University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 4, pp. 1139-1152 (Winter 2024)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5320.2139

Original article

Genetic analysis of yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under complete irrigation and drought stress in reproductive phase conditions

S. Bagherikia[1*], H. Soughi[2], M. Khodarahmi[3]

1. Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran
2. Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran
3. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran

Received 19 May 2022; Accepted 26 June 2022

Extended abstract

Introduction

Wheat performance is always affected by climate change and environmental stresses such as drought stress. Development of high-yielding cultivars requires genetic diversity. Awareness about heritability of traits can be helpful in determining the appropriate breeding strategy for any environmental conditions. By progeny trial after a diallel crossing, the function of genes and inheritance of quantitative traits can be estimated. This increases the ability to select parental lines, to participate in crosses, and determines the management of generations in the segregating populations.

Materials and methods

In order to understand the genetic structure of grain yield and some morphological traits of bread wheat under normal and drought stress conditions, eight bread wheat cultivars including Star; Tirgan; Ehsan; Shirodi; Bam; Tajan, Yang and Akbari were planted in the crossing block and direct crosses were performed among the eight cultivars to produce F1 generation. This research carries out in Gorgan agricultural research station in 2020-2021 cropping season, under normal and drought stress conditions. The progenies of the crosses with their parents were evaluated based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Imposing stress by terminating irrigation was initiated at the Zadoks 60 (full heading emergence) stage.

Results and discussion

Combined analysis of variance under normal and drought stress conditions showed that the simple effects of genotype and environment were statistically significant in all traits. Also, the interaction effects of genotype×environment was statistically significant for grain yield, biological yield and 100-kernel weight. In fact, for these traits the response of genotypes was different under normal and stress conditions. Analysis of variance of Griffing's diallel method showed a statistically significant difference between genotypes in all studied traits. Therefore, among the progenies of the crosses it is possible to select superior genotypes. In biological yield and grain yield under both normal and drought stress conditions, Tirgan cultivar had the highest general combining ability, while Star cultivar showed the

* Corresponding author: Saeed Bagherikia; E-Mail: s.bagherikia@areeo.ac.ir

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

lowest general combining ability. Tirgan cultivar can be used to increase grain yield and biological yield under both conditions. In plant height, peduncle length and harvest index, Tajan×Yang, Ehsan×Shirodi and Bam×Yang crosses had the maximum specific combining ability, respectively. In other traits, in each condition, an individual cross had the highest specific combining ability. Under normal conditions, Tajan×Akbari cross had the highest specific combining ability in grain yield. Under drought stress conditions, Bam×Akbari cross had the highest specific combining ability in biological yield and grain yield, it simultaneously had a high specific combinability in 100-grain weight, harvest index and number of grains per spike. Therefore, Bam×Akbari cross was determined as the best cross in genetic improvement of desirable agronomic traits with high specific combining ability in yield and yield components, under drought stress conditions. The ratio of additive variance from genetic variance for plant height and peduncle length was greater than dominance variance. Subsequently, the highest narrow-sense heritability in both normal and drought stress conditions was related to plant height and peduncle length. In both normal and drought stress conditions, the highest degree of dominance was related to harvest index traits and number of grains per spike, respectively. Therefore, in these traits the lowest narrow-sense heritability, the lowest Baker's genetic ratio and the highest ratio of dominance variance from genetic variance were observed in both normal and drought stress conditions. In grain yield, a high ratio of dominance variance from genetic variance was assigned under normal (84%) and drought stress (88%) conditions, hence low narrow-sense heritability was observed under normal (8%) and drought stress (5%) conditions. In general, in grain yield, biological yield and 100-kernel weight, narrow-sense heritability was lower under drought stress conditions, compared to normal conditions, which indicates a greater ratio of non-additive effects under drought stress conditions.

Conclusion

The results of this study showed that under both conditions, Tirgan cultivar had the highest general combining ability in grain yield and biological yield. Tajan×Akbari and Bam×Akbari crosses were determined as the best cross in genetic improvement of desirable agronomic traits with high specific combining ability in yield and yield components, under normal and drought stress conditions, respectively. In grain yield, biological yield and 100-kernel weight, narrow-sense heritability was lower under drought stress conditions, compared to normal conditions. Based our results under both conditions in the progenies of the crosses, genetic improvement can be done in plant height and peduncle length in the initial generations, but for other traits including grain yield and its components, selection should be postponed to more advanced generations.

Keywords: Additive effect, Combinability, Diallel cross, Degree of dominance, Heritability

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5320.2139

مقاله پژوهشی

تجزیه ژنتیکی عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی دوره زایشی

سعید باقری‌کیا[1*]، حبیب‌اله سوقی[2]، منوچهر خدارحمی[3]

۱. استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

۲. دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

۳. دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اثر افزایشی
ترکیب‌پذیری
تلاقی دای‌آلل
درجه غالبیت
وراثت‌پذیری

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۴/۰۵

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۲

۱۶(۴): ۱۱۳۹-۱۱۵۲

چکیده

به‌منظور تجزیه ژنتیکی عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک گندم نان، هشت رقم گندم نان شامل استار، تیرگان، احسان، شیرودی، بم، تجن، یانگ و اکبری در یک بلوک تلاقی کشت شدند و تلاقی‌های مستقیم بین هشت رقم مذکور به‌منظور تولید نسل F1 انجام شد. نتاج حاصل از تلاقی به همراه والدین آن‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان تحت دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی دوره زایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند. اعمال تنش خشکی انتهایی در مرحله ظهور کامل سنبله (زادوکس ۶۰) انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات در دو محیط عادی و تنش خشکی دوره زایشی نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ×محیط برای صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه معنی‌دار بود. بیشترین مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی در صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی مربوط به رقم تیرگان بود. حداکثر ترکیب‌پذیری خصوصی عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل مربوط به تلاقی تجن×اکبری بود. تحت شرایط تنش خشکی تلاقی بم×اکبری در صفت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه حداکثر ترکیب‌پذیری خصوصی را داشت از طرفی در صفات وزن صد دانه، شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله نیز ترکیب‌پذیری خصوصی بالایی داشت و به‌عنوان تلاقی مطلوب تحت تنش خشکی شناخته شد. به‌طورکلی در صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه وراثت‌پذیری خصوصی در شرایط تنش کمتر از شرایط آبیاری کامل بود. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی می‌توان بهبود ژنتیکی صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل را در نسل‌های مقدماتی نتاج این تلاقی‌ها انجام داد، درحالی‌که در سایر صفات بایستی انجام گزینش تا نسل‌های پیشرفته ادامه یابد.

مقدمه

گندم نان مهم‌ترین محصول راهبردی و تأمین‌کننده غذای اصلی کشور است و نقش تعیین کننده آن در امنیت غذایی کشور بر کسی پوشیده نیست. عملکرد گندم همواره تحت تأثیر پدیده‌های اقلیمی و تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی است. ایجاد ارقام پر محصول نیازمند وجود تنوع ژنتیکی است که بتواند تحت شرایط محیطی نامساعد نیز عملکرد قابل قبولی برداشت کرد (Katerji et al., 2009).

