

"Research paper"

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

Behnam Nikpour¹, Mohamadreza Nazari² and Alireza Abbasi³

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^۱، محمدرضا نظری^۲ و علیرضا عباسی^۳

۱ و ۳- به‌ترتیب 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 مسوول: dmr.nazari@gmail.com)
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۴ 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 داخلی و خارجی در قالب طرح آگمنت با سه شاهد (ارقام معرفی شده گلدشت، پدیده و گلمهر) در پنج تکرار به صورت کشت پاییزه مورد ارزیابی قرار گرفت و صفاتی چون تاریخ گل‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، خرداری، عملکرد دانه، درصد روغن، وزن هزاردانه، محتوای پروتئین دانه و پروفیل اسیدهای چرب شامل درصد اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، اولئیک، لینولئیک و لینولنیک بررسی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان دهنده وجود دامنه ۲۳ روزه 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 دانه در برخی از ژنوتیپ‌های مورد آزمایش تا حدود ۲۰ درصد بود که از نظر ارزش تغذیه‌ای کنجاله اهمیت زیادی دارد. بررسی پروفیل اسیدهای چرب با کمک GC نشان داد تعداد ۲۴ ژنوتیپ میزان اولئیک اسید بالاتر از ۵۵ درصد داشتند. نتایج همبستگی جزء نشان داد ژنوتیپ‌های دارای بیشترین درصد اسید اولئیک و پالمیتیک معمولاً بیشترین درصد روغن را دارند و همبستگی منفی شدیدی بین اولئیک و لینولنیک وجود دارد به طوری که کاهش و یا افزایش یکی با افزایش دیگری همراه است. درصد روغن‌های بالا فقط در ژنوتیپ‌های خاردار مشاهده شد و همبستگی معنی‌داری بین درصد روغن و میزان پروتئین دانه مشاهده نشد به طوری 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 به‌شمار می‌آیند. گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بعد از سویا (*Glycine max* L.)، بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و کنجد (*Sesamus indicum* L.) ششمین گیاه دانه روغنی مهم دنیا به‌شمار می‌آید (Raеisi et al., 2020). گلرنگ محصولی است چندمنظوره که عمدتاً برای تولید روغن‌های خوراکی با کیفیت بالا و غنی از اسیدهای چرب غیراشباع به‌طور گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان کشت می‌شود (Kizil et al., 2008). این گیاه، یک ساله و خود گرده‌افشان با درصد اندکی از دگرگشتی است. ارتفاع بوته معمولاً حدود ۳۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است و انتهای هر شاخه به یک گل مرکب به‌صورت طبق با گل‌هایی به رنگ زرد، نارنجی و یا قرمز ختم می‌شود (Raеisi et al., 2020). در گونه‌های وحشی گلرنگ برگ‌ها به‌شدت خاردار می‌باشد که این خارداری در دو گونه *C. glaucus* و *C. lanatus* بسیار زیاد است و به‌ترتیب در دو گونه *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* کمتر شده و 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 کشورهای 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 بالای روغن، تحمل زیاد نسبت به تنش خشکی و همچنین قابلیت کشت گیاه در تمام دوره سال؛ یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی به‌شمار 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 غیراشباع، به‌خصوص اسید لینولئیک و اسید اولئیک همواره به‌عنوان 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 اولئیک می‌باشند که این امر موجب شباهت 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 گلرنگ 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 به روش برادفورد انجام شد. برای این منظور، محلول برادفورد با عصاره بذری آمیخته و به مدت ۳۰ دقیقه در یخچال باقی ماند. استانداردهای جداگانه از آلبومین سرم گاوی (BSA) در غلظت‌های مختلف تهیه شد و نهایتاً اندازه‌گیری مقدار جذب محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفت. از محلول برادفورد به‌عنوان 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 متوکسید، ترکیب حاصله در هگزان متیله گردید. بعد از ورتکس، 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^۲ 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 درجه 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 و JMP pro 17 انجام شد.

