Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 3, 2026 p: 99-117

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Yield and Yield Components of Some Safflower (*Carthamus tinctorius* L) Genotypes under Drought Stress

Somayeh Soufinia[1], Arash Fazeli[2], and Reza Haghi[3]

1- Ph.D Student in Plant Genetics and Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam (Corresponding author: a.fazeli@ilam.ac.ir)

3- Gene Bank Researcher, Leibniz Institute of Plant Genetics and Crops (IPK), Gatersleben, Germany

Received: 05 January, 2026 Revised: 20 May, 2026 Accepted: 05 June, 2026

Extended Abstract

Background: Drought stress is a major environmental challenge limiting crop productivity worldwide. It disrupts the growth cycle of plants through various mechanisms, leading to significant reductions in agricultural yield. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is known for its relative tolerance to drought and salinity, mainly due to its deep, extensive root system. Despite this resilience, drought stress can still negatively impact safflower yield. This study aims to evaluate and compare the yield and yield components of multiple safflower genotypes under drought stress conditions to identify drought-tolerant genotypes.

Methods: The experiment was conducted in the fall of 2022 at the Faculty of Agriculture, Ilam University, within a controlled greenhouse environment maintaining temperatures of 22-34 °C and 40-70% humidity. A factorial design with three replications was used to assess 82 safflower genotypes sourced from the IPK Institute, Germany. Two irrigation treatments were normal irrigation at 100% field capacity (control) and drought stress at 50% field capacity. Each pot contained one plant, which was harvested individually. After seed separation, plants were oven-dried at 75 °C for 48 hours. Biological yield was calculated based on dry weight measurements of seeds and plant material. Data analysis involved analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons using the LSD method in SAS software (version 9.4). Principal component analysis, heatmaps, and dendrograms were generated using R (version 3.4) and the pheatmap package to explore relationships between genotypes and traits.

Results: Drought stress significantly affected several morphological and yield-related traits at the 1% probability level, including plant height, leaf area, grain yield components, and biological yield. Plant height and leaf area were reduced under drought in many genotypes, although some genotypes showed non-significant changes. These traits are critical indicators of plant development, especially for safflower grown in semi-arid and arid regions. The response to drought varied widely among genotypes. Key traits, such as the number of heads per plant, head diameter, number of seeds per head, 100-seed weight, and total seeds per plant, were all significantly influenced by drought stress and genotype interactions. Generally, drought stress reduced the number of heads and head diameter, with variability among genotypes. Similarly, the number of seeds per head and seed weight declined under stress in many genotypes. For example, genotypes 45 and 33 showed the highest seed counts per head under normal conditions, with averages of 26.3 and 20.3 seeds, respectively.

Both grain and biological yields were significantly decreased by drought in several genotypes, confirming that water limitation adversely affects overall productivity. Heatmap and dendrogram analyses revealed patterns of similarity among the genotypes. Genotypes 4, 8, and 53 were the most distinct, while genotypes 44 and 31 clustered closely together. Based on grain yield components, genotypes segregated into two main groups: one with lower coefficients (-1 to -2) and another with higher coefficients (1 to 2). Clustering of traits showed that biological

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

Copyright ©2026. Soufinia et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

yield, plant height, leaf area, and dry weight grouped together; grain weight and head diameter formed another cluster, and grain yield components grouped separately.
Conclusion: Drought stress significantly limits safflower growth and reduces grain yield and its components. However, genotypic responses varied, with some genotypes experiencing significant yield reductions while others showed little change under stress. Under normal irrigation, genotypes 11 and 72 were identified as superior based on grain yield (8.10 g and 8.18 g per plant, respectively). Under drought stress, genotype 19 emerged as the best performer with a grain yield of 12.26 g per plant. These findings highlight the potential of certain genotypes for cultivation in drought-prone environments and provide valuable information for breeding drought-tolerant safflower varieties.

Keywords: Hundred-seed weight, Leaf area, Seed number, Tolerance, Harvest index

How to Cite This Article: Soufinia, S., Fazeli, A., & Haghi, R. (2026). Evaluation of Yield and Yield Components of Some Safflower (*Carthamus tinctorius* L) Genotypes under Drought Stress. *J Crop Breed*, 18(3), 99-117. DOI: 10.66224/jcb.2026.1643

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش خشکی

سمیه صوفی‌نیا[۱]، آرش فاضلی[۲] و رضا حقی[۳]

۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی،گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، (نویسنده مسوول: a.fazeli@ilam.ac.ir)
۳- محقق بانک ژن، موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی لایب‌نیتس (IPK)، گاترسلبن، آلمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۵
صفحه: ۹۹ تا ۱۱۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود که با مکانسیم‌های مختلف، چرخه حیات گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و موجب کاهش تولید محصولات کشاورزی در سرتاسر دنیا می‌شود. گلرنگ گیاهی است که نسبت به تنش شوری و خشکی مقاوم است. هرچند که گلرنگ به‌دلیل داشتن ریشه‌های عمیق و گسترده می‌تواند تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی را تحمل کند و با این وجود عملکرد این گیاه علی‌رغم تحمل به تنش خشکی آن ممکن است تحت تأثیر تنش خشکی قرار گیرد. اهمیت گلرنگ به‌دلیل مقاومت بالای این گیاه به شرایط نامساعد محیطی از جمله خشکی و نیز قابلیت بالای این گیاه در تولید روغن، بر کسی پوشیده نیست. لیکن در این بین، شناخت ژنوتیپ‌هایی که توانایی سازگاری بیشتری با شرایط مذکور دارند، گامی مهم در دستیابی به عملکردهای قابل قبول است. بنا بر این، هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی و مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های گلرنگ به تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار، طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در دمای ۳۴-۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰-۴۰ درصد انجام شد. در این آزمایش، ۸۲ ژنوتیپ گلرنگ که بذور آن‌ها از مؤسسه IPK آلمان تهیه شدند، از نظر مقاومت به سطوح تنش آبیاری در دو سطح شامل نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان شاهد) و ۵۰ درصدی (۵۰ درصد گنجایش ظرفیت زراعی به‌عنوان تنش) مورد ارزیابی قرار گرفتند. از هرگلدان یک بوته برداشت و پس از جدا کردن دانه هر یک به‌طور جداگانه نگهداری شد. بوته‌ها برای خشک‌کردن به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از خشک‌شدن نمونه‌ها، به‌وسیله ترازوی دقیق وزن دانه و بوته، عملکرد بیولوژیکی محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD با نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. جهت رسم ماتریس نقشه حرارتی و دندروگرام و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم افزار R نسخه ۳/۴ و بسته آماری pheatmap استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات ارتفاع بوته و سطح برگ نشان دادند که اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در تنش، بر صفات ارتفاع بوته و سطح برگ در سطح آماری یک درصد، معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ نشان دادند که تنش موجب کاهش ارتفاع بوته و سطح برگ در برخی ژنوتیپ‌ها شد. طبق بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شد که تنش خشکی بر شاخص‌های نموی گیاهان، به‌ویژه گلرنگ که اغلب در مناطق نیمه‌خشک و خشک کشت می‌شود، تأثیر می‌گذارد. ارتفاع و سطح برگ گیاه از صفات مورفولوژیکی کلیدی هستند که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند و واکنش آن می‌تواند به‌طور قابل‌توجه بین ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت باشد. تعداد شاخه فرعی و وزن خشک بوته نیز تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ در مورد این دو صفت نشان دادند که تنش موجب کاهش وزن خشک بوته و تعداد شاخه فرعی در برخی ژنوتیپ‌های و تغییر غیر معنی‌دار در برخی دیگر شد. اجزای عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد دانه از قبیل تعداد طبق در بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن صد دانه و تعداد کل دانه در بوته نشان دادند که این صفات تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ نشان دادند که تعداد طبق در بوته و قطر طبق تحت تنش کاهش یافتند که این تغییرات بسته به ژنوتیپ متفاوت هستند. اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ در مورد تعداد دانه در طبق، وزن صد دانه و تعداد کل دانه در بوته نیز نشان دادند که تنش موجب کاهش این صفات در برخی ژنوتیپ‌ها شد. در شرایط بدون تنش، بالاترین تعداد دانه در طبق مربوط به ژنوتیپ‌های ۴۵ و ۳۳ با میانگین ۲۶/۳ و ۲۰/۳ عدد بود. تنش خشکی به‌طور قابل توجهی بر اجزای عملکردی ژنوتیپ‌های گلرنگ، از جمله وزن صد دانه، تعداد دانه در هر طبق و تعداد طبق در هر گیاه تأثیر می‌گذارد. عملکرد دانه: این صفت نیز تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ نشان دادند که تنش موجب کاهش عملکرد دانه در برخی ژنوتیپ‌ها شد. عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک نیز تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. نتایج نشان دادند که تنش موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در برخی ژنوتیپ‌های گلرنگ شد. ماتریس نقشه حرارتی و دندروگرام: نتایج ماتریس نقشه حرارتی و دندروگرام صفات و ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی نشان دادند که در این بین ژنوتیپ‌های ۴، ۸ و ۵۳ کمترین تشابه و ژنوتیپ‌های ۴۴ و ۳۱ بالاترین تشابه را نشان دادند. همچنین، ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر اجزای عملکرد دانه می‌توانند به دو گروه دسته‌بندی شوند. گروه بالایی ماتریس محدوده ضریب بین ۱- تا ۲- بود و گروه دوم نیز در پایین ماتریس قرار گرفتند و ضرایب بین ۱ تا ۲ داشتند. نتایج کلاستربندی ژنوتیپ‌ها و صفات نیز نشان دادند که عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک در یک گروه، وزن دانه و قطر طبق در یک گروه و اجزای عملکرد دانه نیز در یک گروه قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، مشخص شد که تنش خشکی موجب محدودیت در رشد گلرنگ و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. همچنین، واکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به تنش متفاوت بود به طوری که در برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد کاهش یافتند و در برخی ژنوتیپ‌ها تغییرات غیر معنی‌داری مشاهده شدند. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های ۱۱ (با عملکرد دانه ۸/۱۰ گرم در بوته) و ۷۲ (با عملکرد دانه ۸/۱۸ گرم در بوته) به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر و در شرایط تنش نیز ژنوتیپ ۱۹ (با عملکرد دانه ۱۲/۲۶ گرم در بوته) برترین ژنوتیپ شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: تحمل، تعداد دانه، سطح برگ، شاخص برداشت، وزن صد دانه

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود که با مکانسیم‌های مختلف چرخه حیات گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wei *et al*., 2020; Snyder, 2017; Leach *et al*., 2011). خشکی از طریق ایجاد تنش اسمزی، عملکرد گیاه را به‌طور نامطلوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Guler *et al*., 2012). نوع واکنش و میزان خسارت گیاهان تحت تنش به عوامل متعددی از جمله شدت، مدت و زمان وقوع تنش و ارقام گیاهی بستگی دارد (Moatshe *et al*., 2020). افزایش سازگاری گیاهان زراعی برای حفظ پایداری تولید یکی از اهداف اصلی رویکرد کشاورزی هوشمند به اقلیم برای رویارویی با تغییرات اقلیمی است (Polania *et al*., 2017). با توجه به وجود شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در اکثر مناطق کشور و وابستگی کشور به منابع خارجی در تأمین بخش عمده روغن خوراکی، توسعه کشت گیاهان دانه روغنی برای کاهش وابستگی و ایجاد خوداتکایی دارای اهمیت زیادی است (Ganji *et al*., 2024). گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک‌ساله، متعلق به خانواده آستراسه است که اسیدهای چرب غیراشباع موجود در دانه‌ها (به‌ویژه اسید لینولئیک) آن باعث شده است با روغن آفتابگردان و بادام‌زمینی مشابه باشد و دانه‌های آن دارای ۳۵ درصد روغن و محتوای ۲۰ درصد پروتئین می‌هستند (Villa *et al*., 2017; Kammili and Yadav, 2022; Xia *et al*., 2017). سطح زیر کشت گلرنگ با وجود سازگاری با شرایط اقلیمی ایران و سابقه طولانی کشت در منطقه، به‌دلیل عدم وجود ارقام پرمحصول افزایش نمی‌یابد و عملکرد گلرنگ در ایران حدود ۱۳۰۰ کیلوگرم در هکتار است (FAOSTAT, 2022). گلرنگ گیاهی است که نسبت به تنش شوری و خشکی مقاوم است و همچنین به‌عنوان گیاهی جهت تغذیه به‌عنوان مرتع، علوفه، دانه و روغن استفاده می‌شود. کنجاله گلرنگ یک محصول جانبی از صنعت گلرنگ است که به‌عنوان پروتئین برای تغذیه حیوانات استفاده می‌شود (Ragni *et al*., 2015).