بررسی نحوه توارث صفات در شرایط محیطی متفاوت بیانگر این است که با تغییر شرایط محیطی، نحوه عمل ژن‌ها، برآورد پارامترهای ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات ممکن است

* نگارنده پاسخگو: سعید باقری‌کیا. پست الکترونیک: s.bagherikia@areeo.ac.ir

تغییر نماید (Dana and Dasgupta, 2001) که این موضوع به وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط نسبت داده شده است (Sharma et al., 2004)؛ بنابراین به نظر می‌رسد آگاهی از نحوه توارث صفات بتواند در اتخاذ راهکار مناسب بهنژادی برای هر شرایط محیطی راهگشا باشد (Golparvar et al., 2011). بهنژادگران به دنبال تولید ارقامی پر محصول از طریق تلاقی لاین‌های والدی با ترکیب‌پذیری بالا هستند (Kumar et al., 2015). آگاهی از قدرت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در ژنوتیپ‌های گندم و همچنین اطلاع از ماهیت و نحوه توارث و عمل ژن‌ها، در بین مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌ها، باعث افزایش توانایی گزینش لاین‌های والدی مناسب جهت شرکت در تلاقی‌ها شده و نحوه پیشبرد نسل و گزینش را در جمعیت‌های در حال تفرق تعیین می‌کند (Kearsey and Pooni, 1996).

برای بررسی آزمون نتاج حاصل از تلاقی‌های دای‌آلل مدل‌های آماری و سازوکارهای بهنژادی متفاوتی توسعه‌یافته‌اند. روش گریفینگ (Griffing, 1956) یکی از روش‌های متداول آنالیز آزمون تلاقی‌های دای‌آلل است که اطلاعات ارزشمندی درباره توانایی والدین در انتقال صفات مطلوب زراعی به نتاج در اختیار بهنژادگران قرار داده است (Zhang et al., 2005; Seboka et al., 2009). در این روش تغییرات ترکیب‌پذیری شامل دو بخش ترکیب‌پذیری عمومی والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها است (Yan and Hunt. 2002). دلیل اهمیت برآورد ترکیب‌پذیری عمومی والدین پیش از هر گونه تلاقی در گیاهان خودگشن این است که تلاقی‌ها در این گیاهان به‌صورت دستی صورت گرفته که مستلزم مهارت و صرف زمان زیادی است؛ بنابراین استفاده از والدینی با ترکیب‌پذیری عمومی بالا باعث کاهش تعداد تلاقی‌ها و غربالگری‌های پس‌ازآن می‌شود که نتیجه آن صرفه‌جویی در زمان و هزینه است (Rigatti et al., 2018).

قابلیت ترکیب‌پذیری و عمل ژن‌ها و نحوه توارث اجزای عملکرد در تلاقی‌های دای‌آلل در گندم نان توسط سایر محققان موردبررسی قرار گرفته است (Yao et al., 2014; Shehzad et al., 2015; Ljubičić et al., 2017). با بررسی یک آزمایش دای‌آلل با شش ژنوتیپ مشخص شده است که واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در صفات ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه ازنظر آماری معنی‌دار بوده است، به‌طوری‌که هم اثر افزایشی و هم اثر غیر افزایشی در توارث این صفات نقش داشته‌اند (Soughi and Khodarahmi, 2021). اسحقی شمس‌آبادی و همکاران (Shamsabadi et al., 2020) با بررسی برخی صفات مورفولوژیک در یک آزمایش دای‌آلل گزارش کردند که واریانس غیر افزایشی نقش بیشتری در اکثر صفات ایفا می‌کند.

اطلاعات از ساختار ژنتیکی جمعیت و والدین و نحوه عمل ژن‌های کنترل در شرایط معمول آبیاری و تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش ضریب موفقیت در برنامه‌های اصلاحی تحمل برای تنش خشکی شود (Badieh et al., 2012; Madadi et al., 2020). نحوه عملکرد ژن و ارزیابی پارامترهای ژنتیکی تحت هر دو شرایط آبیاری عادی و تنش خشکی (Tousi Mojarrad and Ghannadha, 2008; Golparvar et al., 2011; Salehi et al., 2014; Zabet et al., 2020) انجام شده است. این پژوهش با هدف تجزیه ژنتیکی عملکرد و برخی صفات زراعی گندم نان و همچنین شناخت و تولید تلاقی‌های مناسب تحت دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی مرحله زایشی جهت استفاده در برنامه‌های بهنژادی گندم نان در اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی عراقی محله گرگان انجام شد که در پنج کیلومتری شمال گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی واقع شده است. منطقه اجرای آزمایش به‌طورمعمول با شرایط خشکی و تنش انتهای فصل برای گندم مواجه است. به‌منظور اجرای پژوهش حاضر هشت رقم گندم نان بهاره شامل استار، تیرگان، احسان، شیرودی، بم، تجن، یانگ و اکبری در یک بلوک تلاقی کشت شدند و تلاقی‌های مستقیم بین آن‌ها به‌منظور تولید نسل اول (F1) در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. تعداد برابری از بذور هشت والد مذکور به همراه ۲۸ نتاج نسل اول از هر ژنوتیپ برای کشت در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی دوره زایشی آماده شدند. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ برای هر شرایط رطوبتی، ۳۶ ژنوتیپ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. جهت اعمال تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله ظهور کامل سنبله (زادوکس ۶۰) انجام شد (Zadoks et al., 1974). در شرایط بدون تنش دومرتبه

آبیاری در مراحل ظهور کامل سنبله (زادوکس ۶۰) و خمیری (زادوکس ۷۱) انجام شد.

تاریخ کاشت آزمایش برای هر دو شرایط در ۱۰ آذرماه بود. هرکدام از ۲۸ نتاج F1 و ۸ والد (درمجموع ۳۶ تیمار) در دو خط یک متری و روی یک پشته با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر کشت شدند. میزان کودهای شیمیایی مصرفی در هر مرحله رشدی گیاه بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تعیین شد. در مرحله پنجه‌زنی، علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ با علف‌کش آتلانتیس با میزان ۱/۵ لیتر در هکتار کنترل شدند.

پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، برای اندازه‌گیری صفات از هر کرت به‌صورت تصادفی ۱۰ بوته جداگانه به روش دستی برداشت شدند و صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، طول پدانکل، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه شد.

پیش از انجام آنالیزهای آماری نرمال بودن خطاهای آزمایشی و همگنی واریانس‌های درون تیماری با آزمون کولموگروف-اسیمرنوف با استفاده از نرم‌افزار SPSS 26 مورد آزمون قرار گرفت. تجزیه واریانس مرکب و ساده داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر مبنای روش دوم (Method 2) گریفینگ با استفاده از مدل‌های اول و دوم آن به‌وسیله نرم‌افزار SAS 9. 4 و بر اساس دستور پیشنهادی ژانگ و همکاران انجام شد (Zhang et al., 2005). با استفاده از روابط زیر (رابطه ۱ و ۲) نسبت ژنتیکی (Baker, 1978) و درجه غالبیت (Mather and Jinks, 1982) محاسبه شد.

$$Genetic\ ratio = \frac{2\sigma_g^2}{2\sigma_g^2+2\sigma_s^2} \quad [۱]$$

$$Degree\ of\ Dominance = \sqrt{\frac{2\sigma_D^2}{\sigma_A^2}} \quad [۲]$$

در روابط بالا σ_g^2، σ_s^2، σ_D^2 و σ_A^2 به ترتیب واریانس ترکیب‌پذیری عمومی، واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی، واریانس غالبیت و واریانس افزایشی هستند.

