

Original Article

Genetic Analysis and Drought Tolerance Evaluation in Populations Derived from Crosses Between Iranian and Foreign Safflowers

Mahsa Hosseinifard ¹, Mohammad Mahdi Majidi ^{1*}, Ghodratollah Saeidi ¹ and Majid Mohammadi ²

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran.

2. Crop and Horticulture Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

Extended Abstract

Introduction: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), a member of the Asteraceae family, is globally cultivated as a multipurpose oilseed crop, prized for its high-quality edible oil (rich in unsaturated fatty acids), industrial applications, and adaptability to marginal environments. Its agronomic significance is particularly pronounced in arid and semi-arid regions, where its intermediate drought tolerance and low water requirements make it a resilient alternative to more sensitive crops. Despite its potential, safflower's genetic improvement has lagged behind other oilseeds, partly due to limited exploitation of exotic germplasm and insufficient characterization of its genetic architecture under abiotic stresses. In Iran, where water scarcity and soil salinity increasingly threaten agricultural productivity, the narrow genetic base of local safflower cultivars exacerbates vulnerability to climate variability. While traditional breeding has achieved moderate gains in yield and stress tolerance, incorporation of foreign genetic resources (e.g., drought-adapted lines from India, Africa, or the Mediterranean) may reveal new allelic variations. The potential of exotic genetic diversity for improving drought tolerance through crosses with domestic cultivars, as well as gaining a deeper understanding of the genetic control of key traits, has been largely underutilized.

Materials and Methods: In this study, 64 safflower genotypes, including 45 F₂ populations from half-diallel crosses among 10 parents, 10 parental lines, and 9 check varieties, were evaluated at the research farm of the College of Agriculture, Isfahan University of Technology, located in Isfahan, Iran (32° 42' N, 51° 28' E, 1624 m above sea level) in 2022. The experiment was laid out as a randomized complete block design with two replicates under two environments: drought stress (90% depletion of available water) and non-stress (50% depletion). Sowing was performed on December 1st, and irrigation was controlled using a TDR moisture meter and related formulas. Traits measured included days to flowering, day to maturity, plant height, number of heads per plant, 1000-grain weight, and grain yield, along with physiological traits like relative water content (RWC) of leaves were measured. Statistical analyses including normality tests, analysis of variance, and estimation of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) effects were performed using SAS software; genetic parameters and heritability were estimated accordingly.

Results and Discussion: Mean comparison revealed significant reductions in the traits such as RWC and grain yield under drought stress. However, the higher genetic diversity among the 45 hybrid populations led to the identification of genotypes with superior yield potential and enhanced stress tolerance indices. Notably, the remarkable stability of 1000-grain weight in certain crosses under stress conditions highlighted their genetic potential for drought-tolerance breeding programs. Genetic analysis of the F₂ generation indicated that most traits exhibited significant GCA variance, emphasizing the role of additive gene effects in their inheritance. However, for traits such as

Received: Aug. 26, 2025; Revised: Nov. 01, 2025; Accepted: Nov. 01, 2025; Published Online: Dec. 27, 2025.

* Corresponding Author: majidi@iut.ac.ir

days to flowering, head diameter, 1000-grain weight, and grain yield, significant SCA variance suggested the additional influence of dominance effects. This underscores the potential for heterosis breeding in improving certain traits through hybrid development. A high broad-sense heritability was observed for a number of traits, indicating the feasibility of effective early-generation selection. Parental lines G54, G74, and G40, with the highest stress tolerance index (STI), were identified as drought-tolerant parents. The involvement of G74 in crosses resulted in the lowest percent reduction in yield (PRI) and high GCA, highlighting the critical role of additive genetic factors in controlling yield-related traits under drought stress. Additionally, crosses such as 54×74, 32×74, and 74×71 exhibited high STI and low PRI, making them promising genetic populations for drought-resistance breeding. The cross 86×40 demonstrated the best SCA effects, benefiting from the high GCA of both parents (G40 and G86), leading to superior genetic performance across multiple traits.

Conclusions: The analysis confirmed that combining local and foreign germplasm results in considerable genetic diversity in the new populations, which enhances opportunities for improving drought tolerance and yield stability. Additive and dominance effects play key roles in controlling most of the traits. Crosses like 74×67 along with parents such as G71 are valuable resources for breeding tolerant varieties. Furthermore, crosses such as 54×74, 32×74, and 74×71 showed high STI values and low PRI scores, indicating superior performance and stability under water-limited conditions. Overall, the results indicated that utilizing a diverse parental pool and targeted hybridization can generate high genetic variability, making it possible to develop high-yielding, drought-tolerant safflower cultivars suitable for production in arid regions.

Keywords: Diallel, Additive variance, General combining ability, Tolerance index

How to Cite: Hosseinifard M., Majidi M. M., Saeidi Gh., Mohammadi M. Genetic analysis and drought tolerance evaluation in populations derived from crosses between Iranian and foreign safflowers. *J. Crop Prod. Process.* 2025, 15(4), 75-97. (In Persian). DOI: [10.47176/jcpp.15.4.201329](https://doi.org/10.47176/jcpp.15.4.201329).





تجزیه ژنتیکی و ارزیابی تحمل به خشکی در جوامع حاصل از تلاقی گلرنگ‌های ایرانی و خارجی

مهسا حسینی فرد^۱، محمدمهدی مجیدی^{۱*}، قدرت‌الله سعیدی^۱ و مجید محمدی^۲

چکیده - گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) به‌عنوان یکی از گیاهان دانه روغنی جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی مناطق خشک دارد. با این وجود از پتانسیل ژنوتیپ‌های خارجی برای بهبود ژنتیکی تحمل به خشکی ارقام داخلی بسیار کم استفاده شده است. در این پژوهش، با هدف افزایش تنوع ژنتیکی و تحلیل کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با تحمل به خشکی، از تلاقی‌های بین ژنوتیپ‌های ایرانی و خارجی در قالب یک طرح نیمه دای آلل استفاده شد. برای این منظور، ۶۴ ژنوتیپ شامل ۱۰ والد، ۴۵ جمعیت F₂ حاصل از تلاقی‌های دای آلل و ۹ شاهد، در دو محیط آبیاری معمولی و محدودیت آبیاری (تنش) مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج، برخی صفات نظیر محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه تحت تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافتند. با این حال، تنوع بیشتر در بین جمعیت‌های حاصل از تلاقی منجر به شناسایی نمونه‌هایی با پتانسیل عملکرد و شاخص تحمل و پایداری به تنش بیشتر شد. به‌طور ویژه پایداری چشمگیر صفت وزن هزار دانه در برخی از تلاقی‌ها تحت شرایط تنش نشان‌دهنده ظرفیت ژنتیکی مطلوب این ژنوتیپ‌ها برای برنامه‌های اصلاحی تحمل به خشکی بود. تجزیه ژنتیکی نشان داد بیشتر صفات دارای واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) معنی‌دار بوده که بیانگر اهمیت آثار ژن‌های افزایشی است. برای صفاتی مانند روز تا تکمه‌دهی، قطر غوزه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، معنی‌دار بودن واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA)، نشان‌دهنده نقش همزمان آثار غالبیت در توارث آن‌ها است که پتانسیل استفاده از هتروزیس در تولید ارقام هیبرید را نشان داد. در بسیاری از صفات، وراثت‌پذیری عمومی بالا مشاهده شد که حاکی از وجود تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب مؤثر در نسل‌های ابتدایی برای آن صفات می‌باشد. والدین G54، G74 و G40 با بیشترین مقدار شاخص تحمل (STI)، به‌عنوان والدین متحمل به خشکی شناخته شدند. مشارکت والد G74 در تلاقی‌های با کمترین درصد کاهش عملکرد (PRI) و همچنین GCA بالا، بیانگر نقش برجسته آثار ژنتیکی افزایشی در شرایط تنش خشکی است. همچنین تلاقی‌هایی مانند 74×54، 74×32، 71×74، دارای مقادیر بالای STI و مقادیر پایین PRI بودند که آن‌ها را می‌توان به‌عنوان جمعیت‌های ژنتیکی مطلوب برای بهبود ژنتیکی تحمل به خشکی معرفی نمود. تلاقی ۸۶×۴۰ بهترین ترکیب از نظر اثرات SCA شناسایی شد که به‌علت مشارکت دو والد با GCA بالا (G40 و G86)، دارای برتری ژنتیکی در اکثر صفات بود. در نتیجه بهره‌گیری از خزانه والدی متنوع و تلاقی‌های هدفمند می‌تواند منجر به ایجاد تنوع بیشتر و توسعه‌ی ارقام متحمل و پربازده در مناطق خشک شود.

واژه‌های کلیدی: دای آلل، واریانس افزایشی، قابلیت ترکیب‌پذیری، شاخص تحمل

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰، اولین انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

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

* نویسنده مسئول، رایانامه: majidi@iut.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۳

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس

زیر مجاز است:



مقدمه

کشت گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) به دلیل سازگاری با اقلیم‌های متنوع و تحمل نسبی به خشکی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران اهمیت یافته است. بر اساس آخرین آمار منتشرشده توسط وزارت جهاد کشاورزی (سامانه آمار و اقتصادی)، سطح زیرکشت گلرنگ در ایران طی سال‌های اخیر بین ۲۵ تا ۳۵ هزار هکتار در نوسان بوده است و متوسط عملکرد آن در شرایط آبی حدود ۱/۲ تا ۱/۵ تن در هکتار و در شرایط دیم حدود ۰/۷ تا ۰/۹ تن در هکتار گزارش شده است. تولید کل گلرنگ کشور در سال ۱۴۰۱ به حدود ۳۰ هزار تن دانه‌ی روغنی رسیده که نشان از افزایش تدریجی توجه به این گیاه به عنوان منبع روغن مقاوم به خشکی دارد (۲۸). در ایران، مؤسسات پژوهشی از جمله مؤسسه تحقیقات دیم کشور و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر طی سه دهه‌ی اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی اصلاح و سازگاری گلرنگ انجام داده‌اند. نتایج این تحقیقات نشان داده که ارقام بومی و اصلاح‌شده‌ی گلرنگ از لحاظ تحمل به خشکی، پایداری عملکرد و خصوصیات زراعی تفاوت معنی‌داری دارند و می‌توان از تلاقی‌های هدفمند برای بهبود عملکرد در شرایط کم‌آبی بهره گرفت (۱۴). تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که ژرم‌پلاسم داخلی کشور برای صفاتی مانند پاکوتاهی، زودرسی و تحمل به خشکی تنوع ژنتیکی کافی را ندارد. بنابراین، دورگ‌گیری بین ارقام داخلی و خارجی، با توجه به پراکندگی جهانی گلرنگ در مناطقی مانند هند، چین، آفریقا و اروپا، می‌تواند راهکاری مؤثر برای ایجاد تنوع ژنتیکی و بهبود این صفات باشد (۲۶). انتخاب والدین، تلاقی و ایجاد ترکیبات ژنتیکی جدید از مهم‌ترین نکات در ایجاد ارقام اصلاح شده است که از نظر عملکرد و خصوصیات کیفی در به‌نژادی بسیار حایز اهمیت است. هدف متخصصین به‌نژادی تولید جمعیت‌های حاوی ژن‌های مورد نظر برای انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب است (۳۰). روش‌های ژنتیکی مانند تلاقی‌های دای‌آل به عنوان ابزار توانمندی برای به‌دست آوردن اطلاعات ضروری مانند نوع

عمل ژن، میزان وراثت پذیری و تعداد ژن‌های کنترل‌کننده صفات کمی شناخته شده‌اند (۳). همچنین مواد ژنتیکی حاصل از این روش‌ها برای ایجاد تنوع ژنتیکی جدید برای انتخاب و ایجاد ارقام جدید، بسیار مفید هستند.

دستیابی به اطلاعات ساختار ژنتیکی صفات که یکی از پیش‌نیازهای اصلی برای پیش‌برد برنامه‌های به‌نژادی است، از طریق روش‌های مطالعه ژنتیک صفات کمی، مانند تلاقی‌های دای‌آل، تجزیه میانگین نسل‌ها و سایر طرح‌های ژنتیکی امکان‌پذیر است (۳۸). تجزیه دای‌آل ضمن بهره‌گیری از اصول آماری همچون واریانس و کوواریانس، از طریق برآورد پارامترهای ژنتیکی این اطلاعات مفید را برای به‌نژادگر فراهم می‌کند تا با دید روشن‌تری مناسب‌ترین ژنوتیپ‌های والدینی را برای بهبود صفات مورد نظر انتخاب کند (۱۴). اصول و مبانی دای‌آل توسط جینکز و هیمن (۲۰)، هیمن (۱۶ و ۱۷)، گریفینگ (۱۳) بیان شد، و بعدها توسط کرزی و پونی (۲۲) تکمیل شد. یک تلاقی دای‌آل مجموعه‌ای از تمام تلاقی‌های ممکن بین چندین ژنوتیپ است که دسترسی به اطلاعاتی نظیر قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، اثرات تقریبی ژن‌ها، اثر هتروزیس و اثر سیتوپلاسمی را فراهم می‌آورد. ازجمله رایج‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل دای‌آل، روش‌های گریفینگ است. گریفینگ با توجه به حضور والدین و تلاقی‌های معکوس به همراه تلاقی‌های اصلی چهار روش ایجاد مواد ژنتیکی برای تجزیه دای‌آل را به صورت زیر معرفی کرده است. روش اول: شامل والدها، F_1 تلاقی‌های اصلی و معکوس، روش دوم: شامل والدها و تلاقی‌های اصلی $[(P(P+1))/2]$ ، روش سوم: شامل تلاقی‌های اصلی و معکوس $[(P(P-1))]$ ، روش چهارم: تنها شامل F_1 تلاقی‌های اصلی $[(P(P-1))/2]$. روش اول را دای‌آل کامل و روش دوم و چهارم که فاقد تلاقی‌های معکوس هستند را نیمه دای‌آل می‌نامند همچنین مدل I که والدها و تلاقی‌هایشان را به عنوان پایه‌های تصادفی در نظر می‌گیرد و نتایج آن برای جمعیت‌هایی با ترکیب ژنتیکی متغیر قابل تعمیم است، و مدل II که والدها را ثابت فرض می‌کند و

برای مقایسه دقیق میان والدین خاص مورد استفاده قرار می گیرد (۱۲).

