

## "Research paper"

# Assessment of the Genetic Diversity in 160 Safflower Genotypes Focusing on oil Quality Characteristics

Behnam Nikpour<sup>1</sup>, Mohamadreza Nazari<sup>2</sup> and Alireza Abbasi<sup>3</sup>

1 and 3- Respectively, Master's degree and Associated professor in Department of Agronomy and Plant Breeding,  
University of Tehran, Karaj

2- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension  
Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: dmr.nazari@gmail.com)

Received: 25 June, 2023

Accepted: 4 September, 2023

### Extended Abstract

**Introduction and objective:** Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is one of the most important oilseed crops in the world, which has gained great importance in Iran due to its high tolerance to drought and salinity. Two important factors in the development of safflower cultivation are the increase of oil yield and early maturity. Considering that the most important step in plant breeding is creating diversity and using this diversity in selection, in this experiment, a large number of safflower genotypes were evaluated in terms of important quantitative and qualitative traits.

**Material and methods:** In this study, 160 local and imported genotypes were evaluated in the form of an augmented design with three controls (introduced cultivars Goldasht, Padideh and Golmehr) in five replicates as winter cultivation, and traits such as flowering date, Plant height, number of branches, spininess, seed yield, oil percentage, 1000 seed weight, seed protein content and fatty acid profile including percentage of palmitic, stearic, oleic, linoleic and linolenic acids were investigated.

**Findings:** The results showed the existence of a range of 23 days for flowering date, a range of 95 cm in plant height and a range of 16% in the amount of seed oil. Also, a large variation was observed in seed yield and other evaluated traits. The results showed that the amount of seed protein in some tested genotypes was up to 20%, which is very important in terms of the nutritional value of meal. Examining the fatty acid profile with the help of GC showed that 24 genotypes had oleic acid content higher than 55%. The results of partial correlation showed that the genotypes with the highest percentage of oleic and palmitic acid usually have the highest percentage of oil and there is a strong negative correlation between oleic and linoleic, so that the decrease or increase of one is associated with the increase or decrease of the other. High oil percentage was observed only in thorny genotypes and no significant correlation was observed between oil percentage and seed protein content, so that genotypes with high oil percentage and high seed protein percentage were observed at the same time.

**Conclusion:** Overall, the results of this study showed that there is a great diversity between the collected genotypes, which can be used in breeding programs.

**Keywords:** Fatty acid, Seed protein, Oil, Safflower

**"مقاله پژوهشی"****ارزیابی تنوع ژنتیکی ۱۶۰ ژنوتیپ گلرنگ با تمرکز بر ویژگی‌های کیفی روغن****بهنام نیکپور<sup>۱</sup>, محمد رضا نظری<sup>۲</sup> و علیرضا عباسی<sup>۳</sup>**

۱ و ۳- بدتریب کارشناس ارشد و دانشیار دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران

۲- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسؤول: dmr.nazari@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۳

صفحه: ۱۱۳ تا ۱۲۲

**چکیده مبسوط**

**مقدمه و هدف:** گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان دانه روغنی مهم در دنیا است که به دلیل تحمل بالا به خشکی و شوری در ایران اهمیت زیادی پیدا کرده است. دو عامل مهم در توسعه کشت گلرنگ، افزایش عملکرد روغن و زودرسی آن است. با توجه به این که مهم‌ترین قدم در مسیر اصلاح گیاهان، ایجاد تنوع و استفاده از این تنوع در مسیر انتخاب است، در این آزمایش تعداد زیادی ژنوتیپ گلرنگ از نظر صفات مهم کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تعداد ۱۶۰ ژنوتیپ پاخی و خارجی در قالب طرح آگمنت با سه شاهد (ارقام معروف شده گلداشت، پدیده و گلمه) در پنج تکرار به صورت کشت پایزه مورد ارزیابی قرار گرفت و صفاتی چون تاریخ گل‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، خارداری، عملکرد دانه، درصد روغن، وزن هزاردانه، محنت‌های پروتئین دانه و پروفیل اسیدهای چرب شامل درصد اسیدهای چرب پالمتیک، اوئلیک، لینولئیک و لینولینیک بررسی گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان دهنده وجود دامنه ۳۳ رویی در تاریخ گل‌دهی، دامنه ۹۵ سانتی‌متری در ارتفاع بوته و دامنه ۱۶ درصدی در میزان روغن دانه بود. همچنین تنوع زیادی در عملکرد دانه و سایر صفات مورد ارزیابی مشاهده گردید. نتایج نشان داد میزان پروتئین چرب با کمک GC نشان داد تعداد ۲۴ ژنوتیپ میزان اوئلیک اسید درصد بود که از نظر ارزش تقدیمی کنجاله اهمیت زیادی دارد. بررسی پروفیل اسیدهای چرب با کمک GC نشان داد ژنوتیپ‌های دارای بیشترین درصد روغن را دارند و بالاتر از ۵۵ درصد داشتند. نتایج همبستگی جزء نشان داد ژنوتیپ‌های دارای بیشترین درصد اسید اوئلیک و پالمتیک معمولاً بیشترین درصد روغن را دارند و همبستگی منفی شدیدی بین اوئلیک و لینولئیک وجود دارد بهطوری که کاهش و یا افزایش یکی با افزایش و یا کاهش دیگری همراه است. درصد روغن‌های بالا فقط در ژنوتیپ‌های خاردار مشاهده شد و همبستگی معنی‌داری بین درصد روغن و میزان پروتئین دانه مشاهده نشد بهطوری که ژنوتیپ‌هایی با درصد روغن و درصد پروتئین دانه بالا بهطور همزمان مشاهده گردید.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد تنوع بسیار زیادی بین ژنوتیپ‌های جمع‌آوری شده وجود دارد که می‌توان از این تنوع در برنامه‌های اصلاحی بهره برد.

**واژه‌های کلیدی:** اسید چرب، پروتئین دانه، روغن، گلرنگ**مقدمه**

دانه‌های روغنی منبع مهمی برای تغذیه انسان به شمار می‌آیند. گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بعد از سویا (*Arachis hypogaea* L.), بادام زمینی (*Glycine max* L.), کلزا (*Brassica napus* L.), آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و کنجد (*Sesamus indicum* L.) (Raeisi et al., 2020) دانه روغنی مهم دنیا به شمار می‌آید. گلرنگ محصولی است چندمنظوره که عمده‌تاً برای تولید روغن‌های خوارکی با کیفیت بالا و غنی از اسیدهای چرب غیراشیاع بهطور گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان کشت می‌شود (Kizil et al., 2008). این گیاه، یک ساله و خود گرده‌افشان با درصد اندازی از دگرگشتنی است. ارتفاع بوته معمولاً حدود ۳۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است و انتهای هر شاخه به یک گل مرکب به صورت طبق با گل‌هایی به رنگ زرد، نارنجی و یا قرمز ختم می‌شود (Raeisi et al., 2020). در گونه‌های وحشی گلرنگ برگ‌ها به شدت خاردار می‌باشد که این خارداری در دو گونه *C. glaucus* و *C. lanatus* و دو گونه *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* به ترتیب در دو گونه *C. lanatus* و *C. palaestinus* بهتر است. در بسیاری از ژنوتیپ‌های گونه زراعی دیده نمی‌شود. از مهم‌ترین موارد مصرف گیاه گلرنگ به غذای پرندگان، استخراج روغن ذخیره‌ای دانه، رنگ‌آمیزی مواد غذایی و دارو می‌توان اشاره کرد (Cho et al., 2000). امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین اهداف توسعه‌ای کشورها و از جمله ایران است

