J. Crop Prod. Process. 2026, 15(4), 75-97; DOI: 10.47176/jcpp.15.4.201329

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

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 F_2 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 (32º 42′ N, 51º 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 F_2 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

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.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*. 2026, 15(4), 75-97. (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.4.201329.

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱٤۰٤، دوره ۱۵، شماره ٤، صص. ۹۷-۷۵، DOI: 10.47176/jcpp.15.4.201329

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

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

مهسا حسینی‌فرد[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 دای‌آلل استفاده شد. برای این منظور، ٦٤ ژنوتیپ شامل ۱۰ والد، ٤۵ جمعیت F_2 حاصل از تلاقی‌های دای‌آلل 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 برجسته‌ی آثار ژنتیکی افزایشی در شرایط تنش خشکی است. همچنین تلاقی‌هایی مانند 54×74، 32×74، 74×71، 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 ۸٦×٤۰ بهترین ترکیب از نظر اثرات SCA شناسایی شد که به‌علت مشارکت دو والد با GCAبالا (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: دای‌آلل، واریانس افزایشی، قابلیت ترکیب‌پذیری، شاخص تحمل

دریافت مقاله: ۱٤۰٤/۰٦/۰٤، بازنگری: ۱٤۰٤/۰۸/۱۰، پذیرش: ۱٤۰٤/۰۸/۱۰، اولین انتشار: ۱٤۰٤/۱۰/۰۷

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. ۱٤۰٤ ©.

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:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

کشت گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) به‌دلیل 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 ۱٤۰۱ به حدود ۳۰ هزار تن دانه‌ی روغنی رسیده که نشان از افزایش تدریجی توجه به این گیاه به‌عنوان 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 (۱٤). 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 (۲٦). 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 دای‌آلل به‌عنوان 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 دای‌آلل، تجزیه میانگین نسل‌ها و سایر طرح‌های ژنتیکی امکان‌پذیر است (۳۸). تجزیه دای‌آلل 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 (۱٤). اصول و مبانی دای‌آلل توسط جینکز و هیمن (۲۰)، هیمن (۱٦ و ۱۷) ،گریفینگ (۱۳) بیان شد، و بعدها توسط کرزی و پونی (۲۲) تکمیل شد. یک تلاقی دای‌آلل 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 دای‌آلل، روش‌های گریفینگ است. گریفینگ با توجه به حضور والدین و تلاقی‌های معکوس به‌همراه تلاقی‌های اصلی چهار روش ایجاد مواد ژنتیکی برای تجزیه دای‌آلل را به‌صورت 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 دای‌آلل کامل و روش دوم و چهارم که فاقد تلاقی‌های معکوس هستند را نیمه دای‌آلل می‌نامند همچنین **مدل** I که والدها و تلاقی‌هایشان را به‌عنوان 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 می‌گیرد (۱۲).

در مطالعات ژنتیکی انجام شده بر روی صفات عملکرد دانه و روغن گلرنگ از نسل‌های F_1 و F_2 یا به‌طور همزمان از هر دو نسل برای بررسی توانایی ترکیب‌پذیری و تخمین اثرات ژنتیکی استفاده شده است. در یک مطالعه، تجزیه ژنتیکی عملکرد دانه و میزان روغن دانه در گلرنگ با استفاده از نسل‌های F_1 و F_2 حاصل از تلاقی‌های دای‌آلل 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، معنی‌داری گزارش شد (۳۲). در هر دو آنالیز، GCA مثبت برای عملکرد دانه در در برخی لاین‌ها دیده شده که نشان‌دهنده این است که نتاج این والدین عملکرد دانه بیشتر از متوسط سایر تلاقی‌ها داشتند. نسبت GCA/SCA (قدرت ترکیب‌پذیری عمومی به قدرت ترکیب‌پذیری خصوصی) بالا در مطالعه فوق نشان داد که اثرات افزایشی ژن‌ها نقش زیادی در کنترل همه صفات به استثناء صفت عملکرد دانه وجود داشته است (۳۲). گلکار و کشاورز (۹) به‌منظور برآورد کنترل ژنتیکی برخی از صفات فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی، نتاج حاصل از تلاقی‌های دای‌آلل ۸ رقم گلرنگ زراعی داخلی در نسل F_2 در اصفهان را به روش گریفینگ مورد ارزیابی قرار دادند. معنی‌دار بودن میانگین مربعات GCA و SCA در مطالعه آن‌ها برای صفات شاخص کلروفیل، کلروفیلa، کلروفیل b، کاروتنوئید، سطح ویژه برگ، محتوای ازت برگ، محتوای نسبی آب و ارتفاع گیاهچه مبین اهمیت توأم اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفات بوده است. SCA بالا و مقدار بیشتر واریانس غالبیت برای صفات ارزیابی شده بیانگر اهمیت بیشتر اثرات غالبیت ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفات بوده و لذا به‌منظور بهبود این صفات روش‌های مبتنی بر استفاده از هتروزیس و تولید دورگ پیشنهاد شده است (۹). در مطالعه دیگری بر روی نتاج F_2 که با هدف بهبود ژنتیکی برای افزایش تحمل به خشکی بر روی گلرنگ انجام شده، نتایج آن‌ها نشان داد که آثار GCA و SCA برای صفات اندازه‌گیری شده، به‌طور معنی‌دار تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری قرار گرفت (۲). همچنین گلکار و همکاران (۱۰)، ۳٦ ژنوتیپ که شامل ۲۸ نتاج F_2 از تلاقی نیمه دای‌آلل و ۸ والد بودند را برای شناسایی اثر محیط بر توانایی ترکیب‌پذیری و عملکرد دانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها حاکی از معنی‌دار بودن این دو پارامتر بوده و بیانگر این است که برای بهبود عملکرد دانه نیاز به روش‌های اصلاحی مبتنی بر دورگ گیری و انتخاب برای این صفت در گلرنگ دارد.

در مطالعه‌ای در اصفهان به‌منظور برآورد پارامترهای ژنتیکی ویژگی‌های مورفو- فنولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، نتایج حاصل از تلاقی‌های دای‌آلل ارقام گلرنگ در نسل F_1 با روش گریفینگ مورد بررسی قرار گرفت. وراثت‌پذیری خصوصی بالا و درجه غالبیت کمتر از یک برای صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در غوزه حاکی از نقش بیشتر اثرات افزایشی ژن‌ها و کارائی بالای انتخاب برای بهبود آنها بود (۱۱). جحاج‌هاریا و همکاران (۱۹) به بررسی ترکیب‌پذیری ۱۰ رقم گلرنگ با استفاده از روش ۲ و مدل ۱ گریفینگ پرداختند و نتایج تجزیه دای‌آلل آن‌ها نشان داد که میانگین مربعات GCA و SCA برای صفات عملکرد دانه، تعداد غوزه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، محتوی روغن دانه، زودرسی و تعداد انشعابات اصلی در بوته معنی‌دار بود که بیانگر نقش هر دو آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفات است. در مطالعه‌ای در شرایط گرمسیری برزیل، توانایی ترکیب‌پذیری و هتروزیس درگلرنگ در یک تلاقی دای آلل ۵×۵ از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ برای تعیین ماهیت و نحوه عملکرد ژن‌ها در بروز صفات انجام شد و نتایج حاکی از وجود تنوع ژنتیکی معنی‌داری در نتاج از نظر ارتفاع بوته و عملکرد دانه و محتوای روغن دانه بود و می‌توان از ژنوتیپ‌های برتر آن در برنامه‌های 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 دای‌آلل

شماره والد	کد	منشأ	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	Tajikestan	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

(٦) در مطالعه بر روی تلاقی ٦×٦ دای‌آلل 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 دای‌آلل در گلرنگ مبین اهمیت بیشتر آثار افزایشی ژن‌ها در کنترل صفت شاخص برداشت بوده است (۱۰). کوچ (٢٤) با استفاده از نتایج تلاقی‌های متشکل از ٦ 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 درنتیجه 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 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 به‌عنوان 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 ٦٤ ژنوتیپ شامل ٤٥ جمعیت F_2 حاصل از تلاقی نیمه دای‌آلل ۱۰×۱۰ به‌همراه ۱۰ والد آن‌ها و ۹ رقم شاهد در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد (اصفهان) در سال زراعی ۰۲–۱٤۰۱ مورد ارزیابی قرارگرفت. والدین تلاقی از بین ۱۰۰ ژنوتیپ داخلی و خارجی گلرنگ که در چند محیط و چند سال ارزیابی شده بودند (٤)، انتخاب شدند (جدول ۱)، و با شماره‌های طرح قبلی شامل ٨٦، ٢٣، ٧١، ٤٠، ٩٦، ٣٢، ٥٤، ٧٤،

۹ و ٦۷ مشخص هستند که اطلاعات آن‌ها 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 آن‌ها انجام شده و نسل اول ایجاد و پس از خودگشن شدن نتاج نسل دوم حاصل شد که مواد ژنتیکی این مطالعه را تشکیل می‌دهند (٤).