در مطالعات ژنتیکی انجام شده بر روی صفات عملکرد دانه و روغن گلرنگ از نسل های F_1 و F_2 یا به طور همزمان از هر دو نسل برای بررسی توانایی ترکیب پذیری و تخمین اثرات ژنتیکی استفاده شده است. در یک مطالعه، تجزیه ژنتیکی عملکرد دانه و میزان روغن دانه در گلرنگ با استفاده از نسل های F_1 و F_2 حاصل از تلاقی های دای آلل بررسی شد و در آن میانگین مربعات GCA برای صفات عملکرد دانه در بوته، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، وزن ۱۰۰ دانه، روز تا گلدهی، ارتفاع بوته و میزان روغن دانه، معنی داری گزارش شد (۳۲). در هر دو آنالیز، GCA مثبت برای عملکرد دانه در در برخی لاین ها دیده شده که نشان دهنده این است که نتایج این والدین عملکرد دانه بیشتر از متوسط سایر تلاقی ها داشتند. نسبت GCA/SCA (قدرت ترکیب پذیری عمومی به قدرت ترکیب پذیری خصوصی) بالا در مطالعه فوق نشان داد که اثرات افزایشی ژن ها نقش زیادی در کنترل همه صفات به استثناء صفت عملکرد دانه وجود داشته است (۳۲). گلکار و کشاورز (۹) به منظور برآورد کنترل ژنتیکی برخی از صفات فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی، نتایج حاصل از تلاقی های دای آلل ۸ رقم گلرنگ زراعی داخلی در نسل F_2 در اصفهان را به روش گریفینگ مورد ارزیابی قرار دادند. معنی دار بودن میانگین مربعات GCA و SCA در مطالعه آن ها برای صفات شاخص کلروفیل، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، سطح ویژه برگ، محتوای ازت برگ، محتوای نسبی آب و ارتفاع گیاهچه مبین اهمیت توأم اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن ها در کنترل ژنتیکی این صفات بوده است. SCA بالا و مقدار بیشتر واریانس غالبیت برای صفات ارزیابی شده بیانگر اهمیت بیشتر اثرات غالبیت ژن ها در کنترل ژنتیکی این صفات بوده و لذا به منظور بهبود این صفات روش های مبتنی بر استفاده از هتروزیس و تولید دورگ پیشنهاد شده است (۹). در مطالعه دیگری بر روی نتایج F_2 که با هدف بهبود ژنتیکی برای افزایش تحمل به خشکی

بر روی گلرنگ انجام شده، نتایج آن ها نشان داد که آثار GCA و SCA برای صفات اندازه گیری شده، به طور معنی دار تحت تاثیر رژیم های آبیاری قرار گرفت (۲). همچنین گلکار و همکاران (۱۰)، ۳۶ ژنوتیپ که شامل ۲۸ نتایج F_2 از تلاقی نیمه دای آلل و ۸ والد بودند را برای شناسایی اثر محیط بر توانایی ترکیب پذیری و عملکرد دانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها حاکی از معنی دار بودن این دو پارامتر بوده و بیانگر این است که برای بهبود عملکرد دانه نیاز به روش های اصلاحی مبتنی بر دورگ گیری و انتخاب برای این صفت در گلرنگ دارد.

در مطالعه ای در اصفهان به منظور برآورد پارامترهای ژنتیکی ویژگی های مورفو- فنولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، نتایج حاصل از تلاقی های دای آلل ارقام گلرنگ در نسل F_1 با روش گریفینگ مورد بررسی قرار گرفت. وراثت پذیری خصوصی بالا و درجه غالبیت کمتر از یک برای صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در غوزه حاکی از نقش بیشتر اثرات افزایشی ژن ها و کارایی بالای انتخاب برای بهبود آنها بود (۱۱). ججاج هاریا و همکاران (۱۹) به بررسی ترکیب پذیری ۱۰ رقم گلرنگ با استفاده از روش ۲ و مدل ۱ گریفینگ پرداختند و نتایج تجزیه دای آلل آن ها نشان داد که میانگین مربعات GCA و SCA برای صفات عملکرد دانه، تعداد غوزه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، محتوای روغن دانه، زودرسی و تعداد انشعابات اصلی در بوته معنی دار بود که بیانگر نقش هر دو آثار افزایشی و غیر افزایشی ژن ها در کنترل ژنتیکی این صفات است. در مطالعه ای در شرایط گرمسیری برزیل، توانایی ترکیب پذیری و هتروزیس در گلرنگ در یک تلاقی دای آلل ۵×۵ از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ برای تعیین ماهیت و نحوه عملکرد ژن ها در بروز صفات انجام شد و نتایج حاکی از وجود تنوع ژنتیکی معنی داری در نتایج از نظر ارتفاع بوته و عملکرد دانه و محتوای روغن دانه بود و می توان از ژنوتیپ های برتر آن در برنامه های اصلاحی نوترکیبی برای بهبود کیفیت دانه و محتوای روغن آن استفاده کرد (۳۱). گلکار و همکاران

جدول ۱. کد، منشاء و برخی ویژگی‌های ۱۰ والد گلرنگ انتخاب شده در تلاقی‌های دای‌آل

شماره والد	کد	منشاء	ویژگی (مبنای انتخاب والد برای مطالعه ژنتیکی)
G9	PI-253519	Austria	حساس از نظر صفات مختلف مورفولوژی
G23	PI-393988	Portugal, Azores	وزن هزار دانه بالا- دیررس
G32	PI-305527	Sudan	شاخص تحمل به تنش خشکی بالا
G40	PI-369847	Tajikistan	وزن هزار دانه، عملکرد روغن، تعداد دانه در غوزه، شاخص تحمل به خشکی و ترکیب‌پذیری عمومی بالا
G54	PI-653202	India	وزن هزار دانه بالا
G67	CART 70	Libyen	تعداد دانه در غوزه بالا
G71	PI-537652	Mexico	حساس به خشکی - ناپایدار عمومی
G74	PI-657820	Jordan	وزن هزار دانه و شاخص تحمل به خشکی بالا
G86	Koseh	Iran-Isfahan	تعداد غوزه و ارتفاع زیاد- دیررس
G96	Iran-Kermanshah	Iran-Kermanshah	درصد روغن بالا

مکانیسم‌های ژنتیکی مؤثر بر این ویژگی در شرایط تنش استفاده نشده است. این مطالعه با هدف تجزیه ژنتیکی و بررسی قابلیت ترکیب‌پذیری و مکانیسم‌های دخیل در کنترل ژنتیکی صفات مهم زراعی، عملکرد دانه و کیفیت دانه گلرنگ تحت شرایط عادی و تنش رطوبتی انجام شد. شناخت ژنوتیپ‌های نوترکیب مطلوب در بین بوته‌های F_2 به عنوان منابع ژنی جدید احتمالی برای تحمل به خشکی در گلرنگ و انتخاب تک بوته‌های برتر از درون جوامع حاصله از دیگر اهداف این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی

در این پژوهش ۶۴ ژنوتیپ شامل ۴۵ جمعیت F_2 حاصل از تلاقی نیمه دای‌آل 10×10 به همراه ۱۰ والد آن‌ها و ۹ رقم شاهد در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد (اصفهان) در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. والدین تلاقی از بین ۱۰۰ ژنوتیپ داخلی و خارجی گلرنگ که در چند محیط و چند سال ارزیابی شده بودند (۴)، انتخاب شدند (جدول ۱)، و با شماره‌های طرح قبلی شامل ۸۶، ۲۳، ۷۱، ۴۰، ۹۶، ۳۲، ۵۴، ۷۴،

(۶) در مطالعه بر روی تلاقی 6×6 دای‌آل در گلرنگ متوجه شدند که اثرات مادری نقش مهمی در وراثت صفات روز تا گلدهی، قطر غوزه، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته داشته و همچنین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌داری را برای عملکرد دانه گزارش کردند و نتیجه گرفتند که بهبود ژنتیکی از طریق تجمع آلل‌های مطلوب از والدین در یک ژنوتیپ با استفاده از روش‌های انتخاب مناسب در گلرنگ مطلوب است. نتایج یک مطالعه در مورد تجزیه ژنتیکی حاصل از تلاقی‌های دای‌آل در گلرنگ مبین اهمیت بیشتر آثار افزایشی ژن‌ها در کنترل صفت شاخص برداشت بوده است (۱۰). کوچ (۲۴) با استفاده از نتایج تلاقی‌های متشکل از ۶ والد، نشان داد که آثار غالبیت ژن‌ها نقش بیشتری در کنترل صفات گلرنگ دارند و همچنین گزارش کردند که ارتفاع بوته، قطر غوزه، وزن هزار دانه و میزان روغن دانه، وراثت‌پذیری پایینی دارند و در نتیجه انتخاب تک بوته در نسل‌های F_3 و F_4 مناسب‌تر خواهد بود.

به لحاظ مراکز تنوع، گلرنگ زراعی پراکنش گسترده‌ای از هند تا غرب آسیا و شمال آفریقا دارد. با این وجود هنوز از پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ‌های خارجی برای افزایش تحمل به خشکی از طریق تلاقی‌های داخلی و خارجی و نیز درک دقیق‌تر

$$I = (\theta_{Fc} - \theta_{ini}) \times B \times D \quad (\text{معادله ۱})$$

در فرمول بالا، I: عمق آب آبیاری بر حسب میلی متر، B: چگالی ظاهری خاک (۱/۴) (کیلوگرم بر مترمکعب)، D: عمق توسعه ریشه (۶۰ سانتی متر)، FC: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_{ini} : متوسط رطوبت وزنی در عمق توسعه ریشه مربوط به زمان آبیاری است (برای تیمار نرمال در زمان ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی و برای تیمار تنش خشکی در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی). سپس حجم آبیاری بر حسب لیتر از فرمول $V = I \times A$ به دست آمد که A مساحت کرت بر حسب مترمربع و I عمق آبیاری بر حسب میلی متر است. نوع آبیاری به صورت قطره ای بود و برای اندازه گیری حجم آب ورودی کرت ها از کنتور استفاده شد.

صفات مورد مطالعه

ثبت مراحل فنولوژیک از جمله روز تا تکمه دهی، روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی از ابتدای کاشت تا مرحله مذکور انجام شد. صفات مورفولوژیک و زراعی که شامل ارتفاع بوته، تعداد انشعاب در بوته، تعداد غوزه در بوته، وزن هزار دانه، قطر غوزه و عملکرد دانه و صفت فیزیولوژیک محتوی نسبی آب برگ، اندازه گیری گردید.

تجزیه و تحلیل آماری و ژنتیکی

ابتدا از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و تست بارتلت به ترتیب برای ارزیابی نرمال بودن داده ها و همگنی خطاهای آزمایشی برای داده های دو محیط با و بدون تنش رطوبتی استفاده شد. کارایی طرح بلوک کامل تصادفی نسبت به طرح لاتیس ساده بررسی شد و برای اکثر صفات مورد مطالعه، طرح بلوک کامل تصادفی به اندازه طرح لاتیس ساده کارآمد بود. بنابراین تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در شرایط تنش و عدم تنش انجام و تجزیه واریانس مرکب در قالب این طرح آماری صورت گرفت و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD مقایسه شدند. تجزیه و تحلیل آماری به کمک نرم افزارهای SAS و ترسیم

۹ و ۶۷ مشخص هستند که اطلاعات آن ها در جدول ۱ آمده است. والدین از کشورهای مختلف جهان و بر اساس شاخص انتخاب اسمیت (۳۷) و هیزل (۱۵) برای صفات مهم زراعی (عملکرد دانه، عملکرد روغن، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، محتوای روغن دانه، زمان رسیدگی و ارتفاع) و حد بالا و پایین میانگین صفات عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای روغن دانه انتخاب شده بودند و سپس تلاقی بین آن ها انجام شده و نسل اول ایجاد و پس از خودگشن شدن نتاج نسل دوم حاصل شد که مواد ژنتیکی این مطالعه را تشکیل می دهند (۴).

روش اجرای طرح

در این مطالعه، ۴۵ جمعیت F₂ به همراه ۱۰ والد آن ها و ۹ ژنوتیپ شاهد، در قالب طرح لاتیس ساده با دو تکرار و به طور جداگانه در دو شرایط محیطی با و بدون تنش خشکی کنار یکدیگر در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. کشت در روز ۱۰ آذر سال ۱۴۰۱ به صورت دستی انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل دو خط کشت دو متری بود و فاصله بین واحدهای آزمایشی ۷۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فاصله ی بوته ها روی هر خط کشت ۱۰ سانتی متر و بین دو خط ۲۰ سانتی متر بود. در طول فصل کشت، عملیات تنک کردن، وجین و مبارزه با علف های هرز انجام گرفت.

تا مرحله پایان ساقه دهی آبیاری به طور یکسان برای همه واحدهای آزمایشی در دو شرایط محیطی با و بدون تنش رطوبتی بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. سپس تنش خشکی در تیمار مربوطه اعمال شد. بدین منظور آبیاری تیمار عدم تنش در زمان ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از حد زراعی مزرعه (MAD = 50%) و آبیاری تیمار تنش خشکی در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی از حد زراعی مزرعه (MAD = 90%) انجام گرفت. برای تعیین زمان آبیاری از دستگاه رطوبت سنج TDR (شرکت آذر خاک آب ارومیه مدل AKA-SM01) استفاده شد و عمق آب مورد نیاز هر کرت از فرمول زیر محاسبه شد.