و از مهم‌ترین جنبه‌های این امنیت، تأمین روغن مورد نیاز مردم می‌باشد که وابستگی بالای ۹۰ درصدی آن به واردات، کشور را با چالش جدی در این زمینه مواجه نموده است (Mohammadi et al., 2013). از این‌رو اهمیت کشت دانه‌های روغنی جهت تأمین امنیت غذایی بیشتر می‌شود (Belikina et al., 2021). گیاه گلرنگ با داشتن مزایایی همچون کیفیت بالایی روغن، تحمل زیاد نسبت به تنش خشکی و همچنین قابلیت کشت گیاه در تمام دوره سال، یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی به شمار می‌رود که می‌توان از آن جهت تأمین این نیاز کمک گرفت (Safavi et al., 2011). روغن گلرنگ با دارا بودن بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشیاع، به خصوص اسید لینولئیک و اسید اوئلیک همواره به عنوان یک روغن گیاهی با ارزش مطرح بوده است. نتایج ارزیابی پروفیل اسیدهای چرب گلرنگ نشان داده است که تنوع بسیار زیاد و کاربردی در روغن گلرنگ وجود دارد. بعضی از واریته‌های گلرنگ دارای سطوح بالایی از اسیدهای چرب لینولئیک و اوئلیک می‌باشند که این امر موجب شیاهت روغن آنها به پروفیل روغن گیاهانی نظیر زیتون و آفتابگردان شده است (Khalid et al., 2017). عملکرد روغن این گیاه به دو عامل میزان تولید دانه و درصد محتوای روغن وابسته است. علی‌رغم همه مزایای گلرنگ عملکرد روغن این گیاه در ایران با توجه به پایین بودن هر دو فاکتور تأثیرگذار در آن یعنی عملکرد دانه و درصد محتوای روغن (حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد)

در نظر گرفته شد. مراقبت‌های معمول زراعی نظیر وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات در طول دوره رشد، طبق استانداردهای مرسوم گیاه گلنگ انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل تاریخ گل‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، خارداری، عملکرد دانه، درصد روغن، وزن هزاردانه، محتوای پروتئین دانه و پروفیل اسیدهای چرب بود. اندازه‌گیری پروتئین بهروش برادفورد<sup>۱</sup> انجام شد. برای این منظور، محلول برادفورد با عصاره بذری آمیخته و به مدت ۳۰ دقیقه در یخچال باقی‌ماند. استانداردهای جداوله از آبومین سرم گاوی (BSA) در غلظت‌های مختلف تهیه شد و نهایتاً اندازه‌گیری مقدار جذب محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر صورت گرفت. از محلول برادفورد به عنوان شاهد استفاده شد. در نهایت اعداد حاصل از اندازه‌گیری توسط دستگاه، در معادله حاصل از نمودار رسم شده و به‌وسیله استانداردها، قرار داده شده و غلظت پروتئین بذر بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر محاسبه گردید (Bradford, 1976). همچنین اندازه‌گیری پروفیل اسیدهای چرب با روش کروماتوگرافی گازی (GC) صورت گرفت. در این روش، پس از مخلوط نمودن روغن استخراج شده با سدیم متوكسید، ترکیب حاصله در هگزان متیله گردید. بعد از ورتسکس، محلول آب نمک به آن اضافه شد تا به جدا شدن دو فاز کمک کند. سپس متیل استر اسیدهای چرب، برای اضافه شدن به دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به FID<sup>۲</sup> استفاده شد. ستون مورد استفاده CP-Sil 88 بود. این فرایند در دمای ستون ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد شروع شد که سپس تا دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بالا رفت و در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه نگه‌داری شد. دمای شناساگر و تزریق کننده در این فرایند ۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و گاز استفاده شده نیتروژن بود. شناسایی پیک‌ها بر اساس زمان رسیدن به شعله و در مقایسه با استانداردها انجام شد (Pastor et al., 2020). سپس نتایجی چون آمار توصیفی، تجزیه همبستگی، تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه خوش‌های انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری با کمک نرم‌افزارهای SAS، Stat graphics JMP pro 17 و Stat graphics انجام شد.

چندان زیاد نیست (Patil, 1998). بنابراین موقیت کشت و کار تجاری گلنگ در گروی برنامه‌های اصلاحی خواهد بود که منجر به افزایش عملکرد و درصد روغن گلنگ شود. اما به‌نظر می‌رسد رسیدن به این هدف کار چندان ساده‌ای نباشد، چرا که کنترل ژنتیکی صفات بخصوص صفات مرتبط با عملکرد و درصد روغن توسط اثرات افزایشی، غالبیت و ایستاتیک انجام می‌گیرد (Rahmati et al., 2020). تاکنون محققان بسیاری با تمرکز بر صفات زراعی، ظاهری و فنولوژیک گلنگ که همبستگی‌های معنی‌دار ظاهری و ژنتیکی را بین صفات مختلف گلنگ ظاهر می‌سازد، سعی بر شناسایی و استفاده از این صفات در راستای ارتقای این گیاه داشته‌اند (Biradar et al., 2022; Rahmati et al., 2020; Arzu et al., 2018) ژنتیپ گلنگ وجود همبستگی بالا بین قطر غوزه، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی را نشان داد (Khidir, 1974). وجود ارتباط مستقیم و یا غیرمستقیم بین بسیاری از صفات ظاهری با عملکرد، در مطالعات متعدد بررسی و به اثبات رسیده است (Ekshinge et al., 1995). در این پژوهه پس از جمع‌آوری تعداد قابل توجهی ژنتیپ گلنگ از مناطق مختلف دنیا، ارزیابی صفات متعدد کمی و کیفی صورت گرفت و تلاش شد به بررسی ارتباط صفات متعدد پرداخته شود.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شهرستان کرج با طول جغرافیائی ۵۱°۳۰' شرقی و عرض جغرافیائی ۳۵°۴۸' شمالی با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا و میزان بارندگی سالینه‌ی ۲۵۰ میلی‌متر اجرا گردید. در این بررسی تعداد ۱۶۰ ژنتیپ داخلی و خارجی (به شرح جدول شماره ۱) در قالب طرح آگمنت با سه شاهد (ارقام معرفی شده گلددشت، پدیده و گلمهر) در، پنج تکرار و طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به صورت پاییزه و تحت شرایط آبیاری لینیر مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از عملیات آماده‌سازی زمین، در تاریخ هفتم مهر ماه ۱۳۹۹ اقدام به کشت ارقام به صورت مکانیزه شد. برای هر کرت کاشت به کمک ردیفکار در ۴ ردیف دو متری با فاصله حدود ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف انجام شد. فاصله بین کرت‌ها نیز یک متر