چندان زیاد نیست (Patil, 1998). بنابراین موفقیت کشت و کار تجاری گلرنگ در گروه برنامه‌های اصلاحی خواهد بود که منجر به افزایش عملکرد و درصد روغن گلرنگ 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 اپیستاتیک انجام می‌گیرد (Rahmati et al., 2020). تاکنون محققان بسیاری با تمرکز بر صفات زراعی، ظاهری و فنولوژیک گلرنگ که همبستگی‌های معنی‌دار ظاهری و ژنتیکی را بین صفات مختلف گلرنگ 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). مطالعه ۱۸ ژنوتیپ گلرنگ 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 پروژه پس از جمع‌آوری تعداد قابل‌توجهی ژنوتیپ گلرنگ 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 جغرافیایی ۵۱/۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵/۴۸ شمالی با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا و میزان بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر اجرا گردید. در این بررسی تعداد ۱۶۰ ژنوتیپ داخلی و خارجی (به شرح جدول شماره ۱) در قالب طرح آگمنت با سه شاهد (ارقام معرفی شده گل‌دشت، پدیده و گلمهر) در، پنج تکرار و طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت پاییزه و تحت شرایط آبیاری لینیبر مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از عملیات آماده‌سازی زمین، در تاریخ هفتم مهر ماه ۱۳۹۹ اقدام به کشت ارقام به‌صورت 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 منشأ ژنوتیپ‌های استفاده شده در این آزمایش

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

منشأ (origin)	کد آزمایش (exp code)	کد بانک ژن (gene bank code)	منشأ (origin)	کد آزمایش (exp code)	کد بانک ژن (gene bank code)	منشأ (origin)	کد آزمایش (exp code)	کد بانک ژن (gene bank code)
ترکیه (Turkey)	114	PI304506	ایران (Iran)	76	PI255579	هند (India)	2	PI199915
ایران (Iran)	135	PI343774	پاکستان (Pakistan)	77	PI259994	هند (India)	4	PI199939
ترکیه (Turkey)	152	PI407606	هند (India)	82	PI260638	روسیه (Russia)	5	PI209284
ترکیه (Turkey)	156	PI407624	سودان (Sudan)	88	PI271069	کنیا (Kenya)	8	PI209300
بنگلادش (Bangladesh)	161	PI401477	هند (India)	90	PI279054	افغانستان (Afghanistan)	10	PI220647
هند (India)	163	PI401589	پاکستان (Pakistan)	91	PI280229	اتیوپی (Ethiopia)	11	PI226546
هند (India)	164	PI401591	هند (India)	95	PI283774	ترکیه (Turkey)	13	PI237539
پاکستان (Pakistan)	167	PI426521	آرژانتین (Argentina)	99	PI291600	ترکیه (Turkey)	16	PI239706
چین (china)	172	PI525457	پاکستان (Pakistan)	103	PI304409	فلسطین اشغالی (Palestine)	17	PI237550
آمریکا (US)	173	PI525458	ایران (Iran)	105	PI304437	استرالیا (Australia)	19	PI242418
آمریکا (US)	176	PI537677	ایران (Iran)	106	PI304449	اردن (Jordan)	21	PI243070
آمریکا (US)	180	PI537694	ایران (Iran)	107	PI304451	هند (India)	24	PI248378
آمریکا (US)	181	PI537596	ایران (Iran)	108	PI304454	هند (India)	25	PI248387
آمریکا (US)	182	PI537601	ایران (Iran)	109	PI304455	پاکستان (Pakistan)	26	PI248629
آمریکا (US)	190	PI537657	ایران (Iran)	110	PI304466	هند (India)	31	PI248844
آمریکا (US)	192	PI537666	ایران (Iran)	112	PI304475	هند (India)	34	PI248368

