J. Crop Prod. Process. 2026, 15(4), 17-34; DOI: 10.47176/jcpp.15.4.201328

Journal of Crop Production and Processing

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

Original Article

Effects of Drought and Salinity Stresses on Some Agronomic Traits and Selection of Recombinant Inbred Lines (RILs) of Safflower

Mina Amiri, Mohammad Mahdi Majidi* and Ghodratollah Saeidi

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

Extended Abstract:

Introduction: Abiotic stresses, such as salinity and drought, significantly reduce plant performance, posing a major challenge to agricultural productivity. To address this, scientists have turned to global gene banks and cross-species approaches to enhance genetic diversity and develop adapted cultivars to these stresses, particularly in the face of climate change. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), a valuable oilseed crop, has experienced a genetic bottleneck due to prolonged natural and artificial selection, limiting its adaptability to abiotic stresses like drought and salinity. This diminished genetic diversity has constrained the crop's ability to thrive under such adverse conditions. To counteract this, a breeding programwas launched to reintroduce lost genetic diversity through interspecific hybridization and the evaluation of diverse global germplasm. This study focused on assessing 36 safflower genotypes, including recombinant inbred lines (RILs) derived from crosses among three safflower species, determining their performance under drought and salinity stress, and finally identyfing genotypes with enhanced stress tolerance, offering potential solutions for sustainable agriculture in challenging environments.

Materials and Methods: In this study, 9 recombinant inbreed lines (RILs) that were obtained from crossing of three species *C. tinctorius*, *C. palaestinus*, and *C. oxyacanthus* along with these three 3 parental species as well as 2 common domestic varieties (Kooseh, Padideh) and 22 worldwide genotypes, totally 36 genotypes, were evaluated under three environmental conditions (90% moisture depletion), normal (50% moisture depletion) and salinity stress (ECw=20dSm-1). Various agromorphological traits were measured and analyzed These analyses provided insights into the phenotypic variability and stress responses of the genotypes, enabling the identification of the key traits associated with tolerance to drought and salinity.

Results and Discussion: The findings of our study revealed a high genetic variation among the recombinant lines and cultivated safflower genotypes. The broad-sense heritability was above the average for most of the traits across all three environmental conditions, indicating a strong genetic potential of genotypes for selection. Notably, the number of seeds per head exhibited the highest heritability (89%) under normal, drought, and salinity conditions, followed by seed oil contentand the number of heads per plant.The correlation analysis identified plant height, number of seeds per head, and thousand- seeds weight as the most influential yield components, due to their strong positive correlation with seed yield. The stress tolerance index (CSI) and yield stability index (YSI) demonstrated a significant relationship with seed and oil yield, highlighting genotypic stability for these traits under stress conditions. The results showed that the average stress tolerance index of recombinant inbred lines (RILs) under salt stress conditions was higher than that of foreign cultivars. Stress tolerance indices serve as useful tools for identifying superior genotypes under both normal and stress conditions. This index is a linear combination of four significant indices and does not require specialized software, making it easy to use. Plotting this index alongside grain yield per plant under stress versus normal conditions helps identify high-yielding genotypes that are also tolerant to environmental stresses. Among the evaluated genotypes, G52, G43, G65, 61TP, and 8TP were identified as stress-tolerant varieties under salinity and drought stress conditions, exhibiting acceptable yields across all three environments: normal, salinity stress, and drought stress. Conversely, the

Received: Feb. 24, 2025; Revised: July. 15, 2025; Accepted: Aug. 06, 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/

Kooseh variety (check genotype) performed well under normal and drought conditions, but it showed a significant yield reduction under salinity stress, whereas Padideh (another check genotype) had consistently lower performance across all conditions.

Conclusion: The genetic bottleneck phenomenon has eliminated a significant portion of safflower's diversity through thousands of years of natural and artificial selection. The current study was conducted to evaluate 36 selected recombinant genotypes derived from interspecific crosses and exotic safflower genotypes that had been previously selected from diverse germplasm over past years. This study revealed high genetic diversity between cultivated safflower genotypes and recombinant lines. The broad-sense heritability for most traits exceeded average levels in all three evaluated environments (normal, drought, and salinity), indicating the genetic potential of this germplasm for safflower improvement and development of new cultivars. Correlation analysis identified plant height, head number per plant, seed number per head, and 1000-seed weight as key yield-influencing traits. Recombinant lines from interspecific crosses showed superior yield stability compared to foreign cultivars, with genotypes G52, G65, G43, G51, 61TP and 8TP exhibiting the best performance across all environments and high stress tolerance. For saline conditions, lines 61TP and 8TP are particularly recommended due to their excellent salinity stress performance and tolerance indices, while control varieties showed limited stress adaptability, with Kooseh performing well only in normal/drought conditions and Padideh yielding poorly in all environments.The stress-tolerant genotypes in this study have a significant potential for enhancing safflower productivity in drought-prone and saline environments, contributing to sustainable agricultural practices in regions affected by these stresses due to climate change.

Key words: Genetic bottleneck, Interspecific hybridization, Abiotic stresses, Selection

How to Cite: Amiri M., Majidi M. M., Saeidi Gh. Effects of drought and salinity stresses on some agronomic traits and selection of Recombinant Inbred Lines (RILs) of safflower. *J. Crop Prod. Process*. 2026, 15(4), 17-34. (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.4.201328.

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. ۳۵-۱۷، DOI: 10.47176/jcpp.15.4.201328

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

مقاله پژوهشی

تاثیر خشکی و شوری بر برخی صفات زراعی و گزینش لاین‌های نوترکیب گلرنگ

مینا امیری، محمد مهدی مجیدی* و قدرت الله سعیدی

چکیده– تنش‌های غیرزیستی ازجمله تنش‌های شوری و خشکی نقش بسیار مهمی در کاهش عملکرد گیاهان دارند. استفاده از خزانه‌های ژنی جهانی و نیز بهره‌گیری از تلاقی بین گونه‌ای دو راهکار فراروی دانشمندان به‌منظور افزایش تنوع ژنتیکی و ایجاد ارقام سازگار به تنش‌های شوری و خشکی و ایجاد ارقام جدید در شرایط تغییر اقلیم هستند. در این پژوهش ۳٦ ژنوتیپ گلرنگ شامل ۹ لاین خالص نوترکیب (*RIL*) از تلاقی سه گونه *C. tinctorius*، *C. palaestinus*، *C. oxyacanthus* (سه جمعیت حاصل از تلاقی بین گونه‌ای TP، TO و PO)، به‌همراه ۳ گونه‌ی والدینی و همچنین ۲ رقم رایج داخلی کشور (رقم‌های Kooseh و Padideh) و۲۲ ژنوتیپ خارجی حاصل از مطالعات قبلی، همگی در سه محیط رطوبتی شامل نرمال (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی)، خشکی (۹۰ درصد تخلیه رطوبتی) و شوری (آبیاری با آب شور ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) ارزیابی شدند. بر اساس نتایج حاصل، تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌های گلرنگ زراعی و لاین‌های نوترکیب برای صفات مورد اندازه‌گیری مشاهده شد. وراثت‌پذیری عمومی برای اغلب صفات در هر سه محیط مورد ارزیابی (نرمال، خشکی و شوری) بیشتر از متوسط بود که نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی این ژرم پلاسم برای بهبود ژنتیکی گلرنگ و ایجاد ارقام جدید است. در اثر بروز تنش خشکی و شوری در گیاه گلرنگ، کاهش عملکرد و تغییرات در اکثر صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک دیده شد. با این وجود اکثر ژنوتیپ‌ها در برابر تنش شوری تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی نشان دادند. بر اساس نتایج مربوط به همبستگی، صفات ارتفاع بوته، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه به‌دلیل همبستگی با صفت عملکرد دانه در بوته از صفات مهم مؤثر بر عملکرد دانه شناخته شدند. رقم شاهد کوسه در شرایط نرمال و تنش خشکی عملکرد مناسبی داشت، ولی در اثر تنش شوری عملکرد این رقم به صورت قابل‌توجهی کاهش یافت. رقم شاهد پدیده به‌طور کلی در هر سه شرایط محیطی نرمال، تنش شوری و خشکی عملکرد پایینی داشت. ژنوتیپ های خارجی G52، G43و G65 در تمامی تیمارهای محیطی مورد ارزیابی، عملکرد دانه و شاخص تحمل و پایداری بالایی داشتند و برای مناطقی که با شوری آب و خاک و همچنین کمبود آب مواجه هستند، پیشنهاد می‌شوند. در مناطق دارای آب یا خاک شور برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه در واحد سطح، لاین‌های نوترکیب 61TP و پس از آن 8TP که هر دو حاصل تلاقی بین گونه ای هستند، به‌دلیل داشتن عملکرد بالا تحت شرایط معمول و تنش شوری و درعین حال بالا بودن شاخص تحمل به تنش پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تنگنای تکاملی، هیبریداسیون بین گونه‌ای، تنش غیر زیستی، انتخاب

دریافت مقاله: ۱٤۰۳/۱۲/۰٦، بازنگری: ۱٤۰٤/۰٤/۲٤، پذیرش: ۱٤۰٤/۰۵/۱۵، اولین انتشار: ۱٤۰٤/۱۰/۰۷

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، 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

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی چند منظوره با کاربردهای خوراکی، دارویی و صنعتی بوده و یکی از گیاهان بومی کشور است که وجود انواع گونه‌های وحشی آن در سراسر کشور نشان از سازگاری این گیاه با شرایط بومی ایران دارد (۲۹). تحمل نسبی گلرنگ به شوری و خشکی و همچنین دارا بودن روغنی با کیفیت بالا (حتی در حد روغن زیتون در برخی از ژنوتیپ‌ها) از مشخصات بارز این گیاه است (۱۸). جنس *Carthahmus* شامل ۱۵ گونه بوده که *C. tinctorius* تنها گونه زراعی آن است. بیشتر گونه‌های موجود در این جنس دیپلویید (۲n=۲x=۲٤) هستند (٤۱). گونه زراعی عموماً یکساله است و برخی گونه‌های وحشی آن دو یا چند ساله هستند (۲٦).

