شرایط فاریاب کرمان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفتند. صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بررسی شدند. ارزیابی لاین‌های ایزوژن از نظر تحمل خشکی توسط هشت شاخص میانگین تولید، شاخص عملکرد، شاخص تحمل تنش، میانگین هندسی تولید، شاخص حساسیت به تنش، شاخص پایداری عملکرد و نمره تحمل به تنش صورت گرفت.

یافته‌ها: برخلاف *Ppd-D1b*، که‌یک آلل حساس به دوره نوری است، *Ppd-D1a*، به‌عنوان یک آلل غیرحساس به دوره نوری، به‌طور موثری در شرایط دیم و فاریاب، گلدهی زود هنگام را بهبود می‌بخشد. آلل *Ppd-D1a* تعداد روز تا گلدهی را در زمینه ژنتیکی روشن به‌میزان ۳/۷۵ و ۴/۰۰ روز و در زمینه ژنتیکی کل‌حیدری به‌میزان ۵/۰۸ و ۴/۷ روز به‌ترتیب در شرایط دیم سپیدان و فاریاب کرمان کاهش داد. این نتایج در تعداد روز تا رسیدن نیز پیش‌بینی شد، زمانی‌که *Ppd-D1a* این صفت را به‌ترتیب در زمینه‌های ژنتیکی روشن و کل‌حیدری ۷/۰۴ و ۸/۰۲ روز بهبود بخشید. *Ppd-D1a* زودرس بودن را در هر دو زمینه ژنتیکی بهبود بخشید، در حالی‌که عملکرد بهتری در زمینه ژنتیکی کل‌حیدری داشت. این یافته‌ها اثر متقابل زمینه ژنتیکی و ژن *Ppd-D1* را تایید کرد. علی‌رغم تأثیر مثبت *Ppd-D1a* بر زودرس بودن در هر دو زمینه ژنتیکی و تحت همه محیط‌ها، بین پس‌زمینه‌های ژنتیکی و آلل‌های *Ppd-D1a* برای زودرسی برهم‌کنش وجود داشت، به این معنی که زمینه‌های ژنتیکی میزان پاسخ به انتخاب را تعیین می‌کنند. در شرایط تنش رطوبتی از بین لاین‌های ایزوژن مورد مطالعه، در لاین‌های دارای آلل *Ppd-D1a* عملکرد دانه به‌ترتیب ۹۶ و ۹۹ کیلوگرم در هکتار در زمینه ژنتیکی روشن و کل‌حیدری به‌طور قابل‌توجهی (معادل ۱۳ و ۱۴ درصد افزایش) بهبود یافت. با این‌وجود، هیچ تفاوت معنی‌داری بین لاین‌های ایزوژن در هر دو زمینه ژنتیکی تحت شرایط فاریاب وجود نداشت. این نتایج اهمیت انتخاب و تلاقی برگشتی به‌کمک نشانگر را برای *Ppd-D1a* در برنامه‌های به‌نژادی برای شرایط دیم برجسته کرد. با توجه به وضعیت همبستگی عملکرد (*۰.۹۵۲) در محیط تنش خشکی و نرمال، مشخص گردید که به‌طور کلی گزینش در هر دو شرایط می‌تواند لاین ایزوژن پرمحصول و با پایداری عملکرد خوب را نشان دهد. در شرایط نرمال رطوبتی بین شاخص‌ها میانگین هندسی تولید، شاخص تحمل تنش، شاخص عملکرد، شاخص حساسیت به تنش و عملکرد دانه همبستگی بالایی وجود داشت. این همبستگی در شرایط تنش رطوبتی در شاخص‌های میانگین هندسی تولید، شاخص تحمل تنش و شاخص عملکرد بالا و معنی‌دار بود. نمره‌ی تحمل به تنش نشان داد لاین‌های ایزوژن *Ppd-D1a* در هر دو زمینه‌ی ژنتیکی روشن و کل‌حیدری که دارای آلل عدم حساسیت به دوره‌ی نوری بودند دارای بیشترین نمره‌ی تحمل به تنش شدند. تجزیه به مولفه‌های اصلی ایزولاین *Ppd-D1a* در زمینه‌ی ژنتیکی روشن را به‌عنوان متحمل‌ترین ایزولاین معرفی کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد آلل *Ppd-D1a* علاوه بر ایجاد زودرسی در لاین‌های ایزوژن، با استفاده از مکانیسم فرار از خشکی باعث بهبود تحمل تنش خشکی نیز می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زودرسی، عملکرد، نمره تحمل به تنش، همبستگی

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین محصولات زراعی در جهان، دارای قابلیت کشت در دامنه‌ی وسیعی از مناطق و نیز شرایط آب و هوایی و حاصلخیزی خاک است (Kulkarni *et al.*, 2017). یکی از چالش‌های اصلی کشاورزان و به‌نژادگران گندم در دنیا،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

محدودیت رشد و نمو و عملکرد آن، در مواجهه با تنش خشکی است (Nikkhah *et al.*, 2023). تهدیدهای مکرر این تنش که ممکن است در تمام مراحل رشد گیاه و بویژه در پایان فصل رشد، در مناطق دیم رخ دهد، تولید گندم را در دنیا و ایران تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kulkarni *et al.*, 2017). یکی از ویژگی‌های مهم اقلیمی در مناطق دیم در ایران، نوسان بارندگی در سال‌های مختلف و نامنظم بودن پراکنش آن در هر فصل است (Taheripourfard *et al.*, 2018). زمان مناسب گلدهی و رسیدگی یکی از عوامل مهم در سازگاری گندم با شرایط مختلف کشت است (Shavrukov *et al.*, 2017). فرار از خشکی به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری کلاسیک، به گیاه در حال رشد این امکان را می‌دهد تا چرخه زندگی خود را قبل از وقوع تنش خشکی کامل کند (Shavrukov *et al.*, 2017). این مسأله در مناطقی که خشکسالی در پایان فصل کشت رخ می‌دهد، بسیار قابل اهمیت است. ارقام زودرس جدید که کمتر در معرض تنش خشکی آخر فصل قرار می‌گیرند، نه‌تنها در شرایط تنش خشکی، بلکه در شرایط آبیاری نیز، عملکرد دانه بالاتری دارند (Hill and Li 2016; Nitcher et al., 2014; Shavrukov *et al.*, 2017). با این وجود، در گزارش‌هایی هم، اثر منفی زودرسی بر عملکرد دانه نشان داده شده است (Radhika, 2014). پژوهش‌ها نشان داده است به‌دلیل معنی‌دار بودن اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط، دستیابی به ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش، عملکرد مطلوبی داشته باشند، سخت به‌نظر می‌رسد (Shiri *et al.*, 2010). بنابراین به‌نظر می‌رسد، برای رسیدن به ژنوتیپ برتر، گزینش بر اساس عملکرد بالقوه‌ی ژنوتیپ‌ها، معیارهای پایداری، تلفیقی از عملکرد و صفات همبسته با آن و در نهایت استفاده از عملکرد حاصل از هر دو شرایط تنش و بدون تنش، روش‌های مناسبی هستند. در بررسی برنامه‌های به‌نژادی به همین منظور، رقم دارای عملکرد بالا و پایدار که سازگاری بالایی با محیط نشان دهد، مطلوب است (Moghaddasi *et al.*, 2010).