ادامه جدول ۱- کد بانک ژن، کد آزمایش و منشأ 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 آزمایش (exp code)	کد بانک ژن (gene bank code)	منشأ (origin)	کد آزمایش (exp code)	کد بانک ژن (gene bank code)	منشأ (origin)	کد آزمایش (exp code)	کد بانک ژن (gene bank code)
آمریکا (US)	195	PI537676	ترکیه (Turkey)	113	PI304500	مصر (Egypt)	36	PI250081
آمریکا (US)	198	PI537690	هند (India)	116	PI305155	پاکستان (Pakistan)	37	PI250204
آمریکا (US)	199	PI537691	هند (India)	117	PI305169	مصر (Egypt)	38	PI250528
آمریکا (US)	200	PI537692	سودان (Sudan)	119	PI305533	مصر (Egypt)	41	PI250611
آمریکا (US)	208	PI537709	فلسطین اشغالی (Palestine)	121	PI306686	ایران (Iran)	44	PI250718
چین (china)	213	PI543975	هند (India)	123	PI306920	ایران (Iran)	47	PI250834
چین (china)	218	PI544017	هند (India)	125	PI307060	ایران (Iran)	48	PI250835
چین (china)	220	PI544043	هند (India)	126	PI307063	اسپانیا (Spain)	55	PI253391
آمریکا (US)	222	PI548813	هند (India)	127	PI307076	اتریش (Austria)	58	PI253518
آمریکا (US)	225	PI560165	مجارستان (Hungary)	131	PI312275	فرانسه (France)	61	PI253527
آمریکا (US)	226	PI560166	قزاقستان (Kazakhstan)	132	PI314650	هلند (Netherlands)	64	PI253534
آمریکا (US)	227	PI560168	آمریکا (US)	133	PI331145	لهستان (Poland)	67	PI253544
آمریکا (US)	229	PI560174	ایران (Iran)	136	PI343776	دانمارک (Denmark)	68	PI253548
آمریکا (US)	230	PI560175	کانادا (Canada)	138	PI 348915	مراکش (Morocco)	69	PI253560
آمریکا (US)	231	PI560176	تاجیکستان (Tajikistan)	141	PI369845	سوئیس (Switzerland)	70	PI253561
آمریکا (US)	233	PI560185	ایران (Iran)	144	PI380800	پرتغال (Portugal)	71	PI253570
مکزیک (Mexico)	235	PI560204	ترکیه (Turkey)	155	PI407614	عراق (Iraq)	72	PI253758
آمریکا (US)	237	PI561194	بنگلادش (Bangladesh)	157	PI401473	عراق (Iraq)	73	PI253761
آمریکا (US)	239	PI568805	بنگلادش (Bangladesh)	158	PI401474	افغانستان (Afghanistan)	74	PI253763
آمریکا (US)	242	PI572434	بنگلادش (Bangladesh)	162	PI401479	افغانستان (Afghanistan)	75	PI253916
آمریکا (US)	257	PI603208	آمریکا (US)	244	PI572438	آمریکا (US)	178	PI537698
اسپانیا (Spain)	258	PI634712	آمریکا (US)	247	PI572441	آمریکا (US)	179	PI537695
چین (china)	259	PI653175	آمریکا (US)	248	PI572443	آمریکا (US)	186	PI537644
چین (china)	261	PI653209	آمریکا (US)	249	PI572444	آمریکا (US)	189	PI537656
توده بومی	O1	PM-1	آمریکا (US)	251	PI572456	آمریکا (US)	191	PI537663
رقم ملی		گلدشت	آمریکا (US)	253	PI577808	آمریکا (US)	193	PI537668
رقم ملی		پدیده	رقم ملی	صفت	رقم ملی	رقم ملی	رقم ملی	رقم ملی
ترکیه	L1	Lanas	رقم ملی	امیر	رقم ملی	رقم ملی	رقم ملی	رقم ملی