روش اجرای طرح

در این مطالعه، ٤۵ جمعیت F_2 به همراه ۱۰ والد آن‌ها و ۹ ژنوتیپ شاهد، در قالب طرح لاتیس ساده با دو تکرار و به‌طور جداگانه در دو شرایط محیطی با و بدون تنش خشکی کنار یکدیگر در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. کشت در روز ۱۰ آذر سال ۱٤۰۱ به‌صورت دستی انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل دو خط کشت دو متری بود و فاصله بین واحدهای آزمایشی ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله‌ی بوته‌ها روی هر خط کشت ۱۰ سانتی‌متر و بین دو خط ۲۰ سانتی‌متر بود. در طول فصل کشت، عملیات تنک کردن، وجین و مبارزه با علف‌های هرز انجام گرفت.

تا مرحله پایان ساقه‌دهی آبیاری به‌طور 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%) انجام‌گرفت. برای تعیین زمان آبیاری از دستگاه رطوبت‌سنج TDR (شرکت آذر خاک آب ارومیه مدل AKA-SM01) استفاده شد و عمق آب مورد نیاز هر کرت از فرمول زیر محاسبه شد.

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

در فرمول بالا، I: عمق آب آبیاری بر حسب میلی‌متر، B: چگالی ظاهری خاک (۱/٤) (کیلوگرم بر مترمکعب)، D: عمق توسعه ریشه (٦۰ سانتی‌متر)، FC: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_{irri}: 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 $V= I\times A$ به‌دست آمد که A مساحت کرت بر حسب مترمربع و I عمق آبیاری بر حسب میلی‌متر است. نوع آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود و برای اندازه‌گیری حجم آب ورودی کرت‌ها از کنتور استفاده شد.

صفات مورد مطالعه

ثبت مراحل فنولوژیک از جمله روز تا تکمه‌دهی، 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، اندازه‌گیری گردید.

تجزیه‌وتحلیل آماری و ژنتیکی

ابتدا از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و تست بارتلت به ترتیب برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها و همگنی خطاهای آزمایشی برای داده‌های دو محیط با و بدون تنش رطوبتی استفاده شد. کارائی 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 اندازه‌گیری 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 نرم‌افزارهای SAS و ترسیم

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 دای‌آلل 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 دای‌آلل با استفاده از نتاج F_2 است ضریب خویش آمیزی به جای عدد ۱ (که برای نسل F_1 استفاده می شد) برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود، بنابراین فرمول‌ها در نتاج F_2 به صورت زیر تغییر می‌یابند (۵):

واریانس افزایشی $\sigma^2 A = ٤ \times \sigma^2 GCA$ (معادله ۲)

واریانس غالبیت $\sigma^2 D = ٤ \times \sigma^2 SCA$ (معادله ۳)

و درنهایت وراثت‌پذیری عمومی (h^2_{b}) و خصوصی (h^2_{n}) از طریق معادلات زیر برآورد شدند (۲۷):

$$h_b^2 = \frac{\sigma_A^2 + \sigma_D^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \frac{\sigma_e^2}{r}}$$ (معادله ٤)

$$h_n^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \frac{\sigma_e^2}{r}}$$ (معادله ٥)

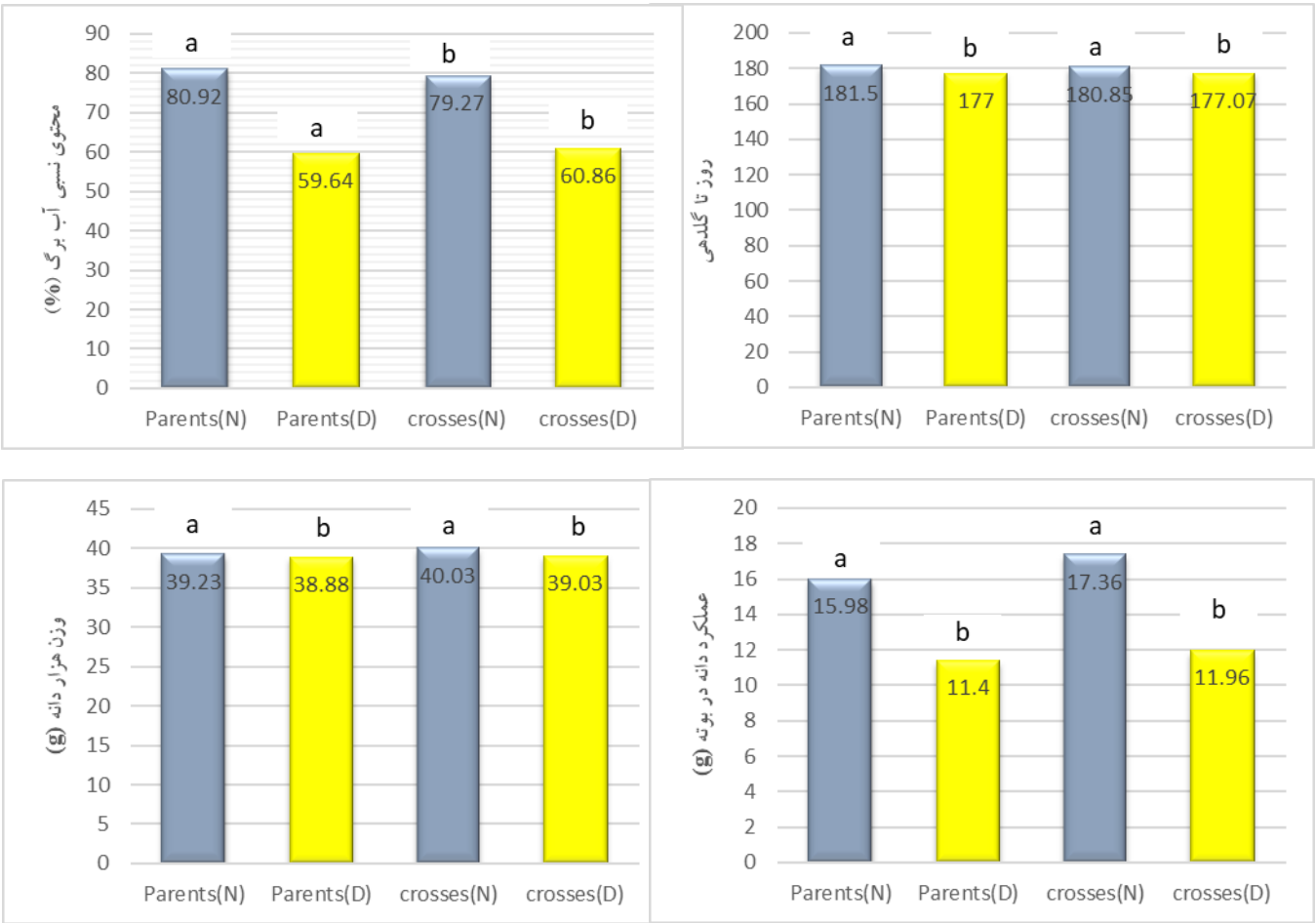
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس دای‌آلل صفات مورد مطالعه تحت دو شرایط رطوبتی عادی و تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه (۱۰ والد و ٤٥ تلاقی) برای تمامی صفات در هر دو شرایط عادی و تنش خشکی اختلاف معنی‌دار داشتند. بنابراین تجزیه و تحلیل ژنتیکی بر اساس طرح دای‌آلل 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 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 ۵۹/٦ درصد (تنش) کاهش یافت که معادل ۲٦/۳ درصد تغییر است. این صفت در تلاقی‌ها از ۷۹/۳ درصد به ٦۰/۸ 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 ۱۱/٤ گرم کاهش (۲۸/٦ 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 معنی دار 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 (جدول۲).



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).