نتایج و بحث

نرمال بودن و همگنی واریانس خطاهای آزمایشی برای همه صفات اندازه‌گیری شده در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی دوره زایشی مورد آزمون و تائید قرار گرفت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). نتایج مقایسه میانگین صفات تحت دو شرایط رطوبتی نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش صفات موردبررسی گردید به‌طوری‌که اختلاف ایجادشده در دو محیط در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین کاهش در اثر تنش خشکی عملکرد دانه (۳۲ درصد) و عملکرد بیولوژیک (۲۶ درصد) بود (جدول ۱).

جدول ۱. مقایسه میانگین صفات مختلف گندم نان تحت شرایط عادی و تنش خشکی

Table 1. Mean comparison of traits in bread wheat under normal and drought stress conditions

آبیاری Irrigation	عملکرد بیولوژیک BY	عملکرد دانه GY	شاخص برداشت HI	تعداد دانه در سنبله NGS	وزن صد دانه HKW	ارتفاع بوته PLH	طول پدانکل PDL
	---------g.plant^{-1}----------		%		g	----------cm----------	
آبیاری کامل Complete irrigation	61.31 a	19.95 a	0.33 a	51.41 a	4.36 a	90.42 a	32.78
تنش خشکی Drought stress	45.41 b	13.63 b	0.30 b	41.63 b	3.84 b	81.34 b	27.01
کاهش (درصد) Reduction (%)	*0.26*	*0.32*	*0.08*	*0.19*	*0.12*	*0.10*	*0.18*

در هر ستون میانگین‌هایی که حرف مشترک ندارند با هم تفاوت معنی‌دار دارند (LSD 0.01).

Means in each column followed by different letter are significantly different (LSD = 0.01). BY (Biological yield), GY (Grain yield), HI (Harvest index), NGS (Number of grains per spike), HKW (Hundred kernel weight), PLH (Plant height), PDL (Peduncle length).

تجزیه واریانس مرکب صفات در دو محیط عادی و تنش خشکی نشان داد که اثرات ساده ژنوتیپ و محیط در همه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین اثر متقابل ژنوتیپ×محیط برای صفات عملکرد دانه و وزن صد دانه در سطح احتمال یک درصد و برای صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این بدان معناست که در صفات مذکور واکنش ژنوتیپ‌ها در دو محیط عادی و تنش متفاوت بوده است. وجود اثر متقابل

ژنوتیپ×محیط تحت شرایط نرمال و تنش‌های غیر زیستی برای صفات زراعی گندم نان توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Tousi Mojarrad and Ghannadha, 2008; Akbarpour and Dehghani, 2017).

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه سایر آنالیزها برای این صفات در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی به‌صورت جداگانه انجام شد. درحالی‌که اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در صفات شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته و طول پدانکل معنی‌دار نبود و به همین علت از میانگین دو محیط برای انجام سایر آنالیزها استفاده گردید.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف گندم نان تحت شرایط عادی و تنش خشکی

Table 2. Combined analysis of variance in different traits of bread wheat under normal and drought stress conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک BY	عملکرد دانه GY	شاخص برداشت HI	تعداد دانه در سنبله NGS	وزن صد دانه HKW	ارتفاع بوته PLH	طول پدانکل PDL
ژنوتیپ Genotype (G)	35	239.03**	56.03**	102.9**	84.37**	0.64**	105.99**	38.8**
محیط Enviromnet (E)	1	10442.38**	1125.7**	100.8**	3266.67**	11.62**	3434.4**	767.6**
ژنوتیپ×محیط G×E	35	42.50*	5.15**	18.81ns	27.32ns	0.06**	6.53ns	3.07ns
تکرار (محیط) Replication(E)	4	29.09ns	0.65ns	16.69ns	17.59ns	0.02ns	5.27ns	1.68ns
خطا Error	140	25.39	2.24	14.25	27.57	0.03	9.48	2.24
ضریب تغییرات CV%		*11.36*	*11.83*	*13.29*	*12.34*	*4.78*	*4.31*	*4.94*

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری است.

*,** and ns: Significant at 5% and 1% probability level and no significant, respectively. BY (Biological yield), GY (Grain yield), HI (Harvest index), NGS (Number of grains per spike), HKW (Hundred kernel weight), PLH (Plant height), PDL (Peduncle length).

نتایج تجزیه واریانس دای‌آلل به روش گریفینگ در جدول ۳ ارائه شده است. بر این اساس اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در همه صفات معنی‌دار بود. این امر، بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه (والدین و نتاج F1 حاصل از تلاقی) و امکان گزینش بین آن‌ها است؛ بنابراین در بین نتاج حاصل از این تلاقی‌ها، می‌توان اقدام به گزینش ژنوتیپ‌های برتر نمود. اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها در سایر مطالعات دای‌آلل گندم در شرایط آبیاری کامل (Shamsabadi et al., 2020; Mohammadi et al., 2021 Vanda and Houshmand, 2012) و تنش خشکی گزارش شده است (Safarian and Abdolshahi, 2014; Biriyay et al., 2017; Salehi et al., 2014; Zabet et al., 2020). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی برای صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن صد دانه معنی‌دار بود. برای سایر صفات نیز که از میانگین دو محیط برای آنالیز استفاده شده بود قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و قابلیت ترکیب‌پذیری معنی‌دار بود (جدول ۳). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت هر دو اثرات افزایشی و غالبیت ژن‌ها در توارث صفات موردمطالعه است (Golparvar et al., 2011). معنی‌دار بودن ترکیب‌پذیری عمومی نتیجه اثرات افزایشی آلل‌ها و ترکیب‌پذیری خصوصی نتیجه اثرات غیر افزایشی ژن‌ها است (Reif et al., 2007). طوسی مجرد و قنادها (Tousi Mojarrad and Ghannadha, 2008) در یک مطالعه دای‌آلل ۷×۷ در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی گزارش کردند که صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه توسط هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی کنترل می‌شوند.

از تلاقی‌های دای‌آلل در مطالعات ژنتیکی به‌منظور تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری صفات مهم زراعی در بین مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌ها، برای تشخیص والدین برتر در تولید تلاقی و اصلاح ارقام جدید استفاده می‌شود. (Kearsey and Pooni, 1996). در جدول شماره ۳ مقادیر قدرت ترکیب‌پذیری

عمومی (GCA) به تفکیک والدین برای صفات موردمطالعه ارائه شده است که مقادیر آن بیانگر بهترین ارقام موردمطالعه جهت کاهش یا افزایش صفات مختلف در تلاقی در هر شرایط است. در صفات عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی رقم تیرگان بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی را داشت درحالی‌که رقم استار کمترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی را نشان داد (جدول ۴)؛ بنابراین برای افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از رقم تیرگان در هر دو شرایط می‌توان استفاده کرد. همچنین تحت هر دو شرایط بیشترین مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی در صفت وزن صد دانه به رقم تیرگان اختصاص داشت و کمترین مقادیر در رقم تجن مشاهده شد.

