University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Evaluating the Effect of *Vrn-B1* and *Vrn-D1* Genes on Drought Tolerance of Bread Wheat Using Isogenic Lines

Sorayya Pourtabrizi[1], Ali Kazemipour[2], Ghasem Mohammadi-Nejad[3], Gholamreza Khajoei-Nejad[4], Rouhollah Abdolshahi[5]✉

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: s.pourtabrizi@empl.uk.ac.ir
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: ali.kazemi@uk.ac.ir
3. Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: mohammadinejad@uk.ac.ir
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: khajoei@uk.ac.ir
5. Corresponding Author, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: abdoshahi@uk.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: June 22, 2023
Received in revised form: July 14, 2023
Accepted: July 25, 2023
Published online: December 22, 2023

Keywords:
Drought stress, earliness, isogenic lines, tolerance indices, wheat.

ABSTRACT

Vernalization genes (*Vrn*), in addition to controlling the growth habit of wheat (spring and winter), play a key role in flowering time and early maturity of wheat. They are also of great interest in drought tolerance researches. To investigate the effect of *Vrn* genes on drought tolerance, four isogenic lines were developed. Isogenic lines were resulted from the crosses of the early heading Australian variety, Excalibur, with the late heading Iranian variety, Roshan, and followed by backcrossing with Roshan. Two experiments were conducted based on randomized complete block design with four replications under rainfed conditions of Sepidan during 2019-2020 and under well-watered conditions of Kerman during 2020-2021 cropping years. In the present research, seven important agronomic traits, including days to heading, days to ripening, grain filling period, spike number per meter square, grain number per spike, 1000-grain weight, and grain yield were assessed. Isogenic lines were assessed for drought tolerance using eight indices, including mean of productivity (MP), yield index (YI), stress tolerance index (STI), geometric mean of productivity (GMP), stress susceptibility index (SSI), yield stability index (YSI), and stress tolerance score (STS). The results of stress tolerance score (STS) showed that isogenic lines vrn-B1/Vrn-D1a and Vrn-B1a/vrn-D1 had the highest and the lowest stress tolerance score, respectively. In addition, the vrn-B1 and Vrn-D1a alleles, which cause early flowering, improve drought tolerance by utilizing an escape mechanism from dry conditions.

Cite this article: Pourtabrizi, S., Kazemipour, A., Mohammadi-Nejad, G., Khajoei-Nejad, G., & Abdolshahi, R. (2023). Evaluation the effect of *Vrn-B1* and *Vrn-D1* genes on drought tolerance of bread wheat using isogenic lines. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(4), 201-210. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.361119.655013.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.361119.655013

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

بررسی تاثیر ژن‌های *Vrn-B1* و *Vrn-D1* بر تحمل به خشکی گندم نان با استفاده از لاین‌های ایزوژن

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

۱- بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: s.pourtabrizi@empl.uk.ac.ir

۲- بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: ali.kazemi@uk.ac.ir

۳- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی و بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mohammadinejad@uk.ac.ir

۴- بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: khajoei@uk.ac.ir

۵- نویسنده مسئول، پژوهشکده فناوری و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: abdoshahi@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تنش خشکی،
زودرسی،
شاخص‌های تحمل،
گندم،
لاین ایزوژن.