هرچند که گلرنگ به‌دلیل داشتن ریشه‌های عمیق و گسترده می‌تواند تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی را تحمل کند (Gecgel *et al*., 2007)، با این‌وجود عملکرد این گیاه علی‌رغم تحمل به تنش خشکی آن ممکن است تحت تأثیر تنش خشکی قرار گیرد (Zandi *et al*., 2022؛Hussain *et al*., 2016). با این‌حال، پاسخ مورفولوژیکی و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ به شرایط تنش خشکی یکسان نیست. (Culha Erdal *et al*., 2021). در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، حفظ عملکرد بالا یک ویژگی مهم در انتخاب ژنوتیپ‌های گلرنگ است (Hussain *et al*., 2016) و عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی کاهش می‌یابد (Singh *et al*., 2016). از سوی دیگر، روغن دانه گلرنگ به‌عنوان محصول نهایی کشت این گیاه علاوه بر کمیت از نظر کیفیت نیز تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Rahmani *et al*., 2019).

مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گلرنگ تأثیرگذار است و درنهایت موجب کاهش معنی‌داری عملکرد دانه می‌شود (Abd El-Lattife, 2013; Janmohammadi *et al.,* 2017; Movahhedy-Dehnavy *et al*., 2009; Shahrokhnia & Sepaskhah, 2017). همچنین، محققین با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ۲۶ رقم، لاین و جمعیت گلرنگ در دو سال در شرایط نیمه‌خشک گزارش کردند که ارقام Syria، Hama و Haryinan و لاین S-541-2 دارای بیشترین عملکرد دانه بودند (Beyyavas *et al*., 2011). سایر پژوهشگران گزارش کرده‌اند که آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مورفولوژیکی گیاه گلرنگ، نظیر عملکرد دانه و روغن، را به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bortolheiro & Silva, 2017). در شرایط تنش خشکی، به‌دلیل افزایش رقابت بین گیاهان برای آب و کاهش تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غوزه و وزن هزاردانه و درنهایت عملکرد دانه گیاه کاهش می‌یابند (Khalili *et al*., 2013). همچنین، به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود و این تنش موجب اختلال در ساختار کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل شده، در نتیجه منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی و عملکرد دانه گیاه شده است (Amini *et al*., 2013). اگرچه اثرات فیزیولوژیکی القاء شده به‌وسیله تنش خشکی در گیاهان زراعی به‌خوبی مطالعه شده‌اند، اما خشکی هنوز یک موضوع مهم تحقیقاتی با اولویت بالا به‌شمار می‌آید (Medici *et al*., 2014). اهمیت گلرنگ به‌دلیل مقاومت بالای این گیاه به شرایط نامساعد محیطی از جمله خشکی و نیز قابلیت بالای این گیاه در تولید روغن بر کسی پوشیده نیست. در این بین، شناخت ژنوتیپ‌هایی که توانایی سازگاری بیشتری با شرایط مذکور دارند گامی مهم در دستیابی به عملکردهای قابل قبول است. بنا بر این، هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی و مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی است.

مواد و روش‌ها

طرح و تیمارهای آزمایشی

به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در آبان سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام (با مشخصات جغرافیایی، ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه طول جغرافیایی، ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه عرض جغرافیایی و با ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا) در دمای ۳۴–۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۰–۷۰ درصد انجام شد. در این آزمایش، ۸۲ ژنوتیپ گلرنگ (جدول ۱) که بذور آن‌ها از مؤسسه IPK آلمان تهیه شدند، از نظر مقاومت به سطوح تنش آبیاری در دو سطح شامل نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان شاهد) و ۵۰ درصدی (۵۰ درصد گنجایش ظرفیت زراعی به‌عنوان تنش) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of 82 safflower genotypes studied

ORIGIN	SUBTAXA	ACCENUMB	شماره	ORIGIN	SUBTAXA	ACCENUMB	شماره
SLOVAKIA	*var. inermis*	CART 64	42	NORTH KOREA	*var. tinctorius*	CART 80	1
----	*var. tinctorius*	CART 61	43	NORTH KOREA	*var. tinctorius*	CART 76	2
UNITED STATES OF AMERICA	*var. inermis*	CART 56	44	TAJIKISTAN	*var. inermis*	CART 83	3
SPAIN (ESPAÑA)	*var. tinctorius*	CART 49	45	NORTH KOREA	*var. tinctorius*	CART 74	4
----	*var. inermis*	CART 3	46	GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. inermis*	CART 67	5
----	*var. inermis*	CART 16	47	NORTH KOREA	*var. inermis*	CART 77	6
ITALY	*var. inermis*	CART 100	48	JAPAN	*var. tinctorius*	CART 79	7
IPK Gene bank	Unknown	CART 2	49	NORTH KOREA	*var. tinctorius*	CART 72	8
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 230	50	NORTH KOREA	*var. tinctorius*	CART 75	9
----	*var. tinctorius*	CART 223	51	GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 159	10
ETHIOPIA	*var. tinctorius*	CART 232	52	----	*var. tinctorius*	CART 164	11
----	*var. inermis*	CART 229	53	PARAGUAY	*var. tinctorius*	CART 158	12
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 221	54	----	*var. tinctorius*	CART 163	13
----	*var. tinctorius*	CART 166	55	TUNISIA	*var. inermis*	CART 89	14
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 228	56	TUNISIA	*var. inermis*	CART 90	15
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. inermis*	CART 226	57	PAKISTAN	----	CART 156	16
----	*var. tinctorius*	CART 193	58	MOROCCO (MAROC)	*var. tinctorius*	CART 157	17
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 219	59	FORMER USSR	----	CART 155	18
Canada	*var. tinctorius*	CART 105	60	IRAQ	*var. tinctorius*	CART 152	19
----	*var. inermis*	CART 22	61	INDIA	*var. tinctorius*	CART 181	20
POLAND	*var. inermis*	CART 19	62	----	*var. tinctorius*	CART 197	21
----	*var. tinctorius*	CART 25	63	GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 218	22
----	*var. inermis*	CART 23	64	----	*var. tinctorius*	CART 110	23
MOROCCO (MAROC)	*var. inermis*	CART 24	65	----	*var. tinctorius*	CART 113	24
----	*var. inermis*	CART 26	66	POLAND	*var. inermis*	CART 138	25
----	*var. tinctorius*	CART 27	67	----	*var. tinctorius*	CART 142	26
----	*var. inermis*	CART 29	68	IRAN	----	CART 149	27
----	*var. inermis*	CART 30	69	PORTUGAL	*var. tinctorius*	CART 135	28
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 224	70	PAKISTAN	*var. tinctorius*	CART 137	29
----	*var. tinctorius*	CART 225	71	----	----	CART 167	30
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 217	72	----	var. tinctorius	CART 213	31
SPAIN (ESPAÑA)	*var. tinctorius*	CART 210	73	GERMANY (DEUTSCHLAND)	var. inermis	CART 215	32
----	*var. inermis*	CART 205	74	IRAN	----	CART 170	33
SUDAN	*var. tinctorius*	CART 201	75	HUNGARY	var. inermis	CART 169	34
----	*var. tinctorius*	CART 133	76	POLAND	var. tinctorius	CART 214	35
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. tinctorius*	CART 127	77	SUDAN	var. tinctorius	CART 37	36
GERMANY (DEUTSCHLAND)	*var. inermis*	CART 132	78	----	var. tinctorius	CART 32	37
INDIA	*var. tinctorius*	CART 116	79	SUDAN	var. inermis	CART 42	38
BELGIUM	*var. tinctorius*	CART 126	80	----	var. inermis	CART 31	39
IPK Gene bank	Unknown	CART 136	81	ETHIOPIA	var. tinctorius	CART 48	40
----	*var. tinctorius*	CART 128	82	----	var. inermis	CART 33	41

خاک مورد نیاز به نسبت دو سوم خاک زراعی (جدول ۲)، یک سوم ماسه بادی و یک سوم کود حیوانی تهیه شد. برای تعیین ظرفیت زراعی خاک، در یک گلدان، خاک ریخته و به‌آرامی و تا حد اشباع آب به آن اضافه شد و ۴۸ ساعت پس از خارج شدن کامل آب ثقلی، از خاک درون گلدان‌ها نمونه‌گیری به‌عمل آمد. این نمونه‌ها وزن شدند و برای مدت ۲۴ ساعت به آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و وزن خشک آن‌ها گرفته شد (Shohani *et al*., 2023). مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت زراعی تعیین شد و مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری و فواصل آبیاری گلدان‌های تیمارهای مختلف ذکرشده بر این اساس محاسبه شد. وزن گلدان‌ها طبق رابطه ۱ در شرایط ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد نظر گرفته شد.

رابطه(۱)

$$FC\ (\%) = \frac{FW-DW}{FW} \times 100$$

که در آن، FW وزن بستر کشت در ظرفیت زراعی، و DW وزن بستر کشت خشک‌شده در آون است. سپس، مقدار آب مورد نیاز برای حفظ سطح ۵۰ درصد محاسبه شد و در طول دوره برای سطوح رطوبتی گلدان مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور، گلدان‌ها روزانه وزن شدند و مقدار آب لازم برای رسیدن به هر سطح اضافه گردید. طبق فرمول بالا، برای شرایط نرمال یعنی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ۷۰۰ میلی‌لیتر آب و شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ۳۵۰ میلی‌لیتر آب استفاده شد. هر روز گلدان‌ها وزن شدند و میزان آب مورد نیاز به گلدان اضافه شد تا به‌میزان ظرفیت زراعی مورد نظر برسد. اعمال تنش تا پایان رشد یعنی تا زمان برداشت ادامه پیدا کرد (Sheikh Esmaeili *et al*., 2016).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

برای کاشت از گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۲۰×۱۸ سانتی‌متر با گنجایش ۶ کیلوگرم خاک استفاده شد. بذور در عمق ۳ سانتی‌متری از سطح خاک کشت گردید. پس از سبز شدن با تنک کردن، یک بوته در هر گلدان باقی ماند. لازم به ذکر است که از هر ژنوتیپ و از هر سطح تنش سه گلدان (سه تکرار) برای اندازه‌گیری صفات استفاده شدند. آبیاری تا استقرار کامل گیاهچه‌ها به‌صورت یکسان انجام شد. در اسفندماه سال ۱۴۰۱، محلول‌پاشی با کود NPK (۶-۱۲-۳۶) به‌مقدار ۳ در هزار و به هر گلدان ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از این محلول اضافه شد. اعمال تیمار تنش خشکی پنج ماه بعد از کشت (فروردین ماه سال ۱۴۰۲) انجام گرفت. به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب، سطح هر گلدان با فویل آلومینیومی پوشانده شد. در طول دوره رشد، هر روز کلیه گلدان‌ها با ترازو توزین و وزن هر گلدان در حد تیمار آبی مربوطه ثابت نگه داشته شد. اعمال تنش خشکی تا پایان مرحله رسیدگی ادامه داشت. با مشاهده علائم رسیدگی گیاه در اواخر خردادماه بوته‌ها برداشت گردیدند و صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های جانبی، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه و طول غوزه اندازه‌گیری شدند.

صفات مورد ارزیابی

از هر گلدان یک بوته برداشت شد و پس از جدا کردن دانه هر یک به‌طور جداگانه نگهداری شدند. دانه‌ها برای خشک‌کردن در معرض تابش نور آفتاب و جریان طبیعی هوا قرار داده شدند و برای خشک‌کردن بوته‌ها، به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از خشک‌شدن نمونه‌ها، به‌وسیله ترازوی دقیق وزن دانه و بوته، عملکرد بیولوژیکی محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید. در این رابطه، GY عملکرد دانه، BY عملکرد بیولوژیک و HI شاخص برداشت هستند.