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

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

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 هزار دانه، SP: خار داری

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: spinniness

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

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

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 می باشد که کدهای ۴۱ و ۱-۱۶۷ با ۲۴۰ روز زودرس ترین و کد ۱۳۸ و رقم گلمهر به ترتیب با ۲۶۲ و ۲۶۳ روز طولانی ترین زمان را به خود اختصاص دادند. در میان شاهد ها نیز تفاوت معنی داری بین گلدهت با ۲۵۰ روز تا گل دهی و پدیده با ۲۶۱ روز مشاهده شد. داده های حاصل از این مطالعه نشان داد که تنوع زیادی درون ژنوتیپ ها و حتی شاهد ها 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 ژنوتیپ های ۷۱ و ۲-۹۱، ۸ روز طول دوره گل دهی کمترین و ژنوتیپ های ۱۰۶ و ۷۴ به ترتیب با ۲۳ و ۲۶ روز طول دوره گل دهی بیشترین تعداد روز را به خود اختصاص دادند. ارقام شاهد گلدهت، گلمهر و پدیده به ترتیب ۱۹، ۱۵ و ۱۴ روز طول دوره گل دهی داشتند.

ارتفاع بوته

یکی از صفات مهم که همواره گزارشات ضد 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 ژنوتیپ ها مشاهده شد. بیشترین ارتفاع بوته در کدهای ۱۶ و ۱۰۵ به ترتیب با ۱۶۰ و ۱۵۵ سانتی متر مشاهده شد و کمترین ارتفاع بوته در کد ۲۶۱ با ۶۵ سانتی متر مشاهده گردید. ارقام گلدهت، پدیده و گلمهر به ترتیب ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۲۰ سانتی متر ارتفاع داشتند.

تعداد شاخه فرعی

در این آزمایش برای صفت تعداد شاخه فرعی، تنوع بسیار زیادی بین ژنوتیپ ها مشاهده شد. ژنوتیپ های ۱-۱۹۸، ۳-۱۶۷ و ۲۱۸ 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).

خار داری

وراثت صفت خار داری در گلرنگ توسط چندین محقق مورد مطالعه قرار گرفته است (Golkar et al., 2010; Durbin et al., 2003; Claassen et al., 1952). برخی از این مطالعات گذشته حاکی از آن است که خاردار بودن بر بی خاری غالب است و چهار ژن (یعنی Sa, Sb, Sc, Sd) 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 آن را حاصل همکاری دو ژن با اثرات افزایشی می دانند (Golkar, 2014). در این بررسی از بین ۱۶۰ ژنوتیپ مورد بررسی 52 ژنوتیپ بدون خار و سایر ژنوتیپ ها خاردار بودند و شدت خار داری تنوع زیادی در بین ژنوتیپ ها از خود نشان داد.

وزن هزار دانه

بررسی روابط بین صفات در گلرنگ نشان داد که میزان تأثیر وزن هزار دانه بر عملکرد دانه صرفاً محض نیست و صفات دیگری همچون قطر غوزه و تعداد شاخه فرعی نیز 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 ژنوتیپ های مختلف وجود دارد به طوری که ژنوتیپ های ۱۷۸ و ۱۶۷-۱ با داشتن ۱۹/۷ و ۱۹/۶۸ درصد پروتئین دانه بیشترین میزان و ژنوتیپ های ۲-۲۵۹ و ۱-۱۷۳ با ۸ و ۹/۷ درصد پروتئین دانه کمترین میزان این صفت را داشتند. دامنه تغییرات و میانگین این صفت نیز برای همه ی ژنوتیپ های بررسی شده به ترتیب ۱۵/۴ و ۴/۳ بود.