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 (۳٦). در تجزیه دای‌آلل F_2 برای اکثر صفات در هر دو محیط رطوبتی، توارث‌پذیری عمومی بالایی (h^2_b>۷۰) مشاهده شد (جدول۲). 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 کردند که کارایی انتخاب عمدتا 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 محتوی نسبی آب برگ معنی‌دار شد و در شرایط تنش رطوبتی برای روز تا تکمه‌دهی، قطر غوزه، محتوی نسبی آب برگ و وزن هزار دانه معنی‌دار بود که مبین اهمیت واریانس غیرافزایشی در توارث این صفات می‌باشد و درنتیجه می‌توان از هتروزیس برای بهبود

جدول۲. اجزای واریانس ژنتیکی، نسبت ژنتیکی و مقادیر وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی صفات مورفولوژیک و زراعی و فیزیولوژیک تحت محیط غیرتنش 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^2GCA	غیر تنش	۱۲۶**	۴۳/۶**	۳۳/۱**	۲۸/۵*	۴/۷۱**
	تنش	۹۰/۳**	۱۲/۱*	۱۰/۱ns	۲۲/۹*	۲/۶۳ns
σ^2SCA	غیر تنش	۱۵/۱**	۱۰/۳**	۲۲/۴**	۱۶/۴ns	۱/۶۵ns
	تنش	۲۶/۲**	۳/۴۵ns	۸/۷۵ns	۱۵/۲*	۱/۱۵ns
σ^2A	غیر تنش	۵۰۶	۱۷۴	۱۳۲	۱۱۴	۱۸/۸
	تنش	۳۶۱	۴۸/۴	۴۰/۳	۹۱/۷	۱۰/۵
σ^2D	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^2GCA: واریانس قدرت ترکیب‌پذیری عمومی، σ^2SCA: واریانس قدرت ترکیب‌پذیری خصوصی، σ^2A: واریانس افزایشی، σ^2D: واریانس غالبیت، VE: واریانس محیطی، VG: واریانس ژنوتیپی، h^2_b: وراثت‌پذیری عمومی، h^2_n: وراثت‌پذیری خصوصی و ns، *، ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

این صفات استفاده کرد. سینگ و پاوار (۳۵) گزارش کردند که میانگین مربعات GCA به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از میانگین مربعات SCA برای صفات روز تا ۵۰ درصدگلدهی، 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 نشان‌دهنده اهمیت بیشتر اجزای واریانس افزایشی در واریانس ژنتیکی این صفات بوده است که در نسل‌های اولیه بیشتر قابل تثبیت هستند (۳۵). همچنین گلکار و همکاران (۸) وجود اثرات غالبیت ژن‌ها را در کنترل ژنتیکی محتوای روغن دانه در گلرنگ گزارش کردند. تجزیه دای‌آلل نتاج F_2 در این مطالعه نشان داد که میزان واریانس افزایشی در مورد کلیه صفات غیر از محتوی نسبی آب برگ، در محیط غیر تنش رطوبتی و در محیط تنش برای کلیه صفات به‌جز محتوی نسبی آب برگ و تعداد غوزه، بیشتر از واریانس غالبیت بود (جدول۲). ولی کوچ (۲۳) گزارش کرد که در گلرنگ برای صفات وزن هزار دانه، قطر غوزه، تعداد انشعاب

ادامه جدول۲. اجزای واریانس ژنتیکی، نسبت ژنتیکی و مقادیر وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی صفات مورفولوژیک و زراعی و فیزیولوژیک تحت محیط غیرتنش 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)
σ^2GCA	غیر تنش	۳۷/۲**	۱۷۱*	۲۰/۷*	۵۱۷۹۱*	۱۵۷**
	تنش	۱۵/٦ns	٦۳/۵ns	۲۳/٤*	۵۸٤٦۲*	۱۵۱**
σ^2SCA	غیر تنش	۱۳/۳ns	۲۲٤**	۱۱/۳ns	۲۸۲٤۸ns	۳۹/۹**
	تنش	۱۷/۰ns	۱٦۸**	۱۰/۷ns	۲٦۷۵۱ns	۳۵/٤**
σ^2A	غیر تنش	۱٤۸	٦۸۵	۸۲/۷	۲۰۷۱٦۷	٦۲۹
	تنش	٦۲/۵	۲۵٤	۹۳/۵	۲۳۳۸۵۰	٦۰٤
σ^2D	غیر تنش	۵۳/۵	۸۹۷	٤۵/۱	۱۱۲۹۹۵	۱۵۹
	تنش	٦۸/۱	٤۸۳	٤۲/۷	۱۰۷۰۰۷	۱٤۱
VE	غیر تنش	۱۰/۰	٦۵/۹	۱۱/۱	۲۷۷۲۳	۱۲/۹
	تنش	۱۸/۰۱	۷۸/۹	۱۰/٦	۲٦۵۲۷	۱٤/٤
VG	غیر تنش	۲۰۲	۱۵۸۳	۱۲۷	۳۲۰۱٦۳	۷۸۹
	تنش	۱۳۰	۹۲۸	۱۳٦	۳٤۰۸۵۷	۷٤٦
درجه غالبیت	غیر تنش	۰/۸٤	۱/٦۱	۱/۰٤	۱/۰٤	۰/۷۱
	تنش	۱/٤۷	۱/۹٤	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/٤٦
$h^2b(\%)$	غیر تنش	۹۵/۲	۹٦/۰	۹۲/۰	۹۲/۰	۹۸/٤
	تنش	۸۷/۸	۹۲/۱	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۸/۱
$h^2n(\%)$	غیر تنش	٦۰/۱	۳۱/۵	٤۹/۵	٤۹/۵	٦۸/٤
	تنش	۳۲/۱	۱۵/۲	۵۳/٦	۵۳/٦	٦۹/٤

σ^2GCA: واریانس قدرت ترکیب‌پذیری عمومی، σ^2SCA: واریانس قدرت ترکیب‌پذیری خصوصی، σ^2A: واریانس افزایشی، σ^2D: واریانس غالبیت، VE: واریانس محیطی، VG: واریانس ژنوتیپی، h^2b: وراثت‌پذیری عمومی، h^2n: وراثت‌پذیری خصوصی و ns، *، ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

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

در پژوهش حاضر توارث‌پذیری خصوصی بالا برای صفات روز تا ۵۰ درصد تکمه‌دهی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد غوزه و وزن هزار دانه در محیط غیر تنش رطوبتی و صفات روز تا ۵۰ درصد تکمه‌دهی، روز تا ۵۰ درصد گلدهی و وزن هزار دانه در محیط تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۲) که بیانگر نقش قابل‌توجه واریانس ژنتیکی افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفات بود. توارث‌پذیری خصوصی پایین برای تعداد غوزه در بوته و متوسط برای تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گلرنگ قبلا گزارش شده است (۹). توارث‌پذیری خصوصی پایین و درجه بالای غالبیت برای محتوای روغن نیز توسط گلکار و همکاران (٦) مشاهده شد و بیان کردند توارث‌پذیری خصوصی پایین برای صفات، نقش کمترآثار افزایشی ژن‌ها را در کنترل ژنتیکی صفت نشان می‌دهد و گویای این مهم است که روش‌های انتخاب تأثیر کم‌تری برای

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 این‌که 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 F_2، والد G71 (از مکزیک) و G67 (از لیبی) در هر دو محیط رطوبتی بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی از نظر کاهش تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی می‌باشند (جدول ۳). به‌عبارت دیگر برای کاهش این صفت در نتاج، می‌توان از این ژنوتیپ به‌عنوان والدین تلاقی استفاده نمود. نتاج حاصل از این والدین نیز دارای کمترین مقدار روز تا ۵۰ درصد گلدهی بودند. بنابراین به‌نظر 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.

ب- قطر غوزه و تعداد انشعاب در بوته

از نظر قطر غوزه، والدین G71 (از مکزیک) و G67 (از لیبی) بیشترین اثرات GCA مثبت و معنی‌دار را در هر دو محیط رطوبتی دارا بودند (جدول ۳). در تلاقی‌ها نیز به‌عنوان مثال، تلاقی‌های 96×67 و 40×71، به‌طور نسبی دارای قطر غوزه بیشتری بودند. لذا این والدین نیز ترکیب‌شونده‌های عمومی خوبی برای بهبود این صفت به‌شمار 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 معنی‌دار بود (جدول ۳). تلاقی‌های 23×74، 40×74 و 86×74 کمترین میانگین تعداد انشعاب را به خود اختصاص دادند. درنتیجه این والد، ترکیب‌شونده مطلوبی به‌منظور 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 وکم‌ترین 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. به‌نظر 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 به‌دلیل 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 درنتیجه از اثرات GCA آن‌ها