چکیده

ژن‌های بهاره‌سازی (*Vrn*) علاوه بر کنترل عادت رشدی گندم (بهاره و زمستانه)، نقش کلیدی در زمان گلدهی و زودرسی گندم ایفا کرده و در پژوهش‌های تحمل به خشکی مورد توجه هستند. با هدف بررسی تاثیر ژن‌های *Vrn* بر تحمل به خشکی، چهار لاین ایزوژن ایجاد شد. لاین‌های ایزوژن از تلاقی رقم زودرس استرالیایی "اکسکلیبر" و رقم دیررس "روشن" و تلاقی برگشتی با رقم روشن ایجاد شدند. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شرایط دیم سپیدان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و در شرایط فاریاب کرمان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شدند. صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بررسی شدند. ارزیابی لاین‌های ایزوژن از نظر تحمل به خشکی توسط هشت شاخص MP (میانگین تولید)، YI (شاخص عملکرد)، STI (شاخص تحمل تنش)، GMP (میانگین هندسی تولید)، SSI (شاخص حساسیت به تنش)، YSI (شاخص پایداری عملکرد) و STS (نمره تحمل به تنش) انجام شد. نتایج نمره تحمل به تنش (STS) نشان داد که لاین‌های ایزوژن *vrn-B1/Vrn-D1a* و *Vrn-B1a/vrn-D1* به‌ترتیب بیشترین و کمترین تحمل به خشکی را داشتند. علاوه بر این، نتایج نشان داد آلل‌های *vrn-B1* و *Vrn-D1a* که باعث زودرسی می‌شوند با استفاده از مکانیسم فرار از خشکی باعث بهبود تحمل به تنش خشکی می‌شوند.

استناد: پورتبریزی، ث.، کاظمی‌پور، ع.، محمدی‌نژاد، ق.، خواجویی‌نژاد، غ.، و عبدالشاهی، ر. (۱۴۰۲). بررسی تاثیر ژن‌های *Vrn-B1* و *Vrn-D1* بر تحمل به خشکی گندم نان با استفاده از لاین‌های ایزوژن. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۴)، ۲۰۱-۲۱۰.
DOI: 10.22059/ijfcs.2023.361119.655013

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) با قابلیت کشت در دامنهٔ وسیعی از عرض جغرافیایی ۶۰ درجه شمالی تا طول جغرافیایی ۴۸ درجه شرقی، شرایط آب و هوایی و حاصلخیزی خاک، یکی از گسترده‌ترین محصولات در جهان است (Kulkarni *et al*., 2017). رشد و عملکرد گندم اغلب با تنش خشکی که یکی از چالش‌های اصلی کشاورزان و به‌نژادگران است، محدود می‌شود. متاسفانه تولید جهانی گندم نیز در مناطقی انجام می‌شود که با تهدیدات مکرر این تنش مواجه هستند که ممکن است در تمام مراحل رشد گیاه، به‌ویژه در مناطق دیم رخ دهد، امّا این امر در پایان فصل رشد بیشتر اتفاق می‌افتد (Kulkarni *et al*., 2017). نوسانات بارندگی در سال‌های مختلف و نامنظم‌بودن پراکنش آن در هر فصل نیز از ویژگی‌های مهم اقلیمی در این مناطق در ایران است (Taheripourfard *et al*., 2018). به منظور سازگاری گندم با شرایط مختلف کشت، زمان مناسب گلدهی و رسیدگی ضروری است (Fletcher *et al*., 2019). فرار از خشکی یک مکانیسم سازگاری کلاسیک است که 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). در مناطقی که خشکسالی در پایان فصل کشت رخ می‌دهد، این مساله بسیار مهم است. ارقام زودرس جدید، کمتر در معرض تنش خشکی آخر فصل قرار می‌گیرند و عملکرد دانه بالاتری دارند (Hill & Li, 2016). ارقام زودرس نه تنها در شرایط تنش خشکی، بلکه در شرایط آبیاری نیز عملکرد دانه بالاتری دارند (Iqbal *et al*., 2006; Nitcher *et al*., 2014; Shavrukov *et al*., 2017). با این حال، گزارش‌هایی نیز وجود دارد که اثر منفی زودرسی بر عملکرد دانه را نشان می‌دهند (Radhika, 2014). به دلیل معنی‌داربودن اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط، دست‌یابی به ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش، عملکرد مطلوبی داشته باشند، سخت به نظر می‌رسد (Shiri *et al.,* 2010). بنابراین گزینش بر اساس عملکرد بالقوه 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 برای رسیدن به ژنوتیپ برتر است. در بررسی برنامه‌های به‌نژادی به منظور گزینش مواد برتر، رقمی مطلوب (ایده‌آل) است که دارای عملکرد بالا و پایدار باشد؛ به عبارت دیگر، سازگاری بالایی از خود در برابر محیط نشان دهد (Moghaddasi *et al.,* 2010).

برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط مزرعه، شاخص‌های مختلفی بر پایهٔ عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی، پیشنهاد شده است. Fischer & Maurer (1987) شاخص حساسیت به تنش (SSI)، Rosielle & 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 & Schapaugh (1984) شاخص پایداری عملکرد (YSI) را برای ارزیابی میزان تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها معرفی کردند.

نتایج به‌دست‌آمده از هر کدام از این شاخص‌ها ممکن است تا حدی با یکدیگر متفاوت باشد. به عنوان مثال، نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد گزینش بر اساس شاخص‌های TOL و SSI سبب هدایت برنامه‌ی به‌نژادی به سوی انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین می‌شود؛ ولی انتخاب براساس میانگین عملکرد، سبب انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا می‌شود (Sanjari *et al.,* 2008; Shiri *et al.,* 2010).

پژوهشگران در مطالعه شاخص‌های تحمل در ارقام بومی گندم نان، نتیجه گرفتند که GMP، MP و STI شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل می‌باشند (Farshadfar *et al*., 2013). از سوی دیگر، در ارزیابی تحمل به گرمای ۱۸ رقم گندم، شاخص‌های GMP، MP و STI را به عنوان شاخص‌های برتر در این ارزیابی گزارش کردند (Omidi *et al*., 2015). بررسی درجه تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌های گندم به سطوح مختلف تنش رطوبتی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی نشان داده است شدت تنش خشکی محیط (SI) تحت تیمار تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، موجب کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم به حدود ۳۵ درصد نسبت به شاهد شد و توانایی شاخص تحمل به تنش فرناندز (STI) برای دسته‌بندی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل بیش از شاخص‌های دیگر بود (Ezatahmadi *et al*., 2010). از سوی دیگر، بررسی همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در گندم نان نشان داده است که شاخص‌های MP و GMP دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بوده است (Zebarjadi *et al.,* 2012).

در ارزیابی دیگری بر اساس عملکرد گندم نان و صفات وابسته در شرایط تنش، نشان داده شده است که شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و میانگین بهره‌وری (MP) در دسته‌بندی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی مشابه بودند. علاوه بر این، عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) با عملکرد دانه تحت تنش خشکی (Ys) و تمام شاخص‌های تحمل به تنش بجز YSI همبستگی مثبت داشت (Semahegn *et al*., 2020).

این همبستگی مثبت بین عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش در مطالعهٔ دیگری نیز تایید شده است. در نتایج همین مطالعه نشان داده شده است که عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت معنی‌دار با شاخص TOL، STI، MP و GMP داشته است. این نتایج با نتایج مطالعهٔ Rosielle & Hamblin (1981) مطابقت داشته است. در این پژوهش پیشنهاد شده است که انتخاب برای تحمل به خشکی در گندم می‌تواند براساس MP، GMP، و STI انجام شود (Mursalova *et al*., 2015).

همانگونه که واضح است کاربرد این روش‌ها و تفسیر نتایج به‌دست‌آمده از آنها با پیچیدگی‌هایی همراه است. به‌طوری‌که می‌توان از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه به عامل‌ها برای دست‌یابی به یک نتیجه‌گیری کلی استفاده کرد (Abdolshahi *et al.,* 2013).

شاخص جدید نمره تحمل به تنش (STS) نیز معرفی شده است (Abdolshahi *et al*., 2013). بررسی‌ها نشان داده است که نتایج به‌دست‌آمده از این نمره، با نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه عامل‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، یکسان بوده است. بیان شده است که استفاده از معادلهٔ نمرهٔ تحمل تنش یا STS، خیلی ساده‌تر از تجزیهٔ عامل‌ها است و به عنوان یک معیار برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل پیشنهاد می‌شود (Abdolshahi *et al*., 2013). از آنجایی‌که گزارش‌های اندکی از ارزیابی تحمل به تنش خشکی روی جمعیت‌های در حال تفکیک وجود دارد (Golabadi *et al*., 2006)، این پژوهش به ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در جمعیت‌های حاصل از چهار لاین ایزوژن در گندم نان پرداخته است تا تاثیر دقیق ژن‌های *Vrn-B1* و *Vrn-D1* بر تحمل به خشکی گندم نان مشخص شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. مواد گیاهی