رابطه (۲)

$$HI= GY/ BY*100$$

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 2. Some physical and chemical properties of the soil used

خصوصیات فیزیکی Physical properties					خصوصیات شیمیایی Chemical properties				
بافت خاک Text soil	شن Sand (%)	لای Lay (%)	رس Clay (%)	پتاسیم میلی‌گرم بر کیلوگرم K (mg/kg)	فسفر P (%)	نیتروژن N (%)	کربن آلی OC (%)	pH	هدایت الکتریکی میکروزیمنس بر سانتی‌متر EC ($dscm^{-1}$)
Lomy	15	58	27	356.3	4.94	0.1	1.74	7.27	0.26

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به‌روش LSD با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. جهت رسم ماتریس نقشه حرارتی و دندروگرام و تجزیه به مؤلفه اصلی از نرم‌افزار R نسخه ۳/۴ و بسته آماری pheatmap استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس مربوط به ارتفاع بوته و سطح برگ نشان داد که این دو صفت تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ نشان داد، تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته و سطح برگ در برخی ژنوتیپ‌ها شد. در شرایط بدون تنش، بالاترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۷ و ۶۹ با میانگین ۱۵۱/۳ و ۱۵۰/۳ سانتی‌متر و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۰ و ۸۳ با متوسط ارتفاع ۸۳ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۱ (۱۵۴ سانتی‌متر) و ۷۷ (۱۵۸ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع نیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۰ (۸۲/۵ سانتی‌متر) و ۲ (۸۴/۵ سانتی‌متر) بود (جدول ۴). بالاترین سطح برگ در بوته در شرایط بدون تنش، مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۶۲ با میانگین‌های ۴/۲۱ و ۴/۳۲ سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار نیز در ژنوتیپ‌های ۲ و ۶ با متوسط سطح برگ ۱/۷۹ و ۱/۸۰ سانتی‌متر مربع مشاهده شد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین سطح برگ در بوته در ژنوتیپ‌های ۳ (۵/۰۴ سانتی‌متر مربع) و ۳۳ (۶/۱۶ سانتی‌متر مربع) به‌دست آمد، اما کمترین مقدار سطح برگ بوته مربوط به ژنوتیپ‌های ۷۵ (۱/۳۳ سانتی‌متر) و ۳۶ (۱/۷۴ سانتی‌متر مربع) بود (جدول ۴).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برخی خصوصیات مورفولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی
Table 3. Results of variance analysis of morphology traits of different safflower genotypes under drought stress.

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Means square					
		ارتفاع بوته Plant height	سطح برگ Leaf area	وزن خشک Dry weight	تعداد شاخه فرعی Number of secondary branches	تعداد طبق در بوته Number of head	قطر طبق Diameter of head
بلوک Block	2	602.3*	3.36*	190.1**	4.98*	53.2**	0.02ns
تنش Stress	1	15.4ns	0.10ns	2063.6**	1.08ns	3030.2**	1.30**
ژنوتیپ Genotype	81	1377.1**	1.59**	126.0**	5.39**	56.9**	0.15**
اثرات متقابل Interaction	81	280.0**	1.41**	51.3**	2.26**	12.9**	0.09**
خطا Error	326	158.4	0.75	34.3	1.34	10.9	0.03
ضریب تغییرات CV (%)	–	9.9	28.9	17.7	18.0	22.1	7.5

ns،* و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد.

ns,*, and ** represent non-significant, significant at the 5% level, and significant at the 1% level, respectively.

طبق بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شد که تنش خشکی بر نمو گیاهان، به‌ویژه گلرنگ که اغلب در مناطق نیمه‌خشک و خشک کشت می‌شود، تأثیر می‌گذارد. ارتفاع و سطح برگ گیاه از صفات مورفولوژیکی کلیدی هستند که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند و واکنش آن می‌تواند به‌طور قابل توجهی بین ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت باشد. تنش خشکی با کاهش گسترش برگ و کوچک‌تر شدن اندازه برگ که به‌طور جمعی به کاهش شاخص سطح برگ و کاهش سطح تعرق کمک می‌کند منجر می‌شود (Licaj *et al*., 2024). کاهش سطح برگ یک سازگاری حیاتی برای حفظ آب و محافظت از گیاه در برابر از دست دادن بیش از حد آب است. این کاهش اغلب با تغییراتی در ضخامت برگ همراه است، مانند افزایش فشردگی سلول‌های اپیدرمی و مزوفیل که تحمل به خشکی را بیشتر افزایش می‌دهد (Yao *et al*., 2024). تنش خشکی به‌طورکلی با محدودکردن طویل شدن و تقسیم سلولی که برای رشد ساقه ضروری هستند، می‌تواند سطح برگ و ارتفاع گیاه را کاهش دهد (Farooq *et al*., 2012). کاهش در سطح برگ و ارتفاع گیاه اغلب با کاهش در زیست‌توده و عملکرد کلی گیاه همراه است. به‌عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که شرایط کمبود آب منجر به کاهش قابل توجهی در ارتفاع گیاه در مقایسه با شرایط آبیاری مناسب شد؛ شدت این کاهش می‌تواند بسته به زمان و شدت تنش خشکی متفاوت باشد (Loghmani *et al*., 2019; Soleymani *et al*., 2011). همچنین، مشخص شد که ژنوتیپ‌های گلرنگ تنوع ژنتیکی قابل توجهی در پاسخ خود به تنش خشکی، از جمله تفاوت در ارتفاع و سطح برگ گیاه، نشان می‌دهند. برخی از ژنوتیپ‌ها نسبت به خشکی مقاوم‌تر هستند و تحت تنش ارتفاع نسبتاً بالاتری را حفظ می‌کنند، در حالی‌که برخی دیگر حساس‌تر هستند و کاهش بیشتری را نشان می‌دهند. سلیمانی و همکاران (Soleymani *et al.,* 2011) گزارش دادند که ژنوتیپ‌هایی مانند IL و اصفهان محلی عملکرد بهتری در شرایط خشکی نشان دادند و ارتفاع و سطح برگ بالاتری را در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها حفظ کردند (Seify *et al*., 2023). به‌طور مشابه، در مطالعه دیگر مشاهده شد که ژنوتیپ‌های مانند دینچر و PI-537598 به‌عنوان مقاوم به خشکی شناسایی شدند و ارتفاع گیاه و سطح برگ بیشتری در شرایط کمبود آب داشتند (Loghmani *et al*., 2019).

کاهش ارتفاع گیاه تحت تنش خشکی اغلب با تغییرات فیزیولوژیکی مانند کاهش محتوای نسبی آب، شاخص سطح برگ و محتوای کلروفیل مرتبط است. این تغییرات می‌توانند فتوسنتز و رشد کلی گیاه را مختل کنند. در این مطالعه نیز تغییرات سطح برگ مشابه تغییرات ارتفاع بوته است که تائید کننده این مطلب است (جدول ۴). با این حال، برخی از ژنوتیپ‌ها توانایی حفظ محتوای نسبی آب و محتوای کلروفیل بالاتری را در تنش خشکی نشان داده‌اند که ممکن است به توانایی آن‌ها در حفظ ارتفاع گیاه کمک کند (Canavar *et al*., 2014; Janmohammadi *et al*., 2017).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

جدول ۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته و سطح برگ ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی

Table 4. Mean comparisons of plant height and leaf area in different safflower genotypes under drought stress

سطح برگ (سانتی‌مترمربع) (Leaf area (cm^{-2}))						ارتفاع بوته (سانتی‌متر) (Plant height (cm))					
تنش (Stress)		ژنوتیپ Genotype	تنش (Stress)		ژنوتیپ Genotype	تنش (Stress)		ژنوتیپ Genotype	تنش (Stress)		ژنوتیپ Genotype
تنش Stress	بدون تنش Normal		تنش Stress	بدون تنش Normal		تنش Stress	بدون تنش Normal		تنش Stress	بدون تنش Normal	
2.28	4.06	42	2.85	3.31	1	141.7	136.3	42	107.3	122.3	1
2.58	2.11	43	3.95	1.79	2	152.7	128.0	43	84.5	101.0	2
2.78	3.04	44	5.04	2.46	3	144.7	141.3	44	135.7	143.3	3
2.53	1.83	45	2.98	2.05	4	112.8	120.0	45	102.0	104.7	4
3.97	2.39	46	3.42	2.49	5	150.2	131.0	46	122.7	129.8	5
2.15	3.24	47	2.80	1.80	6	129.0	128.7	47	91.3	98.3	6
3.23	2.45	48	3.38	2.58	7	112.3	128.5	48	116.3	116.2	7
2.73	2.53	49	3.50	2.59	8	132.0	130.7	49	101.7	102.7	8
3.27	2.77	50	3.69	2.55	9	122.7	125.7	50	118.3	100.7	9
2.83	3.09	51	2.25	2.28	10	131.5	121.7	51	128.0	125.3	10
3.47	2.65	52	2.77	3.50	11	121.8	128.3	52	146.3	126.3	11
2.35	3.96	53	3.18	3.46	12	93.2	96.3	53	139.2	143.7	12
3.42	3.66	54	6.16	4.21	13	125.0	133.2	54	125.0	117.5	13
2.81	3.87	55	2.61	1.88	14	129.3	137.0	55	144.3	129.0	14
3.33	3.47	56	3.63	2.77	15	129.7	145.3	56	92.7	123.0	15
2.73	3.60	57	2.38	2.43	16	121.3	134.0	57	93.2	112.7	16
3.57	3.64	58	2.26	2.09	17	151.2	126.7	58	122.7	125.7	17
2.46	3.51	59	4.17	3.69	18	132.7	130.7	59	114.0	119.7	18
2.22	3.98	60	3.12	2.98	19	95.0	114.7	60	121.3	119.0	19
2.13	3.00	61	2.11	2.11	20	125.7	139.3	61	82.5	81.5	20
3.02	4.32	62	4.12	3.65	21	120.8	130.8	62	154.0	100.8	21
4.60	2.30	63	3.30	2.83	22	152.0	140.3	63	108.7	116.0	22
3.28	2.76	64	4.97	3.74	23	142.7	131.3	64	135.0	126.3	23
2.15	3.76	65	3.90	2.11	24	152.2	146.3	65	132.3	134.3	24
2.75	3.04	66	2.37	3.26	25	126.8	139.0	66	122.0	129.7	25
2.00	3.03	67	3.76	3.45	26	121.3	124.3	67	120.7	124.2	26
2.35	3.21	68	2.89	2.82	27	145.7	137.3	68	141.0	151.3	27
1.81	2.98	69	2.72	3.75	28	147.5	150.3	69	136.0	117.7	28
4.03	3.61	70	2.92	2.60	29	145.8	138.3	70	101.7	127.3	29
2.59	3.34	71	2.98	2.81	30	118.3	109.7	71	139.3	132.3	30
3.06	2.82	72	2.50	2.90	31	117.3	99.7	72	137.2	132.0	31
2.92	3.05	73	2.94	3.04	32	116.8	110.7	73	123.3	137.0	32
3.26	2.74	74	3.91	3.42	33	124.3	113.7	74	146.2	140.0	33
1.33	3.15	75	2.31	3.99	34	149.2	136.7	75	141.0	148.2	34
3.50	3.45	76	2.80	3.20	35	135.3	101.7	76	144.8	132.7	35
3.38	2.94	77	1.74	3.11	36	158.0	127.0	77	149.5	146.7	36
2.94	2.24	78	2.70	2.96	37	128.0	133.7	78	122.3	135.7	37
2.14	3.38	79	2.73	2.56	38	87.0	83.0	79	139.8	149.2	38
2.39	2.41	80	3.07	2.12	39	134.7	139.0	80	131.0	146.3	39
2.67	2.09	81	3.02	2.98	40	116.0	116.0	81	118.0	125.3	40
3.06	3.85	82	2.30	2.32	41	118.0	129.0	82	140.8	146.3	41
		0.26						58.6			$LSD_{0.05}$

تعداد شاخه فرعی و وزن خشک بوته

تعداد شاخه فرعی و وزن خشک بوته نیز تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ در مورد این دو صفت نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک بوته و تعداد شاخه فرعی در برخی ژنوتیپ‌های و تغییر غیر معنی‌دار در برخی دیگر شد. در شرایط بدون تنش، بالاترین تعداد شاخه فرعی مربوط به ژنوتیپ‌های ۵ و ۶ با میانگین‌های ۱۰/۶۷ و ۹/۰۰ عدد و کمترین مقدار نیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۳۴ و ۴۴ با متوسط ۴/۶۷ و ۴/۳۳ عدد مشاهده شدند. بالاترین وزن خشک بوته نیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۱ و ۳۳ با میانگین‌های ۳۹/۲ و ۳۸/۴ گرم در بوته و کمترین مقدار نیز در ژنوتیپ‌های ۵۳ و ۷۹ مشاهده شدند (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین تعداد شاخه فرعی در ژنوتیپ‌های ۲۰ (۱۱/۳۳ عدد) و ۷۹ (۱۰/۰ عدد) و وزن خشک بوته در ژنوتیپ‌های ۴۴ (۵۱/۱ گرم در بوته) و ۳۳ (۴۶/۶ گرم دربوته) مشاهده شدند، اما کمترین تعداد شاخه فرعی مربوط به ژنوتیپ‌های ۲۶ (۴/۳۳ عدد) و کمترین وزن خشک بوته در ژنوتیپ‌های ۸ (۲۰/۴ گرم دربوته) و ۵۳ (۲۰/۸ گرم دربوته) بودند (جدول ۵).