شاخص‌های زیادی بر پایهٔ عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی، برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل خشکی در شرایط مزرعه، پیشنهاد شده است. Fischer و Maurer (1987) شاخص حساسیت به تنش (SSI)، Rosielle و Hamblin (1981) شاخص‌های تحمل (TOl) و میانگین محصول‌دهی (MP)، Fernandez (1992) شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP)، شاخص عملکرد (YI) (Gavuzzi *et al.*, 1997) و نیز Bouslama و Schapaugh (1984) شاخص پایداری عملکرد (YSI) را برای ارزیابی میزان تحمل خشکی ژنوتیپ‌ها معرفی کردند. این شاخص‌ها ممکن است نتایج متفاوتی را در تعیین ژنوتیپ‌های متحمل ارائه دهند (Khanizadeh *et al.*, 2021). به‌عنوان مثال در برخی پژوهش‌ها، گزینش بر اساس شاخص‌های TOL و SSI سبب هدایت برنامه‌ی به‌نژادی در جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین، ولی انتخاب براساس میانگین عملکرد، سبب انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا می‌شود (Shiri *et al.*, 2010). در مطالعه‌ی شاخص‌های تحمل در ارقام بومی گندم نان، نتایج نشان می‌دهد که GMP، MP و STI شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل می‌باشند (Farshadfar *et al.*, 2013). از سوی دیگر در ارزیابی تحمل گرمای ۱۸رقم گندم، شاخص‌های GMP، MP و STI را به‌عنوان شاخص‌های برتر در این ارزیابی گزارش کردند (Omidi *et al.*, 2015). ارزیابی میزان تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌های گندم به سطوح مختلف تنش رطوبتی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل خشکی نشان داده است، شدت تنش‌خشکی محیط (SI) تحت تیمار تنش‌خشکی پس از گرده‌افشانی، موجب کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم به حدود ۳۵ درصد نسبت به شاهد شد و توانایی شاخص تحمل تنش فرناندز (STI) برای دسته‌بندی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل بیش از شاخص‌های دیگر بود. هم‌چنین بررسی همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در گندم نان در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، نشان داده است که شاخص‌های MP و GMP همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشته‌اند (Zebarjadi *et al.*, 2013). در نتایج پژوهش دیگری که براساس عملکرد گندم نان و صفات وابسته، در شرایط تنش، انجام شده است، شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و میانگین بهره‌وری (MP) در دسته‌بندی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی مشابه بوده‌اند. علاوه بر همبستگی مثبت عملکرد دانه در شرایط نرمال (Yp) با عملکرد دانه تحت تنش خشکی (Ys)، عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص TOL، STI، MP و GMP داشته است. در این پژوهش پیشنهاد شده است که انتخاب برای تحمل خشکی در گندم می‌تواند براساس MP، GMP، و STI انجام شود (Mursalova *et al.*, 2015).

همان‌گونه که مشخص است، کاربرد این روش‌ها و تفسیر نتایج به‌دست آمده از آنها با پیچیدگی‌هایی همراه است. به‌طوری‌که می‌توان از روش‌های آماری چند متغیره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه به عامل‌ها برای دستیابی به یک نتیجه‌گیری کلی استفاده کرد (Abdolshahi *et al.*, 2013). نمره‌ی تحمل به تنش (STS) نیز به‌عنوان یک شاخص جدید معرفی شده است (Abdolshahi *et al.*, 2013). ارزیابی‌ها نشان داده است که نتایج به‌دست آمده از این نمره، با نتایج حاصل از تجزیه عامل‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، یکسان بوده است. بیان شده است که استفاده از معادله‌ی نمره‌ی تحمل تنش یا STS خیلی ساده‌تر از تجزیهٔ عامل‌ها است و به‌عنوان یک معیار برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل پیشنهاد می‌شود (Abdolshahi *et al.*, 2013). اگرچه گزارش‌های اندکی از ارزیابی تحمل تنش خشکی روی جمعیت‌های در حال تفکیک وجود دارد (Golbadi *et al.*, 2006)، این پژوهش به‌منظور ارزیابی شاخص‌های تحمل خشکی در جمعیت‌های حاصل از چهار لاین ایزوژن در گندم نان رقم روشن و رقم کل‌حیدری پرداخته است تا تاثیر دقیق ژن *Ppd-D1* بر تحمل خشکی گندم نان مشخص گردد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