جدول ۱ - کد بانک ژن، کد آزمایش و منشا ژنوتیپ‌های استفاده شده در این آزمایش

Table 1. Gene bank code, experiment code and origin of genotypes used in this test

کد ازماش (exp.)	کد بانک ژن (gene bank)	منشأ (origin)	کد ازماش (exp.)	کد بانک ژن (gene bank)	منشأ (origin)	کد ازماش (exp.)	کد بانک ژن (gene bank)	منشأ (origin)
(Turkey) ترکیه ۱۱۴	PI304506	(Iran) ایران	۷۶	PI255579	(India) هند	۲	PI199915	
(Iran) ایران ۱۳۵	PI343774	(Pakistan) پاکستان	۷۷	PI259994	(India) هند	۴	PI199939	
(Turkey) ترکیه ۱۵۲	PI407606	(India) هند	۸۲	PI260638	(Russia) روسیه	۵	PI209284	
(Turkey) ترکیه ۱۵۶	PI407624	(Sudan) سودان	۸۸	PI271069	(Kenya) کنیا	۸	PI209300	
(Bangladesh) بنگلادش ۱۶۱	PI401477	(India) هند	۹۰	PI279054	(Afghanistan) افغانستان	۱۰	PI220647	
(India) هند ۱۶۳	PI401589	(Pakistan) پاکستان	۹۱	PI280229	(Ethiopia) اتیوپی	۱۱	PI226546	
(India) هند ۱۶۴	PI401591	(India) هند	۹۵	PI283774	(Turkey) ترکیه	۱۳	PI237539	
(Pakistan) پاکستان ۱۶۷	PI426521	(Argentina) آرژانتین	۹۹	PI291600	(Turkey) ترکیه	۱۶	PI239706	
(china) چین ۱۷۲	PI525457	(Pakistan) پاکستان	۱۰۳	PI304409	(Palestine) فلسطین اشغالی	۱۷	PI237550	
(US) آمریکا ۱۷۳	PI525458	(Iran) ایران	۱۰۵	PI304437	(Australia) استرالیا	۱۹	PI242418	
(US) آمریکا ۱۷۶	PI537677	(Iran) ایران	۱۰۶	PI304449	(Jordan) اردن	۲۱	PI243070	
(US) آمریکا ۱۸۰	PI537694	(Iran) ایران	۱۰۷	PI304451	(India) هند	۲۴	PI248378	
(US) آمریکا ۱۸۱	PI537596	(Iran) ایران	۱۰۸	PI304454	(India) هند	۲۵	PI248387	
(US) آمریکا ۱۸۲	PI537601	(Iran) ایران	۱۰۹	PI304455	(Pakistan) پاکستان	۲۶	PI248629	
(US) آمریکا ۱۹۰	PI537657	(Iran) ایران	۱۱۰	PI304466	(India) هند	۳۱	PI248844	
(US) آمریکا ۱۹۲	PI537666	(Iran) ایران	۱۱۲	PI304475	(India) هند	۳۴	PI248368	

ادامه جدول ۱ - کد بانک ژن، کد آزمایش و منشا ژنوتیپ‌های استفاده شده در این آزمایش

Continued Table 1. Gene bank code, experiment code and origin of genotypes used in this test

منشأ (origin)	کد ازماش (exp. code)	کد بانک ژن (gene bank code)	منشأ (origin)	کد ازماش (exp. code)	کد بانک ژن (gene bank code)	منشأ (origin)	کد ازماش (exp. code)	کد بانک ژن (gene bank code)	
(US) آمریکا ۱۹۵	PI537676	(Turkey) ترکیه	۱۱۳	PI304500	(Egypt) مصر	۳۶	PI250081		
(US) آمریکا ۱۹۸	PI537690	(India) هند	۱۱۶	PI305155	(Pakistan) پاکستان	۳۷	PI250204		
(US) آمریکا ۱۹۹	PI537691	(India) هند	۱۱۷	PI305169	(Egypt) مصر	۳۸	PI250528		
(US) آمریکا ۲۰۰	PI537692	(Sudan) سودان	۱۱۹	PI305533	(Egypt) مصر	۴۱	PI250611		
(US) آمریکا ۲۰۸	PI537709	(Palestine) فلسطین اشغالی	۱۲۱	PI306686	(Iran) ایران	۴۴	PI250718		
(china) چین ۲۱۳	PI543975	(India) هند	۱۲۳	PI306920	(Iran) ایران	۴۷	PI250834		
(china) چین ۲۱۸	PI544017	(India) هند	۱۲۵	PI307060	(Iran) ایران	۴۸	PI250835		
(china) چین ۲۲۰	PI544043	(India) هند	۱۲۶	PI307063	(Spain) اسپانیا	۵۵	PI253391		
(US) آمریکا ۲۲۲	PI548813	(India) هند	۱۲۷	PI307076	(Austria) اتریش	۵۸	PI253518		
(US) آمریکا ۲۲۵	PI560165	(Hungary) مجارستان	۱۳۱	PI312275	(France) فرانسه	۶۱	PI253527		
(US) آمریکا ۲۲۶	PI560166	(Kazakhstan) قرقیزستان	۱۳۲	PI314650	(Netherlands) هلند	۶۴	PI253534		
(US) آمریکا ۲۲۷	PI560168	(USA) امریکا	۱۳۳	PI311145	(Poland) لهستان	۶۷	PI253544		
(US) آمریکا ۲۲۹	PI560174	(Iran) ایران	۱۳۶	PI343776	(Denmark) دانمارک	۶۸	PI253548		
(US) آمریکا ۲۳۰	PI560175	(Canada) کانادا	۱۳۸	PI348915	(Morocco) مراکش	۶۹	PI253560		
(US) آمریکا ۲۳۱	PI560176	(Tajikistan) تاجیکستان	۱۴۱	PI369845	(Switzerland) سوئیس	۷۰	PI253561		
(US) آمریکا ۲۳۳	PI560185	(Iran) ایران	۱۴۴	PI380800	(Portugal) پرتغال	۷۱	PI253570		
(Mexico) مکزیک ۲۳۵	PI560204	(Turkey) ترکیه	۱۵۵	PI407614	(Iraq) عراق	۷۲	PI253758		
(US) آمریکا ۲۳۷	PI561194	(Bangladesh) بنگلادش	۱۵۷	PI401473	(Iraq) عراق	۷۳	PI253761		
(US) آمریکا ۲۳۹	PI568805	(Bangladesh) بنگلادش	۱۵۸	PI401474	(Afghanistan) افغانستان	۷۴	PI253763		
(US) آمریکا ۲۴۲	PI572434	(Bangladesh) بنگلادش	۱۶۲	PI401479	(Afghanistan) افغانستان	۷۵	PI253916		
(US) آمریکا ۲۵۷	PI603208	(USA) امریکا	۲۴۴	PI572438	(USA) امریکا	۱۷۸	PI537698		
(spain) اسپانیا ۲۵۸	PI634712	(USA) امریکا	۲۴۷	PI572441	(USA) امریکا	۱۷۹	PI537695		
(china) چین ۲۵۹	PI653175	(USA) امریکا	۲۴۸	PI572443	(USA) امریکا	۱۸۶	PI537644		
(china) چین ۲۶۱	PI653209	(USA) امریکا	۲۴۹	PI572444	(USA) امریکا	۱۸۹	PI537656		
تووهه چووی	O1	PM-1	(USA) امریکا	۲۵۱	PI572456	(USA) امریکا	۱۹۱	PI537663	
رقم ملی	L1	Lanas	(USA) امریکا	۲۵۳	PI577808	(USA) امریکا	۱۹۳	PI537668	
رقم ملی			صفه			کل مهر			
رقم ملی			امیر			بریتانیا			
ترکیه			رقم ملی						

نشان داد بین بلوک‌های آزمایش بجز برای صفت روز تا  
گل دهی برای هیچکدام از صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری  
وجود نداشت، لذا تصحیح داده‌ها فقط بجز برای صفت روز تا  
گل دهی برای بلوک متفاوت انجام شد.