متاسفانه در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله گلرنگ، بخش اعظم تنوع ژنتیکی (به‌ویژه برای تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی) که از اجداد آن‌ها به ارث رسیده، در اثر پدیده تنگنای ژنتیکی از دست رفته است (۷). از این رو بهره‌گیری از تلاقی‌های بین‌گونه‌ای برای ایجاد تنوع جدید و بیشتر در دستور کار به‌نژادگران قرار گرفته است. یکی از راه‌های افزایش سریع تنوع ژنتیکی دورگ‌گیری بین گونه‌های خویشاوند نزدیک است. والدینی که ازلحاظ ژنتیکی متفاوت‌تر هستند، معمولاً هیبریدهایی با هتروزیس بیشتر تولید می‌کنند و احتمال به‌دست‌آوردن نتاج تفرق یافته برتر را افزایش می‌دهند (۱۳). خویشاوندان وحشی گیاهان زراعی به‌صورت انکارناپذیری در غنای خزانه‌ژنی برای به‌نژادگران در کشاورزی مدرن بسیار مفید هستند (۳٦). از گونه‌های وحشی گلرنگ به‌دلیل اهمیت ژن‌های موجود در آن می‌توان برای بهبود صفات مطلوب گونه‌های زراعی استفاده‌کرد (۱۵). مطالعات مولکولی تایید کرده اند که دو گونه *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* اجداد وحشی گلرنگ زراعی هستند (۳۵). از مهم‌ترین تلاقی‌های بین‌گونه‌ای در این جنس می‌توان به تلاقی بین *C. tinctorius* و*C. oxyacanthus* توسط دشباند (۸)، تلاقی بین *C. tinctorius*، *C. oxyacanthus* و *C. palaestinus* توسط اشری و نولز (۵) و اشری (٤) اشاره نمود (٤ و ۵). در ایران، شیراوند و مجیدی (۳۷) گونه‌های اهلی و وحشی مختلف گلرنگ را تلاقی دادند و هیبریدهای حاصل توسط مجیدی و زادهوش (۲۲) و امینی و همکاران (۳) با استفاده از صفات مرفولوژیک و نشانگر مولکولی SRAP و ISSR تایید شدند، همچنین تلاقی‌پذیری بالایی را بین گلرنگ گونه اهلی *C. tinctorius* با دوگونه وحشی *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* مشاهده کردند. مجیدی و همکاران (۲۱) و شیراوند و مجیدی (۳۸) طی مطالعاتی نشان دادند که گونه وحشی *C. oxyacanthus* در شرایط تنش می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به گونه‌های دیگر گلرنگ داشته باشد.. اسپنانی و همکاران (۱۳) طی تحقیقات خود نشان دادند کارایی انتخاب در جمعیت حاصل از تلاقی *C. tinctorius* × *C. palaestinus* بیشتر از جمعیت حاصل از تلاقی *C. tinctorius* × *C. oxyacanthus* است و می‌توان از این جمعیت برای تولید ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر در برنامه‌های اصلاحی بهره برد (۱۰). همچنین مجیدی و همکاران (۲۱) گزارش کردند از آنجا که والد وحشی*C. palaestinus* واجد صفات نامطلوب کمتری است، می‌توان نسبت به انتقال ژن‌های مطلوب آن به گونه زراعی گلرنگ در برنامه‌های اصلاحی اقدام کرد. مطالعه زارعی سودانی (٤۳) نشان داد که در کشت پاییزه گلرنگ با اعمال تنش شوری با سطح نهایی ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تنوع ژنتیکی بالایی بین لاین‌های نوترکیب برای تحمل به تنش شوری و صفات زراعی و مرفولوژیک در نسل F8 وجود دارد. همچنین مطالعه منصوری (۲٤) درکشت بهاره گلرنگ، نتایج مشابهی را با مطالعه زارعی سودانی (٤۳) در ارتباط با وجود تنوع ژنتیکی بالا بین لاین‌های نوترکیب برای تحمل به تنش شوری و صفات مرفولوژیک در نسل F9 نشان داد.

از مسائلی که تولید محصولات زراعی و باغی را تحت تاثیر قرار می‌دهد مشکل خشکسالی و شوری آب و خاک است که در کشور ما نیز با توجه به تغییرات اقلیمی این موضوع بسیار حائز اهمیت است. یکی از راهکارهای مهم برای اصلاح گیاهان برای تحمل به تنش خشکی، مطالعه تنوع و سازگاری اکوتیپ‌ها

و ارقام مختلف داخلی و خارجی است، تا بتوان ژنوتیپ‌هایی که شرایط مختلف محیطی را به خوبی تحمل کرده را شناسایی و جایگزین ارقام حساس به تغییرات محیطی کرد (۲۳). بنابراین جمع‌آوری و ارزیابی ژرم‌پلاسم اولین قدم در راه به‌نژادی گیاهان است. مطالعه‌ی ملکی نژاد و مجیدی (۲۳) به‌منظور ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ زراعی نشان داد که از لحاظ عملکرد دانه در هر دو رژیم رطوبتی بین ژنوتیپ‌ها تفاوت وجود داشت. مطالعه‌ی ابراهیمی و همکاران (۹) نیز به‌منظور بررسی پایداری یک کلکسیون جهانی گلرنگ و تجزیه ژنتیکی صفات مختلف تحت شرایط رطوبتی عادی و تنش خشکی در سه منطقه اصفهان، جیرفت و کرمان نشان داد که ارقام ایرانی از محتوای روغن دانه بیشتری نسبت به ارقام خارجی برخوردار بودند. ارقام خارجی عملکرد و تحمل به تنش خشکی بیشتری را نشان دادند (۹). مطالعه اسپانی و همکاران (١٤) به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های مرفولوژیک، زراعی و فیزیولوژیک در سه جمعیت حاصل از سه تلاقی بین‌گونه‌ای نشان داد که برای صفات مورد بررسی بین و درون جمعیت‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در ضمن در مطالعه آن‌ها، تنوع ایجاد شده در هر جمعیت در نسل F5 نسبت به نسل F3 و F4 در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی افزایش یافته که نشان داد تلاقی بین‌گونه‌ای برای ایجاد تنوع موفقیت آمیز بوده است.

برنامه به‌نژادی گلرنگ از طریق تلاقی بین‌گونه‌ای از سال ۱۳۹۰ در دانشگاه صنعتی اصفهان آغاز و لاین‌های خالص نوترکیب نسل دهم فراهم شد که در کنار ارقام گونه زراعی (داخلی و خارجی) در برنامه‌های تحقیقاتی این گیاه مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعات قبلی (۹، ۱۳، ٢٤ و ٤٤) از بین ارقام مورد مطالعه تعدادی ژنوتیپ متحمل به تنش شوری و همچنین تعدادی ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند. با این حال ارزیابی تکمیلی بهترین و متحمل‌ترین لاین‌های حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای و ژرم‌پلاسم زراعی گلرنگ (داخلی و خارجی) تحت تنش شوری و تنش خشکی به طور همزمان و بررسی تنوع آن‌ها در مزرعه انجام نشده است. هدف از این پژوهش ارزیابی تنوع ژنتیکی و انتخاب بهترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های گزینش یافته از ژرم‌پلاسم خارجی و داخلی و لاین‌های حاصل از سه تلاقی بین‌گونه‌ای گلرنگ در شرایط نرمال، تنش شوری وخشکی و نیز تحلیل ارتباط بین متغیرها به‌منظور یافتن شاخص‌های مناسب برای گزینش سریعتر ژنوتیپ‌ها است.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی مورد استفاده در این پژوهش شامل ۳٦ ژنوتیپ گلرنگ (جدول‌های ۱ و ۲) بود. تعداد ۹ لاین نوترکیب نسل F10 حاصل از سه تلاقی بین گونه‌ای دو به دوی، سه گونه *C. tinctorius*، *C. palaestinus*، *C. oxyacanthus* که در مطالعات قبلی تهیه شده و جمعیت‌های حاصل از تلاقی بین گونه‌ای TP، TO و PO نام‌گذاری شده بودند به‌همراه ۳ گونه‌ی والدینی (جدول۱) بخشی از مواد ژنتیکی این پژوهش را تشکیل می‌دهند (١٤). بخش دیگر مواد ژنتیکی ۲۲ ژنوتیپ خارجی حاصل از مطالعات قبلی (۹) که به همراه ۲ رقم رایج داخلی کشور (رقم‌های Kooseh و Padideh) مورد ارزیابی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های خارجی از بانک‌های ژن گیاهی آلمان و آمریکا و ژنوتیپ‌های داخلی نیز از ژنوتیپ‌های موجود در پروژه گلرنگ گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان بودند. تعداد ۳٦ ژنوتیپ مذکور در سال زراعی ۰۲-۱٤۰۱ در مزرعه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان در سه محیط زراعی جداگانه کنار یکدیگر (نرمال، تنش شوری و تنش خشکی) و در هر کدام در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار ارزیابی شدند. هر واحد آزمایشی شامل دو خط یک متری بود.

کشت در آذر ماه ۱٤۰۱ انجام شد. اعمال هر دو تنش خشکی و شوری قبل از تکمه‌دهی انجام گرفت و تا این زمان آبیاری به طور یکسان برای همه تیمارها انجام شد. آبیاری تیمار

جدول۱. نام و منشاء والدین (گونه‌ها) و لاین‌های نوترکیب حاصل از تلاقی بین گونه‌ای مورد بررسی

ردیف	گروه	کد	منشا (تلاقی)	توضیحات
۱	والد زراعی (T)	*C.tinctorius*	گلدشت	Cultivate parent
۲	والد وحشی ۱ (P)	*C. palaestinus*	فلسطین	Wild Parent
۳	والد وحشی ۲	*C. oxyacanthus*	شیراز	Wild Parent
٤	TP	TP1	*C. tinctorius* * *C. palaestinus*	High linoleic acid (C18:2)
٥	TP	TP8	*C. tinctorius* * *C. palaestinus*	Drought tolerance
٦	TP	TP51	*C. tinctorius* * *C. palaestinus*	Drought tolerance
۷	TP	TP61	*C. tinctorius* * *C. palaestinus*	High linoleic acid (C18:2)
۸	TO	TO158	*C. tinctorius* * *C. oxyacanthus*	Drought tolerance
۹	TO	TO142	*C. tinctorius* * *C. oxyacanthus*	Drought tolerance
۱۰	TO	TO156	*C. tinctorius* * *C. oxyacanthus*	High linoleic acid (C18:2)
۱۱	PO	PO114	*C. palaestinus* * *C. oxyacanthus*	Drought tolerance
۱۲	PO	PO81	*C. palaestinus* * *C. oxyacanthus*	Drought tolerance

نرمال 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 رطوبت سنج خاک (TDR) استفاده شد و عمق آب مورد نیاز هر کرت از فرمول زیر محاسبه شد.

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

در فرمول بالا، I: عمق آب آبیاری بر حسب میلی‌متر، B: چگالی ظاهری خاک (۱/٤)، 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 میزان آب ورودی کرت‌ها از کنتور استفاده شد.

به‌منظور اعمال تنش شوری، کرت‌ها تا مرحله پایان روزت با آب معمولی (EC_w=2dSm^{-1}) آبیاری شد و بعد از آن به صورت تدریجی تا رسیدن به آب شور (EC_w=20dSm^{-1}) آبیاری شد. به‌طوری‌که آبیاری اول برای اعمال تنش شوری با غلظت ٦۰ میلی مولار، انجام شد. در آبیاری دوم میزان شوری به غلظت ۱۰۰ میلی مولار رسید و در دوره‌های بعد میزان شوری تا سطح نهایی ۲۰۰ میلی مولار افزایش داده شد. زمان اعمال تیمار شوری از نظر آبیاری همزمان با تیمار نرمال بود ولی آبیاری با آب شور (نمک طعام) انجام گرفت. در صورت لزوم در آبیاری بعدی ضریب کسر آبشوئی اعمال شد.

صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد انشعاب در هر بوته، تعداد غوزه در هر بوته، قطر غوزه (برای ۵ بوته تصادفی در هر واحد آزمایشی)، تعداد دانه در هر غوزه، وزن هزار دانه، محتوای روغن دانه، عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ مورد بررسی قرارگرفتند. به‌منظور برآورد میزان تحمل ژنوتیپ‌های گلرنگ نسبت به دو تنش شوری و خشکی، از شاخص‌های تحمل به تنش و پایداری استفاده شد. شاخص پایداری عملکرد YSI (Yield Stability Index) از معادله ۲ محاسبه شد که در آن Y_s و Y_p به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش هستند.

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$ (معادله ۲)

شاخص ترکیبی تحمل (Combination of Significant Indices) CSI که برای شناسایی لاین‌های متحمل به تنش در سال ۲۰۲۲

جدول۲. کد، منشاء و برخی مشخصات ژنوتیپ‌های خارجی و زراعی مورد بررسی

شماره	ژنوتیپ	کد بانک ژن	منشا	توضیحات (بر اساس مطالعات قبلی)
۱	G19	PI 253759	Iraq	High palmitic acid (16:0)
۲	G20	PI 253762	Iraq	High STI
۳	G33	PI 305528	Sudan	High STI
٤	G39	PI 369845	Tajikestan	High STI
٥	G40	PI 369847	Tajikestan	High STI
٦	G41	PI 369848	Ukraine	High STI
۷	G42	Pl 386173	Syria	High STI
۸	G43	PI 386174	Syria	High STI
۹	G47	PI 470942	Banglades	High Oleic acid (C18:1) & Low linoleiec acid (C18:2)
۱۰	G51	PI 657790	Mexico	High STI & YSI
۱۱	G52	PI 572425	United States, Nebraska	High STI
۱۲	G58	PI 657800	Egypt	High STI & YSI
۱۳	G59	PI 657801	Egypt	High STI
۱٤	G60	PI 657819	Jordan	High STI
۱٥	G65	CART 56	USA	High STI
۱٦	G83	Iran- Arak 2811	Iran-Arak	High oil content
۱۷	G84	Saftire	Canada	High STI & YSI
۱۸	G93	S149	Iran Isfahan	High STI
۱۹	G94	S144	Iran Isfahan	High STI
۲۰	G96	Iran Kermanshah	Iran- Kermanshah	High STI
۲۱	G98	Iran-Khorasan 330	Iran Khorasan	High STI
۲۲	G100	Iran. Hamadan21	Iran- Hamadan	High STI
۲۳	Kooseh	کوسه	Iran	High STI & YSI
۲٤	Padideh	پدیده	Iran	High yield

معرفی شد نیز استفاده گردید (۱٦). برای محاسبه شاخص CSI ترکیبی خطی از شاخص‌های STI (Stress Tolerance Index)، GMP (Geometric Mean Productivity)، (Harmonic Mean) HM و MP (Mean Productivity) استفاده می‌شود. درواقع، این شاخص با استفاده از عملکرد در دو محیط تنش و عدم تنش و همبستگی این دو پارامتر با شاخص‌های ذکرشده برای هر لاین محاسبه می‌شود.

(معادله ۳)

$$CSI_i = 1/2[(r_{YP.MP} \times Mp_i) + (r_{YP.GMP} \times GMP_i) + (r_{YP.HM} \times Hm_i) + (r_{YP.STI} \times STI_i) + (r_{YS.MP} \times MP_i) + (r_{YS.GMP} \times GMP_i) + (r_{YS.HM} \times HM_i) + (r_{YS.STI} \times STI_i)$$

در رابطه فوق CSI_i: شاخص ترکیبی تحمل برای ژنوتیپ شماره i، $r_{YP.MP}$= همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص MP، $r_{YP.GMP}$ =همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص GMP، $r_{YP.HM}$ = همبستگی عملکرد در شرایط بدون

تنش و شاخص HM، $r_{YP.STI}$ =همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص STI، $r_{YS.MP}$ = همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص MP، $r_{YS.GMP}$ = همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص GMP، $r_{YS.HM}$ =همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص HM، $r_{YS.STI}$ =همبستگی عملکرد در شرایط تنش و شاخص STI هستند.

برای آنالیز داده‌ها از نرم افزارهای Excel، SAS 9.04 و Statgraphics استفاده شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بعد از انجام تجزیه واریانس، برآورد وراثت‌پذیری عمومی بر اساس برآورد اجزای واریانس در قالب طرح بلوک کامل تصادفی صورت گرفت. سپس تجزیه واریانس مرکب برای داده های حاصل از سه محیط زراعی انجام شد. واریانس ژنتیکی و فنوتیپی با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات در تجزیه واریانس برآورد و سپس وراثت پذیری عمومی (h^2) و ضریب تنوع ژنتیکی (GCV) هر صفت به‌ترتیب با استفاده از معادله ٤ و ٥ محاسبه شد.

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{r}}$$ (معادله ٤)

$$GCV = \left(\frac{\sigma_g}{\mu}\right) \times 100$$ (معادله ٥)

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای سه محیط عدم تنش، تنش شوری و خشکی برای برخی صفات مرفولوژیک و زراعی مورد مطالعه بر روی ٣٦ ژنوتیپ خارجی و نوترکیب حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای گیاه گلرنگ (جداول ٣ و ٤) نشان داد، اثر ژنوتیپ برای اکثر صفات معنی‌دار بود. این اختلاف معنی‌دار بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌ها و امکان گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب و استفاده آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی است.

دامنه تغییرات، میانگین و درصد تغییر صفات در اثر تنش شوری و خشکی برای برخی صفات موفولوژیک و زراعی (جدول ٥) نشان داد که برای برخی صفات در هر دو محیط نرمال و تنش، دامنه تغییرات بالا بود. به‌عنوان مثال برای صفات تعداد غوزه در هر بوته و تعداد دانه در هر غوزه دامنه تغییرات بالا مشاهده شد. صفت تعداد دانه در هر غوزه از اجزای عملکرد دانه در گلرنگ است که در گزینش غیر مستقیم برای عملکرد نقش دارد (١٣). تنش شوری و خشکی اثر کاهشی و معنی‌دار بر اکثر صفات داشتند که می‌تواند به‌دلیل کاهش فتوسنتز و درنتیجه، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی در شرایط تنش باشد. در گیاه گلرنگ گزارش شده که در شوری خاک بالاتر از ١٠ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد دانه کاهش بیشتر از ٢٠ درصد نشان می‌دهد (٤١). نتایج پژوهش حاضر (جدول ٥) نشان داد که کاهش مقدار عملکرد دانه در اثر تنش خشکی نسبت به تنش شوری شدیدتر بوده است. از دیگر صفات مهم در بررسی عملکرد گلرنگ، وزن هزار دانه است که در اثر تنش، این صفت کاهش یافت که با نتایج مطالعه اسماعیل‌زاده و همکاران (١٢) مطابقت دارد. مطالعه علائی و همکاران (٢) تأثیر بیشتر تنش خشکی نسبت به تنش شوری در کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه، تعداد دانه در غوزه و تعداد غوزه در بوته را نشان دادند. در مطالعه‌ی منصوری (٢٤) نیز در اثر تنش شوری وزن هزاردانه ٢٤/٦ درصد کاهش یافته و احتمالا دلیل آن را می‌توان کاهش طول دوره پر شدن دانه در شرایط تنش و به دنبال آن اختلال در تولید آسیمیلات‌های لازم برای پر شدن دانه‌ها دانست (٣٢ و ٣٤). نتایج پژوهش‌های خوشنام و ممنوعی (١٩)، اسماعیل‌زاده و همکاران (١١) و محتشمی و همکاران (٢٥) نیز کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در بوته در شرایط تنش خشکی را نشان داد که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشت. علاوه بر این تنش‌های شوری و خشکی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد روغن نیز شدند که با نتایج مطالعه اکبری و همکاران (١) مطابقت داشت.

جدول ۳. میانگین مربعات برخی صفات مرفولوژیک در ژنوتیپ‌های گلرنگ در تجزیه مرکب برای محیط‌های عدم تنش ، تنش شوری و خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی	ارتفاع بوته	تعداد انشعاب در بوته	تعداد غوزه در بوته	قطر غوزه	تعداد دانه در غوزه	وزن هزار دانه
محیط زراعی(محیط)	۲	٦۰/۱ ns	٥۳۷ **	٦۹۷۲ **	٤۱/۷**	۱۰۰**	۹۳/٥ ns	٤۹۰۰**	۱٥۸۹**
تکرار (محیط)	٦	۲۷/۹	٤/۷۹	۹۲/۸	۱/٤٦	۱/٤۰	۱۸/۳	۸/٤۳	۱۷/٤
ژنوتیپ	۳٥	۱٤/۳**	۱۱/۲**	٤۱٥**	۱۰/۰**	٤۳/۹ **	۱۲/۱**	۳۷۹**	۱۱۰**
محیط * ژنوتیپ	۷۰	۲/٥۲ ns	٥/۱٤ *	۲٤/٦ns	٦/٤٦**	٤٤/۱ **	۱/۹۰ ns	۱۹٤ **	٦/۰۹ ns
خطا	۲۱۰	۲/٤٤	۳/٤٥	۲٦/٤	۳/۲٦	٤/٤۲	۲/۰٥	۱۱/۰	٤/٥٦
ضریب تغییرات (٪)		۸/۸٦	۹/۸۸	۹/۲۲	۱۸/۸	۱۱/۳	۱٥/٤	۱۱/ ۷	۱۷/۳

ns، *، ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد است.

جدول ٤. میانگین مربعات صفات عملکردی، محتوای نسبی آب برگ و محتوای روغن دانه در ژنوتیپ‌های گلرنگ در تجزیه مرکب برای محیط های عدم تنش ، تنش شوری و خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه در بوته	محتوای نسبی آب برگ	محتوای روغن دانه	عملکرد روغن
محیط زراعی(محیط)	۲	۳٦۱۷**	۳۳٤٦۹**	۱۳/۰*	۳۱٦**
تکرار (محیط)	٦	۳/۰۳	۱۱/۲	۳/۱٤	۰/۱۳
ژنوتیپ	۳٥	٦۲/۱**	٦۸/۷**	٦/۳۰**	٥/۱۷**
محیط * ژنوتیپ	۷۰	۲٤/۲**	٤۸/۹**	۰/۸۸**	۲/۰٥**
خطا	۲۱۰	۳/۰۹	۲۷/۹	۰/۳۹	۰/۲٦
ضریب تغییرات(٪)		۱۱/۸	۱۸/۱	۱۲/۲	۱۱/۹

ns، *، ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ٥ و ۱ درصد می باشد.

نتایج ضرایب تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری و تجزیه همبستگی صفات

نتایج ضرایب تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات مورد مطالعه (جدول ٦) مشخص نمود که صفات تعداد دانه در غوزه و تعداد غوزه در بوته در محیط عدم تنش بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی را داشتند. در شرایط تنش شوری و خشکی بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی برای صفات تعداد دانه در هر غوزه و عملکرد دانه مشاهده شد. در شرایط نرمال و تنش های شوری و خشکی اکثر صفات مقدار وراثت‌پذیری عمومی بالایی داشتند (بالای ۷۰ درصد) که نشان‌دهنده سهم بالاتر عوامل ژنتیکی در ایجاد تنوع برای این صفات می‌باشد.