از بین ۴۰ ژنوتیپ گندم نان مورد ارزیابی در پژوهش‌های پیشین، ارقام کل‌حیدری و روشن متحمل‌ترین ارقام به خشکی بودند (Abdolshahi *et al.*, 2013). در تحقیقات قبلی، زودرسی از یک رقم زودرس استرالیایی به نام اکسکلیبر با استفاده از روش تلاقی برگشتی و برای توسعه نسل دوم از تلاقی برگشتی سوم (BC_3F_2) به رقم روشن و کل‌حیدری منتقل شد (Dorrani-Nejad *et al.*, 2022). در تحقیق حاضر، گیاهان زودرس BC_3F_2 با والد تکراری (روشن و کل‌حیدری) در سال ۲۰۱۸ تلاقی داده شد تا نسل BC_4F_1 به‌دست آید. در این نسل، والدین و فرزندان از نظر ژن‌های کنترل‌کننده دوره‌ی نوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. در طول نسل‌های BC_5F_1، BC_5F_2، BC_5F_3 و BC_5F_4، تنها گیاهان هتروزیگوت (*Ppd-D1a/Ppd-D1b*) با استفاده از نشانگرهای اختصاصی برای جایگاه *Ppd-D1* انتخاب شدند. پنج نسل تلاقی برگشتی و چهار نسل خودگشنی برای داشتن آلل‌های مختلف *Ppd-D1* در زمینه ژنتیکی یکسان انجام شد. هر دو ژنوتیپ هموزیگوت (*Ppd-D1a/Ppd-D1a* و *Ppd-D1b/Ppd-D1b*) در نسل BC_5F_5 برای ایجاد لاین‌های ایزوژن برای *Ppd-D1* انتخاب شدند. در نسل BC_5F_5، لاین‌های هموزیگوت برای آزمایش‌های مزرعه‌ای نهایی انتخاب شدند (جدول ۱). توسعه نسل‌های BC_5F_1 تا BC_5F_5 در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از تکنیک‌های به‌نژادی سریع (Watson et al., 2018) برای داشتن نسل‌های متعدد در سال بود. به‌طور خلاصه، در هر نسل، بلافاصله پس از برداشت، بذرها به‌مدت ۱۲۰ ساعت در آون با دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس با اسید جیبرلین (۰/۵ پی‌پی‌ام) به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تیمار شدند. براساس شجره‌نامه، شباهت زمینه ژنتیکی لاین‌های ایزوژن ۹۹/۹۹ درصد بود. لاین‌های ایزوژن توسعه یافته با شباهت زیاد در زمینه ژنتیکی، ماده ژنتیکی مهمی برای ادامه‌ی مطالعات است.

جدول ۱- توسعه لاین‌های ایزوژن در زمینه ژنتیکی والد تکراری (روشن و کل‌حیدری)

Table 1. Development of Isogenic lines (ILs) in recurrent parents genetic background (Roshan and Kalheydari)

Comments توضیحات	Crosses تلاقی‌ها	Year سال
Selection of the earliest heading genotype and backcross 4	BC_3F_2 × Recurrent parent	1396
Marker-assisted selection, selection of heterozygous progeny for the studied gene loci and backcross 5	BC_4F_1 ×Recurrent parent	1396
Marker-assisted selection, selection of heterozygous progeny for studied gene loci and selfing	BC_5F_1	
"	BC_5F_2	
"	BC_5F_3	1397
"	BC_5F_4	
Marker-assisted selection, selection of homozygous progeny for the studied as Isogenic lines (ILs)	BC_5F_5	

مطالعات مولکولی

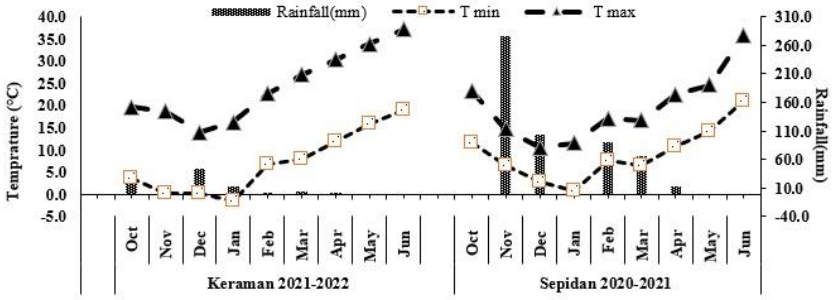
از ژنوتیپ‌های مورد نظر برگ‌های جوان جمع‌آوری، در فریزر منفی هشتاد نگهداری و استخراج دی ان ای ژنومی انجام شد (Zhang *et al.*, 1998). برای طبقه‌بندی آلل‌های حساسیت یا عدم حساسیت به دوره نوری از نشانگرهای اختصاصی استفاده شد. مخلوط واکنش در حجم ۲۰ ماکرولیتر حاوی ۵۰ تا ۱۰۰ نانوگرم DNA الگوی ژنومی، ۱ میکرولیتر از هر پرایمر و ۱۰ ماکرولیتر 2X Taq PreMix و ۶ میکرولیتر آب بود. برای بررسی ژن *Ppd-D1* از جفت پرایمر ACGCCTCCCACTACACTG و GTTGGTTCAAACAGAGAGC برای تکثیر آلل *Ppd-D1b* با طول ۴۱۴ جفت باز و جفت پرایمر ACGCCTCCCACTACACTG و CACTGGTGGTAGCTGAGATT برای تکثیر آلل *Ppd-D1a* با طول ۲۲۸ جفت باز استفاده شد (Beales *et al.*, 2007). در برنامه واکنش زنجیره‌ای پلیمراز، واسرشت‌سازی اولیه در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو دقیقه و مراحل واسرشت‌سازی در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱ دقیقه، اتصال آغازگرها به‌مدت ۱ دقیقه و توسعه زنجیره پلیمراز در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱ دقیقه، ۳۶ سیکل در دستگاه Analytik jena (Biometra Tone) انجام شد. توسعه نهایی زنجیره پلیمراز در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. پس از تکثیر، محصولات PCR روی ژل آگارز ۱ درصد با رنگ‌آمیزی ایمن توسط DNA green viewer و در دستگاه الکتروفورز Labnet جدا شدند و زیر نور فرابنفش عکس‌برداری انجام شد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

آزمایش‌های مزرعه‌ای

والدین و چهار لاین ایزوژن *Ppd-D1a* در زمینه‌ی ژنتیکی روشن، *Ppd-D1a* در کل‌حیدری، *Ppd-D1b* در زمینه‌ی ژنتیکی روشن و *Ppd-D1b* در زمینه‌ی ژنتیکی کل‌حیدری در در شرایط دیم شهرستان سپیدان استان فارس (۳۰.۲۵ درجه عرض شمالی، ۵۱.۸۹ درجه طول شرقی و میانگین بلندمدت بارندگی سالانه ۷۴۵ میلی‌متر) در سال زراعی ۱۳۹۹ –۱۳۹۸ و در شرایط فاریاب استان کرمان در سال زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ (۲۹.۲۳ درجه عرض شمالی، ۵۶.۵۹ درجه طول شرقی و میانگین بلندمدت بارندگی سالانه ۱۱۹ میلی‌متر) کاشته شدند. فاصله ردیف، اندازه کرت برداشت و تراکم بوته به‌ترتیب ۰/۲متر، ۲۰ متر مربع و ۳۰۰ بوته در متر مربع بود. در هر مکان، ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. بارندگی ماهانه و دما (حداکثر و حداقل) از زمان کاشت (آبان) تا برداشت (خرداد) در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- میزان بارندگی ماهانه و دما (حداکثر و حداقل) از کاشت (اکتبر) تا برداشت (ژوئن) در شرایط دیم سپیدان و فاریاب کرمان
Figure 1. Monthly rainfall and temperature (maximum and minimum) from sowing (October) till harvesting (June) in experiments under rain-fed conditions of Sepidan and well-watered conditions of Kerman.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات

در پژوهش حاضر صفات مهم زراعی شامل تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدن، طول دوره پرشدن دانه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، ارزیابی شدند. روز تا گلدهی به‌عنوان تعداد روزهایی که در آن سنبله‌ی ۵۰ درصد از کل گیاهان در یک کرت از غلاف برگ بیرون آمده بودند، ثبت شد. تعداد روز تا رسیدگی زمانی ثبت شد که ۷۵ درصد از گیاهان در یک کرت دارای دمگل‌هایی بودند که از رنگ سبز به طلایی تبدیل شده بودند (Rahman *et al.*, 2021). طول دوره پر شدن دانه از اختلاف تعداد روز تا رسیدن و تعداد روز تا گلدهی به‌دست آمد.