جدول ۳. تجزیه واریانس برخی از صفات زراعی گندم نان حاصل از تلاقی دای‌آلل ۸×۸ تحت شرایط عادی و تنش خشکی

Table 3. Analysis of variance for some agronomic traits of bread wheat derived from the 8×8 diallel crosses under normal and drought stress conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک BY		عملکرد دانه GY		وزن صد دانه HKW	
		عادی N	تنش S	عادی N	تنش S	عادی N	تنش S
تکرار Replication	2	44.39^{ns}	13.79^{ns}	0.30^{ns}	0.99^{ns}	0.03^{ns}	0.02^{ns}
ژنوتیپ Genotype	35	171.05*	110.5**	37.82**	23.35**	0.37**	0.33**
ترکیب‌پذیری عمومی GCA	7	274.08**	161.2**	49.83**	27.42**	9.41**	0.44**
ترکیب‌پذیری خصوصی SCA	28	145.30**	97.80**	34.82**	22.34**	10.99**	0.30**
خطا Error	70	32.63	18.14	1.79	2.70	0.03	0.03
ضریب تغییرات CV%		*11.13*	*11.38*	*8.94*	*15.83*	*4.59*	*5.00*

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت HI	تعداد دانه در سنبله NGS	ارتفاع بوته PLH	طول پدانکل PDL
		میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M
تکرار Replication	2	0.06^{ns}	13.59^{ns}	3.49ns	0.18^{ns}
ژنوتیپ Genotype	35	51.48**	42.18**	53.0**	19.43**
ترکیب‌پذیری عمومی GCA	7	49.52**	41.86*	82.93**	37.96**
ترکیب‌پذیری خصوصی SCA	28	51.97**	42.26**	45.51**	14.8**
خطا Error	70	7.64	17.73	4.67	1.33
ضریب تغییرات CV%		*9.73*	*9.90*	*3.03*	*4.13*

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری است

*,** and ns: Significant at 5% and 1% probability level and no significant, respectively. BY (Biological yield), GY (Grain yield), HI (Harvest index), NGS (Number of grains per spike), HKW (Hundred kernel weight), PLH (Plant height), PDL (Peduncle length). N, S and M: Normal conditions, drought stress conditions and mean of two environments, respectively.

با در نظر گرفتن میانگین دو محیط بیشترین مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی در صفات شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله به رقم تیرگان اختصاص داشت و کمترین مقادیر به ترتیب در ارقام شیرودی و استار مشاهده شد (جدول ۴).

بالاترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی در صفت ارتفاع بوته به رقم احسان و کمترین آن به رقم تجن اختصاص داشت؛ بنابراین می‌توان از رقم احسان و تجن جهت تولید تلاقیی استفاده کرد که به ترتیب ارتفاع بیشتر و کمتری داشته باشد (جدول ۴).

با توجه به اینکه تنش خشکی در مرحله ظهور سنبله اعمال شده بود بیشترین تأثیر تنش خشکی در ارتفاع گیاه ناشی از تغییر در طول پدانکل است. (Bagherikia et al., 2018). لذا با توجه به تأثیر مثبت طول پدانکل در پر شدن دانه‌ها در شرایط تنش خشکی (Okuyama et al., 2005) می‌توان از این رقم در برنامه‌های تلاقی برای تولید ارقام متحمل به خشکی در جهت افزایش طول پدانکل بهره جست.

جدول ۴. مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی برای صفات موردبررسی در هشت والد گندم نان تحت شرایط عادی و تنش خشکی

Table 4. General combining ability for evaluated traits in eight parents of bread wheat under normal and drought stress conditions

		عملکرد بیولوژیک BY		عملکرد دانه GY		وزن صد دانه HKW	
والد	Parent	عادی N	تنش S	عادی N	تنش S	عادی N	تنش S
استار	Star	-5.76**	-4.51**	-1.68**	-1.07**	-0.06ns	-0.15**
تیرگان	Tirgan	2.90**	2.88**	2.15**	1.63**	0.09**	0.12**
احسان	Ehsan	0.74ns	1.28ns	0.11ns	-0.06ns	0.05ns	0.10**
شیرودی	Shirodi	-1.47ns	-0.54ns	-1.07**	-0.81**	0.06ns	0.08*
بم	Bam	2.80**	1.36ns	0.65**	-0.09ns	-0.14**	-0.11**
تجن	Tajan	-2.51*	-1.85*	-1.34**	-0.94**	-0.16**	-0.16**
یانگ	Yang	1.56ns	1.33ns	0.82**	0.96**	0.07*	0.03ns
اکبری	Akbari	1.73ns	0.04ns	0.36ns	0.38ns	0.08**	0.11**

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

		شاخص برداشت HI	تعداد دانه در سنبله NGS	ارتفاع بوته PLH	طول پدانکل PDL
والد	Parent	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M
استار	Star	0.46ns	-2.37**	-0.49 ns	-1.93**
تیرگان	Tirgan	2.48**	1.57*	0.19 ns	0.13 ns
احسان	Ehsan	-0.71 ns	0.27 ns	2.01**	1.01**
شیرودی	Shirodi	-1.32**	-0.1 ns	0.43 ns	0.44*
بم	Bam	-0.84 ns	0.25 ns	-0.98**	1.31**
تجن	Tajan	-1.20*	1.13 ns	-3.21**	-1.45**
یانگ	Yang	0.85 ns	-0.33 ns	1.89**	0.23 ns
اکبری	Akbari	0.28 ns	-0.42 ns	0.16 ns	0.25 ns

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری است

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% probability level and no significant, respectively. BY (Biological yield), GY (Grain yield), HI (Harvest index), NGS (Number of grains per spike), HKW (Hundred kernel weight), PLH (Plant height), PDL (Peduncle length). N, S and M: Normal conditions, drought stress conditions and mean of two environments, respectively.

اکبرپور و همکاران (Akbarpour and Dehghani, 2017) در یک تلاقی دای‌آلل ۷×۷، رقم روشن را بهترین ترکیب‌شونده با بالاترین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در دو شرایط آبیاری کامل و تنش شوری معرفی کردند. در آزمایشی نیمه دای‌آلل با تلاقی‌های هشت ژنوتیپ گندم تحت تنش خشکی، رقم پیشتاز بیشترین ترکیب‌پذیر عمومی را در عملکرد دانه داشت (Golparvar et al., 2011). همچنین در یک آزمایش نیمه دای‌آلل ۷×۷ که تحت دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی انجام شده بود بیشترین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی برای

صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل مربوط به رقم روشن گزارش شد (Tousi Mojarrad and Ghannadha, 2008). به‌طورکلی در گزارش‌های مختلف دای‌آلل گندم در کشور با بررسی صفات فنولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ارقام و لاین‌های مختلفی به‌عنوان مناسب‌ترین والدها در جهت بهبود صفات مهم زراعی معرفی شده‌اند (Abdi et al., 2015; Zabet et al., 2020; Soughi and Khodarahmi, 2021).