در دو محیط تنش خشکی و عدم تنش در شکل ۱ نشان داده شده است. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ شد. میانگین RWC در والدین از ۸۰/۹ درصد (عدم تنش) به ۵۹/۶ درصد (تنش) کاهش یافت که معادل ۲۶/۳ درصد تغییر است. این صفت در تلاقی‌ها از ۷۹/۳ درصد به ۶۰/۸ درصد کاهش یافت که معادل ۲۳/۲ درصد تغییر است. درصد کاهش RWC در تلاقی‌ها کمتر از والدین بود که می‌تواند نشان‌دهنده پایداری نسبی بهتر تلاقی‌ها در حفظ محتوای آب برگ تحت تنش باشد.

عملکرد دانه، به‌عنوان مهم‌ترین صفت زراعی، تحت تأثیر شدید تنش خشکی قرار گرفت به‌طوری‌که در والدین، از ۱۵/۹ گرم در بوته به ۱۱/۴ گرم کاهش (۲۸/۶ درصد) یافت. در تلاقی‌ها نیز عملکرد دانه در بوته از ۱۷/۳ گرم به ۱۱/۹ گرم کاهش یافت. وزن هزار دانه ثبات نسبی بیشتری را در برابر تنش و به‌ویژه در تلاقی‌ها نشان داد. این صفت در والدین، از ۳۹/۲ گرم به ۳۸/۸ گرم کاهش یافت که تغییر ناچیز و غیر معنی‌داری را نشان می‌دهد. در جمعیت‌های جدید حاصل از تلاقی نیز وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی، نسبت به عدم تنش کاهش معنی‌دار نشان نداد. این پدیده می‌تواند به‌دلیل مکانیزم‌های جبرانی اجزای عملکرد در طی فرایند زایش و پرکردن دانه‌ها تحت تنش یا انتقال کارآمدتر مواد فتوسنتزی به دانه باشد که منجر به پایداری این صفت در شرایط نامساعد شده است (شکل ۱) که این نتایج با گزارشات قبلی مطابقت دارد (۳۳).

سهم آثار افزایشی و غالبیت برای صفات مختلف

واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) در شرایط عادی برای کلیه صفات از جمله روز تا تکمه‌دهی معنی‌دار بود که نشان‌دهنده اهمیت آثار افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفات است. در شرایط تنش رطوبتی، نیز این پارامتر برای همه صفات به غیر از روز تا رسیدگی، تعداد غوزه در بوته، محتوی نسبی آب برگ و تعداد انشعاب در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲).

نمودارها و جداول به کمک نرم‌افزار STATGRAPHICS و Excel انجام شد.

بعد از تجزیه واریانس ساده و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها، تجزیه واریانس دای‌آل با روش دوم گریفینگ و مدل دوم (۱۳) و با استفاده از برنامه-DIALLEL SAS05 که توسط ژانگ و همکاران (۳۹) ارائه شده بود، انجام شد. برآورد مقادیر واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (σ^2_{GCA}) و واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی (σ^2_{SCA}) با استفاده از مدل تصادفی انجام و سپس واریانس افزایشی (σ^2_A)، واریانس غالبیت (σ^2_D) و وراثت‌پذیری محاسبه شد (۳۹):

در این مطالعه با توجه به اینکه تجزیه‌ی دای‌آل با استفاده از نتاج F_2 است ضریب خویش‌آمیزی به جای عدد ۱ (که برای نسل F_1 استفاده می‌شد) برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود، بنابراین فرمول‌ها در نتاج F_2 به صورت زیر تغییر می‌یابند (۵):

$$\sigma^2_A = 4 \times \sigma^2_{GCA} \quad (\text{معادله ۲})$$

$$\sigma^2_D = 4 \times \sigma^2_{SCA} \quad (\text{معادله ۳})$$

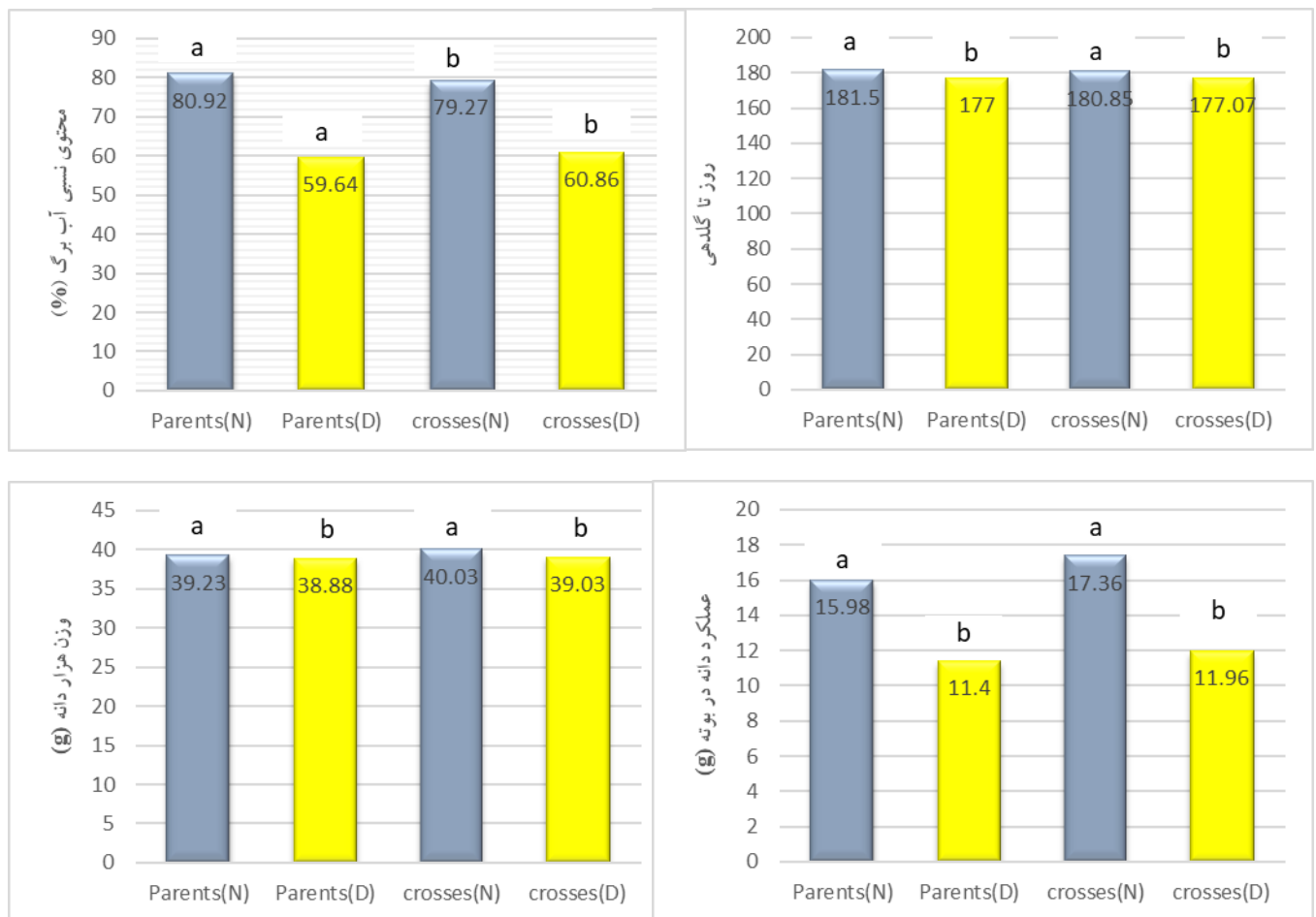
و در نهایت وراثت‌پذیری عمومی (h^2_b) و خصوصی (h^2_n) از طریق معادلات زیر برآورد شدند (۲۷):

$$h^2_b = \frac{\sigma^2_A + \sigma^2_D}{\sigma^2_A + \sigma^2_D + \frac{\sigma^2_E}{r}} \quad (\text{معادله ۴})$$

$$h^2_n = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_A + \sigma^2_D + \frac{\sigma^2_E}{r}} \quad (\text{معادله ۵})$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس دای‌آل صفات مورد مطالعه تحت دو شرایط رطوبتی عادی و تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه (۱۰ والد و ۴۵ تلاقی) برای تمامی صفات در هر دو شرایط عادی و تنش خشکی اختلاف معنی‌دار داشتند. بنابراین تجزیه و تحلیل ژنتیکی بر اساس طرح دای‌آل برای این ژنوتیپ‌ها امکان‌پذیر است. نمودارهای مقایسه میانگین والدین و جمعیت‌های F_2 گلرنگ برای صفات محتوای نسبی آب برگ (RWC)، روز تا گلدهی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته



شکل ۱. نمودارهای مقایسه میانگین والدین و تلاقی‌های (جمعیت‌های F_2) گلرنگ برای صفات محتوای نسبی آب برگ، روز تا گلدهی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته در دو محیط تنش خشکی (D) و عدم تنش (N). (تفاوت دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند).

کردند که کارایی انتخاب عمدتاً به تنوع ژنتیکی در جمعیت و توارث پذیری صفات بستگی دارد. همچنین در این مطالعه، واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) در شرایط عادی رطوبتی برای همه صفات به‌جز قطر غوزه، تعداد انشعاب در بوته و محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار شد و در شرایط تنش رطوبتی برای روز تا تکمه-دهی، قطر غوزه، محتوای نسبی آب برگ و وزن هزار دانه معنی‌دار بود که مبین اهمیت واریانس غیرافزایشی در توارث این صفات می‌باشد و در نتیجه می‌توان از هتروزیس برای بهبود

معنی‌دار بودن واریانس GCA نشان‌دهنده اهمیت عمل افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات است و روش اصلاحی انتخاب برای بهبود این صفات می‌تواند مفید باشد (۳۶). در تجزیه دای‌آل F_2 برای اکثر صفات در هر دو محیط رطوبتی، توارث‌پذیری عمومی بالایی ($h^2_b > 70$) مشاهده شد (جدول ۲). این امر نشان می‌دهد که بخش بیشتر واریانس فنوتیپی برای این صفات توسط عوامل ژنتیکی ایجاد شده‌اند. گلکار و همکاران (۱۰) نیز با مطالعه ژنوتیپ‌های گلرنگ، میزان توارث‌پذیری عمومی بالایی را برای عملکرد دانه و اجزای آن گزارش نمودند و بیان

جدول ۲. اجزای واریانس ژنتیکی، نسبت ژنتیکی و مقادیر وراثت پذیری عمومی و خصوصی صفات مورفولوژیک و زراعی و فیزیولوژیک تحت محیط غیر تنش و تنش رطوبتی در گلرنگ

پارامتر	محیط رطوبتی	روز تا تکمه دهی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی	قطر غوزه (mm)	تعداد انشعاب در بوته
σ^2_{GCA}	غیر تنش	۱۲۶**	۴۳/۶**	۳۳/۱**	۲۸/۵*	۴/۷۱**
	تنش	۹۰/۳**	۱۲/۱*	۱۰/۱ ^{ns}	۲۲/۹*	۲/۶۳ ^{ns}
σ^2_{SCA}	غیر تنش	۱۵/۱**	۱۰/۳**	۲۲/۴**	۱۶/۴ ^{ns}	۱/۶۵ ^{ns}
	تنش	۲۶/۲**	۳/۴۵ ^{ns}	۸/۷۵ ^{ns}	۱۵/۲*	۱/۱۵ ^{ns}
σ^2_A	غیر تنش	۵۰۶	۱۷۴	۱۳۲	۱۱۴	۱۸/۸
	تنش	۳۶۱	۴۸/۴	۴۰/۳	۹۱/۷	۱۰/۵
σ^2_D	غیر تنش	۶۰/۵	۴۱/۴	۸۹/۸	۶۵/۶	۶/۶۱
	تنش	۱۰۵	۱۳/۸	۳۵/۰	۶۱/۱	۴/۶۰
VE	غیر تنش	۵/۹۱	۴/۳۴	۸/۴۶	۱۲/۹	۱/۳۳
	تنش	۹/۱۲	۴/۳۵	۵/۹۲	۹/۶۲	۱/۲۲
VG	غیر تنش	۵۶۶	۲۱۵	۲۲۲	۱۷۹	۲۵/۴۸
	تنش	۴۶۶	۶۲/۲	۷۵/۳	۱۵۲	۱۵/۱۴
درجه غالبیت	غیر تنش	۰/۴۸	۰/۶۸	۱/۱۶	۱/۰۷	۰/۸۳
	تنش	۰/۷۶	۰/۷۵	۱/۳۱	۱/۱۵	۰/۹۳
$h^2_b(\%)$	غیر تنش	۸۸/۹	۸۸/۰	۸۶/۳	۸۳/۲	۸۵/۱
	تنش	۸۸/۱	۸۳/۴	۸۲/۷	۸۴/۱	۸۲/۵
$h^2_n(\%)$	غیر تنش	۷۸/۴	۶۹/۲	۴۷/۴	۴۹/۲	۶۰/۳
	تنش	۶۶/۰	۶۲/۷	۳۹/۶	۴۶/۴	۵۴/۳

σ^2_{GCA} : واریانس قدرت ترکیب پذیری عمومی، σ^2_{SCA} : واریانس قدرت ترکیب پذیری خصوصی، σ^2_A : واریانس افزایشی، σ^2_D : واریانس غالبیت، VE: واریانس محیطی، VG: واریانس ژنوتیپی، h^2_b : وراثت پذیری عمومی، h^2_n : وراثت پذیری خصوصی و ^{ns}، *، ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

گلکار و همکاران (۸) وجود اثرات غالبیت ژن ها را در کنترل ژنتیکی محتوای روغن دانه در گلرنگ گزارش کردند. تجزیه دای آلل نتاج F_2 در این مطالعه نشان داد که میزان واریانس افزایشی در مورد کلیه صفات غیر از محتوای نسبی آب برگ، در محیط غیر تنش رطوبتی و در محیط تنش برای کلیه صفات به-جز محتوای نسبی آب برگ و تعداد غوزه، بیشتر از واریانس غالبیت بود (جدول ۲). ولی کوچ (۲۳) گزارش کرد که در گلرنگ برای صفات وزن هزار دانه، قطر غوزه، تعداد انشعاب