تعداد دانه در سنبله و وزن ۱۰۰۰ دانه با استفاده از ۲۰۰ سنبله انتخابی تصادفی در هر کرت اندازه‌گیری شد. رابطه بین عملکرد دانه و اجزای عملکرد به‌شرح زیر است (Rawson, 1970):

رابطه (۱):

$$\text{عملکرد دانه}(gr/m^2) = \text{تعداد سنبله در مترمربع} \times \text{تعداد دانه در سنبله} \times \text{وزن تک دانه}(\text{گرم})$$

بر این اساس و بر اساس رابطه ۱، تعداد سنبله‌ها در متر مربع به‌صورت زیر محاسبه شد:

رابطه (۲):

$$\text{تعداد سنبله در متر مربع} = \frac{\text{عملکرد دانه}(\text{گرم در مترمربع})}{\text{وزن تک دانه}(\text{گرم}) \times \text{تعداد دانه در هر سنبله}}$$

عملکرد دانه پس از حذف حاشیه اندازه‌گیری شد. با استفاده از عملکرد لاین‌ها در شرایط بدون تنش رطوبتی (Yp) و تنش (Ys)، شاخص‌های تحمل تنش برای هر دو شرایط کشت به شرح زیر محاسبه گردید:

رابطه (۳) $$TOL = Yp - Ys$$

رابطه (۴) $$MP = \frac{(Yp+Ys)}{2}$$

رابطه (۵) $$GMP = (Yp \times Ys)^{0.5}$$

رابطه (۶) $$STI = \frac{(Yp \times Ys)}{\bar{Y}p^2}$$

رابطه (۷) $$SSI = \frac{1-\frac{Ys}{Yp}}{1-\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}}$$

رابطه (۸) $$YI = \frac{Ys}{\bar{Y}s}$$

رابطه (۹) $$YSI = \frac{Ys}{Yp}$$

در این روابط، Yp برابر با عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط نرمال رطوبتی، Ys برابر با عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش رطوبتی، $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ هم به‌ترتیب برابر با میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش رطوبتی می‌باشد. همبستگی بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو محیط، راه مناسبی برای شناسایی بهترین شاخص‌ها به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. به‌منظور استفاده همزمان از شاخص‌های محاسبه شده، با استفاده از این شاخص‌ها و یک معادله، نمره‌ی تحمل به تنش (STS) برای هر ژنوتیپ محاسبه گردید.

رابطه (۱۰) $$STS = MP + GMP + STI + HM + YI + YSI - SSI$$

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

به منظور افزایش صحت نتایج، مقادیر شاخص‌های مورد نظر قبل از استفاده در این معادله با استفاده از فرمول زیر استاندارد شدند:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i}{S_i}$$

رابطه (۱۱)