رقم روشن از سال ۱۹۵۸ در محیط‌های مستعد خشکسالی ایران کشت می‌شود. این رقم پابلند، حساس به زنگ زرد، متحمل به خشکی و شوری و تقریباً دیررس است (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 منتقل شد (Dorrani-Nejad *et al.,* 2022). در تحقیق حاضر، گیاهان زودرس BC_3F_2 با والد تکراری (روشن) در سال ۲۰۱۸ تلاقی داده شد تا نسل BC_4F_1 به دست آید. در این نسل، والدین و فرزندان از نظر ژن‌های کنترل‌کننده بهاره‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در طول نسل‌های BC_5F_1، BC_5F_2، BC_5F_3 و BC_5F_4 تنها گیاهان هتروزیگوت با استفاده از نشانگرهای اختصاصی برای جایگاه *Vrn* 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. بر اساس شجره‌نامه، شباهت زمینه ژنتیکی لاین‌های ایزوژن ۹۹/۹۹ درصد بود. لاین‌های ایزوژن توسعه‌یافته با شباهت زیاد در زمینه ژنتیکی، ماده ژنتیکی مهمی برای ادامهٔ مطالعات است.

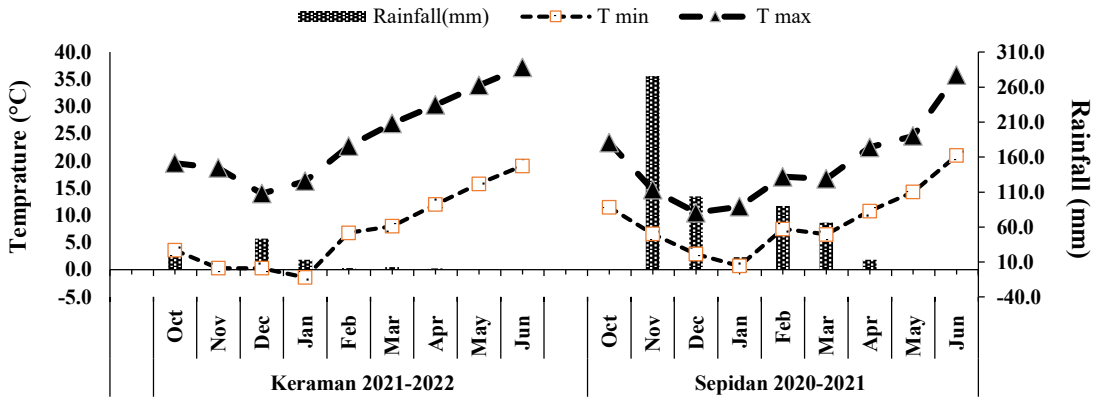
۲-۲- آزمایش‌های مزرعه‌ای

والدین و چهار لاین ایزوژن (*vrn-B1/ vrn-D1* ، *Vrn-B1a/Vrn-D1a , Vrn-B1a/vrn-D1, vrn-B1/Vrn-D1a*) در شرایط دیم شهرستان سپیدان استان فارس (عرض جغرافیایی ۳۰,۲۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱,۸۹ درجه شرقی و میانگین بلندمدت بارندگی سالانه ۷۴۵ میلی‌متر) در سال زراعی ۲۰۲۰ -۲۰۱۹ و در شرایط فاریاب استان کرمان در سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۲۱ (عرض جغرافیایی ۲۹,۲۳ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۵۶,۵۹ درجه شرقی و میانگین بلندمدت بارندگی سالانه ۱۱۹ میلی‌متر) کاشته شدند. فاصله ردیف، اندازه کرت برداشت و تراکم بوته به‌ترتیب ۰/۲ متر، 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.