کاهش ماده خشک در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش سطح برگ و کاهش قدرت منبع باشد. تنش خشکی از طریق کاهش تولید و رشد برگ، پیری زودرس برگ‌ها و افزایش پیری برگ‌ها مقدار شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد که این امر موجب کاهش میزان تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Fathian & Ehsanzadeh 2016). همچنین، گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش میزان کلروفیل به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پیری زودرس برگ‌ها به‌دلیل اختلالات هورمونی در گیاه می‌شود که این امر کاهش توان تولیدی گیاه را به‌همراه دارد (Merajipour *et al*., 2012). همچنین، گزارش شده است که در شرایط تنش گیاهان اغلب منابع را برای افزایش رشد ریشه تخصیص می‌دهند و نسبت ریشه به ساقه را افزایش می‌دهند که این امر مواد جذب شده فتوسنتزی را از تولید اندام هوایی دور و وزن خشک را محدود می‌کند (Seleiman *et al*., 2021).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد دانه از قبیل تعداد طبق در بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن صد دانه و تعداد کل دانه در بوته نشان دادند که این صفات تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جداول ۳ و ۶).

اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ نشان دادند که تعداد طبق در بوته و قطر طبق تحت تنش کاهش یافتند که این تغییرات بسته به ژنوتیپ متفاوت هستند. در شرایط بدون تنش، بالاترین تعداد طبق در بوته و قطر طبق به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۸۱ و ۳۳ با میانگین‌های ۲۰/۳۳ عدد و ۲/۷۷ سانتی‌متر و کمترین مقدار نیز به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۳ با متوسط ۶ طبق در بوته و قطر طبق ۱/۳۷ سانتی‌متر بودند (جدول ۷). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین تعداد طبق در بوته مربوط به ژنوتیپ‌های ۳۹ (۲۵/۳ عدد) و ۶۶ (۲۵/۰ عدد) و بالاترین قطر طبق مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳ (۳/۰۳ سانتی‌متر) و ۳۳ (۲/۷۷ سانتی‌متر) بودند، اما کمترین این صفات به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱ (۱۰/۰ عدد) و ۱۱ (۱/۹۰ سانتی‌متر) بود (جدول ۷). اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ در مورد تعداد دانه در طبق، وزن صد دانه و تعداد کل دانه در بوته نیز نشان داد که تنش موجب کاهش این صفات در برخی ژنوتیپ‌ها شد. در شرایط بدون تنش، بالاترین تعداد دانه در طبق مربوط به ژنوتیپ‌های ۴۵ و ۳۳ با میانگین‌های ۲۶/۳ و ۲۰/۳ عدد مشاهده شد. بالاترین وزن صد دانه و تعداد کل دانه در بوته نیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۴۳ و ۸۱ با میانگین‌های ۵/۳ گرم و ۲۹۷ عدد محاسبه شدند (جدول ۸ و ۹). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین تعداد دانه در طبق مربوط به ژنوتیپ‌های ۳۳ (۳۲/۷ عدد)، وزن صد دانه در ژنوتیپ‌های ۲ (۵/۱۹ گرم) و ۱۵ (۵/۱۸ گرم) و تعداد کل دانه در بوته در ژنوتیپ ۱۹ (۴۱۷ عدد) مشاهده شدند، اما کمترین مقدار این صفات مربوط به ژنوتیپ ۷ (۱ عدد دانه در طبق، ۱/۳۴ گرم وزن صد دانه و ۱۹ عدد بذر در بوته) بود (جداول ۸ و ۹). تنش خشکی به‌طور قابل توجهی بر اجزای عملکردی ژنوتیپ‌های گلرنگ، ازجمله وزن صد دانه، تعداد دانه در هر طبق و تعداد طبق در هر گیاه تأثیر می‌گذارد. این اجزا برای تعیین عملکرد کلی دانه گلرنگ بسیار مهم هستند. با این حال، تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در این اجزای عملکردی شود و بر بهره‌وری محصول تأثیر بگذارد. گلرنگ به‌طورکلی مقاوم به خشکی در نظر گرفته می‌شود. میزان کاهش اجزای عملکردی تحت تنش خشکی در بین ژنوتیپ‌ها متفاوت است. برخی از ژنوتیپ‌ها مقاومت بهتری را به خشکی نشان می‌دهند و وزن دانه بالاتر و تعداد دانه در هر طبق و طبق در هر گیاه را حفظ می‌کنند که می‌تواند به سازگاری‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن‌ها نسبت داده شود (Eslam *et al*., 2024; Yeloojeh *et al*., 2020). این تغییرات بر اهمیت انتخاب و اصلاح ژنوتیپ‌های گلرنگ با مقاومت بیشتر به خشکی برای کشت در محیط‌های با محدودیت آب تأکید می‌کنند. همچنین، تنش خشکی معمولاً منجر به کاهش وزن دانه‌ها می‌شود. کاهش وزن دانه‌ها به‌دلیل محدودیت دسترسی به آب در مرحله پرشدن دانه است که بر تجمع زیست‌توده در دانه‌ها تأثیر می‌گذارد (Yari *et al*., 2014). همچنین، گزارش شده است که تعداد دانه در هر طبق در شرایط تنش خشکی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این کاهش در درجه اول به‌دلیل اثرات نامطلوب تنش آبی بر رشد تولید مثلی گیاه است. تنش خشکی در طول مراحل گلدهی و تشکیل دانه تاثیر منفی بیشتری دارد و منجر به کاهش تعداد دانه‌های تشکیل شده در هر طبق می‌گردد (Yari *et al*., 2014). همچنین، شرایط کمبود آب می‌توانند منجر به کاهش تعداد طبق شوند که به‌طور مستقیم بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد (Soleymani *et al*., 2011). در شرایط تنش، دوره پرشدن دانه کاهش یافته، موجب کوچک‌شدن دانه و کاهش وزن دانه می‌شود که عملکرد دانه را کاهش می‌دهد، لذا کاهش عملکرد می‌تواند به‌واسطه کاهش تعـداد دانه در تیمار و کاهش وزن هزار دانه در تیمار تنش باشد (Shirdelmoghanloo *et al*., 2022). کاهش تعداد طبق اغلب با پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه به تنش، مانند کاهش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی مرتبط است که توانایی گیاه را برای پشتیبانی از ساختارهای تولید مثلی متعدد محدود می‌کند (Amini *et al*., 2013).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

جدول ۵- مقایسه میانگین وزن خشک کل بوته و تعداد شاخه فرعی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی

Table 5. Mean comparisons of total plant dry weight and the number of secondary branches in different safflower genotypes under drought stress

تعداد شاخه فرعی Number of secondary branches						وزن خشک بوته (گرم در مترمربع) Dry weight (g/m^{-2})					
تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ
تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype
5.67	5.00	42	6.00	8.33	1	38.7	35.3	42	24.8	39.2	1
7.33	5.67	43	6.33	8.00	2	38.7	34.4	43	26.1	28.4	2
5.33	4.33	44	6.67	8.67	3	51.1	32.2	44	34.8	30.6	3
7.00	5.67	45	6.67	8.67	4	31.1	20.6	45	22.1	23.9	4
6.00	6.33	46	6.67	10.67	5	39.7	34.0	46	34.0	36.2	5
7.67	7.00	47	6.67	9.00	6	38.7	34.5	47	30.0	24.1	6
5.00	5.00	48	6.67	5.67	7	34.5	30.3	48	41.6	30.5	7
6.33	5.00	49	7.33	9.00	8	46.0	35.4	49	20.4	22.7	8
5.67	5.33	50	5.00	7.67	9	37.4	34.2	50	27.1	25.2	9
6.67	5.00	51	6.33	6.00	10	38.1	33.0	51	35.3	30.8	10
6.33	6.00	52	7.00	5.67	11	29.1	24.8	52	31.5	33.9	11
8.67	7.67	53	6.67	6.67	12	20.8	19.4	53	38.6	28.6	12
5.67	6.00	54	6.00	8.00	13	34.8	33.2	54	36.4	28.7	13
5.33	5.00	55	6.00	6.00	14	28.5	28.8	55	34.9	37.1	14
5.67	5.33	56	5.67	8.33	15	32.9	30.8	56	36.2	34.5	15
5.67	6.00	57	7.67	6.33	16	34.3	28.6	57	30.4	31.5	16
5.33	7.00	58	6.33	6.00	17	36.4	35.1	58	32.3	29.7	17
5.33	6.33	59	6.67	5.33	18	35.4	37.5	59	35.0	36.6	18
6.67	7.00	60	7.00	7.00	19	23.3	31.5	60	39.4	30.0	19
6.67	6.33	61	11.33	8.67	20	33.8	32.7	61	27.8	30.9	20
6.67	6.33	62	6.33	5.67	21	35.7	33.5	62	37.2	26.2	21
6.00	6.33	63	6.00	6.33	22	34.6	30.2	63	36.9	31.7	22
7.67	7.33	64	8.33	7.00	23	34.2	36.6	64	46.6	33.3	23
6.33	6.00	65	5.67	5.67	24	33.2	36.0	65	38.2	35.0	24
7.00	6.00	66	7.67	6.00	25	37.9	31.9	66	29.8	32.1	25
6.67	6.67	67	4.33	5.33	26	30.3	32.5	67	30.9	23.8	26
6.67	5.33	68	5.67	6.33	27	41.7	24.0	68	36.2	27.7	27
6.67	6.33	69	5.00	5.00	28	45.4	34.1	69	41.2	26.1	28
7.00	7.33	70	6.67	6.00	29	33.9	35.4	70	24.8	26.7	29
6.00	5.67	71	6.33	6.00	30	29.0	27.9	71	36.8	26.0	30
6.00	6.00	72	5.33	5.00	31	35.5	24.2	72	42.0	37.0	31
6.33	6.33	73	6.00	5.67	32	31.9	26.0	73	31.9	32.8	32
9.00	6.67	74	5.33	6.67	33	35.5	22.1	74	37.2	38.4	33
8.33	6.67	75	5.67	4.67	34	30.5	31.6	75	43.6	37.9	34
6.33	5.67	76	7.00	5.67	35	36.2	31.4	76	44.3	35.6	35
6.33	6.00	77	7.00	6.33	36	39.2	33.8	77	45.3	35.1	36
6.67	7.67	78	6.33	5.67	37	35.0	30.5	78	34.7	36.5	37
10.00	8.67	79	5.67	5.67	38	26.0	19.6	79	44.9	33.3	38
6.67	5.00	80	7.33	6.00	39	38.4	35.5	80	47.6	31.3	39
6.33	6.67	81	5.67	5.67	40	33.9	31.9	81	38.7	30.5	40
5.67	6.00	82	5.33	6.33	41	31.7	26.7	82	38.8	31.6	41
			13.1								$LSD_{0.05}$

عملکرد دانه

عملکرد دانه نیز تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ نشان دادند که تنش موجب کاهش عملکرد دانه در برخی ژنوتیپ‌ها شد. در شرایط بدون تنش، بالاترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۷۲ با میانگین‌های ۸/۱۰ و ۸/۱۱ گرم در بوته و کمترین مقدار نیز در ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۳ با متوسط عملکرد ۰/۰۱ و ۰/۱۵ گرم در بوته مشاهده شدند (جدول ۹). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های ۱۹ (۱۲/۲۶ گرم) و ۳۱ (۱۲/۲۷ گرم) و کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۷ (۰/۶۴ گرم) و ۳۴ (۱/۷۲ گرم) بودند (جدول ۹). در تحقیقی مشخص شد که تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد دانه گلرنگ را ۵۹ درصد کاهش داد. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری مطلوب را می‌توان به کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه تحت شرایط تنش نسبت داد، چرا که کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال‌یافته از برگ به دانه از پیامدهای تنش کمبود آب است که باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Haghshenas & Gholinejad, 2020).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی
Table 6. Results of ANOVA for yield and yield components of different Safflower genotypes under drought stress.