### نتایج و بحث

#### تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس شاهدها نشان داد بین ژنوتیپ‌های  
شاهد برای تمام صفات مورد آزمایش به جز درصد روغن دانه،  
اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). همچنین نتایج

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی. Yield: عملکرد دانه، NB: تعداد شاخه فرعی، Oil: درصد روغن، DF: روز تا گل دهی، FP: دوره گل دهی، Pr: درصد پروتئین، H: ارتفاع بوته، TGW: وزن هزاردانه، SP: خارداری

Table 2. Analysis of variance for evaluated traits. Yield: grain yield, NB: number of branches, Oil: percentage of oil content, DF: Day to flowering, FD: flowering period, Pr: protein content, H: Plant height, TGW: 1000-seed weight, SP: spininess

میانگین مربعات										df	درجه آزادی
Pr	TGW	Oil	Yield	NB	FP	DF	H	SP			
درصد پروتئین	وزن هزار دانه	محتوای روغن	عملکرد دانه	تعداد شاخه فرعی	دوره گل - گلدهی	روز تا گلدهی	ارتفاع	خارداری			
0/09	0/73	0/06	315/60	2/06	1/76	155/93**	5/83	0/00	4	R	تکرار
1/66*	29/40**	1/06	162589/26**	9/86**	44/60**	131/66**	735/00**	1/66**	2	T	تیمار
0/28	0/48	0/31	575/10	0/86	1/51	1/58	12/08	0/00	8	E	خطا
3/48	2/20	2/04	3/88	10/23	7/31	0/46	3/07	0/00		CV	ضریب تغییرات
0/33	0/89	0/10	0/97	0/65	0/80	0/97	0/89	1/00		Adjusted R Squared	ضریب تعیین

\* و \*\*: به ترتیب معنی داری در سطوح ۵ و ۱ درصد را نشان می دهد.

### خارداری

واراثت صفت خارداری در گلنگ توسط چندین محقق مورد مطالعه قرار گرفته است (Golkar et al., 2010; Durbin et al., 2003; Claassen et al., 1952 al.). برخی از این مطالعات گذشته حاکی از آن است که خاردار بودن بر بی خارداری غالب است و چهار ژن (یعنی *Sa*, *Sc*, *Sb*, *Scd*) در تعیین سطح خاردار بودن نقش دارند و *Sa* به عنوان ژن اصلی در نظر گرفته می شود (Narkhede et al., 1990). همچنین گزارش هایی وجود دارد که نشان می دهد این صفت به صورت تک ژنی کنترل می شود، یعنی صفت خاردار به طور کامل یا جزئی غالب است (Pahlavani et al., 2004). برخی محققان آنرا حاصل همکاری دو ژن با اثرات افزایشی می دانند (Golkar, 2014). در این بررسی از بین ۱۶۰ ژنوتیپ مورد بررسی ۵۲ ژنوتیپ بدون خار و سایر ژنوتیپها خاردار بودند و شدت خارداری تنوع زیادی در بین ژنوتیپها از خود نشان داد.

### وزن هزاردانه

بررسی روابط بین صفات در گلنگ نشان داد که میزان تأثیر وزن هزار دانه بر عملکرد دانه صرفاً محض نیست و صفات دیگری همچون قطر غوزه و تعداد شاخه فرعی تیز در آن موثر می باشد (Vafaei et al., 2012; Nazari et al., 2022). در این مطالعه کد ۶۸ با ۴۵ گرم و کد ۱۱۰ با ۲۲ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزار دانه را داشتند.

### پروتئین دانه

اندازه گیری پروتئین دانه نشان داد که تفاوت معنی داری بین ژنوتیپها مختلف وجود دارد به طوری که ژنوتیپها ۱۷۸ با ۱۶۷-۱ با داشتن ۱۹/۷ و ۱۹/۶۸ درصد پروتئین دانه بیشترین میزان و ژنوتیپها ۲ و ۱۷۳-۱ با ۸ و ۹/۷ درصد پروتئین دانه کمترین میزان میزان این صفت را داشتند. دامنه تغییرات و میانگین این صفت نیز برای همه ی ژنوتیپها بررسی شده به ترتیب ۱۵/۴ و ۴/۳ بود.

### پروفیل اسیدهای چرب

براساس نتایج به دست آمده در این مطالعه، ژنوتیپها ۲-۲۲۶ و ۱۳۶ به ترتیب با ۸۱/۸۵ و ۸۱/۴۴ درصد اسید چرب اوئیک (C18:1) در پروفیل روغنی خود، بالاترین میزان این اسید چرب را در بین کدهای آزمایشی داشتند. همچنین بیشترین درصد اسید چرب لینوئیک (C18:2) متعلق به

### روز تا گل دهی

صفت روز تا گل دهی یکی از صفات مهم فنولوژیک مورد مطالعه در این پژوهش بود. بازه‌ی سنجش این صفت از زمان کاشت تا شروع گل دهی می‌باشد که کدهای ۴۱ و ۱۶۷-۱ با ۲۶۰ روز زودرس ترین و کد ۱۳۸ و رقم گلمهر به ترتیب با ۲۶۳ روز طولانی‌ترین زمان را به خود اختصاص دادند. در میان شاهدها نیز تفاوت معنی داری بین گلدهشت با ۲۵۰ روز تا گل دهی و پدیده با ۲۶۱ روز مشاهده شد. داده‌های حاصل از این مطالعه نشان داد که تنوع زیادی درون ژنوتیپها و حتی شاهدها برای این صفت وجود دارد.

### طول دوره گل دهی (روز)

با ثبت صفات روز تا شروع و پایان گل دهی، امکان بررسی دوره گل دهی فراهم گردید. در این مطالعه ژنوتیپ‌های ۷۱ و ۱۰۶، با ۸ روز طول دوره گل دهی کمترین و ژنوتیپ‌های ۱۰۶ و ۷۴ به ترتیب با ۲۳ و ۲۶ روز طول دوره گل دهی بیشترین تعداد روز را به خود اختصاص دادند. ارقام شاهد گلدهشت، گلمهر و پدیده به ترتیب با ۱۴، ۱۵ و ۱۹ روز طول دوره گل دهی داشتند.