جدول ۱. توسعه لاین‌های ایزوژن در زمینه ژنتیکی والد تکراری (روشن).

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



شکل ۱– میزان بارندگی ماهانه و دما (حداکثر و حداقل) از کاشت (اکتبر) تا برداشت (ژوئن) در شرایط دیم سپیدان و فاریاب کرمان.

۲–۳– نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات

در تحقیق حاضر صفات مهم زراعی شامل تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدن، طول دوره پر شدن دانه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، ارزیابی شدند. روز تا گلدهی به عنوان تعداد روزهایی که در آن سنبلهٔ 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*., 1977). 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 به شرح زیر است (Rawson, 1970):

عملکرد دانه (g/m^2) = تعداد سنبله در متر مربع × تعداد دانه در سنبله × وزن تک‌دانه (گرم) (رابطه ۱)

بر این اساس و بر اساس معادله ۱، تعداد سنبله‌ها در متر مربع به صورت زیر محاسبه شد:

$$\text{تعداد سنبله در متر مربع} = \frac{\text{عملکرد دانه (گرم در مترمربع)}}{\text{وزن تک دانه (گرم)} \times \text{تعداد دانه در هر سنبله}}$$ (رابطه ۲)

عملکرد دانه پس از حذف حاشیه اندازه‌گیری شد. بـا استفاده از عملکرد لاین‌ها در شرایط بدون تنش رطوبتی (Yp) و تنش (Ys)، شاخص‌های تحمل بـه تـنش بـرای هـر دو شرایط کشت به شرح زیر محاسبه شد:

$$TOL = Yp - Ys$$ (رابطه ۳)

$$MP = \frac{(Yp+Ys)}{2}$$ (رابطه ۴)

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

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

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

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

$$YSI = \frac{Ys}{Yp}$$ (رابطه ۹)

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، $\overline{Y}p$ و $\overline{Y}s$ 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 به منظور تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. به منظور استفاده همزمان از شاخص‌های محاسبه‌شده، با استفاده از این شاخص‌ها و یک معادله، نمرهٔ تحمل به تنش (STS) برای هر ژنوتیپ محاسبه شد.

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

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)

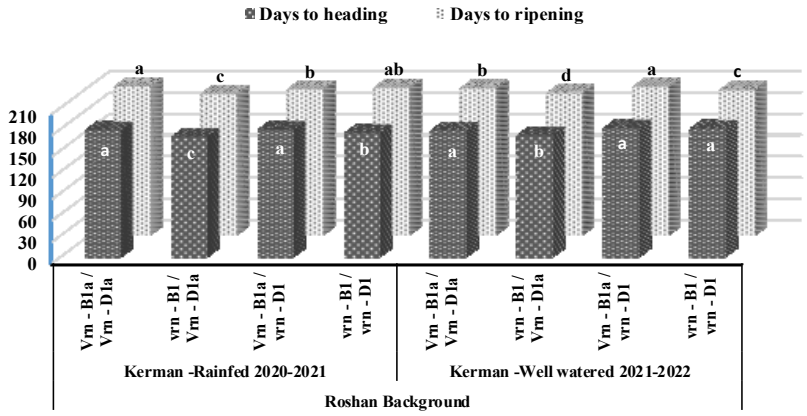
در این رابطه، Z_{ij} مقدار استاندارد ژنوتیپ jام در شاخص iام، X_{ij} داده خام ژنوتیپ iام و S_i انحراف استاندارد شاخص iام می‌باشد. به منظور آنالیز داده‌ها، محاسبه شاخص‌ها، تجزیه همبستگی و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 و SPSS Ver. 16 استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

در پژوهش حاضر چهار لاین ایزوژن برای دو مکان ژنی بهاره‌سازی *Vrn-B1* و *Vrn-D1* ایجاد شد. تفاوت در نیاز بهاره‌سازی به دلیل تنظیم این ژن در اثر دمای محیط است. این ژن‌ها زودرسی را کنترل می‌کنند (Worland *et al*., 1998; Zhang *et al*., 2008; Taheripourfard *et al*., 2018) و با کنترل زودرسی باعث سازگاری گندم به شرایط آب و هوایی مختلف (Kato & Yamagata, 1988) می‌شوند و در نهایت عملکرد گندم در محیط هدف را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Flohr *et al*., 2017; Dreccer *et al*., 2018; Hyles *et al*. 2020).