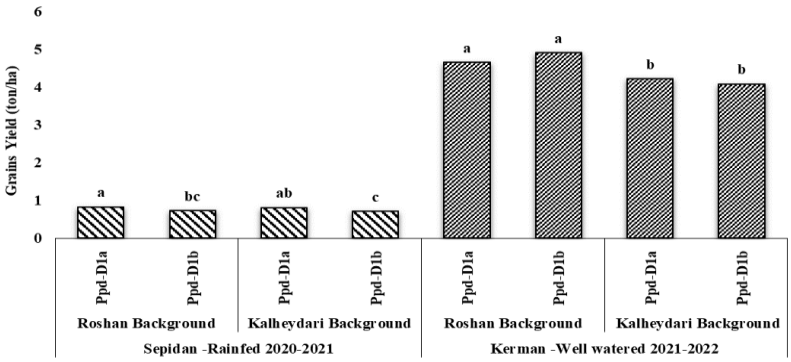
در این رابطه Z_{ij} مقدار استاندارد ژنوتیپ jام در شاخص iام، X_{ij} داده خام ژنوتیپ iام و S_i انحراف استاندارد شاخص iام می‌باشد. به منظور آنالیز داده‌ها، محاسبه شاخص‌ها، تجزیه همبستگی، رسم نمودارها، تجزیه به مولفه‌های اصلی و رسم نمودار بای پلات از نرم افزار Excel 2016، XLSTAT 2016 و SPSS ver. 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر چهار لاین ایزوژن در دو زمینه‌ی ژنتیکی روشن و کل‌حیدری برای مکان ژنی دوره‌ی نوری *Ppd –D1* ایجاد شد (شکل۲). تفاوت در این مکان ژنی به‌دلیل حساسیت یا عدم حساسیت آلل‌های این ژن به‌طول روز است. این ژن زودرسی را کنترل می‌نماید و با کنترل زودرسی باعث سازگاری گندم به شرایط آب و هوایی مختلف می‌شود و در نهایت عملکرد گندم در محیط هدف را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Kamran *et al.*, 2014; Langer *et al.*, 2014; Seki *et al.*, 2013; Zikhali *et al.*, 2014). مکان ژنی *Ppd-D1*، ۵۸ درصد از تنوع ژنتیکی زمان گلدهی ارقام گندم زمستانه اروپایی را توجیه کرده است و تنها ژن مناسب برای انتخاب و تلاقی برگشتی به‌کمک نشانگر است. این ژن زودرس بودن گندم نان را بهبود می‌بخشد. تحقیقات متعددی تأثیر مثبت و معنادار *Ppd-D1a* را بر زودرس بودن در شرایط محیطی مختلف نشان داد (Chen *et al.*, 2018; Fait and Balashova, 2022; Langer *et al.*, 2014; Shcherban *et al.*, 2015). در تحقیق حاضر، لاین‌های ایزوژنیک برای *Ppd-D1* در دو زمینه ژنتیکی برای ارزیابی اثر دقیق این آلل بر زودرسی، عملکرد و اجزای عملکرد توسعه یافتند. برخلاف *Ppd-D1b*، که‌یک آلل حساس به دوره نوری است، *Ppd-D1a*، به‌عنوان یک آلل غیرحساس به دوره نوری، به‌طور موثری در شرایط دیم و فاریاب، گلدهی زود هنگام را بهبود می‌بخشد. آلل *Ppd-D1a* تعداد روز تا گلدهی را در زمینه ژنتیکی روشن به‌میزان ۳/۷۵ و ۴/۰۰ روز و در زمینه ژنتیکی کل‌حیدری به‌میزان ۵/۰۸ و ۴/۷ روز به‌ترتیب در شرایط دیم سپیدان و فاریاب کرمان کاهش داد. این نتایج در تعداد روز تا رسیدن نیز پیش‌بینی شد، زمانی‌که *Ppd-D1a* این صفت را به‌ترتیب در زمینه‌های ژنتیکی روشن و کل‌حیدری ۷/۰۴ و ۸/۰۲ روز بهبود بخشید. *Ppd-D1a* زودرس بودن را در هر دو زمینه ژنتیکی بهبود بخشید، در حالی‌که عملکرد بهتری در زمینه ژنتیکی کل‌حیدری داشت. این یافته‌ها اثر متقابل زمینه ژنتیکی و ژن *Ppd-D1* را تایید کرد. علیرغم تأثیر مثبت *Ppd-D1a* بر زودرس بودن در هر دو زمینه ژنتیکی و تحت همه محیط‌ها، بین پس‌زمینه‌های ژنتیکی و آلل‌های *Ppd-D1a* برای زودرسی برهم‌کنش وجود داشت، به این معنی‌که زمینه‌های ژنتیکی میزان پاسخ به انتخاب را تعیین می‌کنند. پژوهش‌های دیگری نیز نشان داده است که *Ppd-D1a* بسته به محیط‌ها و زمینه‌های ژنتیکی، زمان گلدهی را از ۱ تا ۷ روز بهبود می‌بخشد (Krupin et al., 2020). لاین ایزوژن *Ppd- D1a* در زمینه‌ی ژنتیکی روشن کمترین تعداد روز تا گلدهی (۱۶۷.۷۵) را در شرایط تنش رطوبتی و لاین ایزوژن *Ppd- D1a* در زمینه‌ی ژنتیکی کل‌حیدری و در شرایط فاریاب، کمترین تعداد روز تا گلدهی (۱۶۴روز) را داشت (شکل ۳). دوره‌ی گرده‌افشانی و پر شدن دانه، یعنی زمانی‌که مواد جذب شده از برگ و ساقه به دانه‌ها حرکت می‌کنند، حساس‌ترین مراحل رشد در برابر تنش خشکی هستند (Shavrukov *et al.*, 2017). از این‌رو، فرار از خشکی، یک مکانیسم سازگاری کلاسیک است که به گندم اجازه می‌دهد تا چرخه زندگی خود را قبل از تنش خشکی آتی تکمیل کند و یک استراتژی مهم برای کاهش اثر منفی تنش آبی پایان فصل است (Hill and Li, 2016; Shavrukov *et al.*, 2017). از طرفی سازگاری ژنوتیپ‌های مختلف با شرایط محیطی، به تناسب زمان گلدهی با محیط رشد مرتبط بوده و گلدهی در زمان مناسب منجر به افزایش عملکرد نسبت به گلدهی زودهنگام و یا گلدهی با تاخیر خواهد شد (Kamran *et al.*, 2014). زمان گلدهی به‌عنوان یک صفت زراعی مهم در غلاتی مانند جو معیاری برای به حداکثر رساندن عملکرد است (Taheripourfard *et al.*, 2018). نتایج مطالعه‌ی حاضر نیز نشان داد در شرایط تنش رطوبتی از بین لاین‌های ایزوژن مورد مطالعه، در لاین‌های دارای آلل *Ppd-D1a* عملکرد دانه به‌ترتیب ۹۶ و ۹۹ کیلوگرم در هکتار در زمینه ژنتیکی روشن و کل‌حیدری به‌طور قابل‌توجهی (معادل ۱۳ و ۱۴ درصد افزایش) بهبود یافت (شکل ۴). با این‌وجود، هیچ تفاوت معنی‌داری بین لاین‌های ایزوژن در هر دو زمینه ژنتیکی تحت شرایط فاریاب وجود نداشت. این نتایج اهمیت انتخاب و تلاقی برگشتی به‌کمک نشانگر را برای *Ppd-D1a* در برنامه‌های به‌نژادی برای شرایط دیم برجسته کرد. علی‌رغم تفاوت‌های ناچیز بین لاین‌های ایزوژن در شرایط فاریاب، کوتاه کردن فاز رویشی نیز در شرایطی که منابع آب محدود است، هدف مهمی است.

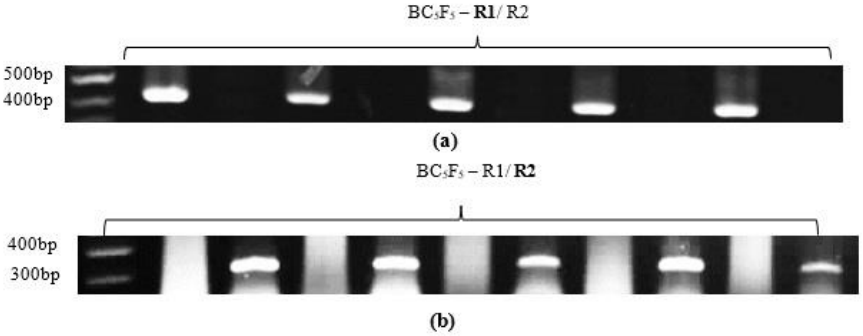
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]



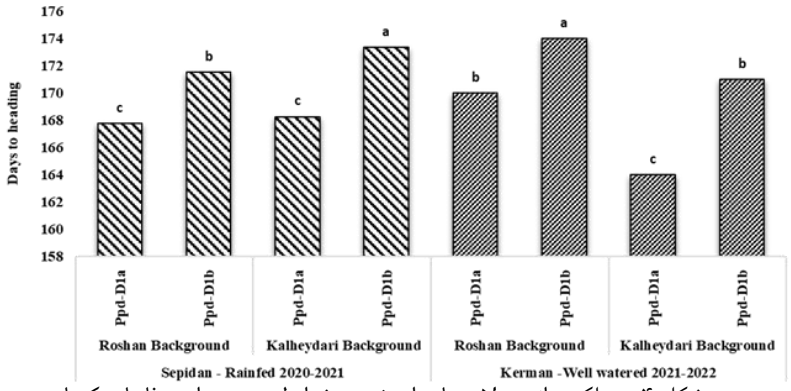
شکل ۲- ژنوتیپ‌های هموزایگوت شامل *Ppd-D1b/Ppd-D1b* (۴۱۴ جفت باز) و *Ppd-D1a/Ppd-D1a* (۲۸۸ جفت باز) برای لاین‌های ایزوژن (a و b)

Figure 2. Homozygote genotypes including *Ppd-D1b/Ppd-D1b* and *Ppd-D1a/Ppd-D1a* for isogenic lines (a and b).