### ارتفاع بوته

یکی از صفات مهم که همواره گزارشات خد و نقیضی از نقش آن در عملکرد دانه وجود دارد ارتفاع بوته است. در این صفت نیز همانند سایر صفات ارزیابی شده، اختلاف زیادی بین ژنوتیپها مشاهده شد. بیشترین ارتفاع بوته در کدهای ۱۶ و ۱۰۵ به ترتیب با ۱۶۰ و ۱۵۵ سانتی‌متر مشاهده شد و کمترین ارتفاع بوته در کد ۲۶۱ با ۶۵ سانتی‌متر مشاهده گردید. ارقام گلدهشت، پدیده و گلمهر به ترتیب ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۲۰ سانتی‌متر ارتفاع داشتند.

### تعداد شاخه فرعی

در این آزمایش برای صفت تعداد شاخه فرعی، تنواع بسیار زیادی بین ژنوتیپها مشاهده شد. ژنوتیپ‌های ۱۶۷-۳، ۱۹۸-۱، ۱۹۸-۲ با داشتن ۲۰ و ۱۵ شاخه فرعی بیشترین تعداد شاخه فرعی را داشتند. میانگین تعداد شاخه فرعی در ارقام شاهد ۸ شاخه برای هر بوته بوده است. مطالعات نشان داده است که سه صفت قطر غوزه، ارتفاع بوته و عملکرد همبستگی معنی داری با تعداد شاخه فرعی داشت (Khidir, 1974). همچنین گزارشات جدیدتر حکایت از وجود اثرات افزایشی در کنترل صفت تعداد شاخه فرعی دارد (Nakhaei et al., 2014).

کل ژنوتیپ‌های این آزمایش معمد ۵۷۰ گرم برای هر کرت ارزیابی شده بود. در حالی که میانگین شاهدها به ترتیب گلددشت: ۷۸۰، پدیده: ۶۴۲ و گلمهر: ۴۲۰ گرم بود.

#### تجزیه به مولفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که حدود ۵۴/۹۴ درصد از تغییرات به وسیله‌ی ۴ مولفه اول قابل توجیه می‌باشدند. سهم مولفه اول ۱۷/۹ درصد و مولفه‌های بعدی به ترتیب ۱۵/۳، ۱۳/۵ و ۸/۲۴ درصد بود. توزیع ژنوتیپ‌ها در بای پلات دو طرفه مولفه اول در برابر مولفه دوم نشان داد که ژنوتیپ‌ها در مجموع به چهار گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول که عمدتی ژنوتیپ‌ها را تشکیل می‌دهند، اسید لینولئیک بالایی در پروفیل حرارتی آن بالاتر بوده و ارزش غذایی بالاتری خواهد داشت (Khalid et al., 2017). در این آزمایش ۲۴ ژنوتیپ دارای درصد اسید اولئیک (C18:1) بیش از ۵۸ درصد در پروفیل روغن خود بودند که نشان دهنده تنویر بالادر کدهای بررسی شده برای این صفت می‌باشد.

#### میزان روغن (درصد)

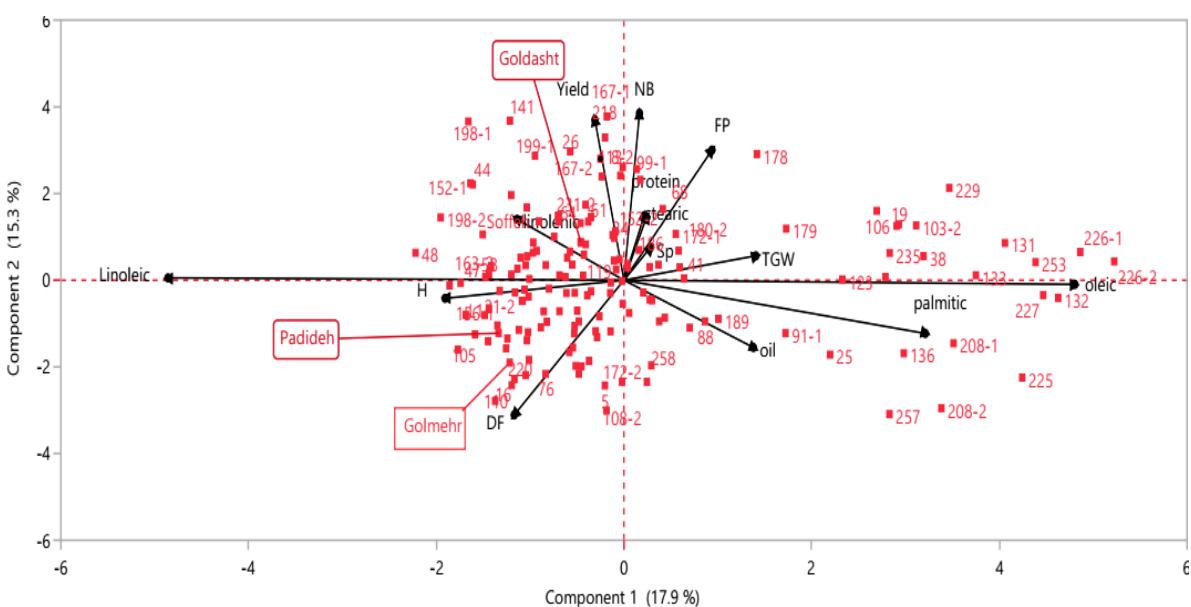
بیشترین میزان روغن را ژنوتیپ ۲۳۰-۲ با ۴۰ درصد و کمترین آن را ژنوتیپ ۲۱۳ با ۲۴ درصد داشتند. این دامنه تغییرات بین ژنوتیپ‌ها نشان دهنده تنویر بالا برای این صفت در بین آنها بود. بر اساس گزارشات قبلی محتوای روغن برای این گیاه بین ۱۱ تا ۴۹ درصد متغیر بوده است (Kisha and Johnson, 2012). مطالعات گذشته نشان داده است کاهش ضخامت پوسته می‌تواند به افزایش درصد روغن منجر شود. به عنوان مثال توسط ژن (par par)، با کاهش ضخامت پوسته گلرنگ، انواعی از ژنوتیپ‌ها با بیش از ۵۰٪ روغن را ارائه داده است (Li and Mundel, 1996). این در حالی است که پوسته ضخیم و توسعه یافته عموماً منجر به سطح روغن زیر ۳۰ درصد می‌شود. انواع مختلف پوسته بذر شامل طبیعی، تحلیل رفته، راه راه، نازک و جزئی در گلرنگ گزارش شده است (Li and Mundel, 1996). از طرفی کاهش نسبت پوسته، با کاهش چشمگیر عملکرد دانه همراه می‌باشد که ایجاد ژنوتیپ‌هایی با لایه‌های ردیفی تحلیل رفته پوسته، این مشکل را نیز تاحدی حل کرده است و منجر به تولید ارقامی با درصد روغن بالای ۴۰ درصد و بدون کاهش وزن دانه گردیده است (Arslan and Culpan, 2018).