ضرایب همبستگی بین صفات (جداول ۷ و ۸) نشان داد که در شرایط نرمال (بالای قطر) صفاتی نظیر قطر غوزه با روز تا رسیدگی، همچنین عملکرد دانه با قطر غوزه، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، و نیز عملکرد روغن با قطر غوزه، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه دارای همبستگی

جدول ۵. دامنه تغییرات و میانگین صفات تحت بررسی در ژنوتیپ‌های گلرنگ در سه محیط نرمال، تنش شوری و تنش خشکی

صفات	دامنه			میانگین			درصد تغییر در اثر تنش	
	نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی	شوری	خشکی
روز تا گلدهی	۱۸۰–۱۸۸	۱۸۰–۱۹۰	۱۸۰–۱۸۷	۱۸۳ a	۱۸۳ a	۱۸۲ a	۰/۲	–۰/٦
روز تا رسیدگی	۲۱۲–۲۱۹	۲۰٦–۲۱۵	۲۰۵–۲۱۳	۲۱٤ a	۲۱۰ b	۲۱۰ b	–۱/۹	–۱/۷
ارتفاع بوته (cm)	۱۰۷–۱٤۸	۹۵–۱۳٦	۱۰۰–۱۳۸	۱۳۰ a	۱۱٤ c	۱۲۱ b	–۱۲/۳	–۷/۱
تعداد انشعاب در بوته	٦–۱٦	٦–۱٤	٦–۱۷	۱۰ a	۹ b	۱۰ a	–۹/۱	۳/۳
تعداد غوزه در بوته	۱۱–۳۸	۱۱–۳۵	۱۱–۳٤	۲۰ a	۲۰ a	۱۸ a	–۲/۹	–۹/٤
قطر غوزه(mm)	۲۳–۳۲	۲۱–۳۱	۲۳–۳۰	۲۷ a	۲٦ b	۲٦ b	–٦/٤	–۵/۳
تعداد دانه درهرغوزه	۱۵–٦۵	۱۱–۵۷	۸–٤۳	۳٤ a	۲۹ b	۲۱ c	–۱۵	–۳۸/۹
وزن هزار دانه (g)	۲٦–٤۷	۱۹–۳٦	۲۰–۳٦	۳٤ a	۲٦ b	۲۸ b	–۲۱/٤	–۱۷/۵
عملکرد دانه در بوته ($gplant^{-1}$)	۱۳–۳٦	٦–۲٤	٤–۱۷	۲۱ a	۱٤ b	۱۰ c	–۳٤/۳	–۵٤/٤
عملکرد دانه درمتر مربع (gm^{-2})	۱۷۰–۹۱۰	۱٦۲–۵۹۵	۱۰۸–٤۲۲	۵۱۸ a	۳٤٤ b	۲۳۵ c	–۳٤/۳	–۵٤/٤
محتوای نسبی آب برگ (%)	٦٤–۹٦	٤۹–۷۲	٤۳–٦۵	۸٦ a	۵۹ b	۵۲ c	–۳۱/۲	–۳۸/۸
محتوای روغن دانه (%)	۲۷–۳۲	۲٦–۳۱	۲۷–۳۱	۲۹ a	۲۸ b	۲۹ ab	–۲/٤	–۱/۲
عملکرد روغن ($gplant^{-1}$)	٤–۱۱	۲–۷	۱–۵	٦ a	٤ b	۳ c	–۳۵/۹	–۵٤/۹

برای هر صفت، تیمارهای نرمال، تنش شوری وخشکی که میانگین آنها حداقل یک حرف مشترک دارند؛ اختلاف آماری معنی داری با یکدیگر ندارند (براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد).

جدول ٦. ضرایب تنوع ژنتیکی و وراثت پذیری عمومی صفات تحت بررسی ژنوتیپ‌های گلرنگ در سه محیط زراعی عدم تنش، تنش شوری و تنش خشکی

صفات	ضریب تغییرات ژنتیکی (درصد)			وراثت پذیری عمومی (درصد)		
	نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی
روز تا گلدهی	۰/۷۷	۰/۵٦	۰/۵٤	۸۲/۲	٦٦/۳	۷۲/۰
روز تا رسیدگی	۰/۲۷	۰/۵۷	۰/٦٦	۵۰/۵	٦۷/۱	۷۵/۲
ارتفاع بوته (cm)	٤/۹۲	۵/۹۵	۵/۳۰	۸۵/۳	۸۲/۹	۸۵/۸
تعداد انشعاب در بوته	۱۳/۰	۱٦/۹	۷/۰٤	۷۳/۳	۸۳/۰	٤۵/۲
تعداد غوزه در بوته	۲۱/۵	۱۷/۹	۱۸/٦	۸۸/٤	۸۷/۵	۸۵/٦
قطر غوزه (mm)	٤/۳٤	۳/٦۲	۳/۸۸	۷۸/٦	٦۷/۲	۷۷/٦
تعداد دانه درغوزه	۳۰/٤	۳۱/۰	۳٤/۸	۸۹/۱	۸۹/۹	۸۹/۸
وزن هزار دانه (g)	۱۰/۵	۱۳/۲	۱۲/۳	۸۵/۰	۸۸/٦	۸٦/٤
عملکرد دانه ($gplant^{-1}$)	۱۷/۲	۲٤/۷	۲۵/۷	۸۵/۹	۸۸/۳	۸۸/۱
عملکرد دانه درمتر مربع (gm^{-2})	۱۷/۲	۲٤/۷	۲۵/۷	۸۵/۹	۸۸/۳	۸۸/۱
محتوای نسبی آب برگ (%)	۵/۰۷	٤/۲٦	۲/۹٦	۷۸/۰	۵۷/٦	٤۳/۵
محتوای روغن دانه (%)	۳/۳۳	۳/۱۱	۲/٦٦	۸۸/۵	۸۲/۹	۸٤/۸
عملکرد روغن ($gplant^{-1}$)	۱۸/۲	۲٤/۱	۲۵/۰	۸٦/٦	۸۷/۸	۸۷/۸

جدول ۷. همبستگی بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گلرنگ در محیط عدم تنش(بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر)

صفت	DF	DM	H	BP	HP	HD	NS	TGW	YPP	YPM	OP	OY	RWC	YSI	CSI
روز تا گلدهی (DF)	۱	۰/۲۱	۰/٤٦	−۰/۱۰	−۰/۰۸	۰/۲٦	−۰/۰۲	−۰/٤٥	−۰/۲۳	−۰/۲۳	−۰/۰٤	−۰/۲۳	−۰/۰۷	−۰/۲٦	−۰/٤۳
روز تا رسیدگی (DM)	۰/۱۸	۱	۰/۱٤	−۰/۲۷	−۰/۱۱	۰/۳۹	−۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۱٦	۰/۱٦	۰/۱۳	۰/۱۹	−۰/۰۹	−۰/۱٦	۰/۰۲
ارتفاع بوته (H)	۰/٥۳	۰/۱۷	۱	۰/۲۷	−۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰۹	−۰/٤۸	−۰/٤۱	−۰/٤۱	−۰/۰۳	−۰/٤۰	۰/۰۸	−۰/۰٦	−۰/٥۲
تعداد انشعاب در بوته (BP)	۰/۱۲	۰/۱۸	−۰/۰۳	۱	−۰/۱۹	−۰/۱٥	۰/۲۰	−۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۱۸	−۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۷	−۰/۰٦	۰/۱۲
تعداد غوزه در بوته (HP)	۰/۱٦	−۰/۱۲	۰/۲۰	−۰/۳۲	۱	−۰/۲۷	−۰/۷۳	۰/۱۷	−۰/۰۳	−۰/۰۳	−۰/۱۳	−۰/۰٦	−۰/۰۱	−۰/۰۱	−۰/۰۳
قطر غوزه (HD)	۰/۰۲	−۰/۱٦	۰/۰٦	−۰/٤۰	۰/۲۳	۱	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۳٤	۰/۳٤	۰/۱۸	۰/۳۷	−۰/۱۷	−۰/۲۷	۰/۰۸
تعداد دانه درهرغوزه (NS)	−۰/۳۳	−۰/۰۷	−۰/۳۰	۰/۱۳	−۰/۷۰	−۰/۱۹	۱	−۰/۱۷	۰/٥٥	۰/٥٥	۰/۱۱	۰/٥٦	۰/۰۲	−۰/۳۳	۰/۳٤
وزن هزار دانه (TGW)	−۰/۳٥	۰/۱٥	−۰/۳۰	۰/۰۲	−۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲٦	۱	۰/٤۳	۰/٤۳	۰/۰۹	۰/٤٤	−۰/۱۲	۰/۲۹	۰/٦٥
عملکرد تک‌بوته (YPP)	−۰/٤۹	−۰/۰٦	−۰/۳۷	−۰/۰۷	−۰/۲۷	۰/۰٥	۰/۷۳	۰/۷۰	۱	۱	۰/۰۷	۰/۹۸	−۰/۰۹	−۰/٤۳	۰/۷۲
عملکرد در مترمربع (YPM)	−۰/٤۹	−۰/۰٦	−۰/۳۷	−۰/۰۷	−۰/۲۷	۰/۰٥	۰/۷۳	۰/۷۰	۱	۱	۰/۰۷	۰/۹۸	−۰/۰۹	−۰/٤۳	۰/۷۲
محتوای روغن (OP)	−۰/۲۳	۰/۲۳	−۰/۱۱	۰/۱٤	۰/۰۸	۰/۰٦	−۰/۳٤	۰/۰٥	−۰/۱۹	−۰/۱۹	۱	۰/۲٤	−۰/۳۲	−۰/۱۷	−۰/۰۸
عملکرد روغن (OY)	−۰/٥۲	−۰/۰٤	−۰/۳۹	−۰/۰٦	−۰/۲٦	۰/۰۷	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۹۹	۰/۹۹	−۰/۰۸	۱	−۰/۱٤	−۰/٤٤	۰/٦۹
محتوای نسبی آب برگ (RWC)	۰/۱۸	۰/۱٥	۰/۲۲	−۰/۱۷	−۰/۰۹	−۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۲٤	۰/۲۰	۰/۲۰	−۰/۲۳	۰/۱۸	۱	۰/۱٤	۰/۰۱
شاخص YSI	−۰/۳۱	−۰/۰۷	−۰/۰٦	−۰/۰۷	−۰/۱۰	−۰/۱۲	۰/٥۱	۰/٤۰	۰/۷۷	۰/۷۷	−۰/۲٥	۰/۷٥	۰/۲٥	۱	۰/۳۰
شاخص CSI	−۰/٤٦	−۰/۰۲	−۰/٤۸	−۰/۰٥	−۰/۳۰	۰/۱۸	۰/٦۳	۰/۷۱	۰/۸٤	۰/۸٤	−۰/۰٤	۰/۸٥	۰/۱۰	۰/۳۰	۱

ضرایب همبستگی بزرگتر از ۰/۳۲ در سطح ۵ درصد و بزرگتر از۰/٤ در سطح۱ درصد معنی دار می‌باشد.