جدول۳. اثرات ترکیب‌پذیری عمومی(GCA) والدین برای صفات مختلف در ارزیابی نسل F_2 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	−۱/۷۳ ± ۰/٤۱**	−۰/۸٤ ± ۰/٦۱**	−۰/۰۱ ± ۰/۷۱	۰/۱۵ ± ۰/۲۲	۰/۸۳ ± ۰/٦۲
		تنش	−۰/۸۳ ± ۰/٤۳*	−۰/٦۹ ± ۰/٤۹	−۰/۲۳ ± ۰/۵۰	۰/۲۰ ± ۰/۲۵	−۰/۳۹ ± ۰/۹۳
۲	G67	غیر تنش	۰/۳٤ ± ۰/٤۱**	۰/٦۱ ± ۰/٦۱	۱/٦۹ ± ۰/۷۱*	−۰/٤۲ ± ۰/۲۲*	−۲/۱۳ ± ۰/٦۲**
		تنش	−۰/۱۲ ± ۰/٤۳	۰/٦٤ ± ۰/٤۹	۱/۲۹ ± ۰/۵۰*	۰/٤۹ ± ۰/۲۵*	−۰/۲۸ ± ۰/۹۳
۳	G32	غیر تنش	−۰/۳۱ ± ۰/٤۱	−۰/۳۸ ± ۰/٦۱	−۰/٤۲ ± ۰/۷۱	−۰/۱۰ ± ۰/۲۲	−۰/٦۰ ± ۰/٦۲
		تنش	۰/۳۳ ± ۰/٤۳	۰/۲۲ ± ۰/٤۹	−۰/۲۷ ± ۰/۵۰	۰/۱۳ ± ۰/۲۵	−۰/۹۱ ± ۰/۹۳
٤	G9	غیر تنش	−۱/٦۹ ± ۰/٤۱**	−۲/۷۱ ± ۰/٦۱**	−۱/٤٤ ± ۰/۷۱*	−۰/٤٦ ± ۰/۲۲*	−۰/۰۱ ± ۰/٦۲
		تنش	−۰/۵۸ ± ۰/٤۳	−۱/۳۵ ± ۰/٤۹**	−۱/۱۹ ± ۰/۵۰*	۰/۳۸ ± ۰/۲۵	۱/٤۱ ± ۰/۹۳
۵	G96	غیر تنش	۰/۷۲ ± ۰/٤۱	−۰/۳٤ ± ۰/٦۱	−۰/۱۹ ± ۰/۷۱	۰/۰۱ ± ۰/۲۲	۰/٦۷ ± ۰/٦۲
		تنش	۰/۵۸ ± ۰/٤۳	۰/۵۵ ± ۰/٤۹	−۰/۲۷ ± ۰/۵۰	۰/۳٤ ± ۰/۲۵	۰/۵۲ ± ۰/۹۳
٦	G74	غیر تنش	−۱/٤۸ ± ۰/٤۱**	−۰/۸۸ ± ۰/٦۱	۰/۱٦ ± ۰/۷۱	−۰/۹٦ ± ۰/۲۲**	−۱/٦۵ ± ۰/٦۲*
		تنش	−۰/٤۷ ± ۰/٤۳	۰/۲٦ ± ۰/٤۹	−۰/۱۲ ± ۰/۵۰	−۰/۲۸ ± ۰/۲۵	۰/۰۷ ± ۰/۹۳
۷	G23	غیر تنش	۲/۸۱ ± ۰/٤۷**	۰/۹۷ ± ۰/۷۱	−۰/٤٤ ± ۰/۸۲	۰/٤۰ ± ۰/۲٦	۱/٤۵ ± ۰/۷۱*
		تنش	۱/۲۲ ± ۰/۵۰*	۰/۸۰ ± ۰/۵۷	−۰/٤٤ ± ۰/۵۸	−۰/۱۳ ± ۰/۲۸	۱/۰۷ ± ۱/۰٦
۸	G40	غیر تنش	۱/۰٦ ± ۰/٤۷*	۱/٦۰ ± ۰/۷۱*	−۱/۰۷ ± ۰/۸۲	۰/۵۲ ± ۰/۲٦*	۱/۵۷ ± ۰/۷۱*
		تنش	۰/٦۵ ± ۰/۵۰	−۰/۰۱ ± ۰/۵۷	−۰/٤۸ ± ۰/۵۸	−۰/٦۰ ± ۰/۲۸*	۰/۱٦ ± ۱/۰٦
۹	G86	غیر تنش	۰/۵۰ ± ۰/٤۷	۱/۱۰ ± ۰/۷۱	−۰/۵۷ ± ۰/۸۲	۰/٤۸ ± ۰/۲٦*	۰/۵۹ ± ۰/۷۱
		تنش	۰/٦۵ ± ۰/۵۰	−۰/۰۷ ± ۰/۵۷	−۰/۰٦ ± ۰/۵۸	۰/۱٤ ± ۰/۲۸	−۰/۱۲ ± ۱/۰٦
۱۰	G71	غیر تنش	−۰/۲۳ ± ۰/۵۵	۰/۸٦ ± ۰/۸۲	۲/۳۱ ± ۰/۹۵*	۰/۳۸ ± ۰/۳۰	−۰/۷۲ ± ۰/۸۳
		تنش	−۰/۵۰ ± ۰/۵۸	−۰/۳٦ ± ۰/٦٦	۱/۸۰ ± ۰/٦۷**	−۰/٦۸ ± ۰/۳۳*	−۱/۵۳ ± ۱/۲٤
میانگین مورد انتظار		غیر تنش	۱۸۰/٦٦ ± ۰/۲۲	۲۲۰/٤٦ ± ۰/۳۳	۲۷/٦۰ ± ۰/۳۸	۷/۵۷ ± ۰/۱۲	۱۷/۸۱ ± ۰/۳۳
		تنش	۱۷۷/۱۳ ± ۰/۲۳	۲۱۱/۸٤ ± ۰/۲٦	۲۷/۰۰ ± ۰/۲۷	٦/۳٦ ± ۰/۱۳	۱٤/۲٤ ± ۰/۵۰

به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و اعداد ±، SE (Standard Error) می‌باشد.

می‌توان پتانسیل نتاج آن‌ها را در شرایط رطوبتی معمول پیش‌بینی 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 داده‌اند (جدول ۳). بنابراین از نظر افزایش درصد RWC، این والدین، بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی برای تولید نتاجی مطلوب از لحاظ این صفت در تلاقی با سایر ژنوتیپ‌ها هستند. در تلاقی‌های به‌دست‌آمده این مطالعه نیز حداکثر درصد RWC، در محیط عدم تنش، مربوط به تلاقی‌های 40×32 و 23×32 و در محیط تنش نیز باز مربوط به نتاج حاصل از تلاقی این والدین بود. درنتیجه درمورد این صفت به‌نظر می

ادامه جدول۳. اثرات ترکیب‌پذیری عمومی(GCA) والدین برای صفات مختلف در ارزیابی نسل F_2 تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی در گلرنگ

کد ژنوتیپ	ژنوتیپ (والد)	محیط رطوبتی	وزن هزار دانه (g)	محتوی نسبی آب برگ (٪)	عملکرد دانه تک بوته ($gplant^{-1}$)	شاخص تحمل STI	شاخص درصد کاهش عملکرد (PRI)
۱	G54	غیر تنش	۲/۷۹ ± ۰/۷۱**	۱/۶۰ ± ۰/۳٤	۰/۸٦ ± ۰/٦۷	۰/۹۸	۲۳/۹
		تنش	۱/٤۲ ± ۰/۷۹*	−۲/۳۰ ± ۱/۸٤	۰/۲۰ ± ۰/٦٥	–	–
۲	G67	غیر تنش	۱/۱۱ ± ۰/۷۱	۱/٤٦ ± ۱/٦۰	−۰/۲۷ ± ۰/٦۷	۰/٦۷	۱۸/۸
		تنش	۱/۳٤ ± ۰/۷۹*	۲/٤۸ ± ۱/۸٤	۰/۳۸ ± ۰/٦٥	–	–
۳	G32	غیر تنش	۰/٥۱ ± ۰/۷۱	٤/۳۰ ± ۱/٦۰**	۰/۲٥ ± ۰/٦۷	۰/٦۰	٤۲/٥
		تنش	−۰/۱٥ ± ۰/۷۹	−۱/٦۰ ± ۱/۸٤	−۰/۹۸ ± ۰/٦٥	–	–
٤	G9	غیر تنش	−٥/٤٥ ± ۰/۷۱**	−۰/۷۰ ± ۱/٦۰	−۲/۰۸ ± ۰/٦۷**	۰/۲۹	۲۷/٥
		تنش	−۲/۷۷ ± ۰/۷۹**	۰/۷۷ ± ۱/۸٤	−۰/۳۳ ± ۰/٦٥	–	–
٥	G96	غیر تنش	−۳/۰۸ ± ۰/۷۱**	−۱/۸۲ ± ۱/٦۰	۰/۰۹ ± ۰/٦۷	۰/٥۷	۱٤/۸
		تنش	−٤/۱٥ ± ۰/۷۹**	−۱/۰۳ ± ۱/۸٤	۰/٥۰ ± ۰/٦٥	–	–
٦	G74	غیر تنش	۲/۳۹ ± ۰/۷۱**	٤/۱٤ ± ۱/٦۰*	۰/٦۷ ± ۰/٦۷	۰/۹۱	۹/۱
		تنش	٤/٤۱ ± ۰/۷۹**	−۱/۰۱ ± ۱/۸٤	۲/۱۰ ± ۰/٦٥**	–	–
۷	G23	غیر تنش	−۱/۰۰ ± ۰/۸۱	۲/۲۸ ± ۱/۸٤	۰/۸۷ ± ۰/۷۷	۰/۳۳	٥۰/٤
		تنش	−۲/۰۸ ± ۰/۹۱*	−۰/٤۰ ± ۲/۱۲	۱/۰۳ ± ۰/۷٥	–	–
۸	G40	غیر تنش	۱/۷۲ ± ۰/۸۱*	−۳/۲۰ ± ۱/۸٤*	۰/۳۹ ± ۰/۷۷	۰/۹۰	٤۰/۷
		تنش	۲/٦٥ ± ۰/۹۱**	−۰/۷۹ ± ۲/۱۲	۰/۷٥ ± ۰/۷٥	–	–
۹	G86	غیر تنش	−۰/۸٤ ± ۰/۸۱	−٤/٤٥ ± ۱/۸٤*	۱/٤۷ ± ۰/۷۷*	۰/٥۳	۲۷/۲
		تنش	−۱/۰۱ ± ۰/۹۱	۰/۳۷ ± ۲/۱۲	−۰/۲٤ ± ۰/۷٥	–	–
۱۰	G71	غیر تنش	۱/۸٤ ± ۰/۹٥	−۲/۳٥ ± ۲/۱٤	۰/۲٦ ± ۰/۸۹	۰/۸۳	۲۸/۹
		تنش	۰/۳۳ ± ۱/۰٦	۳/٥۲ ± ۲/٤٦	۱/۱٦ ± ۰/۸۷	–	–
میانگین مورد انتظار		غیر تنش	۳۹/۸ ± ۰/۳۸	۷۹/۰ ± ۰/۸٦	۱۷/۲ ± ۰/۳٦	–	–
		تنش	۳۸/۷ ± ۰/٤۳	٦۰/٦ ± ۰/۹۹	۱۱/۹ ± ۰/۳٥	–	–