مقادیر ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای هر یک از صفات موردمطالعه در جدول ۵ نمایش داده شده است. برای هرکدام از صفات موردبررسی ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و منفی معنی‌داری مشاهده شد که ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده افزایش و کاهش آن صفت در مقایسه با میانگین دو والد در تلاقی موردنظر است. در صفات تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، طول پدانکل و شاخص برداشت (که طبق جدول ۲ اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در آن‌ها معنی‌دار نبود) به ترتیب تلاقی‌های احسان×یانگ، تجن×یانگ، احسان×شیرودی و بم×یانگ حداکثر مقدار ترکیب‌پذیری خصوصی را داشتند. در صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه در هر یک از شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی یک تلاقی حداکثر مقدار ترکیب‌پذیری خصوصی را داشتند (جدول ۵) که تائید کننده وجود اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در صفات مذکور است (جدول ۲). در صفت عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل تلاقی تجن×اکبری و در شرایط تنش خشکی تلاقی بم×اکبری حداکثر مقدار ترکیب‌پذیری خصوصی را داشتند (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی تلاقی بم×اکبری در صفت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه حداکثر ترکیب‌پذیری خصوصی را داشت از طرفی در صفات وزن صد دانه، شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله نیز ترکیب‌پذیری خصوصی بالایی داشت و به‌عنوان تلاقی مطلوب در بهبود ژنتیکی صفات زراعی تحت تنش خشکی شناخته شد (جدول ۵). با توجه به اینکه در برخی از صفات حد پایین و در برخی صفات حد بالای یک صفت مطلوب است بنابراین بر اساس اهداف بهنژادگر می‌تواند هر یک از تلاقی‌ها را در شرایط نرمال و تنش خشکی مورداستفاده قرار دهد.

در جدول ۶ برآورد واریانس ترکیب‌پذیری عمومی، واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی و اجزاء واریانس‌های فنوتیپی و ژنوتیپی ارائه شده است. بر اساس داده‌های هر دو شرایط رطوبتی سهم واریانس افزایشی از واریانس ژنتیکی برای صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل بیشتر از واریانس غالبیت بود که بیانگر آن است که عمل افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات نقش بالاتری دارند. این موضوع توسط نسبت‌های ژنتیکی بیکر نیز قابل تائید بود (جدول ۶). بیشترین وراثت‌پذیری خصوصی مربوط به صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل بود (جدول ۶). در سایر مطالعات روی گندم نان، قابلیت وراثت‌پذیری خصوصی و عمومی بالایی برای ارتفاع بوته (Iqbal et al., 2013; Soughi and Khodarahmi, 2021) و طول پدانکل (Tousi Mojarrad and Ghannadha, 2008) گزارش شده است. تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در صفت وزن صد دانه به ترتیب ۶۳ و ۸۴ درصد از واریانس ژنتیکی به واریانس غالبیت اختصاص داشت که نشان‌دهنده این است که سهم اثر غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی وزن صد دانه به‌مراتب بیشتر از اثر افزایشی آن‌ها است (جدول ۶). در مورد وزن صد دانه گزارش‌های متناقضی وجود دارد؛ در بیشتر مطالعات مطابق با نتایج این تحقیق عمل غالبیت ژن‌ها برای کنترل این صفت گزارش شده است (Ejaz-Ul-Hassan and Khaliq, 2008; Golparvar et al., 2011; Rashid et al.,2012; Mohammadi et al., 2017) درحالی‌که در برخی از گزارش‌ها روی عمل افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفت اشاره شده است (Hama Amin and Towfiq, 2019; Soughi and Khodarahmi, 2021). وراثت‌پذیری عمومی و وراثت‌پذیری خصوصی در صفت وزن صد دانه در شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۸۸ و ۳۲ درصد و در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۹۶ و ۱۵ درصد برآورد شد. اختلاف زیاد این دو برآورد نیز حاکی از سهم بیشتر واریانس غالبیت در کنترل ژنتیکی این صفت در هر دو شرایط است (Kamalizadeh et al., 2013)؛ بنابراین برای تصمیم‌گیری برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس قدرت ترکیب‌پذیری عمومی باید با احتیاط بیشتری صورت پذیرد. وراثت‌پذیری خصوصی بیشتر وزن صد دانه تحت تنش عادی حاکی از سهم بیشتر واریانس غالبیت از واریانس ژنتیکی بر کنترل این صفت نسبت به شرایط تنش خشکی است.

بیشترین درجه غالبیت به ترتیب مربوط به صفات شاخص برداشت (۶/۶۷) و تعداد دانه در سنبله (۶/۶۶) بود (جدول ۶). از همین رو به‌طورکلی در صفات مذکور کمترین وراثت‌پذیری خصوصی، کمترین نسبت ژنتیکی بیکر و بیشترین سهم

واریانس غالبیت از واریانس ژنتیکی در صفات شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله مشاهده گردید (جدول ۶). در صفت عملکرد دانه واریانس غالبیت سهم قابل‌توجهی از واریانس ژنتیکی را در شرایط آبیاری کامل (۸۴ درصد) و تنش خشکی (۸۸ درصد) به خود اختصاص داد از همین رو وراثت‌پذیری خصوصی پایینی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی (به ترتیب ۸ درصد و ۵ درصد) مشاهده شد. همین روند در صفت عملکرد بیولوژیک نیز دیده شد به‌طوری‌که سهم واریانس غالبیت از واریانس ژنتیکی بالا و وراثت‌پذیری پایینی در شرایط تنش عادی (۲۰ درصد) و تنش خشکی (۱۶ درصد) ملاحظه گردید (جدول ۶).

جدول ۵. مقادیر ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای صفات مورد ارزیابی تحت شرایط عادی و تنش خشکی

Table 5. Specific combining ability of crosses for the evaluated traits under normal and drought stress conditions