جدول ۸ همبستگی صفات مورد بررسی در ژنوتیپ های گلرنگ در محیط عدم تنش(بالای قطر) و تنش شوری (پایین قطر)

صفت	DF	DM	H	BP	HP	HD	NS	TGW	YPP	YPM	OP	OY	RWC	YSI	CSI
روز تا گلدهی (DF)	۱	۰/۲۱	۰/٤٦	−۰/۱۰	−۰/۰۸	۰/۲٦	−۰/۰۲	−۰/٤٥	−۰/۲۳	−۰/۲۳	−۰/۰٤	−۰/۲۳	−۰/۰۷	−۰/۱۹	−۰/۳۳
روز تا رسیدگی (DM)	۰/٤٤	۱	۰/۱٤	−۰/۲۷	−۰/۱۱	۰/۳۹	−۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۱٦	۰/۱٦	۰/۱۳	۰/۱۹	−۰/۰۹	−۰/۲۱	۰/۰۱
ارتفاع بوته (H)	۰/۰٥	۰/۳٥	۱	۰/۲۷	−۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰۹	−۰/٤۸	−۰/٤۱	−۰/٤۱	−۰/۰۳	−۰/٤۰	۰/۰۸	۰/۰٤	−۰/۳۹
تعداد انشعاب در بوته (BP)	۰/۰٤	۰/۳٦	۰/۲٤	۱	−۰/۱۹	−۰/۱٥	۰/۲۰	−۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۱۸	−۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۲۱
تعداد غوزه در بوته (HP)	−۰/۳۸	۰/۰۲	−۰/۰۷	۰/۳۰	۱	−۰/۲۷	−۰/۷۳	۰/۱۷	−۰/۰۳	−۰/۰۳	−۰/۱۳	−۰/۰٦	−۰/۰۱	−۰/۰٦	−۰/۰۸
قطر غوزه (HD)	−۰/۰۸	−۰/۱۳	−۰/۰۱	−۰/۲۷	−۰/۰٦	۱	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۳٤	۰/۳٤	۰/۱۸	۰/۳۷	−۰/۱۷	−۰/۲۸	۰/۱٦
تعداد دانه درهرغوزه (NS)	۰/۱۲	۰/۱٦	۰/۰۲	−۰/۱۱	−۰/٤٦	−۰/۱٥	۱	−۰/۱۷	۰/٥٥	۰/٥٥	۰/۱۱	۰/٥٦	۰/۰۲	−۰/۰٥	۰/٥۲
وزن هزار دانه (TGW)	−۰/۲۳	−۰/۲٦	−۰/۳٤	−۰/۱۷	۰/۳۹	۰/۲۱	−۰/۳۸	۱	۰/٤۳	۰/٤۳	۰/۰۹	۰/٤٤	−۰/۱۲	−۰/۰۳	۰/۳۷
عملکرد تک‌بوته (YPP)	−۰/۲٦	۰/۰۹	−۰/۱۳	−۰/۱٤	۰/۱۷	−۰/۰۲	۰/٦۷	۰/۲۱	۱	۱	۰/۰۷	۰/۹۸	−۰/۰۹	−۰/۲٦	۰/۸۱
عملکرد در مترمربع (YPM)	−۰/۲٦	۰/۱۰	−۰/۱۲	−۰/۱٤	۰/۱٥	۰/۰۱	۰/٦۸	۰/۲۱	۱	۱	۰/۰۷	۰/۹۸	−۰/۰۹	−۰/۲٦	۰/۸۱
محتوای روغن (OP)	−۰/۲۱	−۰/۰٤	−۰/۱۸	−۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۳۱	−۰/۳٦	۰/۱٦	−۰/۱۳	−۰/۱۲	۱	۰/۲٤	−۰/۳۲	−۰/۳٤	−۰/۱٤
عملکرد روغن (OY)	−۰/۲۸	۰/۱۰	−۰/۱٥	−۰/۱٦	۰/۱۹	۰/۰٥	۰/٦۳	۰/۲٤	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۱	۱	−۰/۱٤	−۰/۳۱	۰/۷۷
محتوای نسبی آب برگ (RWC)	۰/۲۳	۰/۰۷	−۰/۰۸	۰/۱۹	−۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰٦	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰٦	−۰/۰۹	۰/۰٥	۱	۰/۰۹	−۰/۰۲
شاخص YSI	−۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۲	−۰/۱۹	۰/۰۱	−۰/۱۳	۰/٥۸	−۰/۱۲	۰/۷۱	۰/۷۰	−۰/۲۷	۰/٦۷	۰/۱۰	۱	۰/۳٥
شاخص CSI	−۰/۲۹	۰/۰۹	−۰/۲٥	−۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۰٦	۰/٥۲	۰/۳۹	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۰۱	۰/۹۱	۰/۰٥	۰/۳٥	۱

ضرایب همبستگی های بزرگتر از ۰/۳۲ در سطح ۵ درصد و بزرگتر از۰/٤ در سطح۱ درصد معنی دار می‌باشد.

مثبت و معنی‌داری بودند. در هر سه شرایط نرمال، تنش شوری و خشکی عملکرد دانه با عملکرد روغن بیشترین همبستگی را نشان داد. همچنین در مطالعات قبلی نیز عملکرد دانه با عملکرد روغن بیشترین همبستگی را داشتند (۲۷ و ۳۹).

وجود پیوستگی ژنتیکی و یا آثار پلیوتروپی می تواند همبستگی قوی بین ویژگی‌های گیاه ایجاد کند که انتخاب غیرمستقیم در برنامه‌های اصلاحی را تسهیل می‌کند (۲۳). در مطالعه اسپنانی و همکاران (۱۳)، همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد روغن با تعداد دانه در غوزه، قطر غوزه و محتوای روغن دانه مثبت و معنی‌دار گزارش شده است. شاخص تحمل به تنش (CSI) و شاخص پایداری (YSI) در هر دو شرایط تنش شوری و خشکی ارتباط مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن نشان داد. همچنین در محیط نرمال شاخص تحمل به تنش (CSI) و شاخص پایداری با تعداد دانه در هر غوزه و عملکرد دانه و روغن ارتباط مثبت و معنی‌داری داشت که با نتایج مطالعه‌ی منصوری (۲٤) مطابقت داشت. در بین شاخص‌ها، شاخصی که در شرایط تنش دارای بالاترین همبستگی با عملکرد دانه باشد، به‌عنوان شاخص مناسب شناخته می‌شود (۳۳).

در شرایط تنش شوری و خشکی همبستگی بین صفات نسبت به شرایط نرمال متفاوت بود. به‌عنوان مثال صفت تعداد دانه در غوزه با عملکرد دانه در هر سه شرایط محیطی همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد که در اثر تنش این همبستگی افزایش پیدا کرده است. همچنین همبستگی این صفات در شرایط تنش خشکی بیشتر از تنش شوری بود.

نتایج مقایسه میانگین صفات

نتایج مقایسه میانگین صفات (جدول ۹) نشان داد که بیشترین و کمترین روز تا رسیدگی در شرایط نرمال به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ G83 با ۲۱۷ روز و ژنوتیپ‌های G43 و G93 با ۲۱۲ روز بود. اما بیشترین و کمترین روز تا رسیدگی در شرایط تنش شوری، به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ G58 و والد وحشی T با ۲۱۳ و ۲۱٤ روز و ژنوتیپ‌های G60 و G41 با ۲۰٦ و ۲۰۷ روز تا رسیدگی بود. در محیط تنش خشکی، بیشترین روز تا رسیدگی برای ژنوتیپ‌های G58، G20، G98 و G52 با ۲۱۳ روز و کوتاه‌ترین دوره رسیدگی مربوط به لاین 1TP با ۲۰٦ روز رسیدگی و ژنوتیپ‌های G43 و G93 با ۲۰۷ روز رسیدگی بود. دستیابی به زودرسی و گلدهی سریع‌تر در ارقام یکی از اهداف برنامه‌های اصلاحی گلرنگ است.

بیشترین عملکرد دانه در بوته در شرایط نرمال مربوط به ژنوتیپ G52 با مقدار ۳۳/٤ گرم در بوته بود. برای این صفت در شرایط نرمال، لاین 156TO و والد (*C. tinctorius*) T، به‌ترتیب با مقادیر ۱٤/۲ و ۱٤/۵ گرم در بوته دارای پایین‌ترین عملکرد بودند. در شرایط تنش شوری، بیشترین میزان عملکرد دانه در بوته مربوط به والد O (*C. oxyacanthus*)، 61TP و G65 به‌ترتیب با مقادیر ۲۲/۱ ، ۲۱/٤ و ۲۱/۱ گرم در بوته بود. در شرایط تنش شوری، ژنوتیپ‌های G83، G40 و G94 با مقادیر ۷/۸٤ گرم در بوته، ۸/٤۰ گرم در بوته و ۸/۹۱ گرم در بوته، کمترین میزان عملکرد دانه در بوته را نشان دادند. همچنین در شرایط تنش خشکی، بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه در بوته به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G42 و G60 با مقادیر ۱۵/۵ و ۱۵/۲ گرم در بوته و ژنوتیپ‌های G83، G94 و Padideh با مقادیر ۵/۵۱، ۵/۸۸ و ٦/۳۲ گرم در بوته بود. به‌طور کلی، در شرایط تنش شوری و خشکی میانگین عملکرد کاهش یافت (۳٤/۳ درصد شوری و٥٤/٤ درصد خشکی) که در شرایط تنش خشکی این کاهش شدیدتر بود (جدول ۵). کاهش فتوسنتز در اثر شرایط تنش، موجب کاهش تولید زیست‌توده شده و درنتیجه کاهش عملکرد دانه را به دنبال دارد (۲۸). رقم Kooseh در شرایط نرمال و تنش خشکی عملکرد مناسبی داشت، ولی در اثر تنش شوری عملکرد این رقم به‌صورت قابل‌توجهی کاهش یافت. رقم Padideh به‌طور کلی در هر سه شرایط محیطی نرمال، تنش شوری و خشکی عملکرد پایینی داشت. ازاین‌رو، در این مطالعه می‌توان برای مناطقی که با مشکل شوری یا کمبود آب مواجه نیستند، برای حصول عملکرد