لاین ایزوژن *vrn-B1/Vrn-D1a* کمترین تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی را (به‌ترتیب ۱۷۲ و ۲۰۰/۲۵ روز) در شرایط نرمال رطوبتی و نیز در شرایط تنش رطوبتی (به‌ترتیب ۱۷۰ و ۱۹۹/۵ روز) داشت (شکل ۲). دوره گرده‌افشانی و پر شدن دانه، یعنی زمانی که مواد جذب‌شده از برگ و ساقه به دانه‌ها حرکت می‌کنند، حساس‌ترین مراحل رشد در برابر تنش خشکی هستند (Shavrukov *et al*., 2017). از این رو، 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 & Li, 2016; Shavrokove *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 مطالعهٔ حاضر نیز نشان داد در شرایط نرمال رطوبتی نیز از بین لاین‌های ایزوژن مورد مطالعه، لاین ایزوژن زودرس *vrn-B1 / Vrn-D1a* با عملکرد ۴/۷۴۷ تن بر هکتار بیشترین و لاین ایزوژن *Vrn-B1a / vrn-D1* با عملکرد ۳/۴۹۷ تن بر هکتار کمترین عملکرد را به خود اختصاص دادند. در شرایط تنش رطوبتی هم لاین ایزوژن *vrn-B1 / Vrn-D1a* با ۰/۸۴۸ تن بر هکتار، بیشترین عملکرد را داشت. در این شرایط کمترین عملکرد به میزان ۰/۶۸۴ در لاین ایزوژن *vrn-B1 / vrn-D1* مشاهده شد.



شکل ۲- تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی در لاین‌های ایزوژن در شرایط دیم سپیدان و فاریاب کرمان.

مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، STI، YI و YSI و مقادیر پایین شاخص SSI نشان‌دهندهٔ تحمل به تنش می‌باشد. بر اساس شاخص‌های MP، GMP، STI و YI لاین ایزوژن *vrn-B1 / Vrn-D1a* به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد (جدول ۲)؛ اما شاخص SSI، لاین ایزوژن *Vrn-B1a / vrn-D1* را به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ معرفی کرد. ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و 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) (۰/۹۸۲**) مشخص شد که به‌طور کلی گزینش در هر دو شرایط می‌تواند لاین ایزوژن پرمحصول و با پایداری عملکرد خوب را نشان دهد (Kargar *et al*., 2004) (جدول ۳). در شرایط نرمال رطوبتی بین شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI، SSI و عملکرد دانه همبستگی بالایی وجود داشت. از سوی دیگر، این همبستگی در شرایط تنش رطوبتی در شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI بالا و معنی‌دار بود. نشان داده شده است که برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، بهتر است از شاخص‌هایی استفاده شود که در هر دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی همبستگی بالایی با عملکرد دارند (Fernandez, 1992). در این پژوهش، همبستگی بالا و معنی‌دار شاخص‌های MP، GMP، STI و YI با عملکرد دانه در هر دو شرایط و نیز همبستگی بالا، مثبت و معنی‌دار مشاهده شده بین این چهار شاخص، آنها را شاخص‌های مناسبی برای تشخیص لاین ایزوژن متحمل معرفی می‌کند. این نتایج با گزارش‌های Dorraninejad *et al*. (2019)، Sadeghzade Ahari *et al*. (2006) و Shafazadeh *et al*. (2004) مطابقت دارد. بر مبنای این چهار شاخص لاین ایزوژن *vrn-B1 / Vrn-D1a* ضمن داشتن بالاترین عملکرد، به‌عنوان متحمل‌ترین لاین در این بررسی شناسایی شد.