	عملکرد بیولوژیک BY		عملکرد دانه GY		وزن صد دانه HKW		شاخص برداشت HI	تعداد دانه در سنبله NGS	ارتفاع بوته PLH	طول پدانکل PDL
تلاقی Cross	N عادی	تنش S	عادی N	تنش S	عادی N	تنش S	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M
1×2#	3.42^{ns}	4.78^{*}	1.44^{*}	2.79^{**}	0.14^{ns}	0.31^{**}	1.93^{ns}	-1.55^{ns}	4.17^{**}	1.53^{*}
1×3	1.01^{ns}	3.72^{ns}	-1.48^{*}	-0.19^{ns}	0.42^{**}	0.56^{**}	-3.30^{*}	-0.09^{ns}	-0.67^{ns}	-2.16^{**}
1×4	-2.04^{ns}	-5.80^{*}	0.70^{ns}	-0.34^{ns}	-0.05^{ns}	0.12^{ns}	3.41^{*}	-3.05^{ns}	0.81^{ns}	-1.26^{*}
1×5	4.98^{ns}	1.14^{ns}	-0.79^{ns}	-1.06^{ns}	-0.13^{ns}	-0.03^{ns}	-4.02^{**}	2.93^{ns}	-1.21^{ns}	1.99^{**}
1×6	-0.07^{ns}	-4.61^{*}	-2.73^{ns}	-2.64^{**}	0.17^{ns}	-0.15^{ns}	-5.40^{**}	0.38^{ns}	-4.52^{**}	0.74^{ns}
1×7	-2.98^{ns}	-7.73^{**}	-1.62^{*}	-4.31^{**}	-0.07^{ns}	-0.41^{**}	-4.18^{**}	3.01^{ns}	-1.47^{ns}	0.25^{ns}
1×8	-8.07^{**}	-7.58^{**}	0.48^{ns}	-2.47^{**}	-0.22^{*}	-0.41^{**}	0.00^{ns}	0.93^{ns}	-4.77^{**}	-0.86^{ns}
2×3	-3.83^{ns}	-1.67^{ns}	-3.10^{**}	0.32^{ns}	-0.44^{**}	-0.51^{**}	1.50^{ns}	-3.19^{ns}	-3.51^{**}	0.51^{ns}
2×4	-5.08^{ns}	-2.79	0.38^{ns}	-1.03^{ns}	-0.08^{ns}	0.05^{ns}	-2.13^{ns}	2.35^{ns}	-5.26^{**}	3.21^{**}
2×5	4.95^{ns}	-5.72^{*}	1.54^{*}	0.05^{ns}	-0.55^{**}	-0.33^{**}	1.56^{ns}	2.33^{ns}	0.45^{ns}	-0.54^{ns}
2×6	3.66^{ns}	-0.9^{ns}	1.86^{**}	-1.73^{*}	0.11^{ns}	-0.08^{ns}	-1.59^{ns}	1.61^{ns}	0.41^{ns}	2.10^{**}
2×7	2.89^{ns}	1.48^{ns}	4.03^{**}	2.83^{**}	0.41^{**}	0.32^{**}	3.71^{*}	-7.42^{**}	-1.43^{ns}	0.40^{ns}
2×8	-4.58^{ns}	-7.90^{**}	-4.09^{**}	-1.49^{ns}	0.49^{**}	0.05^{ns}	0.49^{ns}	4.83^{*}	3.40^{**}	-1.35^{*}
3×4	-10.6^{**}	-0.95^{ns}	-4.15^{**}	-1.38^{ns}	-0.57^{**}	-0.43^{**}	-3.00^{*}	-2.52^{ns}	-1.14^{ns}	4.55^{**}
3×5	-5.69^{ns}	-9.81^{**}	3.52^{**}	-2.86^{**}	-0.54^{**}	-0.44^{**}	-0.40^{ns}	-1.87^{ns}	-6.81^{**}	-1.25^{*}
3×6	-10.4^{**}	-3.66^{ns}	-0.37^{ns}	-3.88^{**}	0.02^{ns}	-0.06^{ns}	-5.72^{**}	0.91^{ns}	-1.43^{ns}	-0.76^{ns}
3×7	11.54^{**}	5.02^{*}	2.47^{**}	2.15^{*}	-0.31^{**}	-0.19^{*}	1.27^{ns}	7.38^{**}	-1.83^{ns}	1.89^{**}
3×8	-2.59^{ns}	-1.06^{ns}	1.50^{*}	0.43^{ns}	0.14^{ns}	0.17^{ns}	2.41^{ns}	-2.87	0.45^{ns}	2.47^{**}
4×5	6.76^{*}	9.97^{**}	-4.72^{**}	1.12^{ns}	-0.31^{**}	-0.19^{*}	-0.95^{ns}	5.16^{*}	-2.68^{*}	1.00^{ns}
4×6	8.97^{**}	-0.72^{ns}	-1.83^{**}	1.03^{ns}	-0.12^{ns}	-0.01^{ns}	0.71^{ns}	-0.72^{ns}	2.73^{*}	0.40^{ns}
4×7	0.69^{ns}	-3.00^{ns}	4.55^{**}	-1.80^{*}	-0.09^{ns}	0.10^{ns}	-2.91^{*}	1.58^{ns}	5.75^{**}	1.43^{*}
4×8	6.76^{*}	3.22^{ns}	1.80^{**}	-0.46^{ns}	0.36^{**}	0.39^{**}	0.97^{ns}	1.83^{ns}	-0.94^{ns}	1.67^{**}
5×6	-8.17^{**}	-5.48^{*}	-5.42^{**}	-0.82^{ns}	0.24^{*}	0.28^{**}	1.52^{ns}	1.60^{ns}	-3.01^{**}	-1.81^{**}
5×7	1.55^{ns}	-0.23^{ns}	-2.13^{**}	2.51^{**}	0.01^{ns}	-0.01^{ns}	7.15^{**}	-4.27^{ns}	-1.54^{ns}	-2.84^{**}
5×8	8.65^{**}	10.49^{**}	-2.42^{**}	5.86^{**}	0.39^{**}	0.41^{**}	6.17^{**}	5.15^{*}	1.00^{ns}	-0.24^{ns}
6×7	3.53^{ns}	3.18^{ns}	5.03^{**}	0.83^{ns}	0.17^{ns}	0.30^{**}	0.12^{ns}	4.01^{ns}	7.26^{**}	0.96^{ns}
6×8	-1.07^{ns}	2.47^{ns}	6.28^{**}	2.34^{**}	-0.32^{**}	0.00^{ns}	4.22^{**}	-3.57^{ns}	1.00^{ns}	0.01^{ns}
7×8	8.32^{**}	5.09^{*}	3.58^{**}	3.21^{**}	0.02^{ns}	0.27^{**}	3.17^{*}	2.40^{ns}	1.13^{ns}	1.20^{*}

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری است. # ۱: استار؛ ۲: تیرگان؛ ۳: احسان؛ ۴: شیرودی؛ ۵: بم؛ ۶: تجن؛ ۷: یانگ و ۸: اکبری

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% probability level and no significant, respectively. BY (Biological yield), GY (Grain yield), HI (Harvest index), NGS (Number of grains per spike), HKW (Hundred kernel weight), PLH (Plant height), PDL (Peduncle length). N and S: Normal and drought stress conditions, respectively. # 1: Star; 2: Tirgan; 3: Ehsan;4: Shirodi;6: Bam;6: Tajan; 7: Yang & 8: Akbari. N, S and M: Normal conditions, drought stress conditions and mean of two environments, respectively.

به‌طورکلی در صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه وراثت‌پذیری خصوصی در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۶) که نشان‌دهنده سهم قابل‌توجه اثر غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی و بروز صفات در شرایط تنش خشکی است. کاهش وراثت‌پذیری خصوصی در شرایط تنش به کمتر برآورد شدن واریانس افزایشی نسبت به غالبیت و درنتیجه پیچیده‌تر بودن الگوی توارث صفات در شرایط تنش نسبت داده شده است (Akbarpour and Dehghani, 2017).

با توجه به سهم بیشتر اثرات غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی و همچنین اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه، بهتر است گزینش در بین نتاج تلاقی‌های مختلف تا نسل‌های پیشرفته ادامه یابد. در گزارش‌های متعددی با استفاده از تجزیه دای‌آلل با مطالعه نحوه توارث عملکرد دانه مشخص شده است که عملکرد دانه و اجزای آن در گندم نان بیشتر توسط ژن‌های غیر افزایشی کنترل می‌شود (Riazand Chowdhry, 2003; Kamaluddin et al., 2007; Hama Amin and Towfiq, 2019; Kumar et al., 2019)؛ اما برخلاف نتایج تحقیق حاضر، سهم بیشتر واریانس افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی تعداد دانه در سنبله (Ahmadi et al., 2003)، وزن صد دانه (Ahmadi et al., 2003; Topal et al., 2004) نیز گزارش شده است. دلیل این تضاد در نتایج، احتمالاً به ماهیت ژنتیکی متفاوت ژنوتیپ‌های موردمطالعه در تحقیقات مختلف برمی‌گردد (Sadeghzadeh-Ahari et al., 2018).