این صفات استفاده کرد. سینگ و پاوار (۳۵) گزارش کردند که میانگین مربعات GCA به طور قابل توجهی بیش تر از میانگین مربعات SCA برای صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد انشعاب در بوته، قطر غوزه، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، وزن صد دانه، روز تا رسیدگی و عملکرد دانه در بوته در گلرنگ بود که نشان دهنده اهمیت بیشتر اجزای واریانس افزایشی در واریانس ژنتیکی این صفات بوده است که در نسل های اولیه بیشتر قابل تثبیت هستند (۳۵). همچنین

ادامه جدول ۲. اجزای واریانس ژنتیکی، نسبت ژنتیکی و مقادیر وراثت پذیری عمومی و خصوصی صفات مورفولوژیک و زراعی و فیزیولوژیک تحت محیط غیر تنش و تنش رطوبتی در گلرنگ

پارامتر	محیط رطوبتی	تعداد غوزه در بوته	محتوی نسبی آب برگ (%)	عملکرد دانه تک بوته (gplant ⁻¹)	عملکرد دانه در مترمربع (g)	وزن هزاردانه (g)
$\sigma^2\text{GCA}$	غیر تنش	۳۷/۲ ^{**}	۱۷۱ *	۲۰/۷*	۵۱۷۹۱ *	۱۵۷ ^{**}
	تنش	۱۵/۶ ^{ns}	۶۳/۵ ^{ns}	۲۳/۴ *	۵۸۴۶۲ *	۱۵۱ ^{**}
$\sigma^2\text{SCA}$	غیر تنش	۱۳/۳ ^{ns}	۲۲۴ ^{**}	۱۱/۳ ^{ns}	۲۸۲۴۸ ^{ns}	۳۹/۹ ^{**}
	تنش	۱۷/۰ ^{ns}	۱۶۸ ^{**}	۱۰/۷ ^{ns}	۲۶۷۵۱ ^{ns}	۳۵/۴ ^{**}
$\sigma^2\text{A}$	غیر تنش	۱۴۸	۶۸۵	۸۲/۷	۲۰۷۱۶۷	۶۲۹
	تنش	۶۲/۵	۲۵۴	۹۳/۵	۲۳۳۸۵۰	۶۰۴
$\sigma^2\text{D}$	غیر تنش	۵۳/۵	۸۹۷	۴۵/۱	۱۱۲۹۹۵	۱۵۹
	تنش	۶۸/۱	۴۸۳	۴۲/۷	۱۰۷۰۰۷	۱۴۱
VE	غیر تنش	۱۰/۰	۶۵/۹	۱۱/۱	۲۷۷۲۳	۱۲/۹
	تنش	۱۸/۰۱	۷۸/۹	۱۰/۶	۲۶۵۲۷	۱۴/۴
VG	غیر تنش	۲۰۲	۱۵۸۳	۱۲۷	۳۲۰۱۶۳	۷۸۹
	تنش	۱۳۰	۹۲۸	۱۳۶	۳۴۰۸۵۷	۷۴۶
درجه غالبیت	غیر تنش	۰/۸۴	۱/۶۱	۱/۰۴	۱/۰۴	۰/۷۱
	تنش	۱/۴۷	۱/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۴۶
$h^2_b(\%)$	غیر تنش	۹۵/۲	۹۶/۰	۹۲/۰	۹۲/۰	۹۸/۴
	تنش	۸۷/۸	۹۲/۱	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۸/۱
$h^2_n(\%)$	غیر تنش	۶۰/۱	۳۱/۵	۴۹/۵	۴۹/۵	۶۸/۴
	تنش	۳۲/۱	۱۵/۲	۵۳/۶	۵۳/۶	۶۹/۴

$\sigma^2\text{GCA}$: واریانس قدرت ترکیب پذیری عمومی، $\sigma^2\text{SCA}$: واریانس قدرت ترکیب پذیری خصوصی، $\sigma^2\text{A}$: واریانس افزایشی، $\sigma^2\text{D}$: واریانس غالبیت، VE: واریانس محیطی، VG: واریانس ژنوتیپی، h^2_b : وراثت پذیری عمومی، h^2_n : وراثت پذیری خصوصی و ^{ns}، *، ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

ژنتیکی این صفات بود. توارث پذیری خصوصی پایین برای تعداد غوزه در بوته و متوسط برای تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گلرنگ قبلاً گزارش شده است (۹). توارث پذیری خصوصی پایین و درجه بالای غالبیت برای محتوای روغن نیز توسط گلکار و همکاران (۶) مشاهده شد و بیان کردند توارث پذیری خصوصی پایین برای صفات، نقش کمتر آثار افزایشی ژن ها را در کنترل ژنتیکی صفت نشان می دهد و گویای این مهم است که روش های انتخاب تأثیر کمتری برای

در بوته و عملکرد دانه واریانس غالبیت بزرگتر از واریانس افزایشی بوده است.

در پژوهش حاضر توارث پذیری خصوصی بالا برای صفات روز تا ۵۰ درصد تکمه دهی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد غوزه و وزن هزار دانه در محیط غیر تنش رطوبتی و صفات روز تا ۵۰ درصد تکمه دهی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی و وزن هزار دانه در محیط تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۲) که بیانگر نقش قابل توجه واریانس ژنتیکی افزایشی در کنترل

ب- قطر غوزه و تعداد انشعاب در بوته

از نظر قطر غوزه، والدین G71 (از مکزیکی) و G67 (از لیبی) بیشترین اثرات GCA مثبت و معنی دار را در هر دو محیط رطوبتی دارا بودند (جدول ۳). در تلاقی‌ها نیز به عنوان مثال، تلاقی‌های 67×96 و 71×40 ، به طور نسبی دارای قطر غوزه بیشتری بودند. لذا این والدین نیز ترکیب‌شونده‌های عمومی خوبی برای بهبود این صفت به شمار می‌روند و از اثرات GCA آن‌ها، در تخمین پتانسیل نتاج برای بهبود این صفت می‌توان استفاده نمود (۳۶).

از نظر تعداد انشعاب در بوته، والد G74 (از اردن) دارای کمترین (منفی‌ترین) اثر GCA معنی دار بود (جدول ۳). تلاقی‌های 74×23 ، 74×40 و 74×86 کمترین میانگین تعداد انشعاب را به خود اختصاص دادند. در نتیجه این والد، ترکیب‌شونده مطلوبی به منظور کاهش این صفت بود؛ به عبارتی آثار GCA والدین می‌تواند گویای پتانسیل نتاج آن‌ها باشد (۲۵).

پ-تعداد غوزه در بوته، وزن هزار دانه و محتوی نسبی آب برگ (RWC)

در این پژوهش در بین والدین مورد بررسی، بیشترین اثرات GCA برای تعداد غوزه، به والدین G40 (از تاجیکستان) و G23 (از پرتقال) در محیط عدم تنش رطوبتی و کم‌ترین اثر GCA به والد G67 (از لیبی) در هر دو محیط رطوبتی اختصاص یافت (جدول ۳)، همچنین در بررسی وزن هزار دانه مشاهده شد که ترکیبات حاصل از والد G67 (از لیبی) دارای وزن هزار دانه بیشتری بودند. به نظر می‌رسد برای حصول ترکیباتی با بیشترین تعداد غوزه، علاوه بر اثر GCA، باید به اثرات SCA نیز توجه شود. در برخی موارد استفاده از اثرات ترکیب‌پذیری عمومی والدین برای تولید نتاج مطلوب کافی نیست و علت این امر می‌تواند به دلیل وجود اثرات غیر افزایشی در کنترل آن صفت باشد (۲۹). ولی در مورد والدین G40 (از تاجیکستان) و G23 (از پرتقال)، تلاقی‌های دارای این والدین، وزن هزار دانه بالایی با توجه به والدین خود داشتند در نتیجه از اثرات GCA آن‌ها

بهبود این صفات دارند و در مقابل تولید دورگ و استفاده از هتروزیس برای بهبود این صفات پیشنهاد می‌شود. وارث‌پذیری خصوصی یکی از مفاهیم مهم در ژنتیک کمی که بر پایه واریانس ژنتیکی افزایشی محاسبه می‌شود و سهم نسبی اثرات افزایشی ژن‌ها از کل واریانس فنوتیپی نشان می‌دهد. این شاخص معیار مناسبی برای پیش‌بینی پاسخ به انتخاب در نسل‌های بعدی و ارزیابی پتانسیل ژنتیکی برای بهبود صفات از طریق روش‌های گزینش فراهم می‌کند (۲۹).

ترکیب‌پذیری عمومی والدین برای صفات مختلف

با توجه به این که موفقیت در برنامه‌های به‌نژادی به گزینش دقیق والدین بستگی داشته که بر اساس ارزش ژنتیکی آن‌ها انجام می‌شود، لذا قدرت ترکیب‌پذیری والدین اطلاعات مفیدی در رابطه با انتخاب آن‌ها در جهت ایجاد نتاج برتر فراهم می‌نماید. والدین با اثر GCA بالا می‌توانند در برنامه‌های دورگ‌گیری و انتخاب نتاج نوترکیب در نسل‌های در حال تفرق استفاده شوند (۱).

الف- صفات فنولوژیک

بر اساس مقادیر اثرات GCA لاین‌های والدی در ارزیابی نسل F₂، والد G71 (از مکزیکی) و G67 (از لیبی) در هر دو محیط رطوبتی بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی از نظر کاهش تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی می‌باشند (جدول ۳). به عبارت دیگر برای کاهش این صفت در نتاج، می‌توان از این ژنوتیپ به عنوان والدین تلاقی استفاده نمود. نتاج حاصل از این والدین نیز دارای کمترین مقدار روز تا ۵۰ درصد گلدهی بودند. بنابراین به نظر می‌رسد می‌توان از اثرات GCA والدین، در تخمین پتانسیل نتاج آن‌ها برای بهبود این صفت استفاده نمود (۸). همچنین والد G9 (از استرالیا) بهترین ترکیب‌شونده از نظر صفات فنولوژیک روز تا ۵۰ درصد گلدهی و روز تا رسیدگی بود و تلاقی‌های دارای این والد نیز دارای کمترین مقدار این صفات بودند.

جدول ۳. اثرات ترکیب پذیری عمومی (GCA) والدین برای صفات مختلف در ارزیابی نسل F₂ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی در گلرنگ

کد ژنوتیپ	ژنوتیپ (والد)	محیط رطوبتی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی	قطر غوزه (mm)	تعداد انشعاب در بوته	تعداد غوزه در بوته
۱	G54	غیر تنش	$-1/73 \pm 0/41^{**}$	$-0/84 \pm 0/61^{**}$	$-0/01 \pm 0/71$	$0/15 \pm 0/22$	$0/83 \pm 0/62$
		تنش	$-0/83 \pm 0/43^{**}$	$-0/69 \pm 0/49$	$-0/23 \pm 0/50$	$0/20 \pm 0/25$	$-0/39 \pm 0/93$
۲	G67	غیر تنش	$0/34 \pm 0/41^{**}$	$0/61 \pm 0/61$	$1/69 \pm 0/71^{*}$	$-0/42 \pm 0/22^{*}$	$-2/13 \pm 0/62^{**}$
		تنش	$-0/12 \pm 0/43$	$0/64 \pm 0/49$	$1/29 \pm 0/50^{*}$	$0/49 \pm 0/25^{*}$	$-0/28 \pm 0/93$
۳	G32	غیر تنش	$-0/31 \pm 0/41$	$-0/38 \pm 0/61$	$-0/42 \pm 0/71$	$-0/10 \pm 0/22$	$-0/60 \pm 0/62$
		تنش	$0/33 \pm 0/43$	$0/22 \pm 0/49$	$-0/27 \pm 0/50$	$0/13 \pm 0/25$	$-0/91 \pm 0/93$
۴	G9	غیر تنش	$-1/69 \pm 0/41^{**}$	$-2/71 \pm 0/61^{**}$	$-1/44 \pm 0/71^{*}$	$-0/46 \pm 0/22^{*}$	$-0/01 \pm 0/62$
		تنش	$-0/58 \pm 0/43$	$-1/35 \pm 0/49^{**}$	$-1/19 \pm 0/50^{*}$	$0/38 \pm 0/25$	$1/41 \pm 0/93$
۵	G96	غیر تنش	$0/72 \pm 0/41$	$-0/34 \pm 0/61$	$-0/19 \pm 0/71$	$0/01 \pm 0/22$	$0/67 \pm 0/62$
		تنش	$0/58 \pm 0/43$	$0/55 \pm 0/49$	$-0/27 \pm 0/50$	$0/34 \pm 0/25$	$0/52 \pm 0/93$
۶	G74	غیر تنش	$-1/48 \pm 0/41^{**}$	$-0/88 \pm 0/61$	$0/16 \pm 0/71$	$-0/96 \pm 0/22^{**}$	$-1/65 \pm 0/62^{*}$
		تنش	$-0/47 \pm 0/43$	$0/26 \pm 0/49$	$-0/12 \pm 0/50$	$-0/28 \pm 0/25$	$0/07 \pm 0/93$
۷	G23	غیر تنش	$2/81 \pm 0/47^{**}$	$0/97 \pm 0/71$	$-0/44 \pm 0/82$	$0/40 \pm 0/26$	$1/45 \pm 0/71^{*}$
		تنش	$1/22 \pm 0/50^{*}$	$0/80 \pm 0/57$	$-0/44 \pm 0/58$	$-0/13 \pm 0/28$	$1/07 \pm 1/06$
۸	G40	غیر تنش	$1/06 \pm 0/47^{*}$	$1/60 \pm 0/71^{*}$	$-1/07 \pm 0/82$	$0/52 \pm 0/26^{*}$	$1/57 \pm 0/71^{*}$
		تنش	$0/65 \pm 0/50$	$-0/01 \pm 0/57$	$-0/48 \pm 0/58$	$-0/60 \pm 0/28^{*}$	$0/16 \pm 1/06$
۹	G86	غیر تنش	$0/50 \pm 0/47$	$1/10 \pm 0/71$	$-0/57 \pm 0/82$	$0/48 \pm 0/26^{*}$	$0/59 \pm 0/71$
		تنش	$0/65 \pm 0/50$	$-0/07 \pm 0/57$	$-0/06 \pm 0/58$	$0/14 \pm 0/28$	$-0/12 \pm 1/06$
۱۰	G71	غیر تنش	$-0/23 \pm 0/55$	$0/86 \pm 0/82$	$2/31 \pm 0/95^{*}$	$0/38 \pm 0/30$	$-0/72 \pm 0/83$
		تنش	$-0/50 \pm 0/58$	$-0/36 \pm 0/66$	$1/80 \pm 0/67^{**}$	$-0/68 \pm 0/33^{*}$	$-1/53 \pm 1/24$
میانگین مورد انتظار		غیر تنش	$180/66 \pm 0/22$	$220/46 \pm 0/33$	$27/60 \pm 0/38$	$7/57 \pm 0/12$	$17/81 \pm 0/33$
		تنش	$177/13 \pm 0/23$	$211/84 \pm 0/26$	$27/00 \pm 0/27$	$6/36 \pm 0/13$	$14/24 \pm 0/50$

به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و اعداد $\pm$ SE (Standard Error) می باشد.