مقدار نمره تحمل به تنش (STS) محاسبه‌شده بر اساس رابطه ۱۰ برای هر لاین ایزوژن در جدول ۳ آمده است. بر اساس این شاخص هم، لاین ایزوژن *vrn-B1 / Vrn-D1a* به‌عنوان متحمل‌ترین لاین شناخته شد و لاین ایزوژن *Vrn-B1a / vrn-D1* با کمترین مقدار در شاخص نمره تحمل به تنش، حساس‌ترین ژنوتیپ تعیین شد. 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 به تنش لاین‌های ایزوژن گندم.

Isogenic Line	Yp (t/ha)	Ys (t/ha)	MP	GMP	STI	SSI	YI	YSI	STS
Vrn-B1a / Vrn-D1a	4.107	0.788	0.279	0.357	0.303	-0.230	0.500	0.230	1.901
Vrn-B1a/ vrn-D1	3.498	0.697	-0.961	-0.931	-0.917	-1.215	-0.858	1.215	-1.237
vrn-B1 / Vrn-D1a	4.745	0.849	1.517	1.479	1.507	1.567	1.393	-1.567	2.761
vrn-B1/ vrn-D1	3.581	0.685	-0.835	-0.905	-0.893	-0.122	-1.036	0.122	-3.427

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

جدول ۳- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش رطوبتی در لاین‌های ایزوژن.

Isogenic Line	Yp	Ys	MP	GMP	STI	SSI	YI	YSI
Yp	1							
Ys	0.982**	1						
MP	1.00**	0.986**	1					
GMP	0.997**	0.994**	0.998**	1				
STI	0.998**	0.991**	0.999**	0.999**	1			
SSI	0.905*	0.809	0.896	0.869	0.878	1		
YI	0.982**	1.000**	0.986**	0.994**	0.991**	0.809	1	
YSI	-0.905*	-0/809	-0.896	-0.869	-0.878	-1.00**	-0/809	1

۴. نتیجه‌گیری کلی

لاین ایزوژن *vrn-B1 / Vrn-D1a* بالاترین میزان تحمل به خشکی را دارد. این نتایج نشان می‌دهد ترکیب دو ژن *vrn-B1* و *Vrn-D1a* باعث بهبود زودرسی، تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد می‌شود. ژن‌های *vrn-B1* و *Vrn-D1a* از طریق فعال‌کردن مکانیسم فرار از خشکی و گرمای آخر فصل، باعث بهبود عملکرد و در نتیجه افزایش تحمل به خشکی می‌شوند. در مطالعات مربوط به افزایش تحمل به خشکی گندم نان می‌توان با استفاده از گزینش به کمک نشانگر گزینش را برای ژن‌های *vrn-B1* و *Vrn-D1a* انجام داد.

۵. منابع

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.

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.

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.

Dreccer, M.F., Fainges, J., Whish, J., Ogbonnaya, F.C., & Sadras, V.O. (2018). Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, *248*, 275-294.

Ezatahmadi, M., Nourmohammadi, G.H., Ghodsi, M., & Kafi, M. (2010). The effect of moisture stress and potassium iodide spraying on agricultural characteristics and grain yield of bread wheat genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *8*(2), 177-186. (In Persian).

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 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.

Fischer, R.A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. l, *29*(5), 897-912.

Fletcher, A., Ogden, G., & Sharma, D. (2019). Mixing it up–wheat cultivar mixtures can increase yield and buffer the risk of flowering too early or too late. *European Journal of Agronomy*, *103*, 90-97.

Flohr, B.M., Hunt, J.R., Kirkegaard, J.A., & Evans, J.R. (2017). Water and temperature stress define the optimal flowering period for wheat in south-eastern Australia. *Field Crops Research*, *209*, 108-119.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, 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.

Golabadi, M., Arzani, A., & Mirmohammadi-Meibody, S.A.M. (2006). Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, *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.