منابع تغییر Source	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Means square					
		تعداد دانه در طبق Number of grains per head	وزن صد دانه 100-seed weight	تعداد دانه Total grain number	عملکرد دانه Grain yield	عملکردبیولوژیک Biological function	شاخص برداشت Harvest Index
بلوک Block	2	1.26^{ns}	0.36^{ns}	4.32^{ns}	0.07^{ns}	208.61^{ns}	0.02^{ns}
تنش Stress	1	29.55^{**}	78.51^{**}	1432.4^{**}	57.3^{**}	6283.0^{**}	1.09^{**}
ژنوتیپ Genotype	81	2.47^{**}	2.94^{**}	58.16^{**}	1.47^{**}	140.3^{**}	0.05^{**}
اثرات متقابل Interaction	81	1.50^{**}	1.29^{**}	17.71^{**}	0.67^{**}	67.50^{**}	0.02^{**}
خطا Error	326	0.62	0.61	8.77	0.28	40.93	0.01
ضریب تغییرات CV (%)	–	22.8	26.4	22.3	23.5	16.5	24.5

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد.
ns, *, and ** represent non-significant, significant at the 5% level, and significant at the 1% level, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین تعداد طبق در بوته و قطر طبق ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی
Table 7. Mean comparisons of head number and head diameter in different safflower genotypes under drought stress

تعداد طبق در بوته Head number						قطر طبق (سانتی‌متر) Head diameter (cm)					
تنش Stress		ژنوتیپ Genotype	تنش Stress		ژنوتیپ Genotype	تنش Stress		ژنوتیپ Genotype	تنش Stress		ژنوتیپ Genotype
بدون تنش Normal	تنش Stress		بدون تنش Normal	تنش Stress		بدون تنش Normal	تنش Stress		بدون تنش Normal	تنش Stress	
7.3	12.3	42	10.3	10.0	1	2.37	2.60	42	2.27	2.30	1
11.3	17.3	43	10.0	10.0	2	2.60	2.47	43	2.23	2.17	2
11.7	17.7	44	7.3	10.3	3	1.37	2.66	44	2.23	2.23	3
8.7	19.0	45	10.7	14.3	4	2.57	2.53	45	2.70	2.30	4
14.7	21.3	46	9.7	16.0	5	2.20	2.40	46	2.10	2.27	5
17.0	23.7	47	9.0	12.0	6	2.50	2.43	47	2.17	2.10	6
8.7	13.7	48	10.0	20.7	7	2.37	1.97	48	2.33	2.40	7
12.7	18.7	49	10.0	12.3	8	2.57	2.47	49	2.23	2.13	8
16.0	17.3	50	10.7	14.3	9	2.43	2.30	50	2.30	2.67	9
13.0	19.7	51	17.7	19.3	10	2.20	2.20	51	2.30	2.30	10
11.7	18.7	52	13.7	12.7	11	2.40	1.90	52	2.50	2.37	11
10.3	16.3	53	9.7	17.3	12	1.93	2.23	53	1.93	2.17	12
12.7	20.7	54	6.0	11.0	13	2.20	3.03	54	2.03	2.40	13
10.7	15.3	55	13.7	12.7	14	2.67	2.37	55	1.93	2.43	14
9.7	19.0	56	7.3	15.3	15	2.53	2.43	56	2.23	2.40	15
13.0	16.3	57	14.0	17.3	16	2.17	2.27	57	2.13	2.33	16
8.7	12.0	58	19.3	20.7	17	2.10	2.17	58	2.13	2.30	17
13.0	14.3	59	8.7	15.7	18	2.20	2.40	59	2.27	2.27	18
13.0	16.7	60	14.0	19.0	19	2.30	2.50	60	2.20	2.30	19
14.3	21.7	61	12.3	24.7	20	2.57	2.20	61	2.23	2.30	20
18.7	19.7	62	7.0	10.7	21	2.27	2.43	62	2.00	2.07	21
15.0	18.7	63	15.7	18.3	22	2.37	2.63	63	2.07	2.47	22
16.3	16.0	64	9.7	12.3	23	2.43	2.63	64	2.13	2.33	23
15.0	21.3	65	13.3	17.7	24	2.20	2.27	65	2.17	2.23	24
15.7	25.0	66	13.3	19.0	25	2.03	2.00	66	2.03	2.17	25
12.7	17.3	67	10.0	16.0	26	2.20	2.47	67	2.27	2.27	26
10.0	17.0	68	10.7	14.3	27	2.17	2.33	68	2.17	2.30	27
13.0	22.0	69	10.7	18.0	28	2.17	2.47	69	2.03	2.33	28
15.0	22.0	70	14.0	14.7	29	2.43	2.37	70	2.30	2.53	29
12.7	16.0	71	16.0	19.7	30	2.33	2.30	71	2.60	2.37	30
11.3	16.0	72	11.7	20.0	31	2.17	2.37	72	2.70	2.67	31
12.3	16.7	73	11.7	20.7	32	2.13	2.17	73	2.57	2.50	32
13.0	24.3	74	8.0	12.3	33	2.77	2.70	74	2.23	2.30	33
14.7	18.7	75	7.0	13.0	34	2.37	2.40	75	2.23	2.13	34
15.3	20.7	76	12.3	17.3	35	2.30	2.50	76	2.30	2.67	35
13.0	18.0	77	13.7	22.0	36	2.13	2.13	77	2.37	2.33	36
19.0	23.0	78	17.0	21.3	37	2.07	2.30	78	1.90	2.20	37
11.3	18.3	79	14.7	19.7	38	2.03	2.30	79	2.10	2.47	38
13.0	18.3	80	17.7	25.3	39	1.83	1.97	80	2.30	2.30	39
20.3	19.3	81	10.3	19.3	40	2.17	2.30	81	2.10	2.43	40
13.0	15.0	82	16.3	17.7	41	2.20	2.50	82	2.30	2.50	41
1.40					$LSD_{0.05}$	16.5					

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

جدول ۸- مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق و وزن صد دانه ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی

Table 8. Mean comparisons of the number of seeds per head and 100-seed weight in different safflower genotypes under drought stress

وزن صد دانه (گرم) 100-seed weight (g)						تعداد دانه در طبق Number of grains per head					
تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ
تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype
4.46	1.65	42	4.75	5.16	1	9.3	3.3	42	18.7	11.3	1
4.18	5.13	43	5.19	3.81	2	9.7	6.7	43	10.7	19.0	2
3.71	2.80	44	5.10	3.03	3	9.0	15.7	44	13.3	2.3	3
3.14	3.28	45	4.47	4.11	4	16.0	26.3	45	8.3	10.3	4
2.70	1.89	46	3.29	1.72	5	13.3	12.0	46	15.7	5.3	5
3.25	1.73	47	5.16	4.04	6	10.7	12.0	47	5.3	9.0	6
2.60	2.79	48	1.34	4.16	7	9.3	9.0	48	1.0	12.3	7
3.15	2.33	49	3.63	3.74	8	5.0	6.7	49	15.0	12.7	8
3.28	2.20	50	3.93	3.43	9	17.7	13.3	50	10.7	6.3	9
2.55	1.74	51	3.81	2.64	10	10.7	11.3	51	11.0	15.7	10
3.80	2.78	52	2.22	2.82	11	20.7	14.7	52	11.3	18.7	11
1.62	2.45	53	3.65	1.34	12	4.7	14.3	53	10.0	4.7	12
2.70	2.24	54	4.43	0.35	13	16.7	11.7	54	22.7	0.3	13
3.17	2.03	55	4.55	2.94	14	16.7	8.3	55	11.7	11.0	14
3.28	2.67	56	5.18	3.52	15	16.0	12.0	56	11.7	9.0	15
3.43	2.22	57	3.79	3.12	16	14.0	8.3	57	6.0	3.0	16
3.11	1.46	58	3.13	1.47	17	13.3	6.7	58	12.3	12.0	17
2.93	2.28	59	3.98	1.82	18	17.3	11.7	59	16.0	3.0	18
3.73	2.26	60	3.06	3.03	19	15.0	12.3	60	22.3	15.7	19
2.60	2.14	61	3.60	3.95	20	18.3	13.3	61	12.0	13.7	20
3.29	2.57	62	4.82	4.23	21	15.7	9.7	62	15.0	4.3	21
2.50	1.87	63	3.12	2.76	22	19.7	13.0	63	20.3	14.3	22
2.70	2.47	64	3.58	2.07	23	13.3	10.0	64	10.7	8.3	23
2.78	2.81	65	5.14	3.07	24	13.3	12.0	65	13.0	17.3	24
2.62	2.18	66	2.42	1.45	25	14.0	9.7	66	11.0	9.0	25
3.32	2.64	67	3.29	1.74	26	15.7	21.7	67	18.7	8.3	26
2.27	2.01	68	2.06	2.20	27	14.7	7.0	68	10.7	11.0	27
2.67	2.16	69	3.27	2.64	28	24.3	11.3	69	22.7	18.7	28
2.99	2.16	70	3.69	3.24	29	20.7	10.3	70	13.0	7.0	29
3.27	3.00	71	2.97	2.41	30	14.7	18.7	71	18.0	15.3	30
3.80	3.39	72	3.42	2.57	31	20.7	18.3	72	17.7	11.7	31
4.45	3.01	73	3.95	1.22	32	18.3	20.7	73	22.0	7.3	32
2.85	3.13	74	3.44	3.18	33	18.0	15.0	74	32.7	20.3	33
2.67	1.91	75	4.80	3.78	34	17.7	14.0	75	4.0	4.3	34
2.91	2.68	76	3.45	2.55	35	18.0	15.7	76	17.7	15.7	35
2.61	2.57	77	2.73	1.95	36	15.0	13.7	77	17.3	15.0	36
2.67	1.80	78	2.81	1.96	37	21.0	10.0	78	16.7	13.0	37
3.72	3.00	79	3.91	1.36	38	17.0	15.7	79	14.3	4.3	38
3.24	2.11	80	3.02	2.60	39	13.3	9.3	80	8.0	8.3	39
2.54	2.11	81	3.27	1.88	40	16.7	14.3	81	11.3	13.0	40
2.60	1.74	82	2.85	2.17	41	14.3	9.7	82	16.0	14.3	41
			0.26						5.27		$LSD_{0.05}$

بسته‌شدن روزنه‌ها برای به حداقل رساندن اتلاف آب از طریق تعرق و کاهش جذب دی‌اکسید کربن در پی آن موجب اختلال در چرخه کالوین می‌شود. همچنین، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن بر اثر غالب شدن عوامل غیر روزنه‌ای بر مهار فتوسنتزی موجب آسیب به غشاهای کلروپلاست و مختل‌شدن بیوسنتز کلروفیل در شرایط تنش می‌شود (Kapoor *et al*., 2022). در شرایط تنش، دوره پرشدن دانه کاهش می‌یابد و موجب کوچک‌شدن دانه و کاهش وزن دانه می‌شود. لذا، کاهش عملکرد می‌تواند ناشی از کاهش تعداد دانه و کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش باشد (Shirdelmoghanloo *et al*., 2022). کمبود آب و بروز تنش خشکی در محیط رشد گلرنگ موجب کاهش اندازه گیاه، تغییر رنگ برگ‌ها، کم‌شدن دوام سطح برگ‌ها و کاهش عملکرد می‌شود (Hussain *et al*., 2016). فرخی‌نیا و همکاران (Farokhnia *et al*., 2011) گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته‌شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود. گزارش شده است که تعداد دانه در طبق در شرایط تنش خشکی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) ۲۵ تا ۳۰ درصد و در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) تا ۶۵ درصد کاهش می‌یابد. این کاهش با اختلال در زنده ماندن گرده و پذیرش کلاله به‌دلیل آسیب اکسیداتیو در طول گلدهی ارتباط دارد (Esmaeilzadeh *et al.,* 2022). همچنین، گزارش شده است که ۱۵ تا ۲۰ درصد از منابع متابولیکی مربوط به پرشدن دانه به تنظیم اسمزی اختصاص پیدا می‌کند. همچنین، ژنوتیپ‌های زودرس، مانند گلدشت، با کوتاه کردن دوره پرشدن بذر در شرایط تنش خشکی وزن دانه بالاتر را موجب شده‌اند (Pasban Eslam *et al*., 2024).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

جدول ۹- مقایسه میانگین تعداد کل دانه در بوته و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی
Table 9. Mean comparisons of total grain number and grain yield in different safflower genotypes under drought stress

عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain yield (g/plant)						تعداد کل دانه Total grain number					
تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ	تنش Stress		ژنوتیپ
تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype	تنش Stress	بدون تنش Normal	Genotype
4.12	0.62	42	8.00	4.46	1	116.3	25.7	42	170.3	92.3	1
4.35	3.72	43	5.32	6.70	2	160.3	69.7	43	84.7	182.7	2
9.83	4.98	44	4.34	0.15	3	185.3	184.3	44	102.3	15.7	3
8.16	7.24	45	4.32	4.59	4	310.3	225.3	45	96.7	113.7	4
8.56	3.57	46	5.25	1.62	5	310.3	185.3	46	225.7	66.3	5
7.48	4.55	47	2.50	4.05	6	267.7	209.3	47	65.7	80.7	6
6.72	2.40	48	0.64	4.59	7	171.3	81.0	48	19.3	108.0	7
2.49	2.31	49	5.31	4.57	8	87.7	94.7	49	151.7	125.7	8
9.79	5.82	50	4.61	2.40	9	299.7	207.3	50	134.0	49.3	9
5.44	2.70	51	6.91	7.41	10	196.7	162.0	51	214.7	280.0	10
10.88	5.32	52	4.61	8.10	11	407.0	176.7	52	210.7	260.7	11
2.07	3.48	53	5.61	0.82	12	88.3	140.7	53	168.3	47.0	12
8.17	4.53	54	8.24	0.01	13	337.7	181.7	54	226.3	1.0	13
8.14	2.35	55	5.94	4.36	14	256.3	93.0	55	128.7	118.7	14
8.84	3.18	56	8.82	3.85	15	318.7	113.7	56	171.0	89.7	15
7.28	2.23	57	3.36	2.61	16	221.3	102.0	57	72.7	54.0	16
4.59	1.52	58	8.15	3.81	17	149.0	69.0	58	297.7	232.3	17
7.56	3.72	59	9.90	1.03	18	262.0	162.7	59	263.3	26.7	18
9.45	4.70	60	12.26	6.68	19	233.7	156.0	60	417.3	222.7	19
9.42	4.33	61	9.86	7.80	20	333.7	158.7	61	307.7	170.0	20
6.17	4.64	62	4.24	1.73	21	224.0	180.7	62	146.0	37.0	21
8.46	4.96	63	10.89	6.22	22	364.0	194.0	63	369.0	229.3	22
4.71	3.86	64	3.54	1.74	23	215.0	157.0	64	136.7	81.3	23
6.63	4.97	65	8.79	6.95	24	240.0	181.3	65	244.7	230.0	24
8.27	3.70	66	4.29	3.02	25	315.0	172.7	66	175.3	132.7	25
7.84	6.36	67	9.32	2.56	26	235.3	241.3	67	285.0	97.7	26
6.73	1.74	68	2.74	4.52	27	246.3	84.0	68	159.7	143.3	27
10.47	3.09	69	11.48	4.94	28	548.0	152.7	69	387.3	194.0	28
10.96	3.48	70	7.92	4.25	29	362.7	153.7	70	182.3	95.0	29
6.98	7.30	71	10.18	5.67	30	217.7	238.3	71	335.0	241.3	30
12.13	8.18	72	12.27	5.36	31	351.7	217.3	72	332.0	156.7	31
11.61	7.73	73	6.85	3.07	32	318.7	262.0	73	192.7	107.7	32
9.82	7.68	74	10.42	4.37	33	337.3	183.7	74	377.0	148.3	33
5.22	5.20	75	1.72	1.02	34	331.3	200.0	75	60.0	28.0	34
11.56	6.32	76	10.72	4.92	35	362.7	251.3	76	291.7	191.7	35
4.37	4.48	77	9.33	3.93	36	250.7	178.3	77	370.3	204.3	36
10.09	4.65	78	9.99	4.50	37	394.0	203.0	78	349.7	235.3	37
8.85	5.87	79	6.80	1.01	38	303.0	175.7	79	271.7	79.7	38
5.38	4.59	80	6.40	3.65	39	221.3	157.7	80	198.7	145.3	39
7.89	6.21	81	3.74	2.77	40	320.3	297.0	81	163.7	139.7	40
6.44	5.63	82	5.53	5.06	41	250.0	174.0	82	287.0	240.7	41
			1.09					108			$LSD_{0.05}$

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک نیز تحت تأثیر تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). نتایج نشان دادند که تنش موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در برخی ژنوتیپ‌های گلرنگ شد. در شرایط بدون تنش، بالاترین عملکرد بیولوژیک در ژنوتیپ ۱ با میانگین ۴۳/۷ گرم در بوته و کمترین مقدار نیز در ژنوتیپ ۵۳ با متوسط عملکرد بیولوژیک ۲۲/۹ گرم در بوته مشاهده شدند (جدول ۱۰). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین عملکرد بیولوژیک مربوط به ژنوتیپ‌های ۴۴ (۶۱/۰ گرم در بوته) و ۳۵ (۵۵/۱ گرم در بوته) و کمترین عملکرد بیولوژیک نیز مربوط به ژنوتیپ ۵۳ (۲۲/۸ گرم در بوته) بودند (جدول ۱۰).

طبق بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شد که کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی می‌توانند ناشی از کاهش سطح برگ و کاهش قدرت منبع باشد که نتایج این مطالعه نیز تائیدکننده این مطلب است. تنش کمبود آب از طریق کاهش تولید و رشد برگ، پیری زودرس برگ‌ها و افزایش پیری برگ‌ها مقدار شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (Fathian & Ehsanzadeh, 2016). سایر محققان نیز گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش معنی‌داری پیدا کرد (Merajipour *et al*., 2012) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. کاهش محتوای کلروفیل با افزایش سطح تنش خشکی به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پیری زودرس برگ‌ها به‌دلیل اختلالات هورمونی از دلایل کاهش توان فتوسنتزی گیاه است (Monteoliva *et al*., 2021). بسته شدن روزنه‌ها به‌عنوان یک پاسخ اولیه برای به حداقل رساندن اتلاف آب از طریق تعرق است که این امر جذب دی‌اکسید کربن را محدود و چرخه کالوین را به‌طور مستقیم مختل می‌کند. همچنین با تشدید تنش، عوامل غیر روزنه‌ای بر مهار فتوسنتزی غالب می‌شوند که با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن که به غشاهای کلروپلاست آسیب می‌رسانند همراه است که این امر بیوسنتز

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

کلروفیل را مختل می‌کند (Kapoor *et al*., 2022). همچنین گزارش شده است که در شرایط تنش گیاهان اغلب منابع را برای افزایش رشد ریشه تخصیص می‌دهند و نسبت ریشه به ساقه را افزایش می‌دهند که این امر مواد جذب شده فتوسنتزی را از تولید زیست‌توده هوایی دور و تجمع کلی زیست‌توده را محدود می‌کند (Seleiman *et al*., 2021; Kapoor *et al*., 2022).

شاخص برداشت

تنش خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت تأثیر معنی‌دار نشان دادند (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین مربوط به این صفت نیز نشان داد که شاخص برداشت در برخی ژنوتیپ‌ها کاهش و در برخی دیگر افزایش یافت. در شرایط بدون تنش، بالاترین شاخص برداشت مربوط به ژنوتیپ‌های ۷۲ و ۷۴ با میانگین ۳۶/۷ و ۳۶/۵ درصد و کمترین مقدار نیز از ژنوتیپ ۱۳ با بدون شاخص برداشت (صفر) بودند (جدول ۱۰). در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین شاخص برداشت به ژنوتیپ‌های ۵۲ (۳۷/۴ درصد) و ۷۳ (۳۶/۵ درصد) و کمترین شاخص برداشت نیز مربوط به ژنوتیپ ۷ (۱/۸ درصد) تعلق داشتند (جدول ۱۰). نتایج این مطالعه و بررسی منابع نشان می‌دهند که تنش خشکی به‌طور قابل توجهی بر شاخص برداشت گلرنگ با تأثیرگذاری بر ویژگی‌های مختلف فیزیولوژیکی و زراعی تأثیر می‌گذارد. شاخص برداشت که نسبت عملکرد دانه به کل زیست‌توده است، یک معیار حیاتی از بهره‌وری محصول در شرایط محدودیت آب است. تنش خشکی در مراحل کلیدی رشد، مانند گلدهی و پرشدن دانه، منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود و در نتیجه شاخص برداشت را کاهش می‌دهد. کاهش شاخص برداشت عمدتاً به‌دلیل کاهش در اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در طبق و وزن صد دانه است که به‌شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (Ahmadi *et al*., 2024; Yari *et al*., 2014). همچنین، تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای منجر به کاهش فتوسنتز و تجمع زیست‌توده می‌شود و به‌نوبه خود شاخص برداشت را کاهش می‌دهد (Eslam *et al*., 2024). بسته‌شدن روزنه‌ها به‌عنوان یک پاسخ اولیه برای به حداقل رساندن اتلاف آب از طریق تعرق است که این امر جذب دی‌اکسید کربن را محدود و چرخه کالوین را به‌طور مستقیم مختل می‌کند. همچنین با تشدید تنش، عوامل غیر روزنه‌ای بر مهار فتوسنتزی غالب می‌شوند که با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن که به غشاهای کلروپلاست آسیب می‌رسانند همراه است که این امر بیوسنتز کلروفیل را مختل می‌کند (Kapoor *et al*., 2022). همچنین، نتایج نشان می‌دهند که ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ سطوح متفاوتی از تحمل به خشکی را نشان می‌دهند که بر شاخص برداشت آن‌ها تأثیر می‌گذارد. همچنین، خشکی از طریق تسریع پیری و ریزش برگ‌ها توسط اتیلن و اسید آبسیزیک برای کاهش سطح تعرق موجب کاهش زیست‌توده و تغییر شاخص برداشت می‌شود (Seleiman *et al*., 2021; Kapoor *et al*., 2022).

ماتریس نقشه حرارتی و دندروگرام

ماتریس‌های نقشه حرارتی و دندروگرام‌ها ابزارهای قدرتمندی برای تجسم تنوع ژنتیکی و خوشه‌بندی در ژنوتیپ‌ها هستند. این رویکرد به‌ویژه در مدیریت پیچیدگی و اضافه بار اطلاعاتی مرتبط با مجموعه‌های داده بزرگ، مانند مواردی که در مطالعات ژنوتیپ گلرنگ با آن مواجه می‌شویم، مفید است (Chen *et al*., 2009). نتایج ماتریس نقشه حرارتی و دندروگرام صفات و ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی نشان دادند که اکثر ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر ارتفاع بوته، وزن خشک بوته و عملکرد بیولوژیک دارای بیشترین تشابه بودند؛ در این بین، ژنوتیپ‌های ۴، ۸ و ۵۳ کمترین تشابه و ژنوتیپ‌های ۴۴ و ۳۱ بالاترین تشابه را نشان دادند. همچنین، ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر اجزای عملکرد دانه می‌توانند به دو گروه دسته‌بندی شوند. در گروه بالایی، ماتریس محدوده ضریب بین ۱- تا ۲- بود و گروه دوم که در پایین ماتریس قرار دارد، ضریب بین ۱ تا ۲ داشت (شکل ۱). نتایج کلاستربندی ژنوتیپ‌ها و صفات نیز نشان دادند که عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک در یک گروه، وزن دانه و قطر طبق در یک گروه و اجزای عملکرد دانه نیز در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۱). نتایج تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها نیز نشان دادند که ۸۲ ژنوتیپ مورد مطالعه در چهار گروه جای گرفتند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۷۲، ۷۳، ۴۵، ۵۲، ۷۱، ۶۰، ۲۰، ۷۹، ۱، ۱۵، ۹، ۲۹، ۲، ۴ و ۸ و گروه دوم ژنوتیپ‌های ۷۸، ۳۰، ۷۴، ۷۰، ۵۴، ۶۳، ۵۰، ۱۹، ۲۲، ۷۶، ۲۴، ۲۸، ۶۷، ۳۶، ۶۹، ۴۴، ۳۱، ۳۵، ۳۹، ۴۱، ۷۵، ۸۱، ۳۷، ۶۱، ۱۰، ۱۷، ۵۹، ۷۷، ۵۱، ۶۴، ۳۲، ۴۰، ۵۷، ۶۲، ۴۷، ۶۶، ۴۶، و ۶۵ را دربر می‌گیرد. در گروه سوم ژنوتیپ‌های ۳۳، ۱۳ و ۲۳ جای گرفتند و بقیه ژنوتیپ‌ها در گروه چهارم تعریف شدند (شکل ۱).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