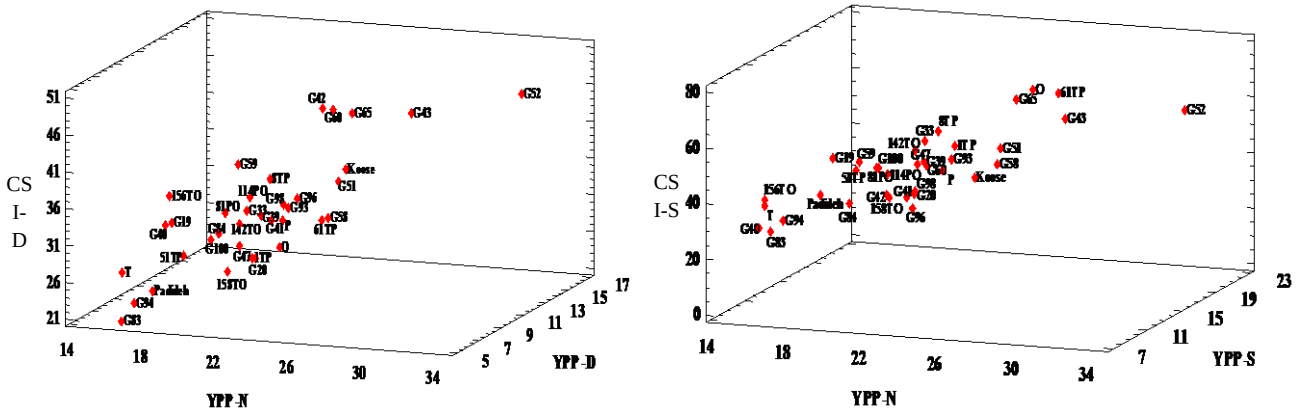
جدول ۹. میانگین صفات مرفولوژیک و زراعی تحت بررسی و شاخص‌های تحمل به تنش شوری و خشکی (CSI و YSI) در ژنوتیپ‌های گلرنگ

شماره	کد	روز تا رسیدگی			عملکرد دانه($gplant^{-1}$)			محتوای روغن دانه(٪)			شاخص های تحمل به تنش			
		نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی	نرمال	شوری	خشکی	CSI شوری	CSI خشکی	YSI شوری	YSI خشکی
							والدین							
۱	O	۲۱۵	۲۱۰	۲۱۲	۲۳/۵۳	۲۲/۱۱	۷/۲٤	۲۹/٦۷	۲۸/٦۲	۲۹/۱٤	۵۹/۲۲	۳۰/٤۸	۰/۹٤	۰/۳۱
۲	P	۲۱٤	۲۱۰	۲۱۲	۲۲/۸۲	۱۳/۲۵	۸/۷۱	۲۸/٦۳	۲۷/۲۳	۲۷/۹۳	٤٤/۹۹	۳۲/۷۷	۰/۵۸	۰/۳۸
۳	T	۲۱۵	۲۱٤	۲۱۲	۱٤/۵۳	۱۰/۸۸	۷/۹۱	۲۸/۷۷	۲۷/٦۳	۲۸/۲۰	۳۲/٤۱	۲٤/۷۳	۰/۷۵	۰/۵٤
							لاین های نوترکیب							
٤	1TP	۲۱۳	۲۱۱	۲۰٦	۲۲/۲۱	۱۵/۹۹	٦/۹۵	۲۹/۳۲	۲۷/۲۷	۲۸/۲۹	٤۸/۷۹	۲۸/۹۷	۰/۷۲	۰/۳۱
۵	8TP	۲۱۵	۲۰۹	۲۱۰	۲۰/٤۰	۱۸/۱۰	۱۱/۵٤	۲۹/۰۷	۲۸/۲۸	۲۸/٦۸	٤۹/۷٦	۳۵/۵۲	۰/۸۹	۰/۵۷
٦	51TP	۲۱٤	۲۱۲	۲۱۱	۱۷/۸۲	۱٤/۱۹	۷/۹۷	۲۸/۷۰	۲۸	۲۸/۳۵	٤۱/۰۸	۲۷/۵۸	۰/۸۰	۰/٤۵
۷	61TP	۲۱۳	۲۰۹	۲۱۰	۲۵/۲٤	۲۱/۳۹	۸/۲٤	۲۸/۸۵	۲۷/٦۰	۲۸/۲۳	٦۰/۳٦	۳۳/٦٤	۰/۸۵	۰/۳۳
۸	81PO	۲۱۵	۲۱۲	۲۱۲	۱۸/۸٦	۱٤/۳۲	۱۰/۰۱	۲۸/٤۷	۲۸/٦۲	۲۸/۵٤	٤۲/٤۸	۳۱/۷۹	۰/۷٦	۰/۵۳
۹	114PO	۲۱٤	۲۱۱	۲۱۰	۱۹/۸۱	۱۳/٤٦	۱۰/٦۸	۲۸/۹۷	۲۷/۷۵	۲۸/۳٦	٤۲/۲۱	۳۳/٦٦	۰/٦۸	۰/۵٤
۱۰	142TO	۲۱٤	۲۱۱	۲۱۰	۲۰/۲۰	۱۵/۸٤	۹/۱۱	۲۸/۲۲	۲۸/۲۲	۲۸/۲۲	٤٦/۲۸	۳۱/٤۳	۰/۷۸	۰/٤۵
۱۱	156TO	۲۱٤	۲۱۰	۲۰۸	۱٤/۱۸	۱۱/٦٦	۱۲/۷۳	۲۸/٤۷	۲۷/۹۳	۲۸/۲۰	۳۳/۱٤	۳۱/۰۳	۰/۸۲	۰/۹۰
۱۲	158TO	۲۱٦	۲۱۰	۲۱۱	۲۱/۱٤	۱۰/۷۷	٦/۵۲	۲۸/٤۰	۲۸/۱۲	۲۸/۲٦	۳۹/۰۱	۲۷/۳۸	۰/۵۱	۰/۳۱
							ارقام خارجی							
۱۳	G19	۲۱٤	۲۰۹	۲۱۰	۱۵/۷۰	۱٦/۲۰	۱۰/٤۲	۲۹/۳۳	۲۷/٤۲	۲۸/۳۸	٤۱/۲۰	۲۹/۵۳	۰/٦٦	۰/٤۸
۱٤	G20	۲۱۵	۲۱۲	۲۱۳	۲۲/۳۸	۱۰/۹٤	٦/۹۵	۲۹/۵۰	۲۷/۷۵	۲۸/٦۳	٤۰/٤۸	۲۹/۱۰	۰/٤۹	۰/۳۱
۱۵	G33	۲۱٤	۲۱۰	۲۱۱	۲۰/۱۸	۱٦/۹۷	۹/۷۹	۲۷/۳۵	۲۷/۹۰	۲۷/۳٦	٤۷/۹۱	۳۲/۵۵	۰/۸٤	۰/٤۹
۱٦	G39	۲۱۳	۲۱۱	۲۱۰	۲۱/۲۷	۱٤/۵۰	۹/۲۹	۲۷/۸۵	۲۷/۹۵	۲۷/۹۰	٤۵/٤٤	۳۲/٦۰	۰/٦۸	۰/٤٤
۱۷	G40	۲۱۵	۲۰۹	۲۱۲	۱۵/۳۵	۸/٤۰	۱۰/٤۳	۳۱/۰۵	۲۷/۷۰	۲۹/۳۸	۲۹/۲۷	۲۹/۲۲	۰/۵۵	۰/٦۸
۱۸	G41	۲۱٤	۲۰٦	۲۰۹	۲۲/۱۳	۱۰/٦۳	۸/۸۵	۳۱/۲۰	۲۹/۹۵	۳۰/۵۸	۳۹/٦۹	۳۲/۵۰	۰/٤۸	۰/٤۰
۱۹	G42	۲۱٤	۲۰۹	۲۱۱	۲۰/۸٦	۱۱/۰۷	۱۵/۵۰	۲۸/۹۰	۲۷/٦۵	۲۸/۲۸	۳۹/۲۹	٤۱/٦۷	۰/۵۳	۰/۷٤
۲۰	G43	۲۱۲	۲۰۸	۲۰۷	۲۷/۱۰	۱۸/۰۷	۱۳/۲٦	۲۹/۳۰	۲۸/۳۰	۲۸/۸۰	۵۷/٤٦	٤٤/۰٦	۰/٦۷	۰/٤۹
۲۱	G47	۲۱۳	۲۱۱	۲۰۹	۲۱/۰۱	۱٤/۳۲	۷/۷٦	۲۸/۸۰	۲۹/۷۳	۲۹/۲۷	٤٤/۸٦	۲۹/٦٦	۰/٦۸	۰/۳۷
۲۲	G51	۲۱۵	۲۱۰	۲۱۲	۲٤/۹۵	۱۵/۲٦	۱۰/۲۲	۳۰/۱۵	۲۹/٤۰	۲۹/۷۸	۵۰/۵۷	۳۷/۱۲	۰/٦۱	۰/٤۱
۲۳	G52	۲۱۷	۲۱۲	۲۱۳	۳۳/۳۹	۱۸/۰٦	۱۲/۸۳	۲۹/٦۰	۲۹/۲۰	۲۹/٤۰	٦۳/۹۲	٤۸/۳٤	۰/۵٤	۰/۳۸
۲٤	G58	۲۱٤	۲۱۳	۲۱۳	۲۵/۵۹	۱۳/۵۰	۸/۲٤	۳۰/۱۵	۲۹/۹۰	۳۰/۰۳	٤۸/۱۷	۳۳/۹۰	۰/۵۳	۰/۳۲
۲۵	G59	۲۱۳	۲۱۰	۲۱۲	۱۷/۵٦	۱۵/۱۸	۱۳/۳۱	۲۸	۲۹/۵۵	۲۸/۷۸	٤۲/۱۹	۳۵/۳٦	۰/۸٦	۰/۷٦
۲٦	G60	۲۱۳	۲۰۷	۲۰۹	۲۱/٦٤	۱٤/۰۲	۱۵/۱۷	۲۸/۵۰	۲٦/۸۵	۲۷/٦۸	٤۵/۰۷	٤۲	۰/٦۵	۰/۷۰
۲۷	G65	۲۱٤	۲۱۲	۲۱۰	۲۳/۱۲	۲۱/۱۱	۱٤/٤٤	۲۸/٦۰	۲٦/۸۵	۲۷/۷۳	۵۷/۳۳	٤۲/۳۷	۰/۹۱	۰/٦۲
۲۸	G83	۲۱۳	۲۱۱	۲۱۱	۱٦/۲٤	۷/۸٤	۵/۰۱	۲۹/۳۰	۲۷/۹۸	۲۸/٦٤	۲۹/۱۱	۲۱/۰۱	۰/٤۸	۰/۳۱
۲۹	G84	۲۱۳	۲۰۹	۲۰۹	۱۹/۲٦	۱۰/۳۰	۸/۸۱	۲۹/۳۷	۲۸/۷۰	۲۹/۰۳	۳٦/۳۷	۳۰/۱٦	۰/۵۳	۰/٤٦
۳۰	G93	۲۱۲	۲۱۲	۲۰۷	۲۲/۷۲	۱٤/٤۸	۹/۳۳	۲۸/۵۰	۲۹/۷۵	۲۹/۱۳	٤٦/۹۵	۳۳/۸۰	۰/٦٤	۰/٤۱
۳۱	G94	۲۱۳	۲۰۸	۲۱۰	۱٦/۳۹	۸/۹۱	۵/۸۸	۳۱/۲۰	۲۸/٤۰	۲۹/۸۰	۳۱/۱۷	۲۲/۷۸	۰/۵٤	۰/۳٦
۳۲	G96	۲۱۵	۲۰۹	۲۱۲	۲۲/۹٦	۹/٤٤	۹/۷۷	۳۰/٦۰	۳۰/۵۰	۳۰/۵۵	۳۸/۱٤	۳٤/۷٦	۰/٤۱	۰/٤۳
۳۳	G98	۲۱٤	۲۰۸	۲۱۳	۲۲/۲۹	۱۱/۲۷	۹/٦۱	۲۸/۹۰	۲۹/٦۰	۲۹/۲۵	٤۱	۳۳/۹٦	۰/۵۱	۰/٤۳
۳٤	G100	۲۱۵	۲۰۹	۲۱۱	۱۸/۹٦	۱٤/۳۰	۸/۵۸	۳۰/۰۵	۲۹/۸۵	۲۹/۹۵	٤۲/۵۵	۲۹/۵۳	۰/۷۵	۰/٤۵
۳۵	Padideh	۲۱٦	۲۱۰	۲۰۹	۱۷/۱۰	۱۱/٦۷	٦/۳۲	۲۷/۲۰	۲۸/۲۰	۲۷/۷۰	۳٦/٤٦	۲٤/۱۱	۰/٦۸	۰/۳۷
۳٦	kooseh	۲۱٤	۲۱۱	۲۱۰	۲٤/۹۸	۱۲/۲۵	۱۰/۸۱	۲۷/۳۳	۲٦/۸۸	۲۷/۱۱	٤۵/۳۲	۳۸/۱۷	۰/٤۹	۰/٤۳
LSD (5%)		۳	۳/٤	۳	٤/۰۳	۲/۸۰	۲/۱۱	۰/۷٦	۱/۲۸	۰/۹٦	٦/٤۲	۵/۷٤	۰/۲٤	۰/۱۹