Hyles, J., Bloomfield, M.T., Hunt, J.R., Trethowan, R.M., & Trevaskis, B. (2020). Phenology and related traits for wheat adaptation. *Heredity*, *125*, 417-430.

Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D., Yang, R.C., & Spaner, D. (2006). The genetics of earliness in Canadian spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science, 86*, 1424.

Kamran, A., Iqbal, M., & Spaner, D. (2014). Flowering time in wheat (*Triticum aestivum* L.): A key factor for global adaptability. *Euphytica*, *197*, 1-26.

Kargar, S.M.A., Ghannadha, M.R., Bozorgi-Pour, R., & Babaei, H.R. (2004). An investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *35*(1).

Kato, K., & Yamagata, H. (1988). Method for evaluation of chilling requirement and narrow-sense earliness of wheat cultivars. *Japanese Journal of Breeding*, *38*, 172-186.

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.

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*. 5pp. (In Persian).

Mokhtarifar, K.H., & Abdolshahi, R. (2016). Evaluation inheritance of drought stress tolerance score of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Filed Crop Science*, *46*(4). (In Persian).

Mursalova, J., Akparov, Z., Javid Ojaghi, J., Eldarov, M., Savaş Belen, S., Gummadov, N., & Alexey Morgounov, A. (2015). Evaluation of drought tolerance of winter bread wheat genotypes under drip irrigation and rain-fed conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *39*, 817-824.

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*, 666-675.

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. (In Persian).

Radhika Thind, S.K. (2014). Comparative yield responses of wheat genotypes under sowing date mediated heat stress conditions on basis of different stress indices. *Indian Journal of Ecology*, *41*, 339-343.

Rahimi, Y., Bihamta, M.R., Taleei, A.R., & Alipour, 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. (In Persian).

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*, 633-651.

Rawson, H.M. (1970). Spikelet number, its control and relation to yield per ear in wheat. *Australian Journal of Biological Sciences*, *23*, 1-16.

Rosielle, A.A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environment. *Crop Science*, *21*(6), 943-946.

Sadeghzade Ahari, D. (2006). Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *8*(1), 30-45. (In Persian).

Sanjari-Pirevatlou, A., & Yazdansepas, A. (2008). Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under pre- and post-anthesis drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *10*, 109-121. (In Persian).

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*(1), 87-95.

Semahegn, Y., Shimelis, H., Laing, M., & Mathew, I. (2020). Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and related traits under drought stress conditions Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. *Soil & Plant Science*.

Shafazadeh, M.K., Yazdan Sepas, A., Amini, A., & Ghannadha, M.R. (2004). Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, *20*(1), 57-71. (In Persian).

Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotva, L., Koekemoer, F., & Langridge, P. (2017). Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How can it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1950.

Shiri, M., Valizadeh, M., Magjidi, E., Sanjari, A., & Gharib-Eshghi, A. (2010). Evaluation of wheat tolerance indices to moisthre stress condition. *EJCP*, *3*(3), 153-171. (In Persian).

Shirinzadeh, A., Zarghami, R., & Shiri, M.R. (2009). Evaluation of drought tolerance in late and medium maize hybrids- using stress tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Science*, *10*, 416-427.

Taheripourfard, Z.S., Izadi-darbandi, A., Ghazvini, H. *et al.* (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.

Watson, A., Ghosh, S., Williams, M.J., Cuddy, W.S., Simmonds, J., Rey, M.D., & Reynolds, D. (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants*, *4*, 23-29.

Worland, A., Börner, A., Korzun, V., Li, W., Petrovic, S., & Sayers, E. (1998). The influence of photoperiod genes on the adaptability of European winter wheats. *Euphytica*, *100*, 385-394.

Zebarjadi, A.R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A.R., & Mohammadi, R. (2013). Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Journal*, *29*(1), 1-12. (In Persian).

Zhang, X.K., Xiao, Y.G., Zhang, Y., Xia, X.C., Dubcovsky, J., & He, Z.H. (2008). Allelic variation at the vernalization genes *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, and *Vrn-B3* in Chinese wheat cultivars and their association with growth habit. *Crop Science*, *48*, 458-470.