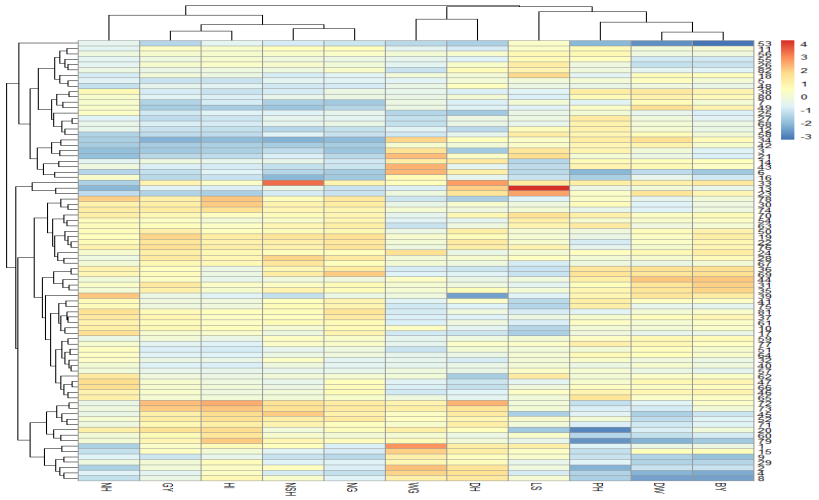
جدول ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش خشکی
Table 10. Mean comparisons of biological yield and harvest index in different safflower genotypes under drought stress

شاخص برداشت (٪) Harvest index (%)						عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته) Biological yield (g/plant)					
تنش Stress		ژنوتیپ Genotype	تنش Stress		ژنوتیپ Genotype	تنش Stress		ژنوتیپ Genotype	تنش Stress		ژنوتیپ Genotype
تنش Stress	بدون تنش Normal		تنش Stress	بدون تنش Normal		تنش Stress	بدون تنش Normal		تنش Stress	بدون تنش Normal	
10.8	1.7	42	32.3	11.9	1	42.8	35.9	42	32.8	43.7	1
11.2	10.9	43	20.5	24.4	2	43.1	38.1	43	31.4	35.1	2
24.2	15.3	44	12.5	0.5	3	61.0	37.2	44	39.1	30.8	3
26.2	35.1	45	20.1	21.2	4	39.3	27.8	45	26.4	28.5	4
21.3	11.4	46	15.4	4.4	5	48.2	37.6	46	39.3	37.9	5
19.3	12.9	47	8.4	16.8	6	46.2	39.0	47	32.5	28.2	6
17.8	7.7	48	1.8	20.6	7	41.2	32.7	48	42.2	35.1	7
5.3	5.9	49	26.3	20.3	8	48.5	37.7	49	25.7	27.3	8
26.6	16.8	50	18.2	11.3	9	47.2	40.1	50	31.7	27.6	9
14.7	7.7	51	19.9	23.7	10	43.5	35.7	51	42.2	38.2	10
37.4	21.3	52	14.5	24.6	11	40.0	30.2	52	36.2	42.1	11
9.3	17.8	53	14.7	2.7	12	22.8	22.9	53	44.2	29.5	12
23.4	12.6	54	22.7	0.0	13	43.0	37.7	54	44.6	28.7	13
28.8	8.6	55	17.4	12.3	14	36.7	31.2	55	40.8	41.4	14
26.9	11.0	56	24.3	11.3	15	41.7	34.0	56	45.1	38.3	15
20.5	8.6	57	9.7	9.0	16	41.6	30.9	57	33.8	34.1	16
12.5	4.3	58	25.1	13.8	17	41.0	36.6	58	40.5	33.5	17
21.1	9.5	59	28.5	2.9	18	43.0	41.3	59	44.9	37.6	18
41.3	15.0	60	31.2	22.2	19	32.8	36.2	60	51.6	36.6	19
28.5	13.0	61	35.3	25.8	20	43.3	37.0	61	37.7	38.7	20
17.9	13.8	62	11.4	6.1	21	41.9	38.1	62	41.4	27.9	21
24.5	16.4	63	30.1	20.3	22	43.0	35.2	63	47.8	37.9	22
13.8	10.7	64	7.6	4.9	23	38.9	40.5	64	50.2	35.1	23
21.1	14.0	65	24.6	21.9	24	39.8	40.9	65	47.0	41.9	24
23.1	11.0	66	15.4	9.6	25	46.2	35.6	66	34.1	35.2	25
26.6	19.6	67	29.8	10.3	26	38.2	38.9	67	40.2	26.3	26
16.5	9.9	68	7.9	16.1	27	48.4	25.7	68	38.9	32.2	27
23.1	8.8	69	28.1	19.1	28	55.9	37.2	69	52.7	31.1	28
33.2	9.6	70	31.9	15.9	29	44.9	38.9	70	32.7	31.0	29
24.3	26.2	71	28.1	23.9	30	36.0	35.2	71	46.9	31.7	30
35.0	36.5	72	29.2	14.1	31	47.7	32.4	72	54.3	42.4	31
36.5	29.7	73	21.7	8.7	32	43.5	33.7	73	38.7	35.9	32
27.7	36.7	74	28.0	11.9	33	45.3	29.8	74	47.6	42.7	33
17.1	16.8	75	3.7	2.9	34	35.7	36.8	75	45.3	38.9	34
31.8	20.4	76	24.4	13.7	35	47.7	37.7	76	55.1	40.6	35
10.9	13.5	77	20.6	11.1	36	43.6	38.3	77	54.7	39.0	36
31.0	15.0	78	29.1	12.5	37	45.1	35.1	78	44.7	41.0	37
34.1	31.0	79	15.8	3.1	38	34.8	25.5	79	51.7	34.4	38
14.7	12.9	80	14.0	11.7	39	43.8	40.1	80	54.0	35.0	39
23.8	19.8	81	9.6	9.3	40	41.8	38.1	81	42.4	33.2	40
20.3	21.6	82	17.2	16.1	41	38.2	32.3	82	44.3	36.6	41
		9.01						3.3			$LSD_{0.05}$

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

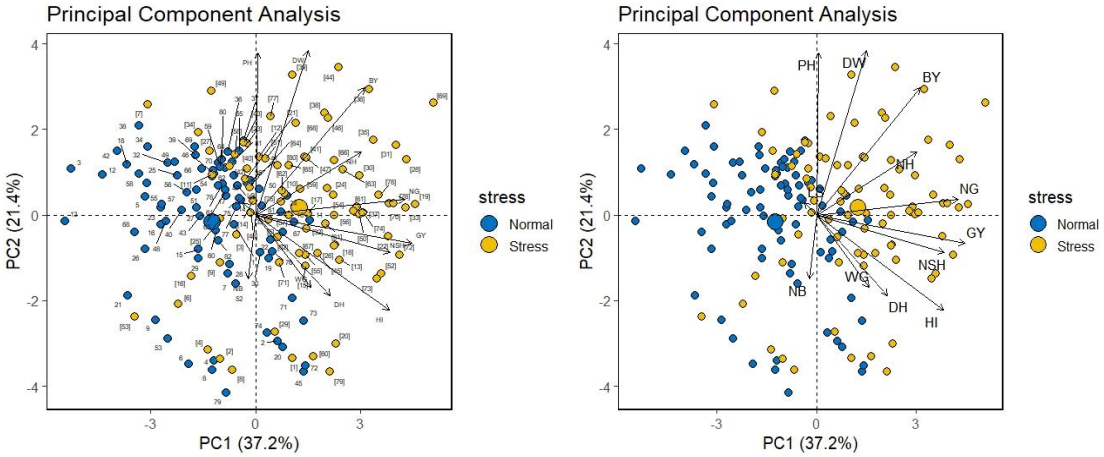
تجزیه و تحلیل ژنوتیپ‌های گلرنگ با استفاده از PCA بینش‌های قابل توجهی را در مورد تنوع ژنتیکی، عدم تشابه صفات و پتانسیل برنامه‌های اصلاح نژاد نشان می‌دهد. نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی در این مطالعه نشان دادند که دو مؤلفه اول توانستند ۵۹ درصد از تغییرات را توجیه نمایند به‌طوری که مؤلفه اول ۳۸ درصد و مؤلفه دوم ۲۱ درصد بودند (شکل ۲). نتایج شکل ۲ نشان می‌دهند که صفاتی از قبیل عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، وزن خشک بوته و سطح برگ در ناحیه دوم مختصات و عملکرد و اجزای عملکرد نیز در ناحیه چهارم مختصات قرار دارند؛ بنا بر این، ناحیه دوم را می‌توان ناحیه رشد رویشی و ناحیه چهارم را ناحیه عملکردی نام‌گذاری کرد. نتایج مربوط به پراکنش ژنوتیپ‌ها و تیمار تنش خشکی بر روی نمودار مختصات نیز نشان دادند که شرایط بدون تنش مربوط به ناحیه اول و سوم و شرایط تنش در ناحیه دوم و چهارم جای گرفتند. همچنین، بیشتر ژنوتیپ‌ها در ناحیه دوم و چهارم جای گرفتند که این نشان‌دهنده عملکرد دانه رشد بالایی این ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در شرایط تنش است (شکل ۲). در یک مطالعه ژنوتیپ‌های گلرنگ ایرانی و خارجی در چهار خوشه گروه‌بندی شدند که نشان‌دهنده سطح بالایی از تنوع ژنتیکی است (Bahmankar *et al*., 2017). همچنین، همبستگی‌های ژنتیکی بین صفاتی مانند عملکرد دانه و ارتفاع گیاه مشاهده شدند، که تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به شناسایی این روابط و پیامدهای آن‌ها برای استراتژی‌های اصلاح نژاد کمک می‌کند (Zhao *et al*., 2023).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]



شکل ۱- ماتریس نقشه حرارتی و دندروگرام تیمارها بر اساس روش ward.D2 در گلرنگ.
BY: عملکرد بیولوژیک، DW: وزن خشک بوته، PH: ارتفاع بوته، LS: سطح برگ، DH: قطر طبق، WG: وزن صد دانه، NG: تعداد دانه، NSB: تعداد شاخه فرعی، HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه، NH: تعداد طبق در بوته.

Figure 1. The heatmap and dendrogram matrix of treatments based on the Ward.D2 method in safflower plants.
BY: Biological function; DW: Dry weight; PH: Plant height; LA: Leaf area; DH: Diameter of head; SW: 100-seed weight; NG: Number of grains; NSB: Number of secondary branches; HI: Harvest index; GY: Grain yield; NH: Number of heads.



شکل ۲- تجزیه به مؤلفه اصلی تیمارها و صفات مورد بررسی بر اساس دو مؤلفه نخست.
BY: عملکرد بیولوژیک، DW: وزن خشک بوته، PH: ارتفاع بوته، LS: سطح برگ، DH: قطر طبق، WG: وزن صد دانه، NG: تعداد دانه، NSB: تعداد شاخه فرعی، HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه، NH: تعداد طبق در بوته.

Figure 2. Principal component analysis (PCA) of treatments and the evaluated traits based on the first two principal components.
BY: Biological function; DW: Dry weight; PH: Plant height; LA: Leaf area; DH: Diameter of head; SW: 100-seed weight; NG: Number of grain; NSB: Number of secondary branches; HI: Harvest index; GY: Grain yield; NH: Number of head.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج، مشخص شد که تنش خشکی موجب محدودیت در رشد گلرنگ و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. همچنین، واکنش‌های ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به تنش متفاوت بودند به طوری که در برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد کاهش یافتند و در برخی ژنوتیپ‌ها تغییرات غیر معنی‌داری مشاهده شدند. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های ۱۱ (با عملکرد دانه ۸/۱۰ گرم در بوته) و ۷۲ (با عملکرد دانه ۸/۱۸ گرم در بوته) به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر و در شرایط تنش نیز ژنوتیپ‌های ۳۱ (با عملکرد دانه ۱۲/۲۷ گرم در بوته) و ۱۹ (با عملکرد دانه ۱۲/۲۶ گرم در بوته) برترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیشتری برای شناسایی مکانیزم‌های مولکولی و فیزیولوژیکی که منجر به واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی می‌شود، انجام شوند. این اطلاعات می‌تواند راهکار جدید و نوینی جهت شناسایی ژن‌های متحمل به تنش و در نهایت ارقام متحمل باشد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

References

Abd El-Lattife, E. A. (2013). Safflower yields and water use efficiency as affected by irrigation at different soil moisture depletion levels and plant population density under arid conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science,* 59, 1545-1557. https://doi.org/10.1080/03650340.2012.735769

Ahmadi, R., Mahmoudi, M., Shekari, F., Afsahi, K., Shekari, K., Saba, J., & Mastinu, A. (2024). Application methods of zinc sulphate increased safflower seed yield and quality under end-season drought stress. *Horticulturae, 10*(9), Article 963. https://doi.org/10.3390/horticulturae10090963