درصد RWC، این والدین، بهترین ترکیب شونده های عمومی برای تولید نتایج مطلوب از لحاظ این صفت در تلاقی با سایر ژنوتیپ ها هستند. در تلاقی های به دست آمده این مطالعه نیز حداکثر درصد RWC، در محیط عدم تنش، مربوط به تلاقی های 32×40 و 32×23 و در محیط تنش نیز باز مربوط به نتایج حاصل از تلاقی این والدین بود. در نتیجه در مورد این صفت به نظر می

می توان پتانسیل نتایج آنها را در شرایط رطوبتی معمول پیش بینی نمود.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در محیط غیر تنش رطوبتی، والدین G74 (از اردن) و G32 (از سودان) بیشترین اثرات GCA مثبت را برای محتوی نسبی آب برگ (RWC) به خود اختصاص داده اند (جدول ۳). بنابراین از نظر افزایش

ادامه جدول ۳. اثرات ترکیب پذیری عمومی (GCA) والدین برای صفات مختلف در ارزیابی نسل F2 تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی در گلرنگ

شاخص درصد کاهش عملکرد (PRI)	شاخص تحمل STI	عملکرد دانه تک بوته (g plant^{-1})	محتوی نسبی آب برگ (%)	وزن هزار دانه (g)	محیط رطوبتی	ژنوتیپ (والد)	کد ژنوتیپ
۲۳/۹	۰/۹۸	۰/۸۶ ± ۰/۶۷	۰/۳۴ ± ۱/۶۰	۲/۷۹ ± ۰/۷۱**	غیر تنش	G54	۱
-	-	۰/۲۰ ± ۰/۶۵	-۲/۳۰ ± ۱/۸۴	۱/۴۲ ± ۰/۷۹*	تنش		
۱۸/۸	۰/۶۷	-۰/۲۷ ± ۰/۶۷	۱/۴۶ ± ۱/۶۰	۱/۱۱ ± ۰/۷۱	غیر تنش	G67	۲
-	-	۰/۳۸ ± ۰/۶۵	۲/۴۸ ± ۱/۸۴	۱/۳۴ ± ۰/۷۹*	تنش		
۴۲/۵	۰/۶۰	۰/۲۵ ± ۰/۶۷	۴/۳۰ ± ۱/۶۰**	۰/۵۱ ± ۰/۷۱	غیر تنش	G32	۳
-	-	-۰/۹۸ ± ۰/۶۵	-۱/۶۰ ± ۱/۸۴	-۰/۱۵ ± ۰/۷۹	تنش		
۲۷/۵	۰/۲۹	-۲/۰۸ ± ۰/۶۷**	-۰/۷۰ ± ۱/۶۰	-۵/۴۵ ± ۰/۷۱**	غیر تنش	G9	۴
-	-	-۰/۳۳ ± ۰/۶۵	۰/۷۷ ± ۱/۸۴	-۲/۷۷ ± ۰/۷۹**	تنش		
۱۴/۸	۰/۵۷	۰/۰۹ ± ۰/۶۷	-۱/۸۲ ± ۱/۶۰	-۳/۰۸ ± ۰/۷۱**	غیر تنش	G96	۵
-	-	۰/۵۰ ± ۰/۶۵	-۱/۰۳ ± ۱/۸۴	-۴/۱۵ ± ۰/۷۹**	تنش		
۹/۱	۰/۹۱	۰/۶۷ ± ۰/۶۷	۴/۱۴ ± ۱/۶۰*	۲/۳۹ ± ۰/۷۱**	غیر تنش	G74	۶
-	-	۲/۱۰ ± ۰/۶۵**	-۱/۰۱ ± ۱/۸۴	۴/۴۱ ± ۰/۷۹**	تنش		
۵۰/۴	۰/۳۳	۰/۸۷ ± ۰/۷۷	۲/۲۸ ± ۱/۸۴	-۱/۰۰ ± ۰/۸۱	غیر تنش	G23	۷
-	-	۱/۰۳ ± ۰/۷۵	-۰/۴۰ ± ۲/۱۲	-۲/۰۸ ± ۰/۹۱*	تنش		
۴۰/۷	۰/۹۰	۰/۳۹ ± ۰/۷۷	-۳/۲۰ ± ۱/۸۴*	۱/۷۲ ± ۰/۸۱*	غیر تنش	G40	۸
-	-	۰/۷۵ ± ۰/۷۵	-۰/۷۹ ± ۲/۱۲	۲/۶۵ ± ۰/۹۱**	تنش		
۲۷/۲	۰/۵۳	۱/۴۷ ± ۰/۷۷*	-۴/۴۵ ± ۱/۸۴*	-۰/۸۴ ± ۰/۸۱	غیر تنش	G86	۹
-	-	-۰/۲۴ ± ۰/۷۵	۰/۳۷ ± ۲/۱۲	-۱/۰۱ ± ۰/۹۱	تنش		
۲۸/۹	۰/۸۳	۰/۲۶ ± ۰/۸۹	-۲/۳۵ ± ۲/۱۴	۱/۸۴ ± ۰/۹۵	غیر تنش	G71	۱۰
-	-	۱/۱۶ ± ۰/۸۷	۳/۵۲ ± ۲/۴۶	۰/۳۳ ± ۱/۰۶	تنش		
-	-	۱۷/۲ ± ۰/۳۶	۷۹/۰ ± ۰/۸۶	۳۹/۸ ± ۰/۳۸	غیر تنش	میانگین مورد انتظار	
-	-	۱۱/۹ ± ۰/۳۵	۶۰/۶ ± ۰/۹۹	۳۸/۷ ± ۰/۴۳	تنش		

به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و اعداد $\pm$ SE (Standard Error) می باشد.

انتظار می رود با انتخاب برای بهبود RWC، عملکرد دانه و در نتیجه وزن هزار دانه نیز همزمان بهبود یابد و منجر به تولید ژنوتیپ هایی با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش خشکی شود. همچنین نتاج حاصل از محیط تنش نشان داد برای حصول ژنوتیپ هایی با بیشترین درصد RWC، علاوه بر اثرات GCA

رسد که در هر دو شرایط رطوبتی می توان از اثرات ترکیب-پذیری والدین در تخمین پتانسیل نتاج آن ها استفاده نمود. لذا از والدین با GCA بالا و مثبت می توان در بهبود این صفت استفاده کرد و از آن جا که همین والد G74 (از اردن) همچنین، دارای GCA مثبت و معنی دار برای صفت وزن هزار دانه بود، بنابراین

می‌شوند. والدین G54، G74 و G40 با بیشترین مقدار شاخص STI، به‌عنوان والدین متحمل شناخته شدند و مشارکت والد G74 با کمترین درصد کاهش عملکرد (PRI) و همچنین قدرت ترکیب‌پذیری عمومی بالا در تلاقی‌ها، بیانگر نقش برجسته‌ی عوامل ژنتیکی افزایشی در کنترل صفات عملکردی تحت تنش خشکی است. شاخص STI نشان‌دهنده‌ی توانایی ژنوتیپ در حفظ عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش است؛ در حالی که PRI میزان افت عملکرد را در شرایط خشکی نسبت به شرایط مطلوب مشخص می‌سازد (۲۱).

ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای صفات

مختلف تحت شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی

اثرات SCA ناشی از اثرات غیرافزایشی ژن‌ها شامل غالبیت و اپیستازی است و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای تعیین مفید بودن ترکیب تلاقی در برنامه‌های دورگ‌گیری و استفاده از هتروزیس استفاده شود و پتانسیل ژنتیکی یک تلاقی به وجود ژن‌های مفید از دو والد آن که همدیگر را کامل می‌کنند، بستگی دارد (۱).

الف- صفات فنولوژیک

کمترین اثرات SCA منفی برای تعداد روز تا تکمه‌دهی ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی مربوط به تلاقی‌های 67×86 ، 74×86 ، 23×71 و 74×71 در محیط عدم تنش رطوبتی بود. در شرایط تنش رطوبتی در نسل F_2 ، کمترین اثرات SCA در تلاقی‌های 74×40 و 23×71 مشاهده شد (جدول ۴). در صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی تلاقی‌های 54×71 و 74×23 دارای کمترین ترکیب‌پذیری خصوصی (منفی و معنی‌داری) بودند. لذا برای کاهش این صفت در هر دو شرایط رطوبتی تلاقی 23×71 با اثرات SCA منفی و معنی‌دار می‌تواند برای هدف اصلاحی زودرسی مفید باشد. این تلاقی از دو والد با اثرات GCA منفی ضعیف و خوب برای این صفت حاصل شده است (جدول ۳). بنابراین برای شناسایی و انتخاب بهترین والدین در برنامه‌های

والدین باید به اثرات SCA تلاقی‌ها نیز توجه شود (جدول ۵). در برخی موارد اثرات GCA والدین برای تخمین میزان بروز صفت در نتاج آن‌ها کافی نیستند، که علت این امر می‌تواند به- دلیل وجود اثرات غالبیت در توارث آن صفت باشد (۳۶).

ت- عملکرد دانه در بوته

اثرات GCA مثبت و معنی‌دار برای عملکرد دانه در بوته و در واحد سطح، در محیط غیر تنش مربوط به والد G86 (از ایران) بود و در محیط تنش رطوبتی در والد G74 (از اردن) مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین در محیط تنش نیز نشان داد تلاقی‌های 74×40 و 74×86 میانگین عملکرد دانه بیشتری در این محیط داشتند. نتایج این مطالعه نشان داد که می‌توان از والدینی که دارای GCA مثبت و معنی‌دار برای این صفت هستند، برای افزایش عملکرد دانه در هر دو محیط رطوبتی استفاده نمود. سایر محققین نیز بیان کردند که ژنوتیپ‌های والدی با اثر GCA بالا می‌توانند در برنامه دورگ‌گیری به‌منظور گزینش نتاج آن‌ها در نسل‌های در حال تفرق استفاده شوند، چون اثرات GCA ناشی از اثرات افزایشی ژن‌ها است که قابل توارث است (۱۸ و ۳۴). والدین با اثرات GCA مطلوب در هر دو محیط رطوبتی، والدین بالقوه‌ای برای تولید واریته‌های با عملکرد دانه بالا و متحمل به خشکی هستند (۲۵). بنابراین والد G40 (از تاجیکستان) با اثرات مثبت و معنی‌دار در هر دو محیط رطوبتی برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی بهبود تحمل به تنش خشکی و افزایش پتانسیل عملکرد دانه پیشنهاد می‌شود.