به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ٥ و ۱ درصد و اعداد ±، SE (Standard Error) می‌باشد.

رسد که در هر دو شرایط رطوبتی می‌توان از اثرات ترکیب‌پذیری والدین در تخمین پتانسیل نتاج آن‌ها استفاده نمود. لذا از والدین با GCA بالا و مثبت می‌توان در بهبود این صفت استفاده کرد و از آن‌جا که همین والد G74 (از اردن) همچنین، دارای GCA مثبت و معنی‌دار برای صفت وزن هزار دانه بود، بنابراین انتظار می‌رود با انتخاب برای بهبود RWC، عملکرد دانه و در نتیجه وزن هزار دانه نیز همزمان بهبود یابد و منجر به تولید ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش خشکی شود. همچنین نتاج حاصل از محیط تنش نشان داد برای حصول ژنوتیپ‌هایی با بیشترین درصد RWC، علاوه بر اثرات GCA

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 به‌دلیل وجود اثرات غالبیت در توارث آن صفت باشد (۳٦).

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 40×74 و 86×74 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 ۳٤). 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 بـه خشـکی) 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 می‌شوند. والدین G54، G74 وG40 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 حالی‌که 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 بـرای تعـداد روز تـا تکمـه‌دهـی ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی مربوط به تلاقی‌های 86×67، 86×74، 71×23 و 71×74 در محیط عدم تنش رطوبتی بود. در شرایط تنش رطوبتی در نسل F_2، کمتـرین اثـرات SCA در تلاقی‌هـای 40×74 و 71×23 مشاهده شـد (جـدول ٤). در صـفات روز تـا گلدهی و روز تا رسیدگی تلاقـی‌هـای 71×54 و 23×74 دارای کمترین ترکیب‌پذیری خصوصی (منفی و معنی‌داری) بودند. لـذا برای کاهش این صفت در هردو شرایط رطوبتی تلاقـی 71×23 با اثرات SCA منفی و معنی‌دار می‌تواند بـرای هـدف اصـلاحی زودرسی مفید باشد. این تلاقی از دو والد با اثرات GCA منفـی ضعیف و خوب برای این صفت حاصل شده است (جـدول ۳). بنابراین برای شناسایی و انتخاب بهترین والدین در برنامه‌های

جدول٤. اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی(SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F_2 گلرنگ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی

		روز تا گلدهی		روز تا رسیدگی		قطر غوزه (mm)		تعداد انشعاب در بوته		تعداد غوزه در بوته	
شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش
١	54×54	٠/٣٠	−٠/٩٧	٠/٢٢	٠/٠٣	−١/٦٢	−٢/٠٢	٠/٥٢	١/٢٣	−٠/١٤	٤/٥٤
٢	54×67	٠/٧٢	٠/٣٢	٣/٢٦	٠/٢٠	−٠/٢٩	−٠/٩٧	١/٦٥*	٠/٤٨	١/٩٧	٣/٦٤
٣	54×32	−١/٦١	٠/٥٣	−٦/٧٣**	٠/٦٢	−٢/٢٣	−١/١٢	٠/٠٣	−١/٣٠	−٠/٣٥	−١/٧٨
٤	54×9	٢/٧٦*	−٠/٧٢	٦/٠٩**	٠/٢٠	−١/٧٨	٠/٣٢	−١/٢٥*	−١/١٥	−١/٦٤	−٢/٤٠
٥	54×96	−١/٦٥	−٠/٣٨	٠/٢٢	٠/٧٨	٠/٨٤	−٠/٠٨	٠/٢٥	−٠/٠٦	١/١٧	−١/٦٢
٦	54×74	١/٥٥	٠/٤٤	٠/٧٦	٣/٠٧*	١٠/٨٩**	٩/٣٢**	−٠/٤٠	٠/٣٦	٢/٦٩	−١/٣٢
٧	54×23	٣/٢٥*	٠/٤٧	٢/٩٠	−٠/٩٥	٠/٨٧	٠/٤٤	٠/٦١	٠/٩٦	١/٤٣	−١/١٧
٨	54×40	−١/٩٩	٢/٠٣	−١/٧٢	−٢/٦٤	−١/٧٧	−١/١٧	−١/٦٩*	٠/٤٨	−٣/٨٢*	٠/٣٨
٩	54×86	−٠/٩٣	−٠/٩٦	−٢/٢٢	٠/٩٢	−٠/١٣	٠/٠٤	٠/٢٨	−١/٤١*	٠/٦٠	−٢/٩٧
١٠	67×67	٣/١٣*	٠/١١	−٣/٦٩*	−١/٦٣	٠/٤١	٠/٩٩	−١/٥٦*	−٠/٢٦	−٢/٥٠	−٠/٢٦
١١	67×32	٢/٣٠	٠/٣٢	٧/٣٠**	٠/٢٨	−٠/٤٠	−٠/٠٩	٠/٩١	٠/٥٩	٣/١١	١/٦٠
١٢	67×9	٢/١٧	٠/٠٧	١/١٣	−٠/١٣	−١/٣٨	−٢/٠٢	٠/٩٧	−٠/٧٤	−٠/٢٢	٠/٨٨
١٣	67×96	−٠/٧٣	−١/٠٩	−٠/٢٣	−٠/٥٤	١/٢٩	٢/٣٣	١/٥٨	٠/٥٨	٣/٠٣	−١/٨٨
١٤	67×74	−٠/٥٣	٠/٢٣	٣/٣٠	١/٢٤	−٠/٤٨	−٠/٥١	٠/١٢	−٠/٠٨	١/٥١	١/٥١
١٥	67×23	−٢/٣٢*	−٠/٧٣	−٢/٠٥	−٣/٢٨*	٠/٥١	٠/١١	٠/٠٩	٠/٨٢	−٠/٧٩	−١/٨٨
١٦	67×40	−٣/٥٧**	−١/٦٧	−٤/٦٨*	٢/٥٢	−٠/٢٧	−٠/٥٤	−٠/٤٦	−١/٠٠	−٠/١٦	−٣/٦١
١٧	67×86	−٢/٥١*	٢/٨٢*	٠/٨١	٢/٠٨	١/٧٥	٠/٩٧	−١/٠٨	−٠/٠١	−٤/١٨*	−٠/٦٨
١٨	32×32	−٠/٠٣	١/٠٣	−١/١٩	−١/٢٩	−٠/٣٥	٠/٢٦	−٠/٦٠	−٠/٤٩	−١/٧٠	−٠/٣٢
١٩	32×9	−٠/١٥	−١/٢٢	٢/١٣	−٢/٧١	٠/٥٢	−١/٠٣	٠/٣٠	٠/٢٥	−٠/٤٥	٢/٦٥
٢٠	32×96	−١/٠٧	−٠/٣٨	−٠/٧٣	١/٨٧	٠/٢٣	−١/٦١	٠/٤١	٠/٢٤	٣/٢٦	−٠/٤٥
٢١	32×74	١/١٣	٠/٤٤	٣/٨٠*	٤/٦٦**	−١/٥٢	−١/٣٩	٠/٧٠	٠/٧٧	−٠/٠٥	٠/٥٩
٢٢	32×23	١/٨٣	١/٤٧	−٢/٠٥	٢/١٢	١/٥٢	١/٢٨	−٠/٥٧	−٠/٩٦	−٠/٦٢	−٥/٤٠*
٢٣	32×40	−١/٤١	٠/٠٣	−١/٦٨	−٠/٠٥	٠/٥٦	٠/٨٩	٠/٣٦	٠/٤٥	−١/٣٣	١/٥٥
٢٤	32×86	−٢/٨٥*	−٢/٤٦*	−٢/١٨	−٢/٤٩	٠/٨٦	١/٩٤	−٠/٠١	٠/٨٠	٠/٤٤	٣/٠٤
٢٥	9×9	−٠/٧٨	٠/٥٣	−٥/٠٣**	١/٣٧	−٣/٢٥	−٢/١٨	٠/٢١	٠/٢١	٠/٣٥	١/٣٨
٢٦	9×96	−٠/١٩	−٠/٦٣	٠/٠٩	−٣/٠٤*	−٠/٣٦	−٠/٢٧	−٠/٣٢	٠/٧٥	−٢/٤٢	٠/٦١
	میانگین مورد انتظار(Intercept)	١٨٠/٦٦	١٧٧/١٣	٢٢٠/٤٦	٢١١/٨٤	٢٧/٦٠	٢٧/٠٠	٧/٥٧	٦/٣٦		١٦٨/٤٥

*، ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ٥ و ١ درصد می‌باشد.

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

ب- قطر غوزه و تعداد انشعاب

برای قطرغوزه در نسل F_2، در شرایط عدم تنش رطوبتی و تنش رطوبتی اثرات SCA مثبت و معنی‌داری برای تلاقی‌های 74×54 و 71×9 و همین‌طـور بیشـترین میـانگین بـرای ایـن تلاقـی‌هـا مشاهده شد (جدول ٤). تلاقی 74×54 از نظـر اثـرات GCA از ترکیب دو والد با قدرت ترکیب‌پذیری خوب و متوسط و تلاقی 71×9 از ترکیـب دو والـد بـا قـدرت ترکیـب‌پـذیری خـوب و ضعیف برای این صفت حاصل شده اسـت (جـدول ۳). لـذا از این جمعیت‌ها می‌توان برای تولید ارقام با غـوزه‌هـایی بـا قطـر بیشتر استفاده کرد. بهبود قطر غـوزه در افـزایش تعـداد دانـه در غوزه و نهایتا افزایش عملکرد دانه گلرنـگ نقـش اساسـی دارد (۳۳).

در مورد تعداد انشعاب در بوته در شرایط عدم تـنش رطـوبتی، تلاقـی‌هـای 86×40 و 71×86 در نسـل F_2 اثـرات SCA مثبـت داشته‌اند (جدول ٤). بیشترین میانگین این صفت نیز بـه همـین جمعیت‌ها تعلق داشـت، بنـابراین بـرای بهبـود ایـن صـفت در شرایط غیرتنش می‌توان از این جمعیـت اسـتفاده کـرد. از نظـر مقادیر GCA، این تلاقی‌ها از ترکیب دو والد با قدرت ترکیب-پذیری خوب ایجاد شده‌اند (جدول ۳). بنابراین، این جمعیت‌ها برای تولید لاین‌هایی با تعداد انشعاب بیشتر در بوتـه در نسـل-های بعد مناسب‌تر هستند (۸). باتوجه به اثـرات GCA و SCA می‌توان نتیجه‌گیری نمود که والدین G40 (از تاجیکستان)، G71 (از مکزیـک) و G86 (از ایـران) دارای ژن‌هـای افـزایش‌دهنـده تعداد انشعاب در بوته هسـتند. در شـرایط تـنش و در نسـلF_2، تلاقی‌های 96×54 و 9×32 بیشترین اثـرات SCA مثبـت را دارا بودند (جدول ٤). از نظر اثرات GCA، این جمعیت‌ها به‌ترتیـب از ترکیب والدین خوب و متوسط و در تلاقی دوم از ضـعیف و ضعیف به‌دست آمده‌اند (جدول ۳).

پ-تعداد غوزه و محتوی نسبی آب برگ

بیشترین اثرات SCA در نسل F_2 و در شرایط عدم تنش رطوبتی، برای تعداد غوزه در بوته برای تلاقی 86×40 مشاهده شد (جدول ٤). 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 71×23 و 23×96 بیشترین اثرات SCA مثبت و معنی‌دار را در نسل F_2 به خود اختصاص دادند (جدول ۵). این جمعیت‌ها از نظر اثرات GCA به‌ترتیب از تلاقی دو والد با قدرت ترکیب-پذیری 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 (۳٦) نیز گزارش شده است.

برای صفت محتوی نسبی آب برگ بیشترین اثرات SCA مثبت و معنی‌دار در نسل F_2 در شرایط عدم تنش رطوبتی برای تلاقی‌های 40×67 و 40×32 و در شرایط تنش رطوبتی برای تلاقی 74× 32 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 به-دست آمده‌اند (جدول ۳). درنتیجه 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 جدول٤. مقادیر اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی(SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F_2 گلرنگ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی

		روز تا گلدهی		روز تا رسیدگی		قطر غوزه(mm)		تعداد انشعاب در بوته		تعداد غوزه در بوته	
شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش
٢٧	9×74	١/٥١	٠/١٩	١/٦٣	−٠/٧٥	−٠/٠٧	−٠/٢٩	٠/٠٦	٠/١٨	٠/٩٩	−٣/٩٣
٢٨	9×23	−٣/٢٨*	−١/٢٧	−٢/٢٢	١/٢١	−١/٣٢	−١/٠٩	١/٤٩*	٠/٠٣	٢/٦٣	−٣/٢٣
٢٩	9×40	−٢/٠٣	−٠/٧١	−٠/٨٥	−٠/٤٧	−١/١٢	١/٢٥	−٠/٨٧	−٠/٦٤	−٠/٥٧	٢/٥٨
٣٠	9×86	−١/٤٧	٢/٧٨*	١/١٥	٢/٥٨	−٠/٣١	−٠/٧٩	−٠/٥٤	−٠/٠٩	−١/٩٤	١/٥٧
٣١	96×96	٠/٣٨	٠/٦٩	−٠/٧٨	−١/٤٦	٠/٦٠	٠/٧٦	٠/٠٩	−٠/٧١	−٠/١٦	−٠/٦٤
٣٢	96×74	−٠/٤٠	٠/٥٣	−٠/٧٣	−١/٦٧	٠/٥١	٠/٠٣	٠/٢٢	−٠/٠٣	−٠/٧٣	−٠/٤٩
٣٣	96×23	١/٧٩	٠/٠٥	١/٩٠	١/٧٩	−٢/١٩	−٠/٤٩	−٠/١٩	٠/١٧	−١/٥٠	٩/٦٥**
٣٤	96×40	٥/٥٤**	٢/١٢	٦/٢٧**	٣/٦٠*	٠/٧٥	٠/٤٣	−٠/٥٥	٠/٢٩	٠/١٣	٠/٣١
٣٥	96×86	−١/٨٩	−٠/٨٧	−٣/٢٢	−١/٨٢	٠/١٧	−٠/١٣	−٠/٩٧	٠/٦٤	−٠/٦٨	−٠/٥٩
٣٦	74×74	−٠/١٩	٠/٣٦	−٠/٦٩	−٣/٣٨*	−٢/٣٥	−١/٨٥	٠/٢٠	−٠/٤٠	−١/٠٠	−٠/٩٩
٣٧	74×23	−٣/٩٩**	١/٣٩	−٢/٥٥	٠/٠٨	٠/٣٨	−٠/٠٢	−٠/٦٦	−٠/٣٩	٠/٣٧	−٠/٦٤
٣٨	74×40	−١/٢٤	−١/٠٤	−٢/١٨	−١/١٠	−١/٠٧	−١/١١	٠/٥٢	−٠/١٢	٢/٧١	٦/٢٦*
٣٩	74×86	١/٨١	−١/٥٤	−١/١٨	٢/٩٦*	−١/٥٠	−٠/٠١	−٠/٢٤	−٠/٥٢	−١/٩٠	٠/١٠
٤٠	23×23	−١/٢٩	−٠/٠٨	−٣/٤٢	−٠/٩٤	−١/٥٤	−١/٦٢	−١/٠٨	−٠/٧٤	−٢/٦٣	−٥/٣٩
٤١	23×40	٠/٤٥	−١/٥١	١/٤٥	−١/٦٣	٠/٢١	٠/١٢	−٠/٢٤	−٠/٢٧	−٠/٨٠	−٢/٨٣
٤٢	23×86	٤/٠١**	٠/٤٨	٥/٤٥**	−١/٥٧	−٠/٣٩	−٠/٨٧	٠/٤٨	٠/١٢	−١/٩١	٢/٥٥
٤٣	40×40	−٢/٢٩	−٢/٩٥	−٦/١٧*	−١/٨٢	١/٠٣	٠/٥٧	−١/٢١	٢/٣٤	−٥/٦٦*	١/٤٧
٤٤	40×86	٣/٢٦*	−١/٤٥	٤/٨٣*	−١/٧٥	١/٨٩	١/٠٤	٢/١٦**	٠/٢٩	٨/٧١**	−٢/٠٣
٤٥	86×86	٠/٨٣	١/٥٤	−٤/١٧	٠/٣٠	٠/٩٢	−٠/٢٢	−١/٩٩*	−٠/٧٠	−١/١٥	٠/١٠
٤٦	54×71	−٢/٦٩*	٠/١٩	−٢/٩٩	−٢/٢٩	−٣/١٢	−٢/٧٢	−٠/٥٥	−٠/٨٢	−١/٧٧	−١/٨١
٤٧	67×71	−١/٧٨	−٠/٥١	−١/٤٤	٠/٨٧	−١/٥٤	−١/٢٦	−٠/٦٧	−٠/١٢	٠/٧٤	٠/٩٣
٤٨	32×71	١/٨٨	−٠/٨٠	٢/٥٥	−١/٧٠	١/١٧	٠/٥٩	−٠/٩٤	٠/١٣	−٠/٥٨	−١/١٤
٤٩	9×71	٢/٢٦	٠/٤٤	٠/٨٨	٠/٣٧	١٢/٣٧**	٨/٢٩**	−٠/٢٨	٠/٩٨	٢/٩٢	−١/٥١
٥٠	96×71	−٢/١٥	−٠/٧١	−١/٩٩	١/٩٦	−٢/٤٦	−١/٧٥	−٠/٦١	−١/١٧	−١/٩١	−٤/٢٣
٥١	74×71	٠/٥٥	−١/٣٨	−١/٤٤	−١/٧٤	−٢/٤١	−٢/٣٠	−٠/٧٣	٠/٦٥	−٣/٥٨	−٠/٠٨
٥٢	23×71	٠/٨٤	−٠/١٩	٤/٠٣	٤/١٠	٣/٥٠	٣/٧٦	١/١٦	٠/٩٩	٦/٤٧	١٣/٧*
٥٣	40×71	٥/٥٩	٨/١١*	١٠/٩*	٥/١٧	−١/٢٤	−٢/٠٧	٣/٢٠	−٤/١٦*	٦/٤٦	−٥/٥٧
٥٤	86×71	−١/٠٩	−١/٨٨	٤/٩٠	−١/٥١	−٤/١٦	−١/٧٣	٣/٩٠*	١/٥٨	٣/١٧	−١/١٩
٥٥	71×71	−٣/٤٠	−٣/٢٦	−١٥/٤**	−٥/٢٣	−٢/٠٨	−٠/٨٠	−٤/٤٦**	١/٩٢	−١١/٩*	٠/٨٦
	میانگین مورد انتظار(intercept)	١٨٠	١٧٧	٢٢٠	٢١١	٢٧/٦	٢٧/٠	٧/٥٧	٦/٣٦	١٧/٨	١٤/٢