#### عملکرد دانه در بوته

عملکرد دانه مهمترین صفت زراعی قابل ارزیابی در گیاه گلرنگ می‌باشد که در کنار درصد روغن عملکرد دانه را می‌سازد. در این مطالعه بالاترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ شماره ۱۴۱ بود و پس از آن به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۱-۱۹۸ و ۲۲۹، ۱۱۳ و ۱۹۱ بیشترین عملکرد را داشتند. میانگین عملکرد

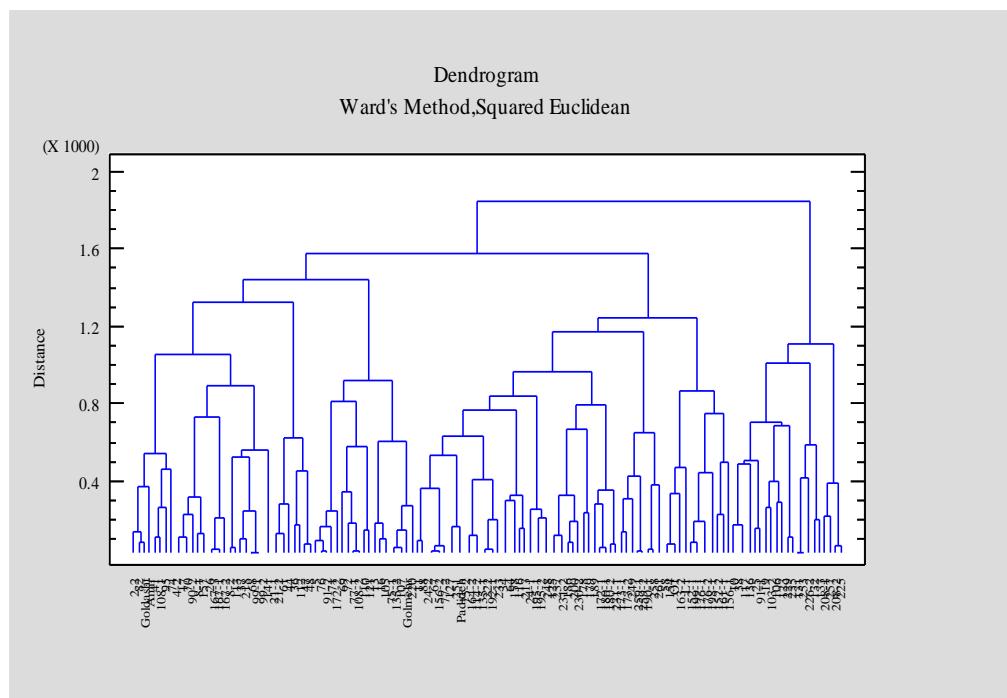
#### تجزیه خوشای

نتایج تجزیه خوشای توانست ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه مجزا تفکیک نماید که تایید کننده نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بود (شکل ۲). در جدول شماره ۳ میانگین چهار گروه فوق الذکر ارایه گردیده است.



شکل ۱- بای پلات دو بعدی تجزیه به مولفه های اصلی به همراه توزیع ژنتیپ های آزمایشی در کنار بردارها. Yield: عملکرد دانه، NB: تعداد شاخه فرعی، DF: درصد رون، Oil: درصد روغن، FP: روز تا گل دهی، TGW: وزن گل دهی، H: ارتفاع بوته، Sp: protein: درصد پروتئین، TGW: وزن گل دهی، oil: درصد اسید چرب پالمیتیک، Palmitic: درصد اسید چرب استاریک، Oleic: درصد اسید چرب اوئیک، Linoleic: درصد اسید چرب لینولئیک، Linolenic: درصد اسید چرب لینولنیک

Figure 1. Two-dimensional biplot of principal components analysis with distribution of experimental genotypes along vectors. Yield: grain yield, NB: number of branches, Oil: percentage of oil content, DF: Day to flowering, FP: flowering period, protein: protein content, H: Plant height, TGW: 1000-seed weight, Sp: spininess, Palmitic: palmitic acid content, Stearic: stearic acid content, Oleic: oleic acid content, Linoleic: linoleic acid content, Linolenic: linolenic acid content



شکل ۲- گروه بندی حاصل از تجزیه خوشه ای در ۱۶۰ ژنتیپ تحت آزمایش  
Figure 2. classification of 160 examined genotypes based on cluster analysis

جدول ۳ - میانگین چهار گروه تفکیک شده در تجزیه خوش‌های. گروه یک تا چهار به ترتیب میانگین ژنوتیپ‌های گروه‌ها از راست به چپ در دندروگرام می‌باشند. Yield: عملکرد دانه، NB: تعداد شاخه فرعی، Oil: درصد روغن، DF: روز تا گل‌دهی، FP: مدت زمان گل‌دهی، protein: درصد پروتئین، H: ارتفاع بوته، TGW: وزن هزاردانه، Sp: خارداری، Palmitic: درصد اسید چرب پالمیتیک، Stearic: درصد اسید چرب استاریک، Oleic: درصد اسید چرب اولئیک، Linolenic: درصد اسید چرب لینولئیک

Table 3. Average of four groups classified in cluster analysis. Each of four groups respectively displays the average genotypes of classes from right to left in the dendrogram. Yield: grain yield, NB: number of branches, Oil: percentage of oil content, DF: Day to flowering, FP: flowering period, protein: protein content, H: Plant height, TGW: 1000-seed weight, Sp: spininess, Palmitic: palmitic acid content, Stearic: stearic acid content, Oleic: oleic acid content, Linoleic: linoleic acid content, Linolenic: linolenic acid content

TGW وزن هزاردانه	Oil درصد روغن	Yield عملکرد دانه	NB تعداد شاخه فرعی	DF روز تا گل‌دهی	H ارتفاع بوته	Sp خارداری	
35	30	757	10	248	104	0/22	First group (گروه اول)
32	30	421	7	257	114	0/18	
32	32	465	8	251	91	0/75	
35	33	564	8	251	91	0/47	
protein درصد پروتئین	Linoleic درصد لینولئیک	Linolenic درصد لینولئیک	FP مدت زمان گل‌دهی	Palmitic درصد پالمیتیک	Stearic درصد استاریک	Oleic درصد اوئلیک	
						Second group (گروه دوم)	
						Third group (گروه سوم)	
						Fourth group (گروه چهارم)	
16/32	70/29	2/36	17	7/19	2/96	16/33	First group (گروه اول)
15/34	69/72	1/15	12	7/36	2/78	18/03	Second group (گروه دوم)
14/71	68/09	2/12	15	6/30	3/45	19/36	Third group (گروه سوم)
15/38	14/9	1/53	15/95	8/50	3/37	72/12	Fourth group (گروه چهارم)