Alizadeh Yeloojeh, K., Saeidi, G., & Ehsanzadeh, P. (2020). Effectiveness of physiological traits in adopting safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes to water deficit condition. *International Journal of Plant Production,* 14(1), 155-164. DOI: 10.1007/s42106-019-00075-3

Amini, H., Arzani, A., & Bahrami, F. (2013). Seed yield and some physiological traits of safflower as affected by water deficit stress. *International Journal of Plant Production,* 7(3), 598-614. https://doi.org/10.22069/ijpp.2013.1120

Baghkhani., F, & Farahbakhsh, H. (2010). Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. *Agricultural Research: Water, Soil and Plant in Agriculture,* 8(2), 45-57. https://ar.basu.ac.ir/article_200.html?lang=en [In Persian]

Bahmankar, M., Nabati, D. A., & Dehdari, M. (2017). Genetic relationships among Iranian and exotic safflower using microsatellite markers. *Journal of Crop Science and Biotechnology,* 20, 159-165. http://dx.doi.org/10.1007/s12892-017-0001-0

Beyyavas, V., Haliloglus, H., Copur, O., & Yilmaz, A. (2011). Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars; lines and populations under semi-arid Conditions. *South African Journal of Biotechnology*, 10, 527-534. https://www.researchgate.net/publication/267699180_

Bortolheiro, F. P., & Silva, M. A. (2017). Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 89, 3051-3066. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170475

Canavar, Ö., Götz, K. P., Koca, Y. O., & Ellmer, F. (2014). relationship between water use efficiency and δ ^{13}c isotope discrimination of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. Turkish *Journal of Field Crops,* 19(2), 203-211. https://tarlabitkileridernegi.org/menuscript/index.php/tjfc/article/view/432

Chen, J., MacEachren, A. M., & Peuquet, D. J. (2009). Constructing overview+ detail dendrogram-matrix views. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,* 15(6), 889-896. https://doi.org/10.1109/TVCG.2009.130

Culha Erdal, S., Eyidogan, F., & Ekmekçi, Y.(2021). Comparative physiological and proteomic analysis of cultivated and wild safflower response to drought stress and re-watering. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(2), 281-295. https://doi.org/10.1007/s12298-021-00934-2

Esmaeilzadeh, M., Babazadeh, H., Naghavi, H., Saremi, A., & Shiresmaeili, G. (2022). Growth, photosynthesis and production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to different levels of salinity and drought. *International Agrophysics,* 36(2). https://doi.org/10.1007/s12298-021-00934-2

Eslam, B., Chenari Bouket, A., Oszako, T., & Belbahri, L. (2024). Physiological indices for the selection of drought-tolerant safflower genotypes for cultivation in marginal areas. *Applied Sciences, 14*(12), Article 5106. https://doi.org/10.3390/app14125106

FAOSTAT. (2022). Food and Agricultural Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org [last accessed 04.08.2024].

Farokhnia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., & Sasandoust, R. (2011). Study of some physiological characteristics and spring safflower yield under water deficit stress. *Journal of Iranian Crop Science,* 42(3), 545-553. 20.1001.1.20084811.1390.42.3.12.2 [In Persian]

Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features*, 1-33 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32653-0_1

Fathian, Sh., & Ehsanzadeh, P. (2016). Relationship of some physiological characteristics with yield in spring safflower in two irrigation regimes. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 43(4), 649-659. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.29420 [In Persian]

Ganji, M., Galshi, S., Jabbari, H., Sanjarian, F., & Torabi, B. (2024). Effect of water stress on physiological and biochemical traits of safflower genotypes. *Agricultural Crops*, 26(1), 89-75. https://doi.org/10.22059/jci.2023.350886.2759 [In Persian]

Gecgel, U., Demirci, M. and Esendal, E. (2007). Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different safflower varieties (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(1), 47-54. https://doi.org/10.1007/s11746-006-1007-3

Guler, N.S., Saglam, A., Demiralay, M., & Kadıoglu, A. (2012). Apoplastic and symplastic solute concentrations contribute to osmotic adjustment in bean genotypes during drought stress. *Turkish Journal of Biology*, 36, 151-160. DOI: 10.3906/biy-1101-177

Haghshenas, R., Sharafi, S., & Gholinezhad, E. (2020). Effect of different levels of drought stress and mycorrhiza on yield of safflower cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(2), 91-109. 20.1001.1.24764310.1399.30.2.6.9

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

Hussain, M. I., Lyra, D. A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., & Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 1-31. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0344-8

Janmohammadi, M., Asadi, F., Sabaghnia, N., Abbasi, A., Nouraein, M., & Shekari, F. (2017). The effects of foliar feeding of compatible organic solutes on agronomic traits of safflower. *Agriculture,* 63(4), 128. https://doi.org/10.1515/agri-2017-0013

Janmohammadi, M., Mohammadi, N., Shekari, F., Abbasi A., & Esmailpour, M. (2017). The effects of silicon and titanium on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) growth under moisture deficit conditions. *Acta Agriculture Slovenica*, 109, 443-455. DOI: https://doi.org/10.14720/aas.2017.109.2.27

Kammili, A., & Yadav, P. (2022). Enhancing oleic acid and oil content in low oil and oleic type Indian safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Industrial Crops and Products*, 175, 114254. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114254

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences,* 10(16), 5692. https://doi.org/10.3390/app10165692

Khalili, M., Taghavi, M., & Pouraboughadara, A. (2014). Evaluation of grain yield and some agronomic and morphological traits in spring safflower genotypes under irrigated and dryland conditions. *Crop Plant Breeding*, 16, 139-148. https://www.researchgate.net/publication/265513945_

Leach, K. A., Hejlek, L. G., Hearne, L. B., Nguyen, H. T., Sharp, R. E., & Davis, G. L. (2011). Primary root elongation rate and abscisic acid levels of maize in response to water stress. *Crop Science*, 51(1), 157-172. https://doi.org/10.2135/cropsci2009.12.0708

Licaj, I., Germinario, C., Di Meo, M. C., Varricchio, E., & Rocco, M. (2024). The physiology and anatomy study in leaves of Saragolla and Svevo wheat cultivars under polyethylene glycol-simulated drought stress. *Functional Plant Biology*, 51(2). https://doi.org/10.1071/FP23151

Medici, A., Laloi, M., & Atanassova, R. (2014). Profiling of sugar transporter genes in grapevine coping with water deficit. *FEBS Letters*, 588, 3989-3997. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2014.09.016

Merajipour, M., Movahedi dehnavi, M., Dehdari, A., Faraji, H., & Merajipour, M. (2012). The effect of drought stress on some of physiological traits four spring safflower in Yasoj region. *Environmental Stresses in Crop Sciences,* 5(2), 125-134. https://www.magiran.com/p1163277 [In Persian]

Moatshe, O. G., Emongor, V. E., Balole, T. V., & Tshwenyane, S. O. (2020). Safflower genotype by plant density on yield and phonological characteristics. *African Crop Science Journal*, 28(1), 145-163.

Monteoliva, M. I., Guzzo, M. C., & Posada, G. A. (2021). Breeding for drought tolerance by monitoring chlorophyll content. *Gene Technology,* 10(165), 10-35248. https://doi.org/10.35248/2329-6682.21.10.165

Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2009). Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*, 30, 82-92. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.02.004

Nasiri, M., Roozbahani, A., & Ziaei Nasab, M. (2016). Effect of low irrigation and use of phosphate solubilizing bio-fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 8(27), 32-43. 20.1001.1.20085958.1395.8.27.3.4 [In Persian]

Polania, J., Rao, I. M., Cajiao, C., Grajales, M., Rivera, M., Velasquez, F., Raatz, B., & Beebe, S. E. (2017). Shoot and Root Traits Contribute to Drought Resistance in Recombinant Inbred Lines of MD 23-24×SEA5 of Common Bean. *Frontiers in Plant Science*, 8, 246466. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00296

Ragni, M., Tufarelli, V., Pinto, F., Giannico, F., Laudadio, V., Vicenti, A., & Colonna, M. A. (2015). Effect of dietary safflower cake (*Carthamus tinctorius* L.) on growth performances, carcass composition and meat quality traits in Garganega breed kids. *Pakistan Journal of Zoology,* 47, 193-199. https://www.researchgate.net/publication/281910793

Rahmani, F., Sayfzadeh, S., Jabbari, H., Valadabadi, S.A., & Hadidi Masouleh, E. (2019). Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. International. *Journal of Plant Production,* 13(4), 297-308. https://doi.org/10.1007/s42106-019-00055-7

Seify, S. M., Madani, H., Pourdad, S. S., Nour-Mohammadi, G., & Changizi, M. (2023). Impact of deficit irrigation on the physiological and agronomic traits of 24 safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes grown in Iran. *Oilseeds & Fats, Crops & Lipids*, 30, 27. https://doi.org/10.1051/ocl/2023027

Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants,* 10(2), 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259

Shahrokhnia, M. H., & Sepaskhah, A. R. (2017). Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods, and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products*, 95, 126-139. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.021

Sheikh Esmaeili, A., Moazed, H., & Naseri, A. (2016). Evaluation of methods for estimating crop capacity moisture in soils of Khuzestan province. *Iranian Soil and Water Research,* 47(1), 55-63.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]

https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.57978 [In Persian]
Shirdelmoghanloo, H., Chen, K., Paynter, B. H., Angessa, T. T., Westcott, S., Khan, H. A., ... & Li, C. (2022). Grain-filling rate improves physical grain quality in barley under heat stress conditions during the grain-filling period. *Frontiers in Plant Science,* 13, 858652. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.858652
Shohani, F., Sarghein, S. H., & Fazeli, A. (2023). Simultaneous application of salicylic acid and silicon in aerial parts of Scrophularia striata L. in response to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry,* 202, 107936. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107936
Singh, S., Angadi, S. V., Grover, K., Begna, S., & Auld, D. (2016). Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. *Agricultural Water Management,* 163, 354-362. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.010
Snyder, R.L. (2017). Climate change impacts on water use in horticulture. Horticulture. 3: 1-9. https://doi.org/10.3390/horticulturae3020027
Soleymani, A., Shahrajabian, M. H., Hosseini Far, S. H., & Naranjani, L. (2011). Morphological traits, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under drought stress condition in Kerman province. *Journal of Food, Agriculture and Environment,* 9(3&4), 249-251 https://www.researchgate.net/publication/275276792
Tabib Loghmani, S. M. T., Bazrafshan, F., Alizadeh, O., Amiri, B., & Bahrani, A. (2019). Influence of cut-off irrigation on seed quality and physiological indices of various safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Acta Agrobotanica*, 72(4). https://doi.org/10.5586/aa.1791
Villa, C., Costa, J., Oliveira, M. B. P., & Mafra, I. (2017). Novel quantitative real-time PCR approach to determine safflower (Carthamus tinctorius) adulteration in saffron (*Crocus sativus*). *Food Chemistry*, 229, 680-687. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.136
Wei, B., Hou, K., Zhang, H., Wang, X., & Wu, W. (2020). Integrating transcriptomics and metabolomics to study key metabolism, pathways, and candidate genes associated with drought tolerance in *Carthamus tinctorius* L. Under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 151, 112465. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112465
Xia, Q., Ma, Z., Mei, X., Luo, J., Wang, Y., Li, T., & Lin, R. (2017). Assay for the developmental toxicity of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to zebrafish embryos/larvae. *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences,* 4, 71-8. https://doi.org/10.1016/j.jtcms.2017.05.004
Yao, Y., Nan, L., Wang, K., Xia, J., Ma, B., & Cheng, J. (2024). Integrative leaf anatomy structure, physiology, and metabolome analyses revealed the response to drought stress in sainfoin at the seedling stage. *Phytochemical Analysis*, 35(5), 1174-1185. DOI: 10.1002/pca.3351
Yari, P., Keshtkar, A. H., & Sepehri, A. (2015). Evaluation of Water Stress Effect on Growth and Yield of Spring Safflower, *Plant Production Technology,* 6(2), 101-117. https://ppt.basu.ac.ir/article_1146.html?lang=en [In Persian]
Zandi, R., Rahman, A., & Maskerbashi, M. (2022). The effect of deficit irrigation management on physiological and biochemical traits of two safflower cultivars. *Journal of Applied Agricultural Research*, 35(4), 26-1. 10.22092/aj.2023.359982.1624 [In Persian]
Zhao, H., Lin, Z., Khansefid, M., Tibbits, J. F., & Hayden, M. J. (2023). Genomic prediction and selection response for grain yield in safflower. *Frontiers in Genetics,* 14, 1129433. https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1129433

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1643]