به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ٥ و ١ درصد می‌باشد.

جدول۵. مقادیر اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی(SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F_2 گلرنگ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی

		وزن هزار دانه (g)		محتوی نسبی آب برگ (٪)		عملکرد دانه تک بوته		شاخص های تحمل	
شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	شاخص تحمل (STI)	شاخص درصد کاهش عملکرد (PRI)
۱	54×54	−۱/۲۹	−۰/۳۳	۳/٦۲	۱/٦٤	۰/۱۵	۲/۲۱	۰/۹۸	۲۳/۹
۲	54×67	۱/۱۳	۰/٦۳	−۰/۵۱	٤/۰۲	−۰/۵۰	−۱/۸۰	۰/٦۵	۳۷/۵
۳	54×32	۳/۷۹	−۱/۱۹	−٤/۸۰	−۷/۲۰	−۲/٦۰	−۰/۳۹	۰/٦۰	۳۱/۸
٤	54×9	۰/٤۳	۰/۸٦	٦/۰۰	۷/۱۱	۲/۳۳	۲/۵۵	۰/۹۳	۲۱/۹
۵	54×96	−۱/۷٤	٤/۸۱*	−۲/٤۲	٤/۳۰	۳/۱۳	۳/۱۵	۱/۱۱	۳۰/۷
٦	54×74	٤/٤۰*	۱/٤۰	−۱۹/٤۷**	۱۰/۲٤*	−۲/۲۰	−۰/۲۹	۰/۸۲	۱۵/۹
۷	54×23	−۲/٤۵	−۲/۰۷	۲/٦۹	−٦/٤٦	−۱/۳۲	−۰/۸۹	۰/۵۷	۳۵/۸
۸	54×40	۰/۱۷	−۲/۸۲	۲/٤۱	−٦/۹٦	۰/۵۳	−۳/۷۲*	۰/٤۹	۵۸/۱
۹	54×86	−۱/٦۱	−۲/٤۱	۸/۷۸*	۱۳/۹۵*	۱/۵۷	۰/۲۹	۰/۹۱	٤۲/٤
۱۰	67×67	−٤/۰٤*	−۳/٦۹	۱/۱۷	−٤/۱۳	−۱/۳٦	−۰/۲٤	۰/٦۷	۱۸/۸
۱۱	67×32	−۱/۳٤	۳/۵٤	−۳/۹۳	−۱۷/۹۵**	−۳/۳۹	−۳/۵۳	۰/۳۸	٤۳/۷
۱۲	67×9	۲/۳۸	۳/۸۲	−۰/۰۸	۱۰/٤۵*	٤/۷٦*	−۱/٦۷	۰/۷۱	٤۷/٦
۱۳	67×96	۲/۷۰	−۰/۵۷	−۱/٦۸	۹/۰٤	−۱/۲٦	−۱/۱۲	۰/٦۰	۳۲/٤
۱٤	67×74	۸/۸۵**	۱/۸۲	−۹/۱٦*	−۲/۳٦	−۱/٤۰	−۲/۰٤	۰/۷۱	۲۳/۹
۱۵	67×23	−۰/۳۵	−۱/۰٦	−۸/۵٦	۷/۵۳	۱/٤۰	۰/۲۸	۰/۷۱	۳۳/۹
۱٦	67×40	−۱/۹۵	−۰/۲۰	۹/۵۹*	۱/٤۲	−۱/۵۵	۲/٦۸	۰/۷۵	۵/۲٦
۱۷	67×86	−۲/۲۰	۰/۳۲	٦/۵۰	۱/۲۸	۳/۷۲*	۰/٦۲	۰/۹۹	٤۲/۷
۱۸	32×32	−۱/٦۱	−٤/۱۷*	−۷/۰۲	−۱/۱۷	−۰/٦۰	−۰/۰۷	۰/٦۰	٤۲/۵
۱۹	32×9	−۱/۵۰	۵/٦۰*	۸/۳٤	−۹/۹۰	−۰/٤۸	−۰/۳۲	۰/۵٤	۳۱/۲
۲۰	32×96	−۲/٦۹	−۳/۳۵	−۷/۲۲	۲۲/۲٤**	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۷٤	۳۸/۰
۲۱	32×74	−۳/۰٦	۰/٤۸	−۲/۳٦	۲/۷٦	۳/۷۵*	٤/۰٤	۱/۳۲	۲۲/۱
۲۲	32×23	−۸/٦۳**	−۳/۳۷	−۳/۸۵	۵/۸٦	۱/۱۰	−۰/٦۷	۰/۵۸	٤۷/۹
۲۳	32×40	٤/۷۵	−۰/۰۳	۱٦/۸۵**	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/٦۵	۰/٦۷	۳۷/۹
۲٤	32×86	۱۰/٦۸**	۵/٦۲*	۷/۷۸	−۳/۵٤	۰/۱۸	−۰/۳٤	۰/۷۰	٤٦/۰
۲۵	9×9	۰/۵۹	−٤/۸٤*	−۱۲/۵۱*	۳/۷۰	−۲/۳۵	−۳/٤۷	۰/۲۹	۲۷/۵
۲٦	9×96	۳/۷۲	−۲/۷۵	۵/۷۸	−۱/۰۱	۵/۰٤*	۲/٦۳	۰/۹۸	۳۲/٤
میانگین مورد انتظار(inercept)		۷/۵۷	٦/۳٦	۱۸۰	۱۷۷	۲۲۰	۲۱۱	–	–

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

ادامه جدول۵. مقادیر اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی(SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف در ارزیابی نسل‌های F_2 گلرنگ تحت شرایط غیر تنش و تنش رطوبتی