پروفیل اسید های چرب

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

کل ژنوتیپ‌های این آزمایش معادل ۵۷۰ گرم برای هر کرت ارزیابی شده بود. در حالی که میانگین شاهد‌ها به ترتیب گلدشت: 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 می‌باشند. 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 عمدتاً ژنوتیپ‌ها را تشکیل می‌دهند، اسید لینولئیک بالایی در پروفیل روغن خود دارند و حول محور عملکرد و اجزای آن هستند. گروه دوم حول محور وزن هزاردانه و گروه سوم حول محور پالمیتیک قرار می‌گیرند. گروه سوم دارای ژنوتیپ‌هایی هستند که اسید پالمیتیک بالایی دارند و از نظر سایر صفات زراعی تلفیقی از همه صفات هستند. گروه چهارم که اسید اولئیک بالایی دارند حول محور اسید اولئیک قرار می‌گیرند و در مقایسه با کدهایی که حول محورا اسید لینولئیک هستند از نظر تعداد، کمتر هستند. بردارها تا حدی نشان دهنده‌ی ارتباط بین صفات هستند و همان گونه که مشاهده می‌شود بردار صفتی مانند درصد پروتئین در راستای بردار صفات تعداد شاخه فرعی و عملکرد می‌باشد که همسو بودن این صفات را باهم دیگر نشان می‌دهد. بردار اسید اولئیک در جهت معکوس اسید لینولئیک می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی رفتار کاملاً معکوس آنهاست. بیشترین اسید اولئیک حول ژنوتیپ‌هایی دیده می‌شود که درصد روغن بالایی دارند و همچنین در مورد اسید پالمیتیک زمانی که اسید لینولئیک کاهش می‌یابد اسید پالمیتیک نیز همسو با اسید اولئیک کاهش می‌یابد. همان طور که مشاهده می‌شود آن دسته از ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالاتری دارند درصد پروتئین بذری بیشتری نیز دارند و با توجه به قائمه بودن زاویه محور درصد پروتئین با درصد روغن، ارتباط معنی‌داری بین آنها مشاهده نمی‌شود. همچنین کدهای ۲-۲۲۶ و ۱۳۳ با بیش از ۸۰ درصد اسید اولئیک در راستای محور اسید اولئیک قرار گرفتند.

تجزیه خوشه‌ای

نتایج تجزیه خوشه‌ای توانست ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه مجزا تفکیک نماید که باید کننده نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بود (شکل ۲). در جدول شماره ۳ میانگین چهار گروه فوق‌الذکر ارائه گردیده است.

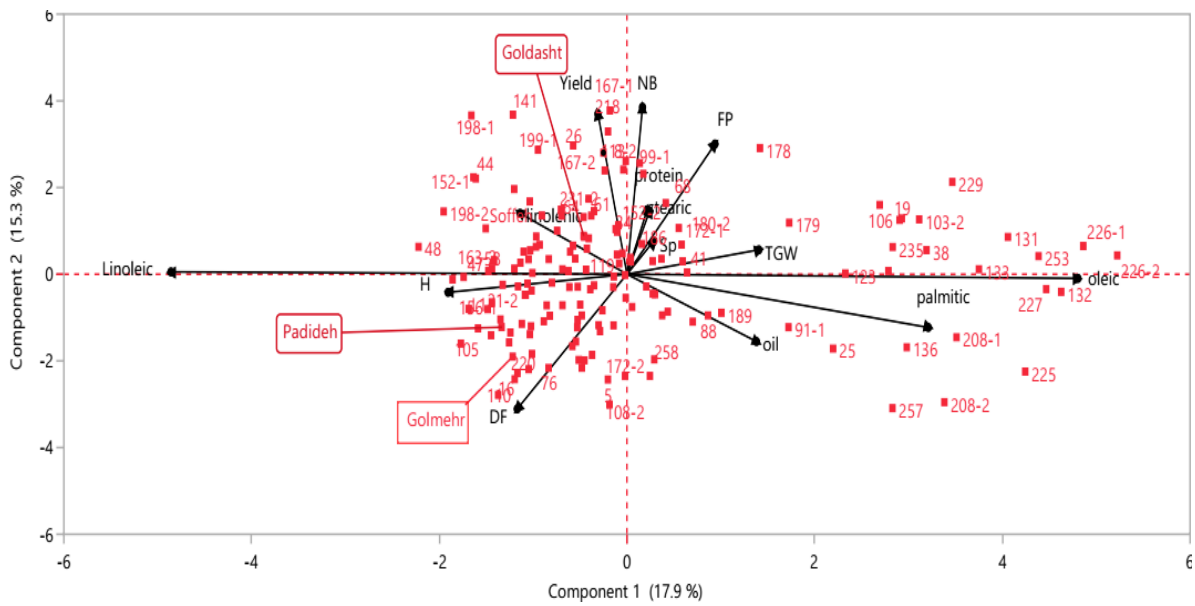
ژنوتیپ‌های ۲-۱۶۴ و ۲-۹۲ با ۸۰/۳ و ۷۸ درصد بود. تحقیقات گذشته نشان داده که این دو صفت با هم همبستگی منفی دارند و افزایش درصد یکی در گیاه گلرنگ موجب کاهش دیگری می‌شود (Khalid et al., 2017). یکی از مهمترین صفاتی که در تعیین کیفیت روغن نقش دارد، نسبت پروفیل اسیدهای چرب می‌باشد که ارتباط مستقیمی با ارزش روغن و پایداری آن دارد. به طور کلی هرچه مقدار میزان اسید اولئیک در پروفیل روغن یک گیاه بیشتر باشد، نرخ اکسیداسیون روغن پایین‌تر و ضریب 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 دهنده‌ی تنوع بالاتر کدهای بررسی شده برای این صفت می‌باشد.