گزارشات قبلی بر روی گیاهانی چون سویا نشان داده است که همبستگی منفی و معنی‌داری بین درصد روغن و درصد پروتئین دانه وجود دارد (Hossain et al., 2019; Hymowitz et al., 1972). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین درصد اسید اوئلیک و پالمیتیک در ژنوتیپ‌های خاردار مشاهده می‌شود که درصد روغن بالای دارند و این خارداری با درصد روغن بالا نیز همبستگی دارد. ژنوتیپ‌های پرروغن خاردارند و درصد روغن‌های بیش از ۳۵ درصد نیز در بین آنها مشاهده شده و نتایج قبلی نیز حاکی از این موضوع بود (Nazari et al., 2022). مدت زمان گل‌دهی با روز تا گل‌دهی ارتباط معنی‌داری داشت و آن‌هایی که روز تا گل‌دهی بیشتری داشتند عملاً مدت زمان گل‌دهی کمتری از خود نشان می‌دادند. این موضوع می‌تواند به دلیل این باشد که ژنوتیپ‌های دیررس در زمان گل‌دهی با دماهای بالاتر و آب کمتر مواجه می‌شوند و در نتیجه تحت تاثیر شرایط محیطی زودتر دوره زندگی خود را به اتمام می‌رسانند. این موضوع را می‌توان در ژنوتیپ‌های زودرس نیز جستجو کرد. در بسیاری از گونه‌های زراعی، ژنوتیپ‌های دیررس می‌باشد زیرا که زمان رسیدگی با گرمای خرداد ماه و اوایل تیر ماه همراه هست در نتیجه ژنوتیپ‌های دیررس در زمان گل‌دهی و پرکردن گل به کم آبی و تنش‌های رطوبتی و دمایی برخورد می‌کنند. این روند در ارقام زودرس گلنگ با توجه به پاکوتاهی و تعداد شاخه فرعی زیاد و عدم برخورد به تنش گرمایی خرداد ماه بر عکس می‌باشد. در نتیجه دانه را بهتر پر می‌کنند و عملکرد بالایی دارند. تعداد شاخه فرعی به عنوان یکی از اجزاء عملکرد مهم، تاثیر خیلی زیادی روی عملکرد داشت. گزارشات قبلی نیز تأیید کننده این نتایج می‌باشند (Nazari et al., 2022).

در مورد صفت ارتفاع باید اشاره کرد که با عملکرد، رابطه مثبت و معنی‌داری دارد به

### تجزیه همبستگی جزء

جدول ۴ نشان‌دهنده نتایج تجزیه همبستگی جزء است. در این بررسی، قدرت رابطه خطی بین متغیرها را که ابتدا برای رابطه آنها با سایر متغیرهای جدول تعديل شده است، اندازه گیری می‌کند. به همین دلیل احتمال معنی‌دار شدن صفات، در اثر تاثیر سایر متغیرها به حداقل رسیده و می‌توان با اطمینان بیشتری نسبت به انتخاب بر اساس صفات موثر اقدام نمود (Kunihiro et al. 2004). ارزیابی پروفیل اسیدهای چرب برای تعداد زیادی از ژنوتیپ‌ها در این آزمایش نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین میزان اسید اوئلیک و درصد روغن دانه وجود دارد. همچنین رابطه مشابهی بین اسید پالمیتیک و درصد روغن نیز برقرار هست. نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های دارای بیشترین درصد اسید اوئلیک و پالمیتیک بیشترین درصد روغن را دارند و همان گونه که در جدول شماره ۳ مشخص هست ارتباط منفی و معنی‌داری بین اسید اوئلیک و لینولئیک وجود دارد و این بدین معنی می‌باشد که افزایش یکی با کاهش دیگری همراه هست. تحقیقات گذشته بر روی گیاه گلنگ نیز این موضوع را عنوان نموده‌اند (Arslan, 2007). با توجه به اینکه همبستگی‌های معنی‌داری بین اسید چرب‌های مختلف وجود دارد، همبستگی جزئی می‌تواند با استخراج اثر غیر مستقیم هر کدام از پارامترهای دیگر از ارتباط مستقیم دو پارامتر، ضریب همبستگی تصحیح شده را نمایش دهد. در این آزمایش ارتباط معنی‌داری بین پروتئین دانه و هیچکدام از صفات دیگر مشاهده نشود. این مشاهدات می‌تواند نشان دهنده این موضوع باشد که در گیاه گلنگ ارتباط بین درصد پروتئین و روغن دانه همبستگی منفی و شدیدی ندارد و پروتئین بالا در دانه‌های پر روغن نیز مشاهده می‌شود همانند ژنوتیپ‌های ۱۷۸-۱، ۱۹۵-۲ و ۲۲۶-۲. عدم وجود همبستگی منفی بین درصد روغن و پروتئین دانه در گلنگ قبل از نیز گزارش گردیده است (Oz,

یکی دیگر از نتایج مورد توجه این آزمایش وجود همبستگی منفی بین صفت خارداری و ارتفاع بود.

عبارتی هرچه ارتفاع بیشتر شده، عملکرد دانه نیز زیادتر شده است اما در این آزمایش مشاهدات متناقض نیز مشاهده گردید.

جدول ۴- ضریب همبستگی جزء (partial correlation coefficients) بین صفات ارزیابی شده در این آزمایش. P: درصد پروتئین، Pa: درصد اسید چرب پالمیتیک، St: درصد اسید چرب استاریک، Ol: درصد اسید چرب اولنیک، L: درصد اسید چرب لینولنیک، Lin: درصد اسید چرب لینولنیک، F: مدت زمان گل دهی، O: درصد روغن، Y: عملکرد، N: تعداد شاخه فرعی، D: روز تا گل دهی، H: ارتفاع بوته، T: وزن هزاردانه، S: خارداری

Table 4. Partial correlation coefficients between the evaluated traits in this experiment. P: protein content, Pa: palmitic acid content, St: stearic acid content, Ol: oleic acid content, L: linoleic acid content, Lin: linolenic acid content, F: flowering duration, O: percentage of oil content, Y: grain yield, N: number of branches, D: Day to flowering, H: Plant height, T: 1000-seed weight, S: spininess

S	T	H	D	N	Y	O	F	Lin	L	Ol	St	Pa	P
0/00	0/10	-0/01	-0/08	0/02	0/04	-0/12	0/03	0/13	0/04	0/05	-0/07	0/01	- P
0/24**	0/10	0/10	0/23**	0/02	-0/08	0/19*	0/11	0/59**	0/79**	0/77**	0/65**	-	Pa
-0/06	0/01	0/08	0/24**	0/14	0/16*	0/04	0/05	0/40**	0/72**	0/71**	-	-	St
-0/16*	0/05	0/05	-0/15	0/12	-0/08	0/16*	0/08	0/66**	0/99**	-	-	-	Ol
-0/16*	0/05	0/06	-0/16*	0/12	-0/08	0/16	0/08	0/66**	-	-	-	-	L
-0/09	0/08	0/07	-0/17*	0/07	-0/01	0/09	0/08	-	-	-	-	-	Lin
0/02	0/15	0/11	0/45**	0/00	0/02	-0/12	-	-	-	-	-	-	F
0/27**	0/09	-0/06	-0/11	-0/03	-0/12	-	-	-	-	-	-	-	O
-0/02	0/10	0/29**	-0/17*	0/58**	-	-	-	-	-	-	-	-	Y
0/10	0/04	-0/10	-0/05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N
0/00	0/10	0/39**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D
0/22**	0/05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H
-0/03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S

\* و \*\* به ترتیب معنی داری در سطوح ۵ و ۱ درصد را نشان می دهند.

صفات مهم زراعی و کیفی گلرنگ، از مهمترین دستاوردهای این آزمایش بود. همچنین با توجه به سایر نتایج آزمایش همبستگی، می توان بر اساس صفات ظاهری مانند خارداری، تعداد شاخه، زودرسی و ارتفاع بوته، انتخاب برای افزایش درصد روغن و عملکرد را بهبود بخشد.