شماره ژنوتیپ	کد تلاقی	وزن هزاردانه(g)		محتوی نسبی آب برگ(٪)		عملکرد دانه تک بوته		شاخص های تحمل	
		عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	شاخص تحمل (STI)	شاخص درصد کاهش عملکرد (PRI)
۲۷	9×74	−۸/۵۹**	٤/۱۸	۱۱/٥٤*	−۱/۷٥	−۲/۰٥	−۲/٦٦	۰/٥٤	۲۰/۰
۲۸	9×23	−۱/۰٤	−۳/۳۲	۱۰/٥۳*	−٥/۷۲	−۲/۷٤	۱/۱۱	۰/٤۸	۱/۱۳
۲۹	9×40	۱/٤٤	۷/۸٥**	۷/٤۹	۳/٥۱	۰/٥۷	٤/۱۹	۰/۸۱	۲/۰۹
۳۰	9×86	۳/٦۲	−۳/٦۳	−۲/٤۲	۱۰/٤	۰/٤۷	۰/٥۹	۰/۷۲	۳۰/۲
۳۱	96×96	−۰/۳۷	−۰/٤۷	۱۲/۹۹**	−۷/۸٦	−۳/۷۳*	۰/۷٥	۰/٥۷	۱٤/۸
۳۲	96×74	−۳/۸۳	−۱/۳٥	۳/۳۸	−۳/۱٥	۲/۰۹	۰/۲۰	۰/۹۷	۳۱/۸
۳۳	96×23	۰/۷٤	۲/٥۳	−٥/۷٤	−۰/۷٦	−۱/٤۲	−۲/۷۱	۰/٤۱	٤۹/۰
۳٤	96×40	−٤/۹۷*	−۲/۷۱	−۱٥/۲٦**	۰/۲۷	−۰/٤۸	−۱/٥۹	۰/٥٦	٤۱/۱
۳٥	96×86	۲/۲۰	۱/۳٦	۰/۲۹	−۱۸/۲**	−۰/٤۱	−۲/۳۲	۰/٥۷	٥۱/۹
۳٦	74×74	−۰/۸۲	−۰/۰۳	−٦/٤۱	−۸/٤۷	−۱/۷٤	−۰/۸۲	۰/۹۱	۹/۱٤
۳۷	74×23	٥/۷۹*	−۱/۲۹	−٤/۸٥	−۳/۰۹	۱/۱٤	۲/٥٤	۱/۰۰	۱٤/٦
۳۸	74×40	٤/۰۲*	−۲/٤٤	۷/۸۸	−۰/۱۰	۳/۰٤	−۰/۹۲	۰/۹۰	۳۹/۹
۳۹	74×86	−۳/۸۲*	−۱/۱۳	۱٤/٤۱**	۷/۷٤	−۰/۷٥	۱/٥۷	۱/۰۱	۱۷/٥
٤۰	23×23	۱۳/۱**	۱۹/٥**	۱/٦۷	۰/٤۱	−۱/۸۰	−۳/۰۸	۰/۳۳	٥۰/٤
٤۱	23×40	۰/٤۹	−۱/۲٦	−۳/۷۱	۲/٦٥	۱/۸۸	−۰/۷۰	۰/٥۹	٤۷/۲
٤۲	23×86	−۱/٥۸	۰/۸۱	٦/۷٦	۱۳/۷*	۰/۳۲	۱/۷۰	۰/۷۹	۳۲/۰
٤۳	40×40	−۲/۲٤	−۳/۳۸	٦/٥۱	−۷/۰۹	٤/۲٤	۲/۳٦	۰/۹۰	٤۰/۷
٤٤	40×86	−٤/۷۸*	۲/۳۸	−۳٦/۱**	−۸/٤۹	−۲/۲۸	−۰/۱۰	۰/٦۱	۳۲/٦
٤٥	86×86	−۸/۸۲**	−۷/۰٤*	۷/۰٤	−۷/٤٦	−٥/۷٦*	−۰/۹٤	۰/٥۳	۲۷/۲
٤٦	54×71	−۱/٥٥	۱/٤۸	۰/۰۸	−۲۲/۲۹**	−۱/۲۳	−۳/۳۱	۰/٦۰	٤۱/۸۰
٤۷	67×71	−۱/۱٤	−۰/۹۰	٥/٤۹	−٥/۱۸	۰/۹۷	۷/۰۸**	۱/۳۲	۱۲/۸
٤۸	32×71	۱/۲٤	۱/۰٦	۳/۲٥	۹/۷۸	۱/٤٥	−۰/۲٥	۰/۸۰	۳۸/٤
٤۹	9×71	−۱/٦٤	−۲/۹۱	−۲۲/۱۷**	۰/۳۰	−۳/۲۰	۰/٥۱	۰/٥۷	۸/٦۰
٥۰	96×71	٤/٦۲*	۲/۹۹	−۳/۱۱	۳/۰٦	−۰/۰٤	−۰/۷۲	۰/۷٤	۳۲/٤
٥۱	74×71	−۲/۱۰	−۱/٥۸	۱۱/٤*	٦/٦٦	−۰/۱۳	−۰/۷۸	۰/۹۲	۲۰/۲
٥۲	23×71	−۱۹/۲**	−۲۹/۹**	۳/۳۸	−۱٤/٥	۳/۲۳	٥/٥۰	۰/٦٥	۲۹/۸
٥۳	40×71	٥/۳۲	٦/۰۳	−۲/۲۱	۲۱/٥	−۱۰/٥*	−٥/۲۱	۰/٦۳	۲۱/۲
٥٤	86×71	۱٥/۱*	۱۰/۷٥	−۲۰/۱	۱۸/۹	۸/٦۹	−۰/۱۲	۰/٦۲	۳۲/۹
٥٥	71×71	−۰/٦٦	۱۳/۱*	۲۳/۹*	−۱۸/۳	۰/۸۱	−۲/٦۸	۰/۸۳	۲۸/۹
میانگین مورد انتظار(intercept)		۳۹/۸	۳۸/٦	۷۹/۰	٦۰/٦	۱۷/۲	۱۱/۹	–	–

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

ت- وزن هزار دانه و عملکرد دانه

برای وزن هزار دانه، در نسل F_2 بیشترین اثرات SCA معنی‌دار در محیط عدم تنش برای تلاقی‌های 74×67، 86×32 و 71×86 مشاهده شد (جدول ۵). این تلاقی‌ها به‌ترتیب 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 معنی‌دار برای تلاقی 96×54 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 F_2، بیشترین اثرات SCA معنی‌دار و میانگین بیشتر برای عملکرد دانه در بوته و واحد سطح در محیط عدم تنش مربوط به تلاقی‌های 9×67 و 86×67 و در محیط تنش برای تلاقی 71×67 مشاهده شد (جدول ۵). از لحاظ میزان اثرات GCA 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، ٤ و ۵ نشان داد که تلاقی‌های 54×74، 32×74، 74×71 و دارای مقادیر بالا برای STI و مقادیر پایین برای PRI بودند که آن‌ها را به‌عنوان ترکیب‌های ژنتیکی مطلوب برای اصلاح تحمل به خشکی معرفی می‌کند. به‌ویژه تلاقی 74×71 ، 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 نشان‌دهنده‌ی انتقال موفق صفات افزایشی مطلوب از والدین G71 و G74 است. از سوی دیگر، ترکیب‌هایی مانند 67×32 و 96×23 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 وSCA، چهارچوبی قدرتمند برای انتخاب والدین و ترکیب‌های برتر فراهم می‌کند. تلاقی‌هایی که STI بالا و PRI پایین دارند، به‌عنوان منابع اولیه مناسب برای توسعه لاین‌های متحمل به خشکی و پرمحصول معرفی می‌شوند. استفاده از این شاخص‌ها در نسل‌های اولیه مانند F_2 باعث افزایش کارایی برنامه به‌نژادی و شناسایی دقیق‌تر ژنوتیپ‌های متحمل خواهد شد؛ به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک کشور که نیاز به کاشت ارقام پایدار محسوس‌تر است (۳۳).

نتیجه‌گیری کلی

جمع‌آوری ژرم پلاسم 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. معنی‌دار 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.

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 آتی نشان می‌دهد.

در بین تلاقی‌های مورد مطالعه، تلاقی 86×40 به‌دلیل 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 54×74، 32×74 و 74×71 با دارا بودن مقادیر بالای شاخص STI و مقادیر پایین PRI، به‌عنوان ترکیب‌های ژنتیکی امیدبخش برای اصلاح تحمل به خشکی شناسایی شدند.

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. درنهایت، انتخاب تک‌بوته‌های برتر در نسل F_2 با تمرکز بر ترکیبات STI بالا و عملکرد مناسب، مبنایی مستحکم برای توسعه لاین‌های پیشرفته‌ی متحمل به خشکی و پرمحصول در برنامه‌های آتی به‌نژادی گلرنگ فراهم می‌آورد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه صنعتی اصفهان به عنوان حامی مالی تشکر می‌شود.

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 × 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. Zanotto. 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.