دانه بیشتر، ژنوتیپ‌های G52، G43، G58 و 61TP را پیشنهاد کرد. ژنوتیپ‌های G52 وG43 در شرایط نرمال بیشترین عملکرد دانه را داشتند و همچنین تحت تنش شوری و خشکی عملکرد این دو ژنوتیپ در بین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا قرار داشت. در ادامه ژنوتیپ G65 و لاین 8TP در هردو شرایط تنش شوری و خشکی عملکرد و شاخص تحمل به تنش مناسبی نشان دادند. بنابراین برای مناطقی که با شوری آب و خاک و همچنین کمبود آب مواجه هستند، ژنوتیپ‌های G52، G43 و G65 پیشنهاد می‌شوند. در مناطق دارای آب یا خاک شور برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه در واحد سطح، لاین‌های 61TP و 8TP نیز به‌دلیل داشتن عملکرد بالا تحت شرایط تنش شوری و درعین حال بالا بودن شاخص تحمل به تنش برای شرایط تنش شوری قابل پیشنهاد هستند و می‌توان پس از مطالعات تکمیلی از آن‌ها استفاده کرد.

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها برای محتوای روغن دانه نشان داد که به‌طور کلی ژنوتیپ‌های G41، G96 و G58 در هر سه شرایط محیطی بالاترین محتوای روغن و دو رقم Kooseh و Padideh پایین‌ترین محتوای روغن را داشتند. در مطالعات متعددی کاهش محتوای روغن دانه در اثر وقوع تنش خشکی گزارش شده است (۱۷). در مطالعه‌ای بیان شده است که شوری تأثیر زیادی در کاهش عملکرد روغن دانه ندارد (٦). در عین حال نتایج دیگر مطالعات نشان می‌دهد که شوری باعث کاهش محتوای روغن در گیاه گلرنگ می‌شود (۳۱ و ٤۳). بررسی‌ها نشان داده است که تجمع روغن در دانه با طول دوره پر شدن دانه مرتبط است، بنابراین کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه در شرایط تنش را می‌توان دلیلی بر کاهش مقدار روغن دانست (۱۰). ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ دارای درصدهای متفاوتی از روغن دانه هستند. نسبت بیشتر مغز به پوسته دانه محتوای روغن بالاتری را به‌همراه خواهد داشت. تنوع زیادی برای صفت محتوای روغن درگیاه گلرنگ مشاهده شده است. بنابراین به‌نژادی به‌منظور بالا بردن محتوای روغن می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی مورد توجه قرار گیرد (۲۰).

از نظر شاخص تحمل به تنش CSI به‌طور کلی ژنوتیپ‌های G52، G43 وG65 در هردو محیط تنش شوری و خشکی دارای بالاترین شاخص CSI بودند. از بین لاین‌های نوترکیب، لاین 8TP تحت هردو تنش شوری و خشکی و لاین‌های 61TP و 1TP تحت تنش شوری دارای CSI بالا بودند. در این مطالعه، میانگین کل شاخص تحمل به تنش لاین‌های نوترکیب (RILs) در شرایط تنش شوری بالاتر از ارقام خارجی بود. برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط نرمال و تنش از شاخص‌های تحمل به‌عنوان ابزاری مفید استفاده می‌شوند. شاخص جدید CSI، ترکیب خطی از چهار شاخص معنی‌دار بوده که نیازی به نرم‌افزار تخصصی ندارد و استفاده از آن آسان است (۳۰). با توجه به جدول ۹ مربوط به مقایسه میانگین‌ها، در شرایط تنش شوری ژنوتیپ‌های G19، والد وحشی O وG65 به‌ترتیب با ۱/۰۳، ۰/۹٤ و ۰/۹۱ و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های 156TO، G59 و G42 به‌ترتیب با ۰/۹۰، ۰/۷٦ و ۰/۷٤، بیشترین شاخص پایداری عملکرد YSI را نشان دادند. ارقام Kooseh و Padideh در هردو شرایط تنش شوری و خشکی شاخص YSI پایینی داشتند. نتایج نشان داد میانگین کل شاخص پایداری لاین‌های نوترکیب (RILs) از ارقام جهانی بالاتر هستند. تحت تنش شوری و خشکی مطالعه اسپانی و همکاران (۱٤) نشان داد که بر اساس شاخص STI ، در بین جمعیت‌های بین‌گونه‌ای، جمعیت TP متحمل‌ترین جمعیت به تنش خشکی است، ولی بر اساس شاخص YSI، جمعیت TO پایدارتر بود که نشان‌دهنده‌ی پتانسیل اینتروگرسیون متفاوت ژن‌های مرتبط با تحمل به خشکی از دو گونه‌ی وحشی (*C. oxyacanthus* و *C. palaestinus*) به یکدیگر و همچنین به والد زراعی برای بهبود تحمل به تنش خشکی در گلرنگ است. جمعیت‌های TP و PO نسبت به ارقام شاهد (زراعی و پایدار) به تنش خشکی متحمل‌تر بودند درنتیجه به‌خوبی می‌توان از این پتانسیل برای دستیابی به ارقام متحمل به خشکی استفاده‌کرد. شاخص پایداری (YSI) در هر سه جمعیت با ارقام زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت (۱٤).



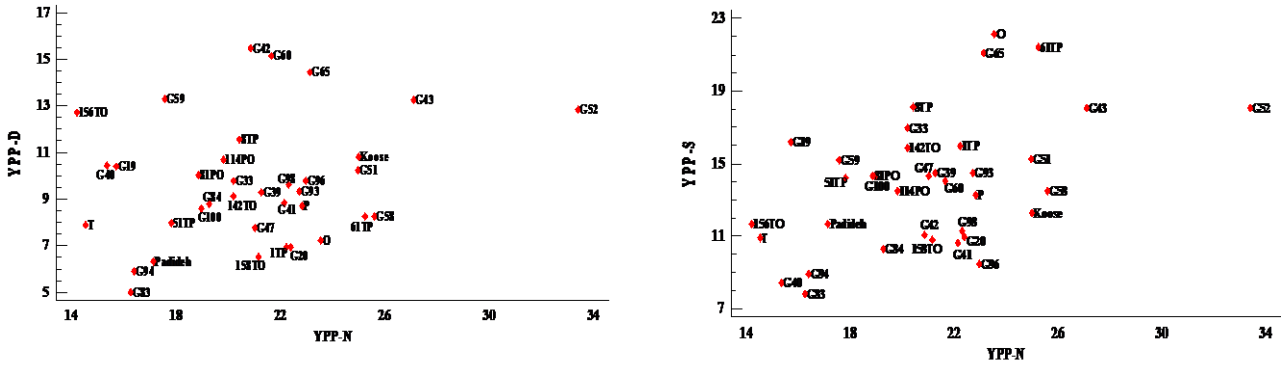
الف

ب

شکل ۱. نمودار عملکرد دانه در شرایط تنش شوری (YPP-S) در برابر عملکرد دانه در شرایط نرمال (YPP-N) در ژنوتیپ‌های گلرنگ (الف) و نمودار عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی(YPP-D) در برابر عملکرد دانه در شرایط نرمال (YPP-N) در ژنوتیپ‌های گلرنگ (ب).

به‌منظور گزینش بهتر ژنوتیپ‌های مناسب و متحمل از نمودارهای دو بعدی استفاده شد. نمودار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های منتخب نوترکیب (RILs) و خارجی گیاه گلرنگ در شرایط تنش شوری در برابر نرمال (شکل ۱- الف) و نمودار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های نوترکیب (RILs) گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی در برابر نرمال (شکل ۱- ب) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از شکل‌ها، لاین 61TP و ژنوتیپ‌های G52، G65، G43 هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش شوری عملکرد بالایی داشته‌اند. همچنین براساس شکل ۱- ب، ژنوتیپ‌های G52، G65، G43، G42، G51،G60 و رقم Kooseh از ژنوتیپ‌های با عملکرد مناسب در شرایط نرمال و تنش خشکی هستند. رقم G52 در تمام شرایط عملکرد قابل‌قبولی داشته است و این نشان‌دهنده مقاومت و پایداری بیشتر این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها است. از طرفی رقم Padideh و ژنوتیپ‌های G83 و والد T دارای کمترین عملکرد در هر سه محیط عدم تنش، تنش شوری و خشکی هستند. همچنین ژنوتیپ G40 در شرایط نرمال و تنش شوری، G94 در شرایط نرمال و تنش خشکی نیز دارای کمترین عملکرد بودند که برای مطالعات ژنتیکی توصیه می‌شود.

شاخص ترکیبی تحمل CSI برای شناسایی لاین‌های متحمل به تنش (شکل ۲- الف) نشان داد که میانگین کل شاخص تحمل به تنش لاین‌های نوترکیب (RILs) در شرایط تنش شوری بالاتر از ارقام خارجی بود. برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط نرمال و تنش از شاخص‌های تحمل به تنش به‌عنوان ابزاری مفید استفاده می‌شوند. شاخص جدید CSI، ترکیب خطی از چهار شاخص معنی‌دار بوده که نیازی به نرم‌افزار تخصصی ندارد و استفاده از آن آسان است (۳۰). رسم این شاخص در کنار قرار دادن عملکرد دانه در بوته در شرایط تنش در مقابل شرایط نرمال، به ما در شناسایی ژنوتیپ با عملکرد بالا و در عین حال متحمل به تنش‌های محیطی کمک می‌کند. ارقام G52، G65 و G43 ارقام متحمل به تنش در شرایط تنش با عملکردهای قابل‌قبول در هر سه شرایط نرمال، تنش شوری وخشکی شناسایی شدند (شکل ۲).