جدول ۶. برآورد اجزاء واریانس فنوتیپی و ژنوتیپی و وراثت‌پذیری برای صفات زراعی گندم نان تحت شرایط عادی و تنش خشکی

Table 6. Estimates of phenotypic and genotypic variance and heritability for agronomic traits of bread wheat under normal and drought stress conditions

	عملکرد بیولوژیک BY		عملکرد دانه GY		وزن صد دانه HKW		شاخص برداشت HI	تعداد دانه در سنبله NGS	ارتفاع بوته PLH	طول پدانکل PDL
پارامترهای ژنتیکی Genetic parameters	عادی N	تنش S	عادی N	تنش S	عادی N	تنش S	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M	میانگین دو محیط M
واریانس ترکیب‌پذیری عمومی Variances of GCA(σ_g^2)	25.52	9.01	0.88	0.28	0.05	0.07	0.99	0.70	14.35	2.97
واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی Variances of SCA (σ_s^2)	170.9	76.96	9.63	3.98	0.16	0.73	21.62	15.17	16.51	1.74
واریانس افزایشی Additive variance(σ_A^2)	51.05	18.01	1.77	0.56	0.09	0.14	1.99	1.40	28.70	5.95
سهم واریانس افزایشی از واریانس ژنتیکی (٪) $\sigma_A^2/\sigma_A^2+\sigma_D^2$	23	19	16	12	37	16	8	8	63	77
واریانس غالبیت Dominance variance	170.9	76.96	9.63	3.98	0.16	0.73	21.62	15.17	16.51	1.74
سهم واریانس غالبیت از واریانس ژنتیکی (٪) $\sigma_D^2/\sigma_A^2+\sigma_D^2$	77	81	84	88	63	84	92	92	37	23
درجه غالبیت Degree of dominance	2.59	2.92	3.30	3.78	1.86	3.26	4.67	4.66	1.07	0.77
واریانس محیطی Error	32.63	18.15	1.79	2.70	0.03	0.03	9.79	38.40	11.59	2.84
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	254.6	113.1	13.2	7.25	0.28	0.90	33.39	54.97	56.79	10.53
وراثت‌پذیری عمومی Broad-sense heritability	0.87	0.84	0.86	0.63	0.88	0.96	0.71	0.30	0.80	0.73
وراثت‌پذیری خصوصی Narrow-sense heritability	0.20	0.16	0.13	0.08	0.32	0.15	0.06	0.03	0.51	0.56
نسبت ژنتیکی بیکر Baker's genetic ratio	0.23	0.19	0.16	0.12	0.37	0.16	0.08	0.08	0.63	0.77

نتیجه‌گیری نهایی

تجزیه واریانس مرکب صفات در دو محیط آبیاری کامل و تنش خشکی دوره زایشی نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ×محیط برای صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه ازنظر آماری معنی‌دار بود. در صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن صد دانه، شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله و رقم تیرگان بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی را در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی داشت، در صفت عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری کامل تلاقی تجن×اکبری و تحت تنش خشکی تلاقی بم×اکبری حداکثر مقدار ترکیب‌پذیری خصوصی را داشتند. در شرایط تنش خشکی تلاقی بم×اکبری در صفت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه حداکثر ترکیب‌پذیری خصوصی را داشت از طرفی در صفات وزن صد دانه، شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله ترکیب‌پذیری خصوصی بالایی داشت و به‌عنوان تلاقی مطلوب در بهبود ژنتیکی صفات زراعی تحت تنش خشکی شناخته شد. به‌طورکلی در صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه وراثت‌پذیری خصوصی در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری کامل کمتر بود که نشان‌دهنده تأثیر عمل غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی و بروز صفات در شرایط تنش خشکی است. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی از نتاج این تلاقی‌ها بهبود ژنتیکی صفات ارتفاع بوته و طول پدانکل را در نسل‌های مقدماتی انجام داد، درحالی‌که در سایر صفات بایستی انجام گزینش تا نسل‌های پیشرفته ادامه یابد.

منابع

Abdi, H., Asadzadeh, A., Bihamta, M.-R., 2015. The combining ability and inheritance type of some morphological traits in bread wheat under drought stress using diallel analysis. Applied Crop Breeding. 3, 257-268. [In Persian].

Ahmadi, J., Zali, A., Samadi, B., Talaie, A., Ghannadha, M., Saeidi, A., 2003. A study of combining ability and gene effect in bread wheat under stress conditions by diallel method. Journal Agriculture Science. 34, 1-8. [In Persian].

Akbarpour, O., Dehghani, H., 2017. Genetic dissection of grain yield and some morphological traits in Iranian bread wheat under field normal and salt stress conditions using Jinks-Hayman approach. Cereal Research. 7, 155-169. [In Persian]. https://doi.org/10.22124/C.2017.2544

Badieh, M., Farshadfar, E., Haghparast, R., Rajabi, R., Zarei, L., 2012. Evaluation of gene actions of some traits contributing in drought tolerance in bread wheat utilizing diallel analysis. Annals of Biological Research. 3, 3591-3596.

Bagherikia, S., Pahlevani, M.H., Yamchi, A., Zaynalinezhad, K., Mostafaie, A., 2017. Mutation breeding by gama irradiation for improvement of assimilate remobilization and production in wheat. Journal of Crop Production. 10, 77-101. [In Persian]. https://doi.org/10.22069/EJCP.2018.11536.1886

Baker, R., 1978. Issues in diallel analysis. Crop science. 18, 533-536. https://doi.org/10.2135/cropsci1978.0011183X001800040001x

Biriyay, G., Mostafavi, K., Khodarahmi, M., 2017. Investigation of diallel results in bread wheat under drought stress conditions using GGE-biplot method. Environmental Stresses in Crop Sciences. 9, 363-374. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2017.464

Dana, I., Dasgupta, T., 2001. Combining ability in black gram. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 61, 170-171

Ejaz-Ul-Hassan, S., Khaliq, I., 2008. Quantitative inheritance of some physiological traits for spring wheat under two different population densities. Pakistan Journal of Botany. 40, 581-587.

Golparvar, A., Mottaghi, S., Lotfifar, O., 2011. Diallel analysis of grain yield and its components in bread wheat genotypes under drought stress conditions. Plant Production Technology. 3, 51-62. [In Persian].

Griffing, B., 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian journal of biological sciences. 9, 463-493. https://doi.org/10.1071/BI9560463

Hama Amin, T., Towfiq, S., 2019. Inheritance of grain yield and its related characters for 5× 5 diallel cross of F1 bread wheat. Ecology and

Environmental Research. 17, 3013-3032. https://doi.org/10.15666/aeer/1702_30133032

Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D., Yang, R.C., Spaner, D., 2007. Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. Plant Breeding. 126, 244-250. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01346.x

Kamalizadeh, M., Hoseinzadeh, A., Zeinali Khanghah, H., 2013. Evaluation of inheritance for some quantitative traits in bread wheat using generation mean analysis under water deficit condition. Iranian Journal of Field Crop Science. 44, 317-326. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2013.35120

Kamaluddin, R., Singh, R.M., Prasad, L.C., Abdin, M.Z., Joshi, A.K., 2007. Combining ability analysis for grain filling duration and yield traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). Genetics and Molecular Biology. 30, 411-416. https://doi.org/10.1590/S1415-47572007000300018

Katerji, N., Mastrorilli, M., Van Hoorn, J., Lahmer, F., Hamdy, A., Oweis, T., 2009. Durum wheat and barley productivity in saline–drought environments. European Journal of Agronomy. 31, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.01.003

Kearsey, M., Pooni, H., 1996. Genetical Analysis Of Quantitative Traits. Garland Science. Garland Science. Garland Science. London. 369p. https://doi.org/10.1201/9781003062806

Kulshreshtha, N., Singh, K., 2011. Combining ability studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) for genetic improvement under salt stress. Journal of Wheat Research. 3, 22.