شکل ۳- تعداد روز تا گلدهی در لاین‌های ایزوژن در شرایط دیم سپیدان و فاریاب کرمان

Figure 3. Days to heading of isogenic lines under rain-fed conditions of Sepidan and well-watered conditions of Kerman



شکل ۴- عملکرد دانه در لاین‌های ایزوژن در شرایط دیم سپیدان و فاریاب کرمان

Figure 4. Grains yield of isogenic lines under rain-fed conditions of Sepidan and well-watered conditions of Kerman

مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، STI، YI و YSI و مقادیر پایین شاخص SSI نشان دهنده‌ی تحمل تنش می‌باشد. بر اساس شاخص‌هایGMP، STI، YI و YSI لاین‌های ایزوژن *Ppd- D1a* در هر دو زمینه‌ی ژنتیکی نسبت به لاین ایزوژن دارای آلل حساسیت به طول روز به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۲). شاخص SSI نیز همین دو لاین ایزوژن را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ معرفی کرد. بالاتر بودن شاخص‌های GMP، STI، YI در زمینه‌ی ژنتیکی روشن و YSI در زمینه‌ی ژنتیکی کل‌حیدری نشان‌دهنده‌ی تأثیر زمینه‌ی ژنتیکی در تعیین میزان تحمل تنش توسط این شاخص‌ها می‌باشد. ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل تنش و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در لاین‌های ایزوژن مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به وضعیت همبستگی عملکرد در محیط تنش (Ys) و غیر تنش (Yp) (*۰/۹۵۲)، مشخص گردید که به‌طور کلی گزینش در هر دو شرایط می‌تواند لاین ایزوژن پرمحصول و با پایداری عملکرد خوب را نشان دهد. مقدار نمره تحمل به تنش (STS) محاسبه شده بر اساس رابطه ۱۰ برای هر لاین ایزوژن در جدول ۲ آمده است. بر اساس این شاخص هم، در هردو زمینه‌ی ژنتیکی لاین ایزوژن *Ppd-D1a* به‌عنوان متحمل‌ترین لاین شناخته شد و لاین‌های ایزوژن *Ppd-D1b* با کمترین مقدار در شاخص نمره تحمل به تنش، حساس‌ترین ژنوتیپ تعیین شدند. سازگاری ژنوتیپ‌های مختلف با شرایط محیطی، به تناسب زمان گلدهی با محیط رشد مرتبط بوده و گلدهی در زمان مناسب منجر به افزایش عملکرد خواهد شد (Kamran *et al.*, 2014). بنابراین گزینش ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط محیطی هر منطقه منجر به عملکرد مناسب و استفاده از منابع ژنتیکی در دسترس خواهد بود (Rahimi *et al.*, 2019).

جدول ۲- عملکرد دانه در شرایط نرمال، تنش رطوبتی و شاخص‌های تحمل تنش لاین‌های ایزوژن گندم
Table 2. Mean of seed yield in normal (Yp), water stress (Ys) conditions and tolerance indices for the isogenic lines in wheat

Isogenic Line لاین ایزوژن	Yp (t/ha) عملکرد در شرایط نرمال رطوبتی (تن/هکتار)	Ys (t/ha) عملکرد در شرایط تنش رطوبتی (تن/هکتار)	MP میانگین تولید	GMP میانگین هندسی تولید	STI شاخص تحمل تنش	SSI شاخص حساسیت به تنش	YI شاخص عملکرد	YSI شاخص پایداری عملکرد	STS نمره تحمل به تنش
Roshan Background زمینه ژنتیکی روشن									
Ppd-D1a	4.747	0.841	1.371	1.450	1.482	-1.509	1.502	1.509	8.826
Ppd-D1b	4.554	0.727	0.421	0.216	0.176	0.402	0.039	-0.402	0.048
Kalheydari Background زمینه ژنتیکی کل حیدری									
Ppd-D1a	4.282	0.705	-0.487	-0.352	-0.384	-0.133	-0.246	0.133	-1.203
Ppd-D1b	4.099	0.623	-1.305	-1.313	-1.273	1.241	-1.295	-1.241	-7.671

Yp: عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط نرمال رطوبتی (Seed yield in normal condition)
Ys: عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش رطوبتی (Seed yield in stress condition)
STI: شاخص تحمل تنش (Stress tolerance index)
SSI: شاخص حساسیت به تنش (Stress susceptibility index)
STS: نمره تحمل به تنش (Stress tolerance score)
MP : میانگین تولید (Mean productivity)
YI: شاخص عملکرد (Yield index)
GMP:میانگین هندسی تولید (Geometric mean productivity)
YSI: شاخص پایداری عملکرد (Yield stability index)

جدول ۳- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل تنش و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در لاین‌های ایزوژن گندم
Table 3. Simple correlation coefficients between tolerance indices and seed yield in normal (Yp) and water stress (Ys) conditions in the the isogenic lines in wheat