ث- شاخص‌های STI (شاخص تحمل به خشکی) و PRI

(شاخص درصد کاهش عملکرد)

به‌منظور ارزیابی پایداری و تحمل ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تنش رطوبتی شاخص‌های STI (شاخص تحمل به خشکی) و PRI (شاخص درصد کاهش عملکرد) محاسبه شدند. بنابراین، ژنوتیپ‌های با STI بالا و PRI پایین، هم از پتانسیل تولیدی مناسب برخوردارند و هم از نظر تحمل به خشکی، پایدار تلقی

جدول ۴. اثرات ترکیب پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F₂ گلرنگ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی

شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	روز تا گلدهی		روز تا رسیدگی		قطر غوزه (mm)		تعداد انشعاب در بوته		تعداد غوزه در بوته	
		تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش
۱	54x54	۰/۳۰	-۰/۹۷	۰/۲۲	۰/۰۳	-۱/۶۲	-۲/۰۲	۰/۵۲	۱/۲۳	-۰/۱۴	۴/۵۴
۲	54x67	۰/۷۲	۰/۳۲	۳/۲۶	۰/۲۰	-۰/۲۹	-۰/۹۷	۱/۶۵*	۰/۴۸	۱/۹۷	۳/۶۴
۳	54x32	-۱/۶۱	۰/۵۳	-۶/۷۳**	۰/۶۲	-۲/۲۳	-۱/۱۲	۰/۰۳	-۱/۳۰	-۰/۳۵	-۱/۷۸
۴	54x9	۲/۷۶*	-۰/۷۲	۶/۰۹**	۰/۲۰	-۱/۷۸	۰/۳۲	-۱/۲۵*	-۱/۱۵	-۱/۶۴	-۲/۴۰
۵	54x96	-۱/۶۵	-۰/۳۸	۰/۲۲	۰/۷۸	۰/۸۴	-۰/۰۸	۰/۲۵	-۰/۰۶	۱/۱۷	-۱/۶۲
۶	54x74	۱/۵۵	۰/۴۴	۰/۷۶	۳/۰۷*	۱۰/۸۹**	۹/۳۷**	-۰/۴۰	۰/۳۶	۲/۶۹	-۱/۳۲
۷	54x23	۳/۲۵*	۰/۴۷	۲/۹۰	-۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۴۴	۰/۶۱	۰/۹۶	۱/۴۳	-۱/۱۷
۸	54x40	-۱/۹۹	۲/۰۳	-۱/۷۲	-۲/۶۴	-۱/۷۷	-۱/۱۷	-۱/۶۹*	۰/۴۸	-۳/۸۲*	۰/۳۸
۹	54x86	-۰/۹۳	-۰/۹۶	-۲/۲۲	۰/۹۲	-۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۲۸	-۱/۴۱*	۰/۶۰	-۲/۹۷
۱۰	67x67	۳/۱۳*	۰/۱۱	-۳/۶۹*	-۱/۶۳	۰/۴۱	۰/۹۹	-۱/۵۶*	-۰/۲۶	-۲/۵۰	-۰/۲۶
۱۱	67x32	۲/۳۰	۰/۳۲	۷/۳۰**	۰/۲۸	-۰/۴۰	-۰/۰۹	۰/۹۱	۰/۵۹	۳/۱۱	۱/۶۰
۱۲	67x9	۲/۱۷	۰/۰۷	۱/۱۳	-۰/۱۳	-۱/۳۸	-۲/۰۲	۰/۹۷	-۰/۷۴	-۰/۲۲	۰/۸۸
۱۳	67x96	-۰/۷۳	-۱/۰۹	-۰/۲۳	-۰/۵۴	۱/۲۹	۲/۳۳	۱/۵۸	۰/۵۸	۳/۰۳	-۱/۸۸
۱۴	67x74	-۰/۵۳	۰/۲۳	۳/۳۰	۱/۲۴	-۰/۴۸	-۰/۵۱	۰/۱۲	-۰/۰۸	۱/۵۱	۱/۵۱
۱۵	67x23	-۲/۳۷*	-۰/۷۳	-۲/۰۵	-۳/۲۸*	۰/۵۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۸۲	-۰/۷۹	-۱/۸۸
۱۶	67x40	-۳/۵۷**	-۱/۶۷	-۴/۶۸*	۲/۵۲	-۰/۲۷	-۰/۵۴	-۰/۴۶	-۱/۰۰	-۰/۱۶	-۳/۶۱
۱۷	67x86	-۲/۵۱*	۲/۸۲*	۰/۸۱	۲/۰۸	۱/۷۵	۰/۹۷	-۱/۰۸	-۰/۰۱	-۴/۱۸*	-۰/۶۸
۱۸	32x32	-۰/۰۳	۱/۰۳	-۱/۱۹	-۱/۲۹	-۰/۳۵	۰/۲۶	-۰/۶۰	-۰/۴۹	-۱/۷۰	-۰/۳۲
۱۹	32x9	-۰/۱۵	-۱/۲۲	۲/۱۳	-۲/۷۱	۰/۵۲	-۱/۰۳	۰/۳۰	۰/۲۵	-۰/۴۵	۲/۶۵
۲۰	32x96	-۱/۰۷	-۰/۳۸	-۰/۷۳	۱/۸۷	۰/۲۳	-۱/۶۱	۰/۴۱	۰/۲۴	۳/۲۶	-۰/۴۵
۲۱	32x74	۱/۱۳	۰/۴۴	۳/۸۰*	۴/۶۶**	-۱/۵۲	-۱/۳۹	۰/۷۰	۰/۷۷	-۰/۰۵	۰/۵۹
۲۲	32x23	۱/۸۳	۱/۴۷	-۲/۰۵	۲/۱۲	۱/۵۲	۱/۲۸	-۰/۵۷	-۰/۹۶	-۰/۶۲	-۵/۴۰*
۲۳	32x40	-۱/۴۱	۰/۰۳	-۱/۶۸	-۰/۰۵	۰/۵۶	۰/۸۹	۰/۳۶	۰/۴۵	-۱/۳۳	۱/۵۵
۲۴	32x86	-۲/۸۵*	-۲/۴۶*	-۲/۱۸	-۲/۴۹	۰/۸۶	۱/۹۴	-۰/۰۱	۰/۸۰	۰/۴۴	۳/۰۴
۲۵	9x9	-۰/۷۸	۰/۵۳	-۵/۰۳**	۱/۳۷	-۳/۲۵	-۲/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۵	۱/۳۸
۲۶	9x96	-۰/۱۹	-۰/۶۳	۰/۰۹	-۳/۰۴*	-۰/۳۶	-۰/۲۷	-۰/۳۲	۰/۷۵	-۲/۴۲	۰/۶۱
میانگین مورد انتظار (Intercept)		۱۸۰/۶۶	۱۷۷/۱۳	۲۲۰/۴۶	۲۱۱/۸۴	۲۷/۶۰	۲۷/۰۰	۷/۵۷	۶/۳۶	۱۶۸/۴۵	

* ** * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

به‌نژادی گلرنگ با هدف زودرسی، توجه به هردو اثرات GCA و SCA ضروری است (۸).

ب- قطر غوزه و تعداد انشعاب

برای قطر غوزه در نسل F₂، در شرایط عدم تنش رطوبتی و تنش رطوبتی اثرات SCA مثبت و معنی‌داری برای تلاقی‌های 54×74 و 9×71 و همین‌طور بیشترین میانگین برای این تلاقی‌ها مشاهده شد (جدول ۴). تلاقی 54×74 از نظر اثرات GCA از ترکیب دو والد با قدرت ترکیب‌پذیری خوب و متوسط و تلاقی 9×71 از ترکیب دو والد با قدرت ترکیب‌پذیری خوب و ضعیف برای این صفت حاصل شده است (جدول ۳). لذا از این جمعیت‌ها می‌توان برای تولید ارقام با غوزه‌هایی با قطر بیشتر استفاده کرد. بهبود قطر غوزه در افزایش تعداد دانه در غوزه و نهایتاً افزایش عملکرد دانه گلرنگ نقش اساسی دارد (۳۳).

در مورد تعداد انشعاب در بوته در شرایط عدم تنش رطوبتی، تلاقی‌های 40×86 و 86×71 در نسل F₂ اثرات SCA مثبت داشته‌اند (جدول ۴). بیشترین میانگین این صفت نیز به همین جمعیت‌ها تعلق داشت، بنابراین برای بهبود این صفت در شرایط غیرتنش می‌توان از این جمعیت استفاده کرد. از نظر مقادیر GCA، این تلاقی‌ها از ترکیب دو والد با قدرت ترکیب‌پذیری خوب ایجاد شده‌اند (جدول ۳). بنابراین، این جمعیت‌ها برای تولید لاین‌هایی با تعداد انشعاب بیشتر در بوته در نسل‌های بعد مناسب‌تر هستند (۸). با توجه به اثرات GCA و SCA می‌توان نتیجه‌گیری نمود که والدین G40 (از تاجیکستان)، G71 (از مکزیک) و G86 (از ایران) دارای ژن‌های افزایش‌دهنده تعداد انشعاب در بوته هستند. در شرایط تنش و در نسل F₂، تلاقی‌های 54×96 و 32×9 بیشترین اثرات SCA مثبت را دارا بودند (جدول ۴). از نظر اثرات GCA، این جمعیت‌ها به‌ترتیب از ترکیب والدین خوب و متوسط و در تلاقی دوم از ضعیف و ضعیف به‌دست آمده‌اند (جدول ۳).

پ-تعداد غوزه و محتوی نسبی آب برگ

بیشترین اثرات SCA در نسل F₂ و در شرایط عدم تنش رطوبتی، برای تعداد غوزه در بوته برای تلاقی 40×86 مشاهده شد (جدول ۴). بیش‌ترین میانگین این صفت نیز متعلق به همین تلاقی در این نسل بود. این جمعیت از ترکیب دو والد با اثرات GCA خوب × خوب برای این صفت به‌دست آمده است (جدول ۳). بنابراین در این محیط از این جمعیت می‌توان برای بهبود این صفت استفاده کرد، زیرا دارای میانگین بالا و اثرات SCA مثبت و معنی‌دار بود. در شرایط تنش رطوبتی تلاقی‌های 23×71 و 96×23 بیشترین اثرات SCA مثبت و معنی‌دار را در نسل F₂ به خود اختصاص دادند (جدول ۵). این جمعیت‌ها از نظر اثرات GCA به‌ترتیب از تلاقی دو والد با قدرت ترکیب‌پذیری خوب × متوسط و خوب × خوب ایجاد شده‌اند (جدول ۳). لذا در شرایط تنش رطوبتی و برای بهبود این صفت بایستی بیشتر اثرات GCA والدین مورد توجه قرار گیرد. کاهش اجزای عملکرد دانه (از جمله تعداد غوزه در بوته) و عملکرد دانه در بوته و واحد سطح در اثر تنش رطوبتی توسط سینگ و همکاران (۳۶) نیز گزارش شده است.

برای صفت محتوی نسبی آب برگ بیشترین اثرات SCA مثبت و معنی‌دار در نسل F₂ در شرایط عدم تنش رطوبتی برای تلاقی‌های 67×40 و 32×40 و در شرایط تنش رطوبتی برای تلاقی 32×74 مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین مقدار میانگین نیز مربوط به همین جمعیت‌ها بود. این جمعیت‌ها از والدینی با اثرات GCA خوب × ضعیف و ضعیف × ضعیف در محیط عدم تنش رطوبتی و متوسط × خوب در محیط تنش رطوبتی به‌دست آمده‌اند (جدول ۳). در نتیجه از والد G40 (از تاجیکستان) می‌توان برای بهبود این صفت نیز استفاده نمود. بنابراین برای شناسایی و انتخاب بهترین والدین در برنامه‌های به‌نژادی گلرنگ با هدف زودرسی، توجه به هردو اثرات GCA و SCA ضروری است (۸).

ادامه جدول ۴: مقادیر اثرات ترکیب پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F₂ گلرنگ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی

شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	روز تا گلدهی		روز تا رسیدگی		قطر غوزه (mm)		تعداد انشعاب در بوته		تعداد غوزه در بوته	
		تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش
۲۷	9x74	۰/۱۹	۱/۵۱	۱/۶۳	-۰/۷۵	-۰/۰۷	-۰/۲۹	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۹۹	-۳/۹۳
۲۸	9x23	-۳/۲۸*	-۱/۲۷	-۲/۲۲	۱/۲۱	-۱/۳۲	-۱/۰۹	۱/۴۹*	۰/۰۳	۲/۶۳	-۳/۲۳
۲۹	9x40	-۲/۰۳	-۰/۷۱	-۰/۸۵	-۰/۴۷	-۱/۱۲	۱/۲۵	-۰/۸۷	-۰/۶۴	-۰/۵۷	۲/۵۸
۳۰	9x86	-۱/۴۷	۲/۷۸*	۱/۱۵	۲/۵۸	-۰/۳۱	-۰/۷۹	-۰/۵۴	-۰/۰۹	-۱/۹۴	۱/۵۷
۳۱	96x96	۰/۳۸	۰/۶۹	-۰/۷۸	-۱/۴۶	۰/۶۰	۰/۷۶	۰/۰۹	-۰/۷۱	-۰/۱۶	-۰/۶۴
۳۲	96x74	-۰/۴۰	۰/۵۳	-۰/۷۳	-۱/۶۷	۰/۵۱	۰/۰۳	۰/۲۲	-۰/۰۳	-۰/۷۳	-۰/۴۹
۳۳	96x23	۱/۷۹	۰/۰۵	۱/۹۰	۱/۷۹	-۲/۱۹	-۰/۴۹	-۰/۱۹	۰/۱۷	-۱/۵۰	۹/۶۵**
۳۴	96x40	۵/۵۴**	۲/۱۲	۶/۲۷**	۳/۶۰*	۰/۷۵	۰/۴۳	-۰/۵۵	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۳۱
۳۵	96x86	-۱/۸۹	-۰/۸۷	-۳/۲۲	-۱/۸۲	۰/۱۷	-۰/۱۳	-۰/۹۷	۰/۶۴	-۰/۶۸	-۰/۵۹
۳۶	74x74	-۰/۱۹	۰/۳۶	-۰/۶۹	-۳/۳۸*	-۲/۳۵	-۱/۸۵	۰/۲۰	-۰/۴۰	-۱/۰۰	-۰/۹۹
۳۷	74x23	-۳/۹۹**	۱/۳۹	-۲/۵۵	۰/۰۸	۰/۳۸	-۰/۰۲	-۰/۶۶	-۰/۳۹	۰/۳۷	-۰/۶۴
۳۸	74x40	-۱/۲۴	-۱/۰۴	-۲/۱۸	-۱/۱۰	-۱/۰۷	-۱/۱۱	۰/۵۲	-۰/۱۲	۲/۷۱	۶/۲۶*
۳۹	74x86	۱/۸۱	-۱/۵۴	-۱/۱۸	۲/۹۶*	-۱/۵۰	-۰/۰۱	-۰/۲۴	-۰/۵۲	-۱/۹۰	۰/۱۰
۴۰	23x23	-۱/۲۹	-۰/۰۸	-۳/۴۲	-۰/۹۴	-۱/۵۴	-۱/۶۲	-۱/۰۸	-۰/۷۴	-۲/۶۳	-۵/۳۹
۴۱	23x40	۰/۴۵	-۱/۵۱	۱/۴۵	-۱/۶۳	۰/۲۱	۰/۱۲	-۰/۲۴	-۰/۲۷	-۰/۸۰	-۲/۸۳
۴۲	23x86	۴/۰۱**	۰/۴۸	۵/۴۵**	-۱/۵۷	-۰/۳۹	-۰/۸۷	۰/۴۸	۰/۱۲	-۱/۹۱	۲/۵۵
۴۳	40x40	-۲/۲۹	-۲/۹۵	-۶/۱۷*	-۱/۸۲	۱/۰۳	۰/۵۷	-۱/۲۱	۲/۳۴	-۵/۶۶*	۱/۴۷
۴۴	40x86	۳/۲۶*	-۱/۴۵	۴/۸۳*	-۱/۷۵	۱/۸۹	۱/۰۴	۲/۱۶**	۰/۲۹	۸/۷۱**	-۲/۰۳
۴۵	86x86	۰/۸۳	۱/۵۴	-۴/۱۷	۰/۳۰	۰/۹۲	-۰/۲۲	-۱/۹۹*	-۰/۷۰	-۱/۱۵	۰/۱۰
۴۶	54x71	-۲/۶۹*	۰/۱۹	-۲/۹۹	-۲/۲۹	-۳/۱۲	-۲/۷۲	-۰/۵۵	-۰/۸۲	-۱/۷۷	-۱/۸۱
۴۷	67x71	-۱/۷۸	-۰/۵۱	-۱/۴۴	۰/۸۷	-۱/۵۴	-۱/۲۶	-۰/۶۷	-۰/۱۲	۰/۷۴	۰/۹۳
۴۸	32x71	۱/۸۸	-۰/۸۰	۲/۵۵	-۱/۷۰	۱/۱۷	۰/۵۹	-۰/۹۴	۰/۱۳	-۰/۵۸	-۱/۱۴
۴۹	9x71	۲/۲۶	۰/۴۴	۰/۸۸	۰/۳۷	۱۲/۳۷**	۸/۲۹**	-۰/۲۸	۰/۹۸	۲/۹۲	-۱/۵۱
۵۰	96x71	-۲/۱۵	-۰/۷۱	-۱/۹۹	۱/۹۶	-۲/۴۶	-۱/۷۵	-۰/۶۱	-۱/۱۷	-۱/۹۱	-۴/۲۳
۵۱	74x71	۰/۵۵	-۱/۳۸	-۱/۴۴	-۱/۷۴	-۲/۴۱	-۲/۳۰	-۰/۷۳	۰/۶۵	-۳/۵۸	-۰/۰۸
۵۲	23x71	۰/۸۴	-۰/۱۹	۴/۰۳	۴/۱۰	۳/۵۰	۳/۷۶	۱/۱۶	۰/۹۹	۶/۴۷	۱۳/۷*
۵۳	40x71	۵/۵۹	۸/۱۱*	۱۰/۹*	۵/۱۷	-۱/۲۴	-۲/۰۷	۳/۲۰	-۴/۱۶*	۶/۴۶	-۵/۵۷
۵۴	86x71	-۱/۰۹	-۱/۸۸	۴/۹۰	-۱/۵۱	-۴/۱۶	-۱/۷۳	۳/۹۰*	۱/۵۸	۳/۱۷	-۱/۱۹
۵۵	71x71	-۳/۴۰	-۳/۲۶	-۱۵/۴**	-۵/۲۳	-۲/۰۸	-۰/۸۰	-۴/۴۶**	۱/۹۲	-۱۱/۹*	۰/۸۶
میانگین مورد انتظار (intercept)											
		۱۸۰	۱۷۷	۲۲۰	۲۱۱	۲۷/۶	۲۷/۰	۷/۵۷	۶/۳۶	۱۷/۸	۱۴/۲