میزان روغن (درصد)

بیشترین میزان روغن را ژنوتیپ ۲-۲۳۰ با ۴۰ درصد و کمترین آن را ژنوتیپ ۲۱۳ با ۲۴ درصد داشتند. این دامنه تغییرات بین ژنوتیپ‌ها نشان دهنده‌ی تنوع 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 ارائه داده است (Li and Mundel, 1996). این درحالی 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، 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 تا حدی 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).

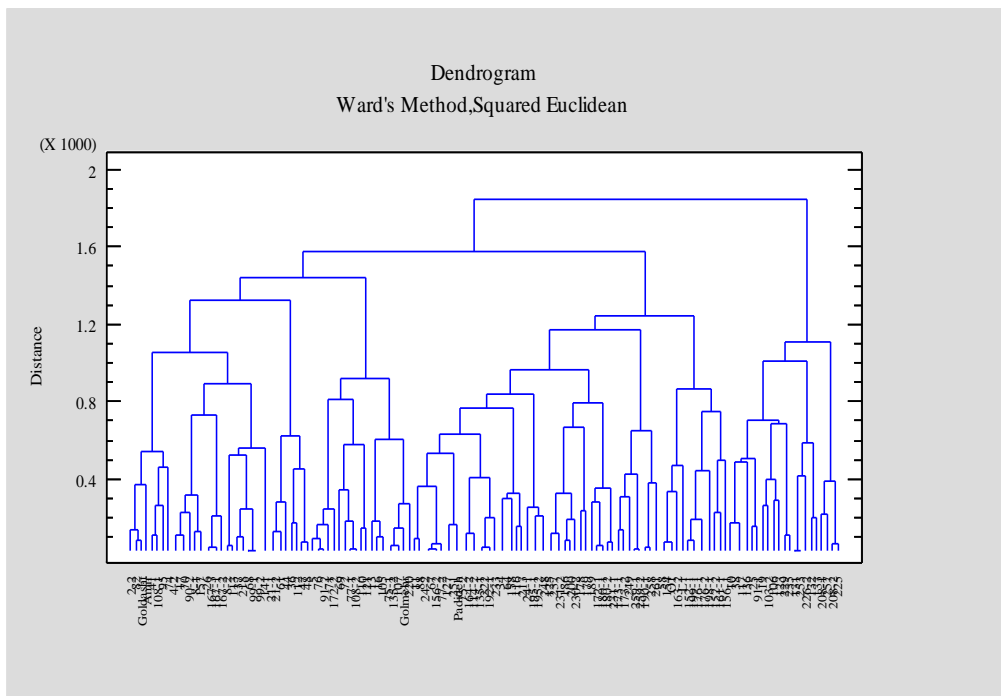
عملکرد دانه در بوته

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



شکل ۱- بای پلات دو بعدی تجزیه به مولفه های اصلی به همراه توزیع ژنوتیپ های آزمایشی در کنار بردارها. Yield: عملکرد دانه، NB: عملکرد دانه، DF: روز تا گل دهی، FP: مدت زمان گل دهی، protein: درصد پروتئین، H: ارتفاع بوته، TGW: وزن هزاردانه، Sp: خاردار، Palmitic: درصد اسید چرب پالمیتیک، Stearic: درصد اسید چرب استاریک، Oleic: درصد اسید چرب اولئیک، 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, FD: 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 ژنوتیپ 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، Linoleic: درصد اسید چرب لینولئیک، Linolenic: درصد اسید چرب لینولنیک