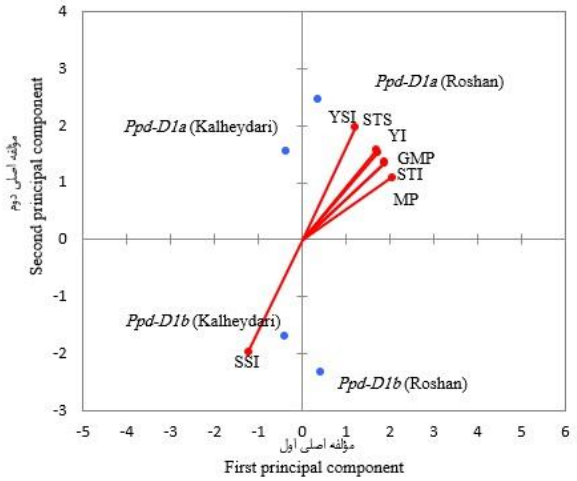
لاین ایزوژن Isogenic Line	Yp عملکرد در شرایط نرمال رطوبتی	Ys عملکرد در شرایط تنش رطوبتی	MP میانگین تولید	GMP میانگین هندسی تولید	STI شاخص تحمل تنش	SSI شاخص حساسیت به تنش	YI شاخص عملکرد	YSI شاخص پایداری عملکرد
Yp عملکرد در شرایط نرمال رطوبتی	1							
Ys عملکرد در شرایط تنش رطوبتی	0.982**	1						
MP میانگین تولید	1.00**	0.986**	1					
GMP میانگین هندسی تولید	0.997**	0.994**	0.998**	1				
STI شاخص تحمل تنش	0.998**	0.991**	0.999**	0.999**	1			
SSI شاخص حساسیت به تنش	0.905*	0.809	0.896	0.869	0.878	1		
YI شاخص عملکرد	0.982**	1.000**	0.986**	0.994**	0.991**	0.809	1	
YSI شاخص پایداری عملکرد	-0.905*	-0/809	-0.896	-0.869	-0.878	-1.00**	-0/809	1

نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که ۹۹/۹۸ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها توسط دو مولفه اصلی اول و دوم توجیه می‌شود (جدول۴). نمودار بای‌پلات براساس این دو مولفه رسم گردید (شکل۵). اولین مولفه اصلی ۵۳/۴۶ درصد و مولفه‌ی اصلی دوم ۴۶/۴۳ درصد از تغییرات را توجیه کرد. براساس همبستگی بالا و مثبت مولفه اصلی اول با شاخص‌های MP، GMP، STI، YI و STS می‌توان این مولفه را مولفه‌ی تحمل تنش نامید. مولفه‌ی اصلی دوم نیز بر اساس همین نوع همبستگی با شاخص‌های YSI، YI و STS به‌عنوان مولفه‌ی تحمل تنش شناخته شد. بر این اساس و با توجه به نمودار بای‌پلات می‌توان نتیجه گرفت ایزولاین *Ppd-D1a* در زمینه‌ی ژنتیکی روشن را به‌عنوان متحمل‌ترین ایزولاین معرفی کرد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این نتایج با نتایج حاصل از شاخص‌های تحمل تنش یکسان است و این در حالی است که استفاده از رابطه (۱۰) آسان‌تر از روش‌های چند متغیره نظیر تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

جدول ۴- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل تنش در لاین‌های ایزوژن گندم
Table 4. Principal components analysis based on the tolerance indices in the isogenic lines in wheat

مؤلفه‌های اصلی Principal components	واریانس تجمعی (٪) Cumulative variance%	میانگین تولید MP	میانگین هندسی تولید GMP	شاخص تحمل تنش STI	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص عملکرد YI	شاخص پایداری عملکرد YSI	نمره تحمل به تنش STS
مؤلفه اصلی اول First principal component	53.546	0.882	0.815	0.809	-0.526	0.749	0.526	0.733
مؤلفه اصلی دوم Second principal component	99.981	0.471	0.580	0.587	-0.850	0.662	0.850	0.681



شکل ۵- نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل تنش در لاین‌های ایزوژن گندم بر اساس دو مؤلفه اصلی
Figure 5. Biplot analysis graph for tolerance indices in the isogenic lines in wheat based on the first two components

نتیجه‌گیری کلی

لاین ایزوژن *Ppd-D1a* در زمینه‌ی ژنتیکی روشن بالاترین میزان تحمل خشکی را دارد. این نتایج نشان می‌دهد که آلل عدم حساسیت به دوره‌ی نوری با بهبود زودرسی، تحمل خشکی و پتانسیل عملکرد در ارتباط است. این آلل از طریق فعال کردن مکانیسم فرار از خشکی و گرمای آخر فصل، باعث بهبود عملکرد و در نتیجه افزایش تحمل خشکی می‌شود. در مطالعات مربوط به افزایش تحمل خشکی گندم نان می‌توان با استفاده از گزینش به‌کمک نشانگر، گزینش را برای ژن *Ppd-D1* انجام داد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان مقاله از پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی به‌خاطر حمایت مالی این پروژه سپاسگزاری می‌نمایند.

References

Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., & Mohamadi-Nejad, G. (2013). Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (Triticum aestivum L.) using different multivariate methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *59*(5), 685–704. http://doi:10.1080/03650340.2012.667080

Beales, J., Turner, A., Griffiths, S., Snape, J.W., Laurie, D.A. (2007). A pseudo-response regulator is mis-expressed in photoperiod insensitive Ppd-D1a mutant of wheat (*Triticum aestivum*). *Theor Appl Genet*, *115*, 721–733. https://doi.org/10.1007/s00122-007-0603-4

Bouslama, M., Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(5), 933-937.

Chen, L., Du, Y., Lu, Q., Chen, H., Meng, R., Cui, C., Lu, S., Yang, Y., Chai, Y., & Li, J. (2018). The photoperiod-insensitive allele Ppd-D1a promotes earlier flowering in Rht12 dwarf plants of bread wheat. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1312. http://doi:10.3389/fpls.2018.01312

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. http://doi:10.1016/j.envexpbot.2022.104902

Fait, V. I., & Balashova, I. A. (2022). Distribution of Photoperiod-Insensitive Alleles Ppd-D1a, Ppd-B1a, and Ppd-B1c in Winter Common Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* L.) of Various Origin. *Cytology and Genetics*, *56*(2), 109–117. http://doi:10.3103/S0095452722020049

Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., & Safavi, S. M. (2013). Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced*