به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۵. مقادیر اثرات ترکیب پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F₂ گلرنگ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی

شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	عدم تنش	تنش	محتوی نسبی آب برگ (%)		عملکرد دانه تک بوته	شاخص های تحمل	شاخص درصد کاهش عملکرد (PRI)
				تنش	عدم تنش		شاخص تحمل (STI)	
۱	54×54	-۱/۲۹	-۰/۳۳	۳/۶۲	۱/۶۴	۰/۱۵	۲/۲۱	۰/۹۸
۲	54×67	۱/۱۳	۰/۶۳	-۰/۵۱	۴/۰۲	-۰/۵۰	-۱/۸۰	۰/۶۵
۳	54×32	۳/۷۹	-۱/۱۹	-۴/۸۰	-۷/۲۰	-۲/۶۰	-۰/۳۹	۰/۶۰
۴	54×9	۰/۴۳	۰/۸۶	۶/۰۰	۷/۱۱	۲/۳۳	۲/۵۵	۰/۹۳
۵	54×96	-۱/۷۴	۴/۸۱*	-۲/۴۲	۴/۳۰	۳/۱۳	۳/۱۵	۱/۱۱
۶	54×74	۴/۴۰*	۱/۴۰	-۱۹/۴۷**	۱۰/۲۴*	-۲/۲۰	-۰/۲۹	۰/۸۲
۷	54×23	-۲/۴۵	-۲/۰۷	۲/۶۹	-۶/۴۶	-۱/۳۲	-۰/۸۹	۰/۵۷
۸	54×40	۰/۱۷	-۲/۸۲	۲/۴۱	-۶/۹۶	۰/۵۳	-۳/۷۲*	۰/۴۹
۹	54×86	-۱/۶۱	-۲/۴۱	۸/۷۸*	۱۳/۹۵*	۱/۵۷	۰/۲۹	۰/۹۱
۱۰	67×67	-۴/۰۴*	-۳/۶۹	۱/۱۷	-۴/۱۳	-۱/۳۶	-۰/۲۴	۰/۶۷
۱۱	67×32	-۱/۳۴	۳/۵۴	-۳/۹۳	-۱۷/۹۵**	-۳/۳۹	-۳/۵۳	۰/۳۸
۱۲	67×9	۲/۳۸	۳/۸۲	-۰/۰۸	۱۰/۴۵*	۴/۷۶*	-۱/۶۷	۰/۷۱
۱۳	67×96	۲/۷۰	-۰/۵۷	-۱/۶۸	۹/۰۴	-۱/۲۶	-۱/۱۲	۰/۶۰
۱۴	67×74	۸/۸۵**	۱/۸۲	-۹/۱۶*	-۲/۳۶	-۱/۴۰	-۲/۰۴	۰/۷۱
۱۵	67×23	-۰/۳۵	-۱/۰۶	-۸/۵۶	۷/۵۳	۱/۴۰	۰/۲۸	۰/۷۱
۱۶	67×40	-۱/۹۵	-۰/۲۰	۹/۵۹*	۱/۴۲	-۱/۵۵	۲/۶۸	۰/۷۵
۱۷	67×86	-۲/۲۰	۰/۳۲	۶/۵۰	۱/۲۸	۳/۷۲*	۰/۶۲	۰/۹۹
۱۸	32×32	-۱/۶۱	-۴/۱۷*	-۷/۰۲	-۱/۱۷	-۰/۶۰	-۰/۰۷	۰/۶۰
۱۹	32×9	-۱/۵۰	۵/۶۰*	۸/۳۴	-۹/۹۰	-۰/۴۸	-۰/۳۲	۰/۵۴
۲۰	32×96	-۲/۶۹	-۳/۳۵	-۷/۲۲	۲۲/۲۴**	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۷۴
۲۱	32×74	-۳/۰۶	۰/۴۸	-۲/۳۶	۲/۷۶	۳/۷۵*	۴/۰۴	۱/۳۲
۲۲	32×23	-۸/۶۳**	-۳/۳۷	-۳/۸۵	۵/۸۶	۱/۱۰	-۰/۶۷	۰/۵۸
۲۳	32×40	۴/۷۵	-۰/۰۳	۱۶/۸۵**	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۶۷
۲۴	32×86	۱۰/۶۸**	۵/۶۲*	۷/۷۸	-۳/۵۴	۰/۱۸	-۰/۳۴	۰/۷۰
۲۵	9×9	۰/۵۹	-۴/۸۴*	-۱۲/۵۱*	۳/۷۰	-۲/۳۵	-۳/۴۷	۰/۲۹
۲۶	9×96	۳/۷۲	-۲/۷۵	۵/۷۸	-۱/۰۱	۵/۰۴*	۲/۶۳	۰/۹۸
میانگین مورد انتظار (intercept)		۷/۵۷	۶/۳۶	۱۸۰	۱۷۷	۲۲۰	۲۱۱	-

*, ** به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

ادامه جدول ۵. مقادیر اثرات ترکیب پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F₂ گلرنگ تحت شرایط غیر

تنش و تنش رطوبتی

شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	وزن هزارانه (g)		محتوی نسبی آب برگ (%)		عملکرد دانه تک بوته		شاخص های تحمل	
		تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	شاخص تحمل (STI)	شاخص درصد کاهش عملکرد (PRI)
۲۷	9×74	-۸/۵۹**	۴/۱۸	۱۱/۵۴*	-۱/۷۵	-۲/۰۵	-۲/۶۶	۰/۵۴	۲۰/۰
۲۸	9×23	-۱/۰۴	-۳/۳۲	۱۰/۵۳*	-۵/۷۲	-۲/۷۴	۱/۱۱	۰/۴۸	۱/۱۳
۲۹	9×40	۱/۴۴	۷/۸۵**	۷/۴۹	۳/۵۱	۰/۵۷	۴/۱۹	۰/۸۱	۲/۰۹
۳۰	9×86	۳/۶۲	-۳/۶۳	-۲/۴۲	۱۰/۴	۰/۴۷	۰/۵۹	۰/۷۲	۳۰/۲
۳۱	96×96	-۰/۳۷	-۰/۴۷	۱۲/۹۹**	-۷/۸۶	-۳/۷۳*	۰/۷۵	۰/۵۷	۱۴/۸
۳۲	96×74	-۳/۸۳	-۱/۳۵	۳/۳۸	-۳/۱۵	۲/۰۹	۰/۲۰	۰/۹۷	۳۱/۸
۳۳	96×23	۰/۷۴	۲/۵۳	-۵/۷۴	-۰/۷۶	-۱/۴۲	-۲/۷۱	۰/۴۱	۴۹/۰
۳۴	96×40	-۴/۹۷*	-۲/۷۱	-۱۵/۲۶**	۰/۲۷	-۰/۴۸	-۱/۵۹	۰/۵۶	۴۱/۱
۳۵	96×86	۲/۲۰	۱/۳۶	۰/۲۹	-۱۸/۲**	-۰/۴۱	-۲/۳۲	۰/۵۷	۵۱/۹
۳۶	74×74	-۰/۸۲	-۰/۰۳	-۶/۴۱	-۸/۴۷	-۱/۷۴	-۰/۸۲	۰/۹۱	۹/۱۴
۳۷	74×23	۵/۷۹*	-۱/۲۹	-۴/۸۵	-۳/۰۹	۱/۱۴	۲/۵۴	۱/۰۰	۱۴/۶
۳۸	74×40	۴/۰۲*	-۲/۴۴	۷/۸۸	-۰/۱۰	۳/۰۴	-۰/۹۲	۰/۹۰	۳۹/۹
۳۹	74×86	-۳/۸۲*	-۱/۱۳	۱۴/۴۱**	۷/۷۴	-۰/۷۵	۱/۵۷	۱/۰۱	۱۷/۵
۴۰	23×23	۱۳/۱**	۱۹/۵**	۱/۶۷	۰/۴۱	-۱/۸۰	-۳/۰۸	۰/۳۳	۵۰/۴
۴۱	23×40	۰/۴۹	-۱/۲۶	-۳/۷۱	۲/۶۵	۱/۸۸	-۰/۷۰	۰/۵۹	۴۷/۲
۴۲	23×86	-۱/۵۸	۰/۸۱	۶/۷۶	۱۳/۷*	۰/۳۲	۱/۷۰	۰/۷۹	۳۲/۰
۴۳	40×40	-۲/۲۴	-۳/۳۸	۶/۵۱	-۷/۰۹	۴/۲۴	۲/۳۶	۰/۹۰	۴۰/۷
۴۴	40×86	-۴/۷۸*	۲/۳۸	-۳۶/۱**	-۸/۴۹	-۲/۲۸	-۰/۱۰	۰/۶۱	۳۲/۶
۴۵	86×86	-۸/۸۲**	-۷/۰۴*	۷/۰۴	-۷/۴۶	-۵/۷۶*	-۰/۹۴	۰/۵۳	۲۷/۲
۴۶	54×71	-۱/۵۵	۱/۴۸	۰/۰۸	-۲۲/۲۹**	-۱/۲۳	-۳/۳۱	۰/۶۰	۴۱/۸۰
۴۷	67×71	-۱/۱۴	-۰/۹۰	۵/۴۹	-۵/۱۸	۰/۹۷	۷/۰۸**	۱/۳۲	۱۲/۸
۴۸	32×71	۱/۲۴	۱/۰۶	۳/۲۵	۹/۷۸	۱/۴۵	-۰/۲۵	۰/۸۰	۳۸/۴
۴۹	9×71	-۱/۶۴	-۲/۹۱	-۲۲/۱۷**	۰/۳۰	-۳/۲۰	۰/۵۱	۰/۵۷	۸/۶۰
۵۰	96×71	۴/۶۲*	۲/۹۹	-۳/۱۱	۳/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۷۲	۰/۷۴	۳۲/۴
۵۱	74×71	-۲/۱۰	-۱/۵۸	۱۱/۴*	۶/۶۶	-۰/۱۳	-۰/۷۸	۰/۹۲	۲۰/۲
۵۲	23×71	-۱۹/۲**	-۲۹/۹**	۳/۳۸	-۱۴/۵	۳/۲۳	۵/۵۰	۰/۶۵	۲۹/۸
۵۳	40×71	۵/۳۲	۶/۰۳	-۲/۲۱	۲۱/۵	-۱۰/۵*	-۵/۲۱	۰/۶۳	۲۱/۲
۵۴	86×71	۱۵/۱*	۱۰/۷۵	-۲۰/۱	۱۸/۹	۸/۶۹	-۰/۱۲	۰/۶۲	۳۲/۹
۵۵	71×71	-۰/۶۶	۱۳/۱*	۲۳/۹*	-۱۸/۳	۰/۸۱	-۲/۶۸	۰/۸۳	۲۸/۹
میانگین مورد انتظار (intercept)		۳۹/۸	۳۸/۶	۷۹/۰	۶۰/۶	۱۷/۲	۱۱/۹	-	-

به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

ت- وزن هزار دانه و عملکرد دانه

برای وزن هزار دانه، در نسل F₂ بیشترین اثرات SCA معنی دار در محیط عدم تنش برای تلاقی‌های 67×74، 32×86 و 86×71 مشاهده شد (جدول ۵). این تلاقی‌ها به ترتیب از والدینی با قدرت ترکیب‌پذیری متوسط × خوب، ضعیف × متوسط و خوب × متوسط ایجاد شده‌اند (جدول ۳). در نتیجه از والد G86 (از ایران) می‌توان برای بهبود این صفت در تلاقی‌ها استفاده نمود. در محیط تنش اثر SCA مثبت و معنی دار برای تلاقی 54×96 مشاهده شد (جدول ۵)، که این جمعیت از ترکیب دو والد با قدرت ترکیب‌پذیری ضعیف × خوب ایجاد شده است (جدول ۳). در نتیجه برای بهبود این صفت، حداقل یکی از والدین باید دارای اثر GCA مثبت و بالا برای این صفت باشد (۲۵).