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, FD: 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	Oil	Yield	NB	DF	H	Sp	
وزن هزاردانه	درصد روغن	عملکرد دانه	تعداد شاخه فرعی	روز تا گل‌دهی	ارتفاع بوته	خارداری	
35	30	757	10	248	104	0/22	First group (گروه اول)
32	30	421	7	257	114	0/18	Second group (گروه دوم)
32	32	465	8	251	91	0/75	Third group (گروه سوم)
35	33	564	8	251	91	0/47	Fourth group (گروه چهارم)
protein	Linoleic	درصد Linolenic	FP	Palmitic	Stearic	Oleic	
درصد پروتئین	درصد لینولئیک	لینولنیک	مدت زمان گل‌دهی	درصد پالمیتیک	درصد استاریک	درصد اولئیک	
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)

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 تعدیل 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 اولئیک و درصد روغن دانه وجود دارد. همچنین رابطه‌ی مشابهی بین اسید پالمیتیک و درصد روغن نیز برقرار هست. نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های دارای بیشترین درصد اسید اولئیک و پالمیتیک بیشترین درصد روغن را دارند و همان گونه که در جدول شماره ۳ مشخص هست ارتباط منفی و معنی‌داری بین اسید اولئیک و لینولئیک وجود دارد و این بدین معنی می‌باشد که افزایش یکی با کاهش دیگری همراه هست. تحقیقات گذشته بر روی گیاه گلرنگ 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 نشد. این مشاهدات می‌تواند نشان دهنده این موضوع باشد که در گیاه گلرنگ 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، ۱۹۵-۱، ۱۹۵-۲ و ۱۹۵-۲. عدم وجود همبستگی منفی بین درصد روغن و پروتئین دانه در گلرنگ قبلا نیز گزارش گردیده است (Oz,

2016). 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 اولئیک و پالمیتیک در ژنوتیپ‌های خاردار مشاهده می‌شود که درصد روغن بالایی 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 عملکرد بالاتری دارند ولی در گلرنگ این روند معکوس 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 گلرنگ با توجه به پا کوتاهی و تعداد شاخه فرعی زیاد و عدم برخورد به تنش گرمایی خرداد ماه برعکس می‌باشد. در نتیجه دانه را بهتر پر می‌کنند و عملکرد بالایی دارند. تعداد شاخه فرعی به عنوان یکی از اجزای عملکرد مهم، تاثیر خیلی زیادی روی عملکرد داشت. گزارشات قبلی نیز تاییدکننده این نتایج می‌باشند (Nazari et al., 2022). در مورد صفت ارتفاع باید اشاره کرد که با عملکرد، رابطه مثبت و معنی‌داری دارد به

عبارتی هرچه ارتفاع بیشتر شده، عملکرد دانه نیز زیادتر شده یکی دیگر از نتایج مورد توجه این آزمایش وجود همبستگی است اما در این آزمایش مشاهدات متناقض نیز مشاهده گردید. منفی بین صفت خاردارگی و ارتفاع بود.

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 اولئیک، L: درصد اسید چرب لینولئیک، Lin: درصد اسید چرب لینولئیک، 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: خاردارگی

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 خاردارگی، تعداد شاخه، زودرسی و ارتفاع بوته، انتخاب برای افزایش درصد روغن و عملکرد را بهبود بخشید.

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 اولئیک 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., Nayidu, 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 Inan, 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.
- Vafaie, 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.