**نتیجه گیری کلی**  
در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد تنوع بسیار زیادی بین ژنوتیپ های جمع آوری شده وجود دارد که می توان از این تنوع در برنامه های اصلاحی بهره برد. شناسایی تعداد قابل توجهی از ژنوتیپ های دارای اولنیک اسید بالا و بررسی ارتباط آن با

## منابع

- Arslan, B. (2007). The determination of oil content and fatty acid compositions of domestic and exotic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes and their interactions. *Journal of Agronomy*, 6: 415-420.
- Arslan, B., and Culpan, E. (2018). Identification of suitable safflower genotypes for the development of new cultivars with high seed yield, oil content and oil quality. *Azarian Journal of Agriculture*, 5: 133-141.
- Arzu, K. O. S. E., Onder, O., Bilir, O., and Kosar, F. (2018). Application of multivariate statistical analysis for breeding strategies of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 23: 12-19.
- Baba, K., Ritei, S., Masaaki S. (2004). Partial correlation and conditional correlation as measures of conditional independence. *Australian and New Zealand Journal of Statistics*, 46 (4): 657–664.
- Belikina, A. V., and Sukhareva, E. P. (2021). The role of dyeing safflower in ensuring food security of the Volgograd region. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 848, No. 1, p. 012196). IOP Publishing.
- Biradar, S.S., Patil, M.K., Naik, V.R., Mukta, N., Nayudu, N.K., Desai, S.A. (2022). Safflower Improvement: Conventional Breeding and Biotechnological Approach. PP 279–312 in: Gosal, S.S., Wani, S.H. (eds) Accelerated Plant Breeding, Volume 4. Springer, Cham.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- Cho, M. H., Paik, Y. S., and Hahn, T. R. (2000). Enzymatic conversion of precarthamin to carthamin by a purified enzyme from the yellow petals of safflower. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(9): 3917-3921.
- Claassen, C. E. (1952). Inheritance of sterility, flower color, spinelessness, attached pappus and rust resistance in safflower, *Carthamus tinctorius* L. Research Bulletin: Bulletin of the Agricultural Experiment Station of Nebraska No. 171

- Durbin, M. L., Lundy, K. E., Morrell, P. L., Torres-Martinez, C. L., and Clegg, M. T. (2003). Genes that determine flower color: the role of regulatory changes in the evolution of phenotypic adaptations. *Molecular phylogenetics and evolution.*, 29(3): 507-518.
- Ekshinge, B. S., Sondge, V. D., and Raikhelkar, S. V. (1995). Correlation and regression studies in safflower varieties. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities.*, 19: 230-232.
- El-Lattief, E. A. (2012). Evaluation of 25 safflower genotypes for seed and oil yields under arid environment in upper Egypt. *Asian Journal of Crop Science.*, 4: 72-79.
- Golkar, P. (2014). Breeding improvements in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): A review. *Australian Journal of Crop Science.*, 8:1079-1085.
- Golkar, P., Arzani, A., and Rezaei, A. M. (2010). Inheritance of flower colour and spinelessness in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of genetics.*, 89: 259-262.
- Hossain, Z., Johnson, E. N., Wang, L., Blackshaw, R. E., and Gan, Y. (2019). Comparative analysis of oil and protein content and seed yield of five Brassicaceae oilseeds on the Canadian prairie. *Industrial Crops and Products.*, 136: 77-86.
- Hymowitz, T., Collins, F. I., Panczner, J., and Walker, W. M. (1972). Relationship between the content of oil, protein, and sugar in soybean seed 1. *Agronomy Journal.*, 64(5), 613-616.
- Khalid, N., Khan, R. S., Hussain, M. I., Farooq, M., Ahmad, A., and Ahmed, I. (2017). A comprehensive characterisation of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient-A review. *Trends in Food Science and Technology.*, 66: 176-186.
- Khidir, M.O. (1974). Genetic variability and inter-relationship of some quantitative characters in safflower. *Journal of Agricultural Science.*, 83: 197-202.
- Kisha, T. J., Johnson, R.C. (2012). Safflower. PP 147–164 in: Gupta, S. (eds) *Technological Innovations in Major World Oil Crops*, Volume 1. Springer, New York, NY.
- Kizil, S., Çakmak, Ö., Kirici, S., and İnan, M. (2008). A comprehensive study on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in semi-arid conditions. *Biotechnology and Biotechnological Equipment.*, 22(4): 947-953.
- Li, D. and Mundel, H. H. (1996). Safflower. *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Mohammadi, M., Hajeb, P., Seyyedian, R., Hossein, G., and Barmak, A. (2013). Evaluation of oxidative quality parameters in imported edible oils in Iran. *British Food Journal.*, 115(6): 789-795.
- Nakhaei, M., Baghizadeh, A., Mohammadi-Nejad, G., and Golkar, P. (2014). Genetic analysis of salt tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Annual Research and Review in Biology.*, 4: 337-346.
- Narkhede, B. N. and Deokar A. B. (1990). Inheritance of spininess and pericarp types in safflower. *Journal of Maharashtra agricultural universities.*, 15: 279–281.
- Nazari, M., Shariati, F., Sadeghi, H., and Jabbari, H. (2022). Evaluation of genetic diversity in 273 safflower genotypes collected from different regions of the world. *Journal of Crop Breeding.*, 14(44): 174-180.
- Oz, M. (2016). Relationship between sowing time, variety, and quality in safflower. *Journal of Chemistry.*, 2016: 8 pages
- Pahlavani, M., Mirlohi, A., and Saeidi, G. (2004). Inheritance of flower color and spininess in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Heredity.*, 95(3): 265-267.
- Pastor, K., Ilić, M., Vujić, D., Jovanović, D., and Ačanski, M. (2020). Characterization of fatty acids in cereals and oilseeds from the Republic of Serbia by gas chromatography–mass spectrometry (GC/MS) with chemometrics. *Analytical Letters.*, 53(8): 1177-1189.
- Patil, H. S. (1998). Genetic variability, association and path analysis in safflower. *Indian Journal of Agricultural Resources.*, 32: 46-50.
- Raeisi, N., Beheshti, B., and Sharifnasab, H. (2020). Design, Construction and Evaluation of a Picking Safflower Harvesting Machine. *Agricultural Mechanization and Systems Research.*, 21(74): 237-250.
- Rahmati, F., Seifzade, S., Jabari, H., Valadabadi, A., and Hadidi, A. (2020). Effect of drought stress and foliar spraying on some physiological and agronomic traits of safflower cultivars. *Scientific Journal of Crop Physiology.*, 47: 27-43.
- Safavi, S. A., Safavi, S. M., and Safavi, A. S. (2011). Correlation between traits and path analysis for seed yield in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under rainfed conditions. *American Journal of Scientific Research.*, 19: 22-26.
- Vafaei, S. N., Tobeh, A., Hokmalipour, S., and Parchin, R. A. (2012). Investigate the Correlation Between Components of Grain Filling and Grain Yield of Different Cultivars of Rain-Fed Safflower. *World Applied Sciences Journal.*, 18(9): 1257-1263.