در نسل F₂، بیشترین اثرات SCA معنی دار و میانگین بیشتر برای عملکرد دانه در بوته و واحد سطح در محیط عدم تنش مربوط به تلاقی‌های 67×9 و 67×86 و در محیط تنش برای تلاقی 67×71 مشاهده شد (جدول ۵). از لحاظ میزان اثرات والدین، این جمعیت‌ها ناشی از تلاقی والد‌های متوسط × ضعیف بودند (جدول ۳)، که احتمال یافتن لاین‌های امیدبخش را در نسل‌های در حال تفکیک بعدی تقویت می‌نماید. همچنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که برای بهبود عملکرد دانه، حداقل یکی از والدین باید دارای اثر GCA مثبت و بالا برای صفت باشد (۲۵).

ث- شاخص‌های STI (شاخص تحمل به خشکی) و PRI (شاخص درصد کاهش عملکرد)

نتایج جدول‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داد که تلاقی‌های 74×54، 74×32 و 71×74 دارای مقادیر بالا برای STI و مقادیر پایین برای PRI بودند که آن‌ها را به عنوان ترکیب‌های ژنتیکی مطلوب برای اصلاح تحمل به خشکی معرفی می‌کند. به ویژه تلاقی 71×74، که از والدینی با قدرت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت برای صفات عملکرد و وزن هزار دانه حاصل شده بود، در

محیط تنش عملکرد بالایی نشان داد و درصد کاهش عملکرد آن حداقلی بود. این نتایج نشان‌دهنده انتقال موفق صفات افزایشی مطلوب از والدین G71 و G74 است. از سوی دیگر، ترکیب‌هایی مانند 32×67 و 23×96 با وجود دارا بودن برخی صفات مطلوب در شرایط نرمال، در شرایط تنش رطوبتی دچار افت شدید عملکرد شدند (PRI بالا) و مقدار STI آن‌ها نیز کم بود. این امر بیانگر حساسیت بالای این ترکیب‌ها به خشکی و ضعف آن‌ها در حفظ عملکرد در محیط‌های نامساعد است که این نتایج با گزارشات قبلی مطابقت داشت (۳۳) و بر این اساس، استفاده از شاخص‌های STI و PRI در کنار برآوردهای GCA و SCA، چهارچوبی قدرتمند برای انتخاب والدین و ترکیب‌های برتر فراهم می‌کند. تلاقی‌هایی که STI بالا و PRI پایین دارند، به عنوان منابع اولیه مناسب برای توسعه لاین‌های متحمل به خشکی و پرمحصول معرفی می‌شوند. استفاده از این شاخص‌ها در نسل‌های اولیه مانند F₂ باعث افزایش کارایی برنامه به‌نژادی و شناسایی دقیق‌تر ژنوتیپ‌های متحمل خواهد شد؛ به ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک کشور که نیاز به کاشت ارقام پایدار محسوس‌تر است (۳۳).

نتیجه‌گیری کلی

جمع‌آوری ژرم پلاسما از مناطق مختلف جهان و انجام تلاقی بین گونه‌ای می‌تواند به دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و نیز درک دقیق‌تر مکانیسم‌های ژنتیکی کنترل کننده صفات مهم منجر شود.

تحت شرایط عدم تنش خشکی، واریانس افزایشی بر واریانس غالبیت برای تمام صفات به جز محتوی نسبی آب برگ غالب بود. این امر نشان داد که وراثت صفات عمدتاً تحت کنترل اثرات افزایشی ژنی است. معنی دار بودن واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) برای تقریباً تمامی صفات، از جمله عملکرد، تأیید می‌کند که انتخاب والدین با GCA بالا، استراتژی مؤثری برای پیشرفت در این نسل‌ها خواهد بود.

استراتژی اصلاحی نهایی برای گلرنگ: برای بهبود صفات با وراثت افزایشی (مانند عملکرد تحت شرایط بهینه)، استفاده از انتخاب خالص (Pedigree Selection) بر اساس والدین با GCA بالا ضروری است. برای بهبود اجزای عملکرد تحت استرس (مانند روز تا رسیدن و قطر غوزه)، استفاده از تلاقی‌های دو رگه‌ای با اثرات هتروزیس مثبت (Hybrid Breeding) که پتانسیل عملکرد بالاتری در شرایط تنش ایجاد می‌کنند، باید در دستور کار قرار گیرد. در نهایت، انتخاب تک‌بوت‌های برتر در نسل F₂ با تمرکز بر ترکیبات STI بالا و عملکرد مناسب، مبنایی مستحکم برای توسعه لاین‌های پیشرفته‌ی متحمل به خشکی و پرمحصول در برنامه‌های آبی به‌نژادی گلرنگ فراهم می‌آورد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه صنعتی اصفهان به عنوان حامی مالی تشکر می‌شود.

تنش خشکی، اثر کاهشی معناداری بر اکثر صفات مورد مطالعه از جمله عملکرد دانه اعمال کرد. با این حال، واریانس افزایشی همچنان برای اکثر صفات به استثنای RWC و تعداد غوزه، غالب باقی ماند، که نشان‌دهنده توارث‌پذیری نسبتاً خوب صفات تحت تنش است. مشارکت اثرات غیرافزایشی (SCA) در وراثت برخی اجزای مهم مانند روز تا رسیدن، قطر غوزه، RWC و وزن هزار دانه، پتانسیل استفاده از هتروزیس را برای بهبود این صفات خاص در برنامه‌های اصلاحی آبی نشان می‌دهد.

در بین تلاقی‌های مورد مطالعه، تلاقی 40×86 به دلیل برخورداری از والدینی با GCA بالا (G40 از تاجیکستان و G86 از ایران) و اثرات SCA مثبت و معنی‌دار در کلیه صفات بود و به‌عنوان ترکیبی برتر برای پیشرفت در نسل‌های بعدی و معرفی ارقام برتر توصیه می‌شود. همچنین تلاقی‌های 74×54، 74×32 و 71×74 با دارا بودن مقادیر بالای شاخص STI و مقادیر پایین PRI، به‌عنوان ترکیب‌های ژنتیکی امیدبخش برای اصلاح تحمل به خشکی شناسایی شدند.

منابع مورد استفاده

1. Abraha, M. T., H. Shimelis, M. Laing and K. Assefa. 2018. Gene action controlling yield and yield-related traits among *tef* (*Eragrostis tet* [Zucc] Trotter) populations under drought-stressed and non-stressed conditions. *Plant Breeding* 137: 585-597.
2. Alizadeh, K. and G. H. Saeidi. 2020. Genetic analysis of safflower populations under water stress and nonstress conditions. *Agronomy Journal* 112: 3941-3947.
3. Christie, B. R. and V. I. Shattuck. 1992. The diallel cross: design, analysis, and use for plant breeders. *Plant Breeding Reviews* 9: 9-36.
4. Ebrahimi, F., M. M. Majidi, A. Arzani and G. H. Mohammadi nejad. 2016. Oil and seed yield stability in a worldwide collection of safflower under arid environments of Iran. *Euphytica* 212: 131-144.
5. Falconer, D. S. 1980. Introduction to Quantitative Genetics. Ronald Press, New York.
6. Golkar, P., A. Arzani and A. M. Rezaei. 2011. Genetic analysis of oil content and fatty acid composition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society* 88: 975-982.
7. Golkar, P. and M. R. Shahsavari. 2011. Genetic analysis of harvest index in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) via diallel crosses. *Research in Plant Biology* 1: 43-47.
8. Golkar, P., A. Arzani and A. Rezaei. 2012. Genetic analysis of agronomic traits in safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 40: 276-281.
9. Golkar, P. and L. Keshavarz. 2014. Genetic analysis of some physiological traits in safflower under drought stress conditions. *Journal of Plant Process and Function* 3: 79-88.
10. Golkar, P., E. Shahbazi and M. Nouraein. 2017. Combining ability × environment interaction and genetic analysis for agronomic traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): biplot as a tool for diallel data. *Acta Agriculturae Slovenica* 109: 229-240.
11. Golparvar, A. R. 2011. Assessment of relationship between seed and oil yield with agronomic traits in spring safflower cultivars under drought stress condition. *Journal of Agricultural Science* 7: 109-113.
12. Griffing, B. 1956a. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Sciences* 9: 463-493.

13. Griffing, B. 1956b. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10: 31-50.
14. Hamidi, R., H. Zarei and A. Omrani. 2019. Evaluation of yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under rainfed and irrigated conditions. *Iranian Dryland Agriculture Research Journal* 13(2): 175-186. (In Farsi).
15. Hazel, L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28(6): 476-490.
16. Hayman, B. I. 1954a. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39(1): 789-809.
17. Hayman, B. I. 1954b. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics* 10(2): 235-244.
18. Hura, T., K. Hura and M. Grzesiak. 2008. Contents of total phenolics and ferulic acid and PAA activity during water potential changes in leaves of maize single-cross hybrids of different drought tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science* 194: 104-112.
19. Jhajharia, S., P. Choudhary, A. Jhajharia, L. K. Meena and D. Singh. 2013. Heterosis and combining ability in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm lines. *The Bioscan* 8: 1453-1460.
20. Jinks, J. L. and B. I. Hayman. 1953. The analysis of diallel crosses. *Maize Genetics News* 1: 48-54.
21. Joshi, S., E. Thoday-Kennedy, H. D. Daetwyler, M. Hayden, G. Spangenberg and S. Kant. 2021. High-throughput phenotyping to dissect genotypic differences in safflower for drought tolerance. *PLOS ONE* 16(7): e0254908.
22. Kearsey, M. J. and H. S. Pooni. 1996. *Genetical Analysis of Quantitative Traits*. Chapman and Hall Press, London.
23. Kose, A. 2017. Gene action and combining ability in line $\times$ tester population of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Field Crops* 22: 197-203.
24. Kose, A. 2019. Inheritance of oil yield and its components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agriculture and Natural Resources* 24(1): 65-69.
25. Mageto, E. K., D. Makumbi, K. Nioroge and R. Nyankanga. 2017. Genetic analysis of early-maturing maize (*Zea mays* L.) inbred lines under stress and non-stress conditions. *Journal of Crop Improvement* 31: 560-588.
26. Majidi, M. M., F. Pirnajmedin and S. Espanani. 2024. Wild introgression as an effective tool for aiding the expansion and adaptation of cultivated safflower. *Agronomy Journal* 116(6): 2776-2782.
27. Mather, K. and J. L. Jinks. 1982. *Biometrical Genetics*. Chapman and Hall, London.
28. Ministry of Agriculture-Jahad. 2023. Annual Agricultural Statistics Report 2022–2023. Department of Statistics and ICT, Tehran, Iran.
29. Mohammadi, M., A. Mirlohi, M. M. Majidi and A. Rabbani. 2021. Exploring the breeding potential of Iranian emmer wheats to increase durum wheat tolerance to drought. *Plant Genetic Resources* 19(4): 363-374.
30. Oguz, B., Y. Ezgi, B. Alpay and B. Ismet. 2022. Selection for high yield and quality in half-diallel bread wheat F_2 populations (*Triticum aestivum* L.) through heterosis and combining ability analysis. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences* 6: 285-293.
31. Olivo, M., D. Bassegio and M. Zanutto. 2020. Combining ability and heterosis in a diallel cross of safflower under Brazilian tropical conditions. *Agronomy Journal* 112: 1580-1588.
32. Pahlavani, M. H., G. H. Saeidi and A. F. Mirlohi. 2007. Genetic analysis of seed yield and oil content in safflower using F_1 and F_2 progenies of diallel crosses. *International Journal of Plant Production* 2: 129-140.
33. Shafiei-Koij, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi, G. Saeidi, V. J. Barthet and S. Eskini. 2019. The use of wild relatives of safflower to increase genetic diversity for fatty acid composition and drought tolerance. *Crop Science* 59(5): 2109-2118.
34. Shahrokhnia, M. H. and A. R. Sepaskhah. 2017. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products* 95: 126-139.
35. Singh, S. and I. S. Pawar. 2005. *Theory and Application of Biometrical Genetics*. CBS Press, New Delhi.
36. Singh, S., S. V. Angadi, R. S. Hilaire, K. Grover and D. M. Vanleeuwen. 2016. Spring safflower performance under growth stage-based irrigation in the southern high plains. *Crop Science* 56: 1878-1889.
37. Smith, H. F. 1936. A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics* 7(3): 240-250.
38. Verma, O. P., U. S. Santoshi and H. K. Srivastava. 2002. Heterosis and inbreeding depression in genetic hybridization involving diverse ecotypes of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Genetic Breeding* 56: 205-212.
39. Zhang, Y., M. S. Kang and K. R. Lamkey. 2005. Diallel-SAS05: a comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agronomy Journal* 97: 1097-1106.