Kumar, A., Harshwardhan, H., Kumar, A., Prasad, B., 2015. Combining ability and gene interaction study for yield, its attributing traits and quality in common wheat. Journal of Applied and Natural Science. 7, 927-934. https://doi.org/10.31018/jans.v7i2.709

Kumar, J., Kumar, A., Kumar, M., Singh, S., Singh, L., 2019. Inheritance pattern of genes for morpho-physiological and yield traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Cereal research communications. 47, 191-204. https://doi.org/10.1556/0806.47.2019.08

Ljubičić, N., Petrović, S., Kostić, M., Dimitrijević, M., Hristov, N., KONDIĆ, A., Jevtić, R., 2017. Diallel analysis of some important grain yield traits in bread wheat crosses. Turkish Journal of Field Crops. 22, 1-7. https://doi.org/10.17557/tjfc.297681

Madadi, S., Rahimi, M., AhmadiAfzadi, M., Mirzaei, S., 2020. Estimation of gene effect and combining ability of some maize traits under normal and low irrigation conditions by diallel method. Environmental Stresses in Crop Sciences. 13, 331-340. [In Persian].

Mather, K., Jinks, J.L., 1982. Biometrical Genetics: The Study of Continuous Variation. Springer. New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3404-8

Mohammadi, M., Mirlohi, A., Majidi, M.M., Soleimani Kartalaei, E., 2021. Emmer wheat as a source for trait improvement in durum wheat: a study of general and specific combining ability. Euphytica. 217, 64. https://doi.org/10.1007/s10681-021-02796-x

Mohammadi, M., Sharifi, P., Karimizadeh, R., Rostaei, M., 2017. Evaluatingthe genetic parameters for some morpho-physiological traits in wheat using diallel analysis. Cereal Research. 7, 343-356. [In Persian]. https://doi.org/10.22124/C.2018.6037.1237

Okuyama, L.A., Federizzi, L.C., Barbosa Neto, J.F., 2005. Plant traits to complement selection based on yield components in wheat. Ciencia Rural. 35, 1010-1018. https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500005

Rashid, M.A.R., Khan, A.S., Iftikhar, R., 2012. Genetic studies for yield and yield related parameters in bread wheat. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 12, 1579-1583. https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2012.12.12.1911

Reif, J., Gumpert, F., Fischer, S., Melchinger, A., 2007. Impact of interpopulation divergence on additive and dominance variance in hybrid populations. Genetics. 176, 1931-1934. https://doi.org/10.1534/genetics.107.074146

Riaz, R., Chowdhry, M.A., 2003. Genetic analysis of some economic traits of wheat under drought condition. Asian. Journal of Plant Science. 2, 790-796. https://doi.org/10.3923/ajps.2003.790.796

Rigatti, A., de Pelegrin, A.J., Meier, C., Lunkes, A., Klein, L.A., Da Silva, A.F., Bellé, E.P., Silva, A.D.B., Marchioro, V.S., De Souza, V.Q., 2018. Combination capacity and association among traits of grain yield in wheat

(*Triticum aestivum* L.): A Review. Journal of Agricultural Science. 10, 179-187. https://doi.org/10.5539/jas.v10n5p179

Sadeghzadeh-Ahari, D., Sharifi, P., Karimizadeh, R., Mohammadi, M., 2018. Estimation of genetic parameters of yield and yield components in rainfed durum wheat through diallel cross. Journal of Crop Breeding. 10, 176-184. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/jcb.10.25.176

Safarian, A., Abdolshahi, R., 2014. Study the inheritance of water use efficiency in bread wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress condition. Journal of Crop Production. 7, 181-199. [In Persian with English Summary]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.1.10.3

Salehi, S., Gholami, S., Rahmati, A., Golparvar, A.R., 2014. Combining ability of biological yield and harvest index in diallel cross of wheat cultivars under drought and non-drought stress conditions. Agriculturae Conspectus Scientificus. 79, 221-226. https://doi.org/10.2298/GENSR1401043G

Seboka, H., Ayana, A., Zelleke, H., 2009. Combining ability analysis for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). East African Journal of Sciences. 3, 87-94. https://doi.org/10.4314/eajsci.v3i1.42792

Shamsabadi, E.E.h., Sabouri, H., Soughi, H., Sajadi, S.J., 2020. Genetic analysis of spike traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Genetika. 52, 559-569. https://doi.org/10.2298/GENSR2002559S

Sharma, S., Menon, U., Sain, R., 2004. Combining ability for physiological traits in spring wheat over environments. Acta Agronomica Hungarica. 52, 63-68. https://doi.org/10.1556/AAgr.52.2004.1.8

Shehzad, M., Hussain, S., Qureshi, M., Akbar, M., Javed, M., Imran, H., Manzoor, S., 2015. Diallel cross analysis of plesiomorphic traits in *Triticum aestivum* L. genotypes. Genetics and Molecular Research. 14, 13485-13495. http://dx.doi.org/10.4238/2015.October.28.9

Singh, K., Chatrath, R., 1997. Combining ability studies in breadwheat (*Triticum aestivum* L. Em Thell) under salt stress environments. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 57, 127-132.

Soughi, H., Khodarahmi, M., 2021. Estimation of genetically parameters and combining ability of yield and yield components in bread wheat by diallel method. Journal of Crop Breeding. 13, 205-212. [In Persian]. https://dorl.net/dor/10.52547/jcb.13.37.205

Tousi Mojarrad, M., Ghannadha, M., 2008. Diallel analysis for estimation of genetic parameters in relation to traits of wheat height in normal and drought conditions. Journal of Water and Soil Science. 12, 143-155. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1387.12.43.13.6

Vanda, M., Houshmand, S., 2012. Estimation of genetic parameters of some important agronomic traits in durum (*Triticum turgidum* Var. durum) wheat. Agronomy Journal. 95, 70-76. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1390.13.1.15.9

Yan, W., Hunt, L., 2002. Biplot analysis of diallel data. Crop science. 42, 21-30. https://doi.org/10.2135/cropsci2002.0021

Yao, J., Ma, H., Yang, X., uocai Yao, G., Zhou, M., 2014. Inheritance of grain yield and its correlation with yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). African Journal of Biotechnology. 13, 1379-1385. https://doi.org/10.5897/AJB12.2169

Zabet, M., Ebrahimzade, A., Alizadeh, Z., Samadzadeh, A.R., 2020. Investigation of general and specific combining ability and genetic analysis of different traits of bread wheat under non-stress and drought stress conditions. Plant Genetic Researches. 6, 141-156. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.29252/pgr.6.2.141

Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research. 14, 415-421. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

Zhang, Y., Kang, M.S., Lamkey, K.R., 2005. DIALLEL□SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner–Eberhart analyses. Agronomy Journal. 97, 1097-1106. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0260