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

Biological and Biomedical Research, *1*(2), 143–158.
Fernandez, G.C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 257-270. https://doi.org/10.22001/wvc.72511
Fischer, R.A., Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response, 29(5), 897-912. http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897
Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R. G., Ricciardi, G. L., & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, *77*(4), 523–531. https://doi.org/10.4141/P96-130
Golabadi, M., Arzani, A., & Maibody, S. A. M. (2006). Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, *1*(5), 162–171.
Hill, C. B., & Li, C. (2016). Genetic architecture of flowering phenology in cereals and opportunities for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1906. http://doi:10.3389/fpls.2016.01906
Kamran, A., Iqbal, M., & Spaner, D. (2014). Flowering time in wheat (Triticum aestivum L.): a key factor for global adaptability. *Euphytica*, *197*, 1–26. http://doi:10.1007/s10681-014-1075-7
Khanizadeh, A., Rashidi, V., Eivazi, A. R., Khalilvand Behroziar, E., & Yarnia, M., (2021). Evaluation of Drought Tolerance in Advance Lines and Cultivars of Winter Wheat. *Journal of Crop Breeding*, *13* (*38*). http:// doi: 10.52547/jcb.13.38.193
Krupin, P. Y., Karlov, G. I., Bespalova, L. A., Salina, E. A., Chernook, A. G., Watanabe, N., Bazhenov, M. S., Panchenko, V. V, Nazarova, L. A., & Kovtunenko, V. Y. (2020). Effects of Rht17 in combination with Vrn-B1 and Ppd-D1 alleles on agronomic traits in wheat in black earth and non-black earth regions. *BMC plant biology*, *20*(1), 304. http://doi:10.1186/s12870-020-02514-0
Kulkarni, M., Soolanayakanahally, R., Ogawa, S., Uga, Y., Selvaraj, M. G., & Kagale, S. (2017). Drought response in wheat: key genes and regulatory mechanisms controlling root system architecture and transpiration efficiency. *Frontiers in Chemistry*, *5*, 106. http://doi:10.3389/fchem.2017.00106
Langer, S. M., Longin, C. F. H., & Würschum, T. (2014). Flowering time control in European winter wheat. *Frontiers in Plant Science*, *5*, 537. http://doi:10.3389/fpls.2014.00537
Moghaddasi, L., Rashidi, V., & Rosban-Haghighi, A. (2010). Evaluation of drought tolerance in durum wheat lines using application of drought tolerance indices. *11th Crop Science Congress. Iran, Shahid Beheshti University of Tehran*.
Mursalova, J., Akparov, Z., Ojaghi, J., Eldarov, M., BELEN, S., GUMMADOV, N., & Morgounov, A. (2015). Evaluation of drought tolerance of winter bread wheat genotypes underdrip irrigation and rain-fed conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *39*(5), 817–824. http:// doi: 10.3906/tar-1407-152
Nikkhah, H. R., Tajali, H., Tabatabaie, S. A., & Taheri, M. (2023). Evaluation of Yield Stability and Drought Tolerance of Barley Genotypes in Temperate Regions of the Iran. *Journal of Crop Breeding*, *14*(*44*). http://doi: 10.52547/jcb.14.44.1
Nitcher, R., Pearce, S., Tranquilli, G., Zhang, X., & Dubcovsky, J. (2014). Effect of the hope FT-B1 allele on wheat heading time and yield components. *Journal of Heredity*, *105*(5), 666–675. http://doi:10.1093/jhered/esu042
Omidi, M., Siahpoosh, M. R., Mamghani, R., & Modarresi, M. (2015). Heat tolerance evaluating of wheat cultivars using physiological characteristics and stress tolerance indices in Ahvaz climatic conditions. *Plant Productions*, *38*(1), 103–113. https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11135
Radhika, T. S. K. (2014). Comparative yield responses of wheat genotypes under sowing date mediated heat stress conditions on basis of different stress indices. *Ind. J. Ecol*, *41*, 339–343.
Rahimi, Y., Bihamta, M., Taleei, A., & Ali Pour, H. (2019). Genetic variability assessment of Iranian wheat landraces in term of some agronomic attributes under normal irrigation and rain-fed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(3), 1–16. 10.22059/IJFCS.2018.258294.654471
Rahman, M. M., Crain, J., Haghighattalab, A., Singh, R. P., & Poland, J. (2021). Improving wheat yield prediction using secondary traits and high-density phenotyping under heat-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 633651. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.633651
Rawson, H. M. (1970). Spikelet number, its control and relation to yield per ear in wheat. *Australian Journal of Biological Sciences*, *23*(1), 1–16. https://doi.org/10.1071/BI9700001
Rosielle, A.A., Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environment. *Crop Science*, *21*(6), 943-946. doi: 10.2135/cropsci1981. 0011183X002100060033x
Seki, M., Chono, M., Nishimura, T., Sato, M., Yoshimura, Y., Matsunaka, H., Fujita, M., Oda, S., Kubo, K., & Kiribuchi-Otobe, C. (2013). Distribution of photoperiod-insensitive allele Ppd-A1a and its effect on heading time in Japanese wheat cultivars. *Breeding Science*, *63*(3), 309–316. http://doi:10.1270/jsbbs.63.309
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. http://doi:10.3389/fpls.2017.01950

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]

Shcherban, A. B., Börner, A., & Salina, E. A. (2015). Effect of VRN-1 and PPD-D1 genes on heading time in European bread wheat cultivars. *Plant Breeding*, *134*(1), 49–55. http://doi:10.1111/pbr.12223

Shiri, M., Valizadeh, M., Magjidi, E., Sanjari, A., & GHARIB, E. A. (2010). *EVALUATION OF WHEAT TOLERANC INDICES TO MOISTHRE STRESS CONDITION*.

Taheripourfard, Z. S., Izadi-Darbandi, A., Ghazvini, H., Ebrahimi, M., & Mortazavian, S. M. M. (2018). Characterization of specific DNA markers at VRN-H1 and VRN-H2 loci for growth habit of barley genotypes. *Journal of Genetics*, *97*, 87–95. https://doi.org/10.1007/s12041-018-0886-z

Watson, A., Ghosh, S., Williams, M. J., Cuddy, W. S., Simmonds, J., Rey, M.-D., Asyraf Md Hatta, M., Hinchliffe, A., Steed, A., & Reynolds, D. (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants*, *4*(1), 23–29. http://doi:10.1038/s41477-017-0083-8

Zhang, Y.P., Uyemoto, J., Kirkpatrick, B. (1998). A small-scale procedure for extracting nucleic acids from woody plants infected with various phytopathogens for PCR assay. *Journal of Virological Methods*, *71*(*1*), 45-50. http://doi.org/10.1016/S0166-0934(97)00190-0

Zebarjadi, A. R., Shadpey, T., Etminan, A. R., & Mohammadi, R. (2013). Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, *29*(1).

Zikhali, M., Leverington-Waite, M., Fish, L., Simmonds, J., Orford, S., Wingen, L. U., Goram, R., Gosman, N., Bentley, A., & Griffiths, S. (2014). Validation of a 1DL earliness per se (eps) flowering QTL in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Molecular Breeding*, *34*, 1023–1033. http://doi:10.1007/s11032-014-0094

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jcb.16.2.136]