ب الف

شکل ۲. نمودار سه بعدی میزان شاخص تحمل به تنش در شرایط شوری (CSI-S) در برابر عملکرد در شرایط تنش شوری (YPP-S) و نرمال (YPP-N) در ژنوتیپ‌های گلرنگ (الف) و نمودار سه‌بعدی میزان شاخص تحمل به تنش در شرایط خشکی (CSI-D) در برابر عملکرد در شرایط تنش خشکی (YPP-D) و نرمال (YPP-N) در نوتیپ‌های گلرنگ (ب).

نتیجه‌گیری کلی

پدیده تنگنای ژنتیکی بخش زیادی از تنوع گلرنگ را طی هزاران سال انتخاب طبیعی و مصنوعی از بین برده است. بر این اساس دو راهکار اساسی از سال ۱۳۹۰ در قالب پروژه اصلاح گلرنگ دانشگاه صنعتی اصفهان مدنظر قرارگرفت. در راهکار اول از تلاقی بین‌گونه‌ای برای بازگرداندن بخشی از تنوع گم‌شده به‌ویژه برای تنش خشکی و شوری استفاده شد و راهکار دوم جمع‌آوری ژرم‌پلاسم از مراکز تنوع جهانی گلرنگ مدنظر قرار گرفت. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی و ارزیابی ۳٦ ژنوتیپ منتخب نوترکیب حاصل از تلاقی بین گونه‌ای و خارجی گلرنگ که طی سال‌های گذشته از درون ژرم پلاسم متنوع انتخاب شده‌اند، انجام شد. براساس این مطالعه تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌های گلرنگ زراعی و لاین‌های نوترکیب مشاهده شد و وراثت‌پذیری عمومی برای اغلب صفات در هر سه محیط مورد ارزیابی (نرمال، خشکی و شوری) بیشتر از متوسط بود که نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی این ژرم‌پلاسم برای بهبود گلرنگ و ایجاد ارقام جدید است. بر اساس نتایج مربوط به ضرایب همبستگی، صفات ارتفاع بوته، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه به‌دلیل همبستگی زیادتر با صفت عملکرد دانه در بوته از صفات مهم و مؤثر بر عملکرد دانه بودند. بر اساس نتایج این مطالعه، به‌طور کلی لاین‌های نوترکیب حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای نسبت به ارقام خارجی شاخص پایداری عملکرد دانه بالاتری داشتند. نتایج نشان داد، ژنوتیپ‌های G52، G65، G43 وG51 و لاین‌های نوترکیب 61TP و 8TP از لحاظ عملکرد دانه در هر سه محیط نرمال و تنش شوری وخشکی، نسبت به سایرین بهتر بوده و جزو ژنوتیپ‌های پایدار با شاخص تحمل به تنش بالا هستند. رقم شاهد Kooseh در شرایط نرمال و تنش خشکی عملکرد مناسبی داشت، ولی در اثر تنش شوری عملکرد این رقم به‌صورت قابل‌توجهی کاهش یافت. رقم شاهد Padideh به‌طور کلی در هر سه شرایط محیطی نرمال، تنش شوری و خشکی عملکرد پایینی داشت. در مناطق دارای آب یا خاک شور برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه در واحد سطح، لاین 61TP و پس از آن 8TP نیز به‌دلیل داشتن عملکرد بالا تحت شرایط تنش شوری و درعین‌حال بالا بودن شاخص تحمل آن‌ها، برای شرایط تنش شوری پیشنهاد می‌شوند و می‌توان پس از مطالعات تکمیلی از آن‌ها استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه صنعتی اصفهان برای حمایت مالی این طرح قدردانی می شود.

منابع

1. Akbari, G. A., S. Heshmati, E. Soltani and M. Amini Dehaghi. 2019. Influence of seed priming on seed yield, oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit. *International Journal of Plant Production* 13(1): 1-14.
2. Alaei, M., M. Makari and N. Ghaderi. 2024. Combined effects of salinity and drought stress on yield and yield components of safflower in Kashmar climatic conditions (pot experiment). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 17(3): 401-411. (In Farsi).
3. Amini, F., G. Saeidi and A. Arzani. 2008. Study of genetic diversity in safflower genotypes using agro-morphological traits and RAPD markers. *Euphytica* 163(1): 21-30.
4. Ashri, A. 1975. Evaluation of the germplasm collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.): Distribution and regional divergence for morphological characters. *Euphytica* 24(1): 651-659.
5. Ashri, A. and P. F. Knowles. 1960. Cytogenetics of safflower (*Carthamus* L.) species and their hybrids. *Agronomy Journal* 52(1): 11-17.
6. Bassil, E. S. and S. R. Kaffka. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation: I. Consumptive water use. *Agricultural Water Management* 54(1): 67-80.
7. Colani, D., E. Azzurro, M. Corsini-Foka, M. Falautano, F. Andaloro and G. Bernardi. 2007. Genetic bottlenecks and successful biological invasions: the case of a recent Lessepsian migrant. *Biology Letters* 3(5): 541-545.
8. Deshpande, R. B. 1952. Wild safflower (*Carthamus oxyacantha* Bieb.): A possible oilseed crop for the desert and arid regions. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 12(1): 10-14.
9. 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(1): 131-144.
10. Eskandari, H. and K. Kazemi. 2019. Evaluation of irrigation levels and soil fertility management on grain and oil yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 12(2): 111-122. (In Farsi).
11. Esmaeilzadeh, M., H. Babazadeh, H. Naghavi, A. Saremi and G. Shiresmaeili. 2022. Growth, photosynthesis and production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to different levels of salinity and drought. *International Agrophysics* 36(2): 93-104.
12. Esmaeilzadeh, M., A. Babazadeh, H. Naqavi, M. Saremi and M. Shirasmaeili. 2021. Photosynthesis, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to combined salinity and drought stress during vegetative growth stage. *Plant Ecophysiology (Iranian Journal of Crop Ecophysiology)* 1(57): 91-104. (In Farsi).
13. Espanani, S., M. M. Majidi, G. Saeidi and H. Alaei. 2019. Physiological aspects of interspecific gene introgression to improve drought tolerance in safflower. *Euphytica* 215(1): 163-171.
14. Espanani, S., M. M. Majidi, G. Saeidi, H. Alaei and V. Rezaei. 2019. Wide hybridization and introgression breeding in safflower: Effectiveness of different selection methods. *Plant Breeding* 138(1): 846-861.
15. Estila, A. and P. F. Knowles. 1976. Cytogenetic studies of *Carthamus divercatus* with eleven pairs of chromosomes and its relationship to other *Carthamus* species (*Compositae*). *American Journal of Botany* 63(1): 771-782.
16. Falconer, D. and F. C. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Longman Group, Ltd.
17. Flowers, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany* 55(1): 307-319.
18. Khajehpour, M. R. 2006. Industrial Crop Production. Isfahan University of Technology Press, Isfahan. (In Farsi).
19. Khoshnam, A. and E. Mamnooei. 2021. Study of the effects of water deficit stress and plant density on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in south of Kerman. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 14 (1): 39-46. (In Farsi).
20. Kurt, C., M. T. Altaf, W. Liaqat, M. A. Nadeem, A. N. Çil and F. S. Baloch. 2025. Oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm. *Foods* 14(2): 264.
21. Majidi, M. M., V. Tavakoli, A. F. Mirlohi and M. R. Sabzalian. 2011. Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. *Australian Journal of Crop Science* 5(8): 1055-1063.
22. Majidi, M. M. and S. Zadhoush. 2014. Molecular and morphological variation in a worldwide collection of safflower. *Crop Science* 54(5): 2109-2119.
23. Maleki-Nejad, R. and M. M. Majidi. 2015. Evaluation of domestic and foreign safflower germplasm under normal and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding Research* 7(1): 1-13. (In Farsi).
24. Mansouri, S. 2022. Screening for salinity tolerance in recombinant inbred lines (RILs) derived from interspecific crosses and a part of the global safflower germplasm in spring cultivation. MSc thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi).
25. Mohtashami, F., M. R. Tadayon and P. Roshandel. 2018. Evaluation of deficit irrigation levels on yield and yield components of safflower genotypes. *Journal of Crop Production and Breeding* 20 (2): 547-561. (In Farsi).

26. Omidi, A. H., H. Akbarlou and B. Samadi Firoozabadi. 2014. Safflower (Properties, Types, Cultivars, Production, and Processing). Daneshnegar Press, Tehran. (In Farsi).
27. Omidi Tabrizi, A. H. 2000. Correlation between traits and path analysis for grain and oil yield in spring safflower. *Sesame and Safflower Newsletter* 15(1): 78-83.
28. Pinheiro, C. and M. Chaves. 2011. Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data. *Journal of Experimental Botany* 62(3): 869-882.
29. Pourdad, S. 2007. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Sepehr Publications, Tehran. (In Farsi).
30. Sabouri, A., A. R. Dadras, M. Azari, A. R. Saberi Kouchesfahani, M. Taslimi and R. Jalalifar. 2022. Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new composite selection index and competitive multivariate methods. *Scientific Reports* 12(1): 1-14.
31. Safavi-Fard, N. 2020. Response of rapeseed varieties and hybrids to winter cultivation under late-season drought stress conditions. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 30(1): 185-198. (In Farsi).
32. Sahrokhnia, 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(1): 126-139.
33. Salehi, M. and S. Pourdad. 2021. Evaluation and selection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under salinity stress conditions. *Journal of Plant Production and Seed Science* 37(1): 83-102. (In Farsi).
34. Sehgal, D., V. R. Rajpal and S. N. Raina. 2008. Chloroplast DNA diversity reveals the contribution of two wild species to the origin and evolution of diploid safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Genome* 51(8): 638-643.
35. Seyed Sharifi, R. 2019. Effects of different irrigation levels and application of methanol and nano-iron oxide on grain filling components of sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Breeding* 21(2): 27-42. (In Farsi).
36. 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.
37. Shiravand, R. 2012. Genetic diversity analysis among and within some *Carthamus* species and intercrossing potential of two wild relatives with cultivated safflower. MSc thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi).
38. Shiravand, R. and M. M. Majidi. 2013. Comparison of wild and cultivated safflower species for drought tolerance and morphological-agronomic trait variations. *Iranian Journal of Crop Research* 12(1): 738-750. (In Farsi).
39. Tuncturk, M. and V. Ciftci. 2004. Relationships among traits using correlation and path coefficient analysis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) sown under different fertilization levels and row spacing. *Asian Journal of Plant Sciences* 3(5): 683-686.
40. Vilatersana, R., T. Garnatje, A. Susanna and N. Garcia-Jacas. 2005. Taxonomic problems in *Carthamus* (*Asteraceae*): RAPD markers and sectional classification. *Botanical Journal of the Linnean Society* 147(4): 375-383.
41. Wallender, W. W. and K. K. Tanji. 2011. Agricultural salinity assessment and management. ASCE, Reston.
42. Yeilaghi, H., A. Arzani, M. Ghaderian, R. Fotovat, M. Feizi and S. S. Pourdad. 2012. Effect of salinity on seed oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Food Chemistry* 130(3): 618-625.
43. Zarei Soudani, H. A. 2021. Screening for salinity tolerance in recombinant inbred lines (RILs) derived from interspecific crosses and a part of the global safflower germplasm in autumn cultivation. MSc thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi).