

ارزیابی صفات مهم زراعی و محتوی روغن دانه لاین‌های پیشرفته گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در شرایط دیم مناطق سردسیر و معتدل سرد

حسین رستمی احمدوندی^{۱*}، رضا امیری^۲، صادق شهبازی دورباش^۳، مهدی جمشیدمقدم^۱، خشنود علیزاده دیزج^۴، علی افتخاری نیا^۵

- ۱- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
- ۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.
- ۳- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
- ۴- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
- ۵- بخش تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: گیاه گلرنگ امروزه به‌عنوان یک محصول سازگار با تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود چرا که می‌تواند در طیف وسیعی از مناطق یا شرایط اقلیمی متنوع عملکرد نسبتاً مناسبی داشته باشد. تولید و معرفی ارقام جدید گلرنگ برای شرایط اقلیمی ایران و شرایط تغییر اقلیم در سال‌های اخیر امری ضروری است که پیش نیاز آن بررسی دقیق تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های بومی و وارداتی است. این پژوهش به منظور ارزیابی لاین‌های گلرنگ از نظر صفات مختلف مهم زراعی و درصد محتوی روغن در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب جهت استفاده در پروژه‌های اصلاحی در مرحله سازگاری انجام گرفت.

روش شناسی پژوهش: در این آزمایش ۱۸ لاین گلرنگ (انتخاب شده در آزمایش مقدماتی) همراه با ارقام معرفی‌شده سینا، امید و فرامان در فصل زراعی ۱۴۰۱ - ۱۴۰۰ در معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (ایستگاه سرارود کرمانشاه)، ایستگاه تحقیقات مرکز تحقیقات کشاورزی لرستان و مزرعه تحقیقاتی ستاد مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (مراغه- استان آذربایجان شرقی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌های پژوهش: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر مکان روی تمام صفات اندازه‌گیری شده غیر از محتوای روغن دانه معنی‌دار بود. برهمکنش ژنوتیپ در مکان برای صفات فنولوژیک (روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) و وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. دامنه تنوع ژنوتیپی برای صفات محتوای روغن دانه (۷۵/۶۵ درصد) و وزن هزار دانه (۶۸/۲۵ درصد) بالا و برای سایر صفات، مقادیری پایین (کمتر از ۱۰ درصد) به دست آمد. بر اساس نتایج بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت، لاین شماره ۱ دارای سازگاری خصوصی بالا به کرمانشاه بود. رقم سینا



* نگارنده مسئول: h.rostami83@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳

و لاین شماره ۷ در لرستان برتری نشان داد و لاین شماره ۶ در مراغه برتر بود. در تجزیه همبستگی صفات زراعی نیز نشان داده شد که بین صفات ارتفاع بوته با عملکرد بوته و ارتفاع بوته با تعداد شاخه فرعی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بر اساس نتایج بررسی سازگاری مقدماتی لاین‌های گلرنگ در شرایط دیم در سه منطقه و از نظر میانگین رتبه، برخی از آنها برای ادامه برنامه‌های اصلاحی این گیاه در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور انتخاب شدند.

کلمات کلیدی: دانه‌های روغنی، تنوع ژنتیکی، گلرنگ زراعی، زراعت دیم

مقدمه

طیف وسیعی از مناطق یا شرایط اقلیمی متنوع عملکرد نسبتاً مناسبی داشته باشد که یکی از دلایل آن می‌تواند تنوع ژنتیکی بسیار زیاد آن باشد. حمایت از کشت این گیاه بخصوص در کشورهایی که با مشکل فقر اقتصادی جوامع روستایی مواجه هستند می‌تواند درآمد مناسبی برای کشاورزان به دنبال داشته باشد (Emonger and Emonger, 2023). طبق آخرین آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۲ حدود ۱۸۹۸۲ هکتار گلرنگ در ایران کشت شده است که ۱۱۵۴۵ هکتار آن در شرایط دیم بوده است. از تمامی اراضی دیم گلرنگ در این سال حدود شش هزار تن گلرنگ تولید شده است (Ministry of Agriculture Jihad, 2023). گلرنگ یک محصول چند منظوره است که می‌تواند به دلیل تحمل بسیار بالا به خشکی، شوری و دماهای بالا در مناطق خشک و نیمه خشک بخوبی رشد کند. اما علیرغم این خصوصیت‌ها تنش خشکی می‌تواند روی عملکرد گلرنگ تأثیر منفی داشته باشد. تنش خشکی علاوه بر این می‌تواند باعث کاهش بیوماس، ارتفاع، محتوی کلروفیل برگ، نرخ فتوسنتز، اجزای عملکرد و حتی درصد محتوی روغن دانه نیز شود. مطالعات انجام شده در خصوص مکانیسم‌های مولکولی و بیوشیمیایی تحمل به خشکی در گیاه گلرنگ نسبت به محصولات زراعی دیگر بسیار کمتر بوده و نیاز است در این زمینه مطالعات بیشتری صورت گیرد (Mosupiemang et al., 2022).

دانه‌های روغنی عمدتاً با هدف تولید روغن خوراکی کاشت می‌شوند و محصولات جانبی آنها مانند کنجاله حاصل از استخراج روغن نیز در خوراک دام و طیور کاربرد دارد. عمده روغن خوراکی تولید شده در داخل ایران از آفتابگردان، کلزا و سویا تأمین می‌شود که بخش اندکی از نیاز کشور را تأمین می‌کند و عمده روغن مورد نیاز از خارج از کشور وارد شده و منجر به هزینه‌های ارزی گزافی شده است. گیاهان نامبرده مصرف آب زیادی دارند که در اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، تأمین آب مورد نیاز برای تولید آنها را با چالش جدی مواجه کرده است. بنابراین نیاز است گیاهانی سازگارتر با شرایط اقلیمی کشور را به الگوی کشت بخصوص در دیم‌زارها معرفی کرد که بتوانند مقداری از وابستگی شدید به واردات را کاهش دهد (sabaghnia et al., 2024).

از طرفی کشاورزان مناطق مدیترانه‌ای حق انتخاب محدودی برای کشت‌های پاییزه خود دارند. بنابراین در این مناطق محصولی که بتواند در تناوب با غلات قرار گیرد و بتواند مشکلات طغیان آفات، بیماری‌ها و مدیریت علف‌های هرز را امکان‌پذیر و آسان کند، می‌تواند مورد استقبال قرار گیرد. در میان سایر انتخاب‌ها برای کشت در این مناطق، ویژگی‌های خاص گلرنگ زراعی آن را به یک گزینه ایده‌آل تبدیل کرده است (Zanetti et al., 2022).

گیاه گلرنگ امروزه به‌عنوان یک محصول سازگار با تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود چرا که می‌تواند در

محتوی روغن در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب جهت استفاده در پروژه‌های اصلاحی در مرحله سازگاری انجام گرفت. در این آزمایش ۱۸ لاین گلرنگ (انتخاب شده در آزمایش مقدماتی) همراه با ارقام معرفی شده سینا، امید و فرامان مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در فصل زراعی ۱۴۰۱ - ۱۴۰۰ در معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (ایستگاه سرارود کرمانشاه)، ایستگاه تحقیقات مرکز تحقیقات کشاورزی لرستان و مزرعه تحقیقاتی ستاد موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (مراغه - استان آذربایجان شرقی) انجام شد. در این آزمایش ۱۸ لاین گلرنگ (انتخاب شده ژرم پلاسما بین‌المللی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم در آزمایش مقدماتی) همراه با ارقام معرفی شده سینا، امید و فرامان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). عملیات تهیه زمین در اوایل پائیز شامل شخم، دیسک و دادن کود انجام شد. کشت به صورت دستی در چهار ردیف در فواصل ۳۰ سانتی‌متر و طول ۴ متر در آذرماه سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. در طول دوره رشد گیاه علاوه بر مراقبت‌های زراعی لازم (از قبیل وجین دستی علف‌های هرز، مبارزه با بیماری و آفات) از صفاتی مختلفی همچون تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع نهایی گیاه، تعداد شاخه فرعی در هر بوته، تعداد غوزه در هر بوته، یادداشت‌برداری شده و پس از برداشت نیز صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه بصورت کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. عملیات سمپاشی بر علیه کرم قوزه خوار (هلیوتیس) و سوسک سرخرطومی با سموم آفت‌کش تماسی انجام شد. تعیین درصد محتوی روغن بذر ژنوتیپ‌ها در آزمایشگاه تجزیه روغن معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

روغن گیاه گلرنگ به دلیل اینکه منبعی غنی از اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک است برای مصارف خوراکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر مصارف خوراکی، گلرنگ در مصارف صنعتی، دارویی و خوراک دام و طیور نیز کاربرد دارد. گلچه این گیاه نیز می‌تواند در تولید رنگ‌های خوراکی و صنعتی جایگزینی برای موارد مشابه صنعتی باشد (ozturk et al., 2008; janmohamadi, 2015).

گیاه گلرنگ زراعی از خانواده کومپوزیته بوده و ژنومی به اندازه ۱۰۴ گیگابایت دارد که حدود ۴۵ هزار سال پیش در منطقه هلال حاصلخیز از اجداد وحشی خود مشتق شده است (yildiz et al., 2022). ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر خصوصیات کمی و کیفی، سازگاری با عوامل اقلیمی و انواع مقاومت‌ها به تنش‌های زیستی و غیر زیستی تنوع ژنتیکی وسیعی دارند. برآورد می‌شود که بیش از ۲۵ هزار نمونه از ژرم پلاسما گلرنگ در ۲۲ بانک ژن از ۱۵ کشور ذخیره شده باشد (Zhang, 2001).

بررسی تنوع ژنتیکی گلرنگ با استفاده از نشانگرهای مختلف از جمله ارزیابی صفات زراعی و مورفولوژیک، نشانگرهای مولکولی و بیوشیمیایی توسط برخی محققین در کشورهای مختلف انجام شده است (Majidi and Zadhous, 2014; Ghanbari et al., 2022; Baljani et al., 2016; Sabaghnia et al., 2024; Manikanata et al., 2023; Rostami Ahmadvandi et al., 2023).

اما نظر به تنوع ژنتیکی بالای این محصول و لزوم بررسی دقیق‌تر تنوع ژنتیکی نیاز به مطالعات بیشتری احساس می‌شود. تولید و معرفی ارقام جدید گلرنگ برای شرایط اقلیمی ایران و شرایط تغییر اقلیم در سال‌های اخیر امری ضروری است که پیش نیاز آن بررسی دقیق تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های بومی و وارداتی است (Hassani et al., 2020).

با توجه به اهمیت گیاه گلرنگ برای تولید دانه‌های روغنی، این پژوهش به منظور ارزیابی لاین‌های گلرنگ از نظر صفات مختلف مهم زراعی و درصد

(سرارود-کرمانشاه) با دستگاه NMR مدل Oxford انجام شد. مقایسه میانگین، تجزیه واریانس و تجزیه مرکب با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. همبستگی صفات اندازه گیری شده، به کمک نرم افزار SPSS ver. 26 انجام گرفت. از این نرم افزار برای تجزیه کلاستر به روش وارد و با استفاده از مربع فاصله اقلیدسی و براساس صفات معنی دار در تجزیه مرکب نیز استفاده شد. تجزیه GGE-Biplot و ترسیم چندضلعی های آن با استفاده از نرم افزار GGE-biplot ve.6.3 انجام شد.

وضعیت بارندگی و دما در محل های انجام آزمایش: میزان مجموع بارندگی در ایستگاه سرارود در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ برابر با ۲۲۷/۵ میلی متر (۹۰ میلی متر کمتر از سال زراعی گذشته) بود. پراکنش بارندگی در پاییز ۶۴/۳ در زمستان ۱۰۹/۹ و در بهار ۵۳/۳ میلی متر بود. به عبارت دیگر، ۴۸/۴ درصد بارش ها در زمستان، ۲۸/۲ در ص در پائیز و ۲۳/۴ در ص در بهار بوقوع پیوسته است. این مقادیر برای ایستگاه خرم آباد به ترتیب ۳۹، ۵۰ و ۱۱ درصد و برای مراغه به ترتیب ۳۹/۵، ۴۱/۷ و ۱۸/۸ درصد بوده است (جدول ۲)

جدول ۱- کد و اسامی ژنوتیپ ها و ارقام گلرنگ مورد استفاده در این آزمایش

Table 1. Code and names of the genotypes and safflower cultivars used in this experiment.

ژنوتیپ / Genotype	کد	ژنوتیپ / Genotype	کد
PI248833	10	PI305205	1
PI405968	11	PI271139	2
PI283745	12	PI199876	3
PI170275	13	PI283752	4
PI405957	14	PI283734	5
PI343780	15	PI544050	6
SINA	16	PI250599	7
Faraman	17	PI283751	8
Omid	18	PI406009	9

رسیدگی فیزیولوژیک (به ترتیب ۲۲۰/۵۹ و ۲۶۷/۲۴ روز) در مراغه به مراتب بیشتر از خرم آباد و سرارود کرمانشاه بود که نظر به اقلیم سرد استان آذربایجان شرقی منطقی به نظر می رسد. تأثیر درجه حرارت و اقلیم بر مدت زمان رسیدگی محصولات زراعی در مطالعات مختلفی به اثبات رسیده است (Hatfield and Prueger, 2015; Wang and Li, 2019). میانگین وزن هزاردانه ژنوتیپ ها در مکان خرم آباد ۴۰/۷۴ گرم بود که بیشتر از دو مکان دیگر ثبت گردید (جدول ۴).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر مکان روی تمام صفات اندازه گیری شده غیر از محتوای روغن دانه معنی دار بود. برهمکنش ژنوتیپ در مکان برای صفات فنولوژیک (روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) و وزن هزاردانه معنی دار نبود که نشان دهنده رفتار نسبتاً مشابه ژنوتیپ ها برای صفات نامبرده در مکان های انجام آزمایش است (جدول ۳). میانگین تعداد روز تا گلدهی و روز تا

Table 2. The meteorological data at the experiments locations - 2021-2022 crop year.

متوسط دما (درجه سانتیگراد)			بارندگی (میلی متر)			
The average temperature (C°)			precipitation(mm)			ماه
خرم آباد Khoram Abad	مراغه Maragheh	سرارود Sararood	خرم آباد Khoram Abad	مراغه Maragheh	سرارود Sararood	Month
22	12.3	19.5	0	3	0	مهر (Sep-Oct)
14.7	4.5	12.2	30.4	25.3	24.8	آبان (Oct-Nov)
9.8	2.07	8.1	89.5	90.7	39.5	آذر (Nov-Dec)
6.5	-4.3	4.3	89.8	44.1	26	دی (Dec-Jan)
6	-5.01	3.5	29.7	30.1	54.3	بهمن (Jan-Feb)
10.6	0.97	8.3	33.6	51.2	29.6	اسفند (Feb-Mar)
15.7	7.09	13.7	5	16.8	7.8	فروردین (Mar-Apr)
19.6	11.46	16.7	29	33.4	45.5	اردیبهشت (Apr-May)
27	19	23.9	0	6.3	0	خرداد (May-Jun)
			307	300.9	227.5	جمع Total

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب لاین های گلرنگ از نظر صفات مورد بررسی

Table 3. Combined analysis of variance (ANOVA) of safflower genotypes for the studied traits

میانگین مربعات (MS)								منابع تغییرات
محتوای روغن دانه (OC)	عملکرد دانه (YLD)	وزن هزار دانه (TKW)	تعداد شاخه فرعی در بوته (SBNP)	ارتفاع بوته (PLH)	روز تا رسیدن فیزیولوژیک (DTPM)	روز تا گلدهی (DTF)	درجه آزادی df	S.O.V
2.47 ^{ns}	50812939.2 ^{**}	782.17 ^{**}	1296.81 ^{**}	81327.72 ^{**}	82680.42 ^{**}	50370.12 ^{**}	2	مکان Environment
0.18	22849.4	14.16	15.10	115.96	23.72	6.53	6	تکرار (مکان) Replication (Environment)
14.50 ^{**}	118489.9 ^{**}	240.37 ^{**}	7.96 [*]	514.87 ^{**}	13.01 [*]	204.42 ^{**}	20	ژنوتیپ Genotype
2.21 ^{ns}	111943.0 ^{**}	16.80 ^{ns}	6.08 [*]	162.28 ^{**}	9.95 ^{ns}	2.31 ^{ns}	40	ژنوتیپ × مکان Genotype Environment×
1.51	5592947.4	13.59	4.05	18.99	6.86	2.02	120	اشتباه Error
3.85	28.49	9.96	21.64	6.12	1.15	0.74	-	ضریب تغییرات (%)

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی دار

DTF = Days to Flowering, DTPM = Days to Physiological Maturity, PLH= Plant Height, SBNP= Sub Branches Number per plant, TKW=Thousand Kernel weight, YLD= Yield, OC= Oil Content

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر مکان بر صفات مورد بررسی در لاین های گلرنگ

Table 4. Comparison of the mean effect of location on the studied traits in safflower genotypes

مکان (Environment)	روز تا گلدهی (DTF)	روز تا رسیدن فیزیولوژیک (DTPM)	وزن هزار دانه (g) (TKW)
خرم آباد (Khoram Abad)	189.35	223.08	40.74
سرارود (Sararood)	164.14	195.41	36.59
مراغه (Maragheh)	220.59	267.24	33.73
LSD5%	0.50	0.92	1.30

DTF = Days to Flowering, DTPM = Days, TKW=Thousand Kernel weight

نیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۷ بود. اختلاف کمترین و بیشترین مقدار برای صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تنها حدود ۵ روز بود (جدول ۵). دیررس بودن گیاه گلرنگ یکی از چالش‌های توسعه کشت آن می‌باشد. در مطالعه بررسی تنوع ژنتیکی در یک مجموعه مرجع جهانی از ۵۳۱ ژنوتیپ گلرنگ، زمان رسیدگی (دیررس یا زودرس بودن) به عنوان یکی از صفات مهم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که تنوع قابل توجهی در زمان رسیدگی بین ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ وجود دارد. با این وجود، ژنوتیپ بسیار زودرسی مشاهده نشده است (Kumar *et al.*, 2015).

اختلاف بین کمترین و بیشترین درصد محتوی روغن نیز ۵/۳ درصد بود. ژنوتیپ شماره ۱۸ با ۳۴/۷۵ درصد بیشترین محتوی روغن دانه را در مقایسه با ارقام شاهد آزمایش (ارقام معرفی شده توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور) را نشان داد. بیشترین مقدار وزن هزاردانه نیز (۴۵/۶۲ گرم) در رقم شاهد فرمان مشاهده شد (جدول ۵).

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × مکان برای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و عملکرد دانه، تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین جداگانه در هریک از مکان‌ها برای آنها انجام شد.

اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط برای صفاتی از قبیل عملکرد دانه، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در بوته معنی‌دار بود. این امر به این معناست که پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به شرایط محیطی متفاوت است. به عبارت دیگر، یک ژنوتیپ ممکن است در یک محیط خاص عملکرد عالی داشته باشد، اما در محیط دیگر عملکرد ضعیفی نشان دهد. در مطالعه Johnson و همکاران (۱۹۹۹) در آمریکا به بررسی ویژگی‌های روغن و کنجاله گلرنگ در ژنوتیپ‌های مختلف تحت شرایط محیطی متفاوت پرداخته است. نتایج آن‌ها نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر ویژگی‌های کیفی گلرنگ معنی‌دار است و انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های خاص می‌تواند به بهبود عملکرد و کیفیت محصول کمک کند. در تحقیقی دیگر در کشور چین نیز به بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در گلرنگ اشاره شده است و تفاوت‌های معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های گلرنگ در پاسخ به شرایط محیطی مختلف گزارش شده است و نشان داده شده است که انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های خاص می‌تواند عملکرد گلرنگ را به طور قابل توجهی بهبود بخشد (Li *et al.*, 2016).

در این تحقیق مقایسه میانگین برای اثر ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی انجام شد. در خصوص صفت روز تا گلدهی، کمترین مقدار بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مربوط به ژنوتیپ شماره ۷ و بیشترین مقدار

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی در لاین‌های گلرنگ در همه مکان‌ها

Table 5. Comparison of the mean effect of genotype on the studied traits in safflower lines across all locations

ژنوتیپ (Genotypes)	روز تا گلدهی (DTM)	روز تا رسیدن فیزیولوژیک (DTPM)	وزن هزار دانه (گرم)	محتوای روغن دانه (%)
			TKW (g)	OC (%)
1	190.78	229.11	33.36	31.54
2	190.33	229.11	34.98	32.81
3	190.67	229.11	39.69	32.36
4	190.78	229.00	40.79	31.18
5	190.89	228.22	35.23	33.04
6	191.56	229.89	41.12	31.51
7	188.89	227.56	31.12	30.87
8	191.44	229.44	39.66	33.04
9	191.00	229.56	37.44	32.43
10	190.44	227.11	44.83	29.45
11	191.22	228.56	38.23	33.17
12	191.00	224.44	42.64	30.66
13	192.44	228.00	36.30	31.92
14	192.00	228.67	42.44	32.63
15	192.22	229.33	41.55	33.45
16	193.78	229.44	30.51	31.15
17	193.33	229.22	29.57	30.43
18	191.78	229.33	30.66	34.75
Sina	191.44	229.11	30.89	31.70
Faraman	190.67	228.33	45.62	30.22
Omid	191.89	227.56	30.79	31.11
حداقل (Min)	188.89	224.44	29.57	29.45
حداکثر (Max)	193.78	229.89	45.62	34.75
میانگین (Mean)	191.36	228.58	37.02	31.88
LSD5%	1.32	2.44	3.44	1.15

DTF= Days to Flowering, DTPM=Days to Maturity TKW=Thousand Kernel weight, OC= Oil Content

بیشترین تعداد شاخه فرعی (۱۶/۹۷ عدد) برای ژنوتیپ شماره ۱ در خرم آباد و کمترین مقدار برای این صفت (۳/۱۷ عدد) در مراغه برای ژنوتیپ ۱۳ مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه با ۲۳۴۷/۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم سینا بود که در ایستگاه خرم آباد به دست آمد. در سایت سرارود بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه (۵۱۳ و ۱۹۹/۴ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱ و رقم امید بود. جالب اینکه در سایت مراغه ژنوتیپ شماره ۱ کمترین میزان عملکرد دانه را نشان داد. در این سایت بیشترین میزان عملکرد دانه (۲۲۴/۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ شماره ۶ بود (جدول ۶).

بیشترین مقدار ارتفاع بوته (۱۲۲/۵ سانتی‌متر) در ایستگاه خرم آباد و برای ژنوتیپ شماره ۱۷ ثبت شد. میانگین ارتفاع بوته در این ایستگاه به مراتب بیشتر از دو ایستگاه دیگر بود. میانگین ارتفاع بوته در ایستگاه مراغه برابر با ۳۲/۹۴ سانتی‌متر و تقریباً سه برابر کمتر از خرم آباد بود (جدول ۵). مشاهده شده است که دماهای پایین باعث کاهش ارتفاع بوته، کاهش رشد طولی ساقه و کوتاه‌تر شدن میانگره‌ها می‌شود. همچنین، سرما باعث کاهش سطح برگ و فتوسنتز شد که این موضوع به طور غیرمستقیم بر رشد کلی گیاه تأثیر می‌گذارد (Salehi et al., 2023).

جدول ۶- تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در مکان‌های مختلف اجرای آزمایش

Table 6. Simple analysis of variance (ANOVA) and comparison of the mean values of the studied traits across different experimental locations.

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)			تعداد شاخه فرعی در بوته			ارتفاع بوته (سانتی متر)			ژنوتیپ
Seed Yield (kg/ha)			Number of Sub-branches			Plant Height (cm)			
مراغه	سرارود	خرم آباد	مراغه	سرارود	خرم آباد	مراغه	سرارود	خرم آباد	Genoty)
Marag)	Sararo)	Khorama)	Marag)	Sararo)	Khorama)	Marag)	Sararo)	Khoram)	(pes
(heh	(od	(bad	(heh	(od	(bad	(heh	(od	(abad	
68.2	513.0	1856.7	4.00	12.10	16.97	30.90	76.33	105.17	1
206.9	358.6	1956.7	6.00	11.00	11.57	33.90	74.83	103.33	2
173.9	401.5	1717.5	5.17	11.23	11.57	34.90	61.50	89.50	3
186.5	337.4	2090.6	5.17	9.67	14.43	29.63	70.33	98.67	4
183.5	275.1	1698.2	4.33	8.57	14.77	29.47	65.33	92.17	5
224.8	275.4	1719.1	5.00	8.77	15.67	36.23	69.83	97.00	6
200.1	480.1	2166.9	4.17	11.33	12.43	35.20	81.33	109.50	7
90.3	212.5	1384.4	5.00	7.77	14.90	38.87	67.50	95.83	8
193.8	310.7	1971.1	4.67	9.63	14.87	35.33	73.33	102.00	9
134.4	314.1	1988.6	3.67	9.67	11.80	35.67	89.50	117.00	10
137.3	488.9	1136.7	4.33	12.23	15.10	31.53	70.67	97.33	11
87.5	419.6	1863.9	5.67	11.77	15.10	36.33	87.00	114.67	12
154.0	310.9	1553.3	3.17	10.33	13.00	30.43	74.33	102.00	13
211.0	300.0	1129.5	6.83	9.57	10.43	37.67	57.17	84.33	14
95.7	344.8	1360.3	3.33	10.00	13.33	29.77	53.50	82.67	15
95.5	289.0	1606.7	3.67	9.10	11.00	35.10	85.33	112.83	16
155.0	223.4	1890.4	3.83	7.47	9.90	26.30	94.17	122.50	17
171.1	236.3	1818.4	4.33	8.43	12.57	31.23	83.83	111.17	18
86.4	414.0	2347.9	3.50	10.23	13.20	28.47	90.50	119.00	Sina
80.7	433.9	2086.2	4.67	11.00	15.10	33.90	88.67	117.00	Faraman
100.6	199.4	2117.1	3.67	8.53	15.87	30.90	87.17	115.50	Omid
68.2	199.4	1129.5	3.17	7.47	9.90	26.30	53.50	82.67	حداقل (Min)
224.8	513.0	2347.9	6.83	12.23	16.97	38.87	94.17	122.50	حداکثر (Max)
144.6	339.9	1783.8	4.48	9.92	13.50	32.94	76.29	104.25	میانگین (Mean)
59.62	218.3 5	574.05	1.72	2.97	4.61	6.73	7.34	7.49	LSD5 %
**	ns	**	**	ns	ns	*	**	**	F آزمون
24.98	38.93	19.45	23.20	18.17	20.72	12.37	5.82	4.35	CV(%)

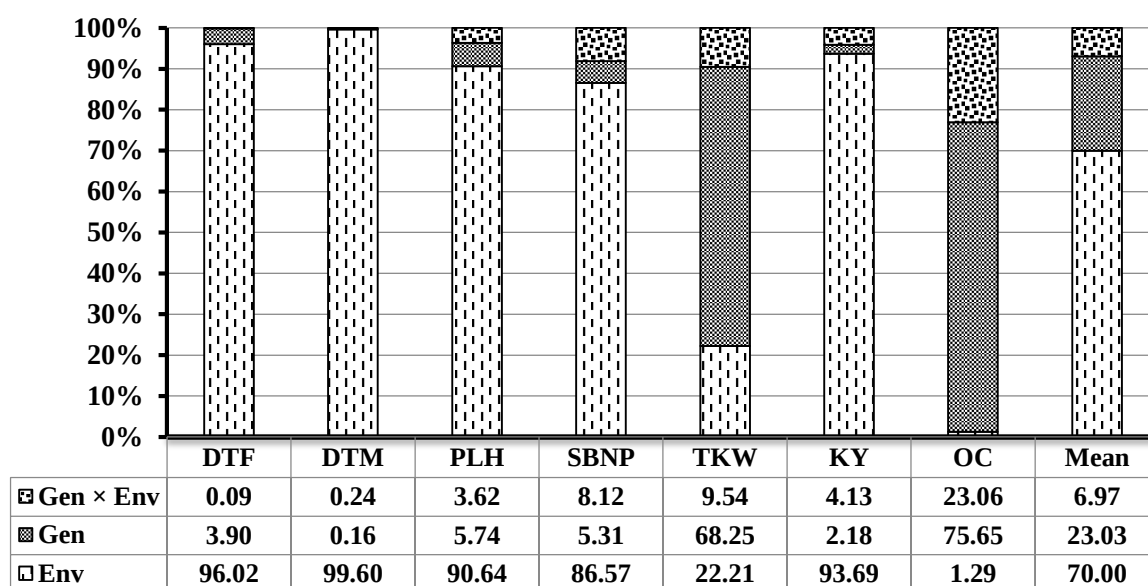
*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی دار

بجز محتوای روغن دانه و وزن هزاردانه ایجاد کرد که حاکی از تأثیر بیشتر عوامل محیطی بر بیان فنوتیپی این صفات است و نشان می‌دهد که این صفات به اندازه کافی برای معیار انتخاب در نسل‌های اولیه از طریق برنامه‌های اصلاحی، سازگار نیستند. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، اثر قابل توجهی بر صفات نداشت، به‌طوری که حداکثر اثر آن، روی صفت محتوای روغن دانه و به میزان ۲۳/۰۶ درصد بود. آخرین ستون

سهم هر منبع تغییر در تجزیه مرکب (بدون در نظر گرفتن خطاهای آزمایش)، برای صفات مطالعه شده در شکل ۱ به عنوان درصد مجموع مربعات کل نشان داده شده است. دامنه تنوع ژنوتیپی برای صفات محتوای روغن دانه (۷۵/۶۵ درصد) و وزن هزاردانه (۶۸/۲۵ درصد) بالا و برای سایر صفات، مقادیری پایین (کمتر از ۱۰ درصد) به دست آمد. اثر محیط درصد بالایی از کل تغییرات را برای تمامی صفات

(۷۰/۰۰ درصد) تقریباً سه برابر ژنوتیپ (۲۳/۰۳ درصد) و ده برابر بیشتر از اثر متقابل (۶/۹۷ درصد) بود.

سمت راست شکل ۱ که با نام میانگین (Mean) آمده است، نشان‌دهنده میانگین درصد هر منبع تغییر در صفات است. بر اساس این ستون، تأثیر محیط



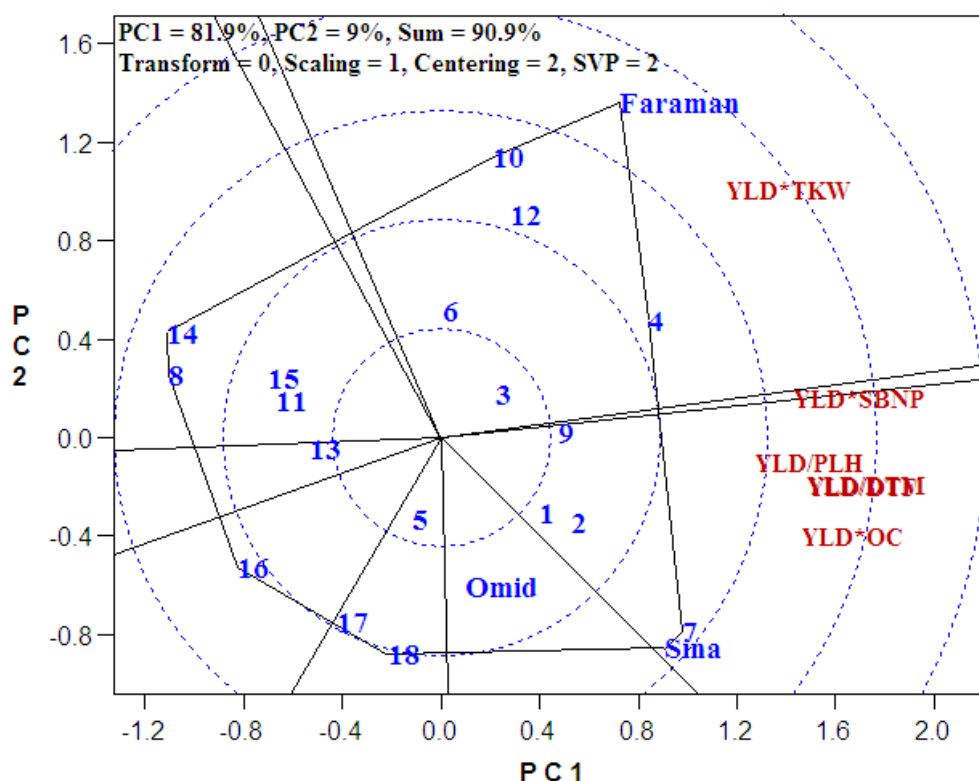
شکل ۱- منابع تغییرات صفات (پس از حذف خطاهای آزمایش) به صورت درصد مجموع مربعات کل ستون "میانگین" نشان‌دهنده میانگین صفات است. DTA: روز تا گرده‌افشانی، DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، PLH: ارتفاع بوته، SBNP: تعداد شاخه فرعی در بوته، TKW: وزن هزاردانه، YLD: عملکرد دانه، OC: محتوای روغن دانه.

Figure 1. Sources of variation for the traits (after removing experimental errors) presented as a percentage of the total sum of squares

DTF = Days to Flowering, DTPM = Days to Physiological Maturity, PLH = Plant Height, SBNP = Sub Branches Number per plant, TKW = Thousand Kernel weight, YLD = Yield, OC = Oil Content

عملکرد دانه با وزن هزاردانه بهترین بود. رقم شاهد سینا و لاین شماره ۷ بر اساس ترکیبات $YLD \times O.C$ ، YLD/DTF ، YLD/DTM و YLD/PLH بهترین بودند. به عبارت دیگر این رقم و لاین، دارای بهترین ترکیب عملکرد دانه با صفات محتوای روغن دانه، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در بوته بودند. سایر لاین‌های قرار گرفته در رئوس دیگر، از نظر هیچکدام از صفات مورد مطالعه، متمایز و برتر نبودند.

بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد $\times$ صفت (GYT): در هر بخش مشخص شده از این بای‌پلات (شکل ۲)، ژنوتیپ برتر روی رأسی قرار می‌گیرد که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشته و دارای بیشترین مقادیر برای ترکیب‌های عملکرد- صفت است. دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب حدود ۸۱/۹ و ۹/۰ درصد (در مجموع ۹۰/۹ درصد) از کل تغییرات مجموعه داده را به خود اختصاص دادند. رقم شاهد فرامان بیشترین مقادیر را برای ترکیب $YLD \times TKW$ داشت، به این معنی که این رقم در ترکیب



شکل ۲- بای پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT) در تمامی مکان‌ها
Figure 2. Biplot of genotype × trait performance (GYT) across all locations.

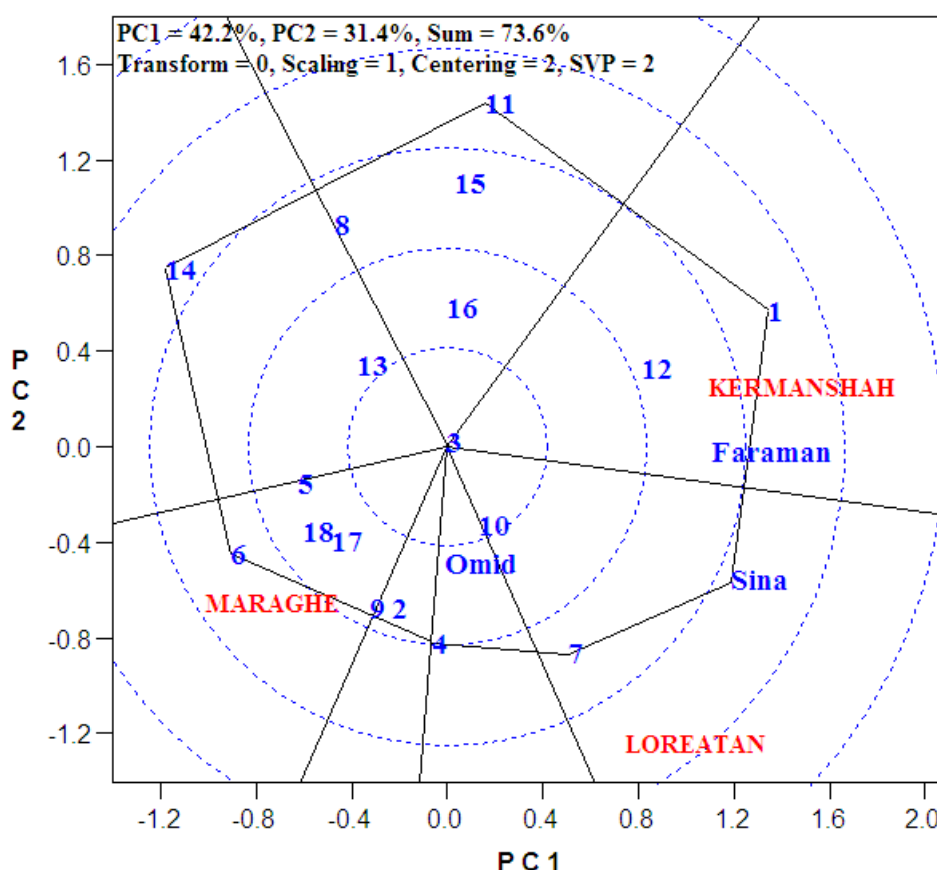
YLD: عملکرد دانه، TKW: وزن هزاردانه، SBNP: تعداد شاخه فرعی در بوته، PLH: ارتفاع بوته، DTF: روز تا گلدهی، DTM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، OC: محتوای روغن دانه.

DTF = Days to Flowering, DTPM = Days to Physiological Maturity, PLH = Plant Height, SBNP = Sub Branches Number per plant, TKW = Thousand Kernel weight, YLD = Yield, OC = Oil Content

که نشان‌دهنده پاسخ کم آن‌ها به تغییرات مکان است. مؤلفه اول و دوم جمعاً ۷۳/۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند.

در تحقیقی دیگر که از روش GGE بای پلات برای بررسی ۱۴ ژنوتیپ گیاه گلرنگ در ۶ مکان مختلف در شرایط دیم بهار استفاده شد، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ۹۳/۹ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط و ۶/۱ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بوده است (pouredad and Jamshid moghaddam, 2013).

تجزیه GGE-Biplot: الگوی چند ضلعی "کدام-برتر-کجا" به عنوان یکی از مهمترین ویژگی‌های GGE بای پلات، در شکل ۳ نشان داده شده است. ژنوتیپ‌های موجود در رأس‌های چندضلعی، نمایانگر ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی بالا به محیط‌های واقع در محدوده آن چندضلعی هستند. بنابراین لاین شماره ۱ دارای سازگاری خصوصی بالا به کرمانشاه بود. رقم سینا و لاین شماره ۷ در لرستان برتری نشان داد. لاین شماره ۶ در مراغه متمایز بود. رقم امید و لاین‌های ۳، ۱۰ و ۱۳ نزدیک مرکز پلات قرار گرفتند



شکل ۳- شمای چندضلعی "کدام- برتر- کجا" در تمامی مکان‌ها

Figure 3. Schematic of the "which-won-where" polygon plot across all locations.

معنی‌داری داشت. کلاستر سوم و چهارم در ضمن از لحاظ صفت ارتفاع بوته نیز به صورت معنی‌داری ارتفاع بیشتری از سایر کلاسترها داشتند که با نتایج تجزیه همبستگی که در ادامه در مورد آن بحث می‌شود، همخوانی داشت.

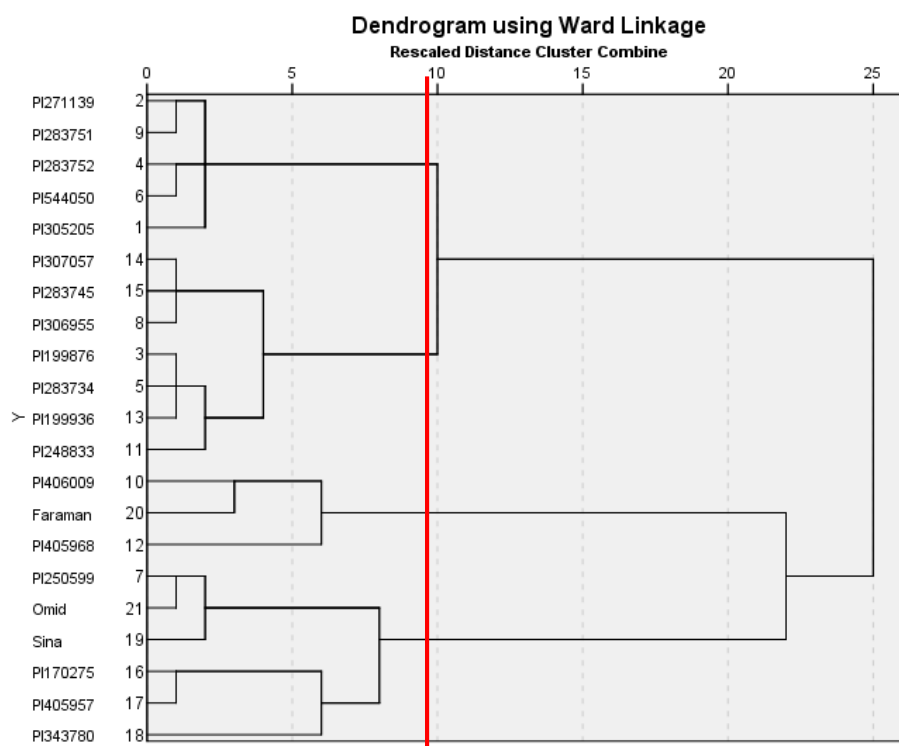
۱۲۱ ژنوتیپ مورد بررسی در یکی از اولین مطالعات بررسی تنوع ژنتیکی گلرنگ در ایران (شامل ژنوتیپ-های بومی و ارقام خارجی) در ۹ کلاستر (به روش وارد) گروه‌بندی شدند. قرارگرفتن ارقام خارجی در کنار ژنوتیپ‌های بومی در برخی کلاسترها نشان‌دهنده منشأ یکسان آنها بود (Bagheri et al., 2001).

تجزیه کلاستر می‌تواند ساختارهای پنهان در داده‌ها را آشکار کند و در اصلاح نباتات برای تحلیل تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورفولوژیکی یا مولکولی استفاده می‌شود. این امر به انتخاب والدین مناسب برای برنامه‌های اصلاحی

تجزیه خوشه‌ای: نتایج تجزیه کلاستر به روش وارد بر اساس صفات معنی‌دار در تجزیه مرکب نشان داد که ژنوتیپ‌ها و ارقام مورد بررسی در این پژوهش در پنج گروه مجزا طبقه‌بندی شدند (شکل ۴). ارقام خاردار معرفی شده سینا و امید به همراه ژنوتیپ شماره ۷ در یک گروه قرار گرفتند. فرامان نیز به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ و ۱۲ در گروه دیگری طبقه‌بندی شدند. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین خوشه‌ها بر اساس صفات مورد بررسی در جدول شماره ۷ نشان داده شده است. سه کلاستر اول از نظر صفات روز تارسیدن فیزیولوژیک و محتوی روغن دانه اختلاف معنی‌داری با هم نداشته و با گروه چهارم به شکل معنی‌داری مقادیر بیشتری از خود نشان دادند. از نظر عملکرد دانه نیز کلاستر دوم با میانگین عملکرد ۶۴۰/۹۱ کیلوگرم در هکتار نسبت به کلاسترهای اول، سوم و چهارم عملکرد پائین‌تر و

کنند. این روش به ویژه در بهبود عملکرد، کیفیت روغن و مقاومت به تنش‌های محیطی در گلرنگ بسیار مفید است (Houmanat et al., 2015).

کمک می‌کند. تجزیه کلاستر یک ابزار قدرتمند در اصلاح گلرنگ است که به محققان اجازه می‌دهد تا تنوع ژنتیکی را تحلیل کنند، ژنوتیپ‌های برتر را شناسایی کرده و برنامه‌های اصلاحی هدفمند طراحی



شکل ۴- نمودار خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس صفات معنی‌دار در تجربه مرکب

Figure 4. Cluster dendrogram of safflower lines based on significant traits in the combined analysis.

جدول ۷- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین چهار خوشه اصلی تجزیه کلاستر برای هر یک از صفات مورد مطالعه

Table 7: Analysis of variance and comparison of the mean values of four main clusters for each trait.

Cluster	روز تا رسیدن فیزیولوژیک (DTPM)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) PLH(cm)	تعداد شاخه فرعی در بوته SBNP	وزن هزار دانه (گرم) TKW(g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Yield (Kg/ha)	محتوای روغن دانه (OC) (%)
1	229.33 ^a	69.12 ^b	9.97 ^a	37.54 ^b	817.96 ^a	31.89 ^a
2	228.76 ^a	63.16 ^c	9.27 ^{ab}	39.01 ^b	640.91 ^b	32.80 ^a
3	228.70 ^a	77.78 ^a	8.51 ^b	30.59 ^c	811.02 ^a	31.67 ^a
4	226.63 ^b	79.97 ^a	9.83 ^a	44.36 ^a	823.17 ^a	30.11 ^b
F test	**	**	*	**	**	**
CV %	0.40	4.57	8.62	6.39	11.08	3.10

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن هستند.

DTPM = Days to Physiological Maturity, PLH = Plant Height, SBNP = Sub Branches Number per plant, TKW = Thousand Kernel weight, YLD = Yield, OC = Oil Content

صفات مهم وابسته به عملکرد در گیاه گلرنگ است. همچنین در این آزمایش همبستگی منفی و غیرمعنی داری بین محتوی روغن دانه و عملکرد مشاهده شد. این امر می‌تواند به علت ناترازی تخصیص منابع برای رشد رویشی و افزایش درصد روغن در دانه باشد که در مطالعات دیگری نیز مشاهده شده است (Mali et al., 2022). بر اساس نتایج مطالعات مختلف نشان داده شده است که تجزیه همبستگی ابزار قدرتمندی در اصلاح گلرنگ است و می‌تواند به شناسایی صفات کلیدی برای بهبود عملکرد، کیفیت و مقاومت به تنش‌های محیطی کمک کند (kaya et al., 2003; Ashrafi and Razmjoo, 2015).

تجزیه همبستگی: در تجزیه همبستگی صفات زراعی در این پژوهش نشان داده شد که بین صفات ارتفاع بوته با عملکرد بوته و ارتفاع بوته با تعداد شاخه فرعی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۸). این همبستگی مثبت و معنی‌دار می‌تواند به علت تاثیر مثبت ارتفاع بوته بر تولید بیوماس و شاخه فرعی بیشتر و به دنبال آن عملکرد بیشتر باشد که در مطالعات مشابه در خصوص گیاه گلرنگ نیز گزارش شده است (Alizadeh, 2005; Rafiei and Saeidi, 2025; eslam et al., 2010; Koç, 2021). همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد شاخه فرعی با عملکرد دانه نیز در این آزمایش مثبت و معنی‌دار بود که نشان‌دهنده اهمیت این صفت به عنوان یکی از

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات (n = 63)
Table 8. Correlation coefficients between traits (n = 63).

محتوای روغن دانه (OC)	عملکرد دانه (YLD)	وزن هزار دانه (TKW)	تعداد شاخه فرعی در بوته (SBNP)	ارتفاع بوته (PLH)	روز تا رسیدن فیزیولوژیک (DTPM)	روز تا گلدهی (DTF)
1	-0.091	-0.138	-0.083	-0.224	0.118	0.103
1	1	0.430**	0.797**	0.826**	-0.233	-0.169
1	1	1	0.521**	0.379**	-0.264*	-0.237
1	1	1	1	0.885**	-0.655**	-0.610**
1	1	1	1	1	-0.672**	-0.619**
1	1	1	1	1	1	0.995**

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

DTPM = Days to Physiological Maturity, PLH = Plant Height, SBNP = Sub Branches Number per plant, TKW = Thousand Kernel weight, YLD = Yield, OC = Oil Content

نتیجه‌گیری کلی

موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور انتخاب شدند. به نظر می‌رسد که دلیل بالا بودن میزان عملکرد در ایستگاه خرم آباد، بالا بودن میزان بارندگی نسبت به ایستگاه سرارود (حدود ۹۰ میلی‌متر بارندگی بیشتر در ایستگاه خرم‌آباد) باشد و دلیل پایین بودن عملکرد در ایستگاه مراغه (علیرغم بارندگی تقریباً برابر با خرم آباد) می‌تواند بعلت خسارت سرما در این ایستگاه باشد. این انتخاب براساس صفات زراعی مطلوب ذکر شده و برخی صفات دیگر مانند تعداد قوزه در بوته و

با توجه به اهمیت اقتصادی صفات مهم گلرنگ از جمله عملکرد دانه، درصد محتوی روغن و عملکرد روغن این صفات مهم می‌توانند در راستای اقتصادی شدن کشت و توسعه این محصول در کشور و افزایش درآمد کشاورزان نقش مهمی را داشته باشند. بر اساس نتایج بررسی لاین‌های گلرنگ در شرایط دیم در سه منطقه و با توجه به میانگین رتبه این لاین‌ها، برخی از آنها برای ادامه برنامه‌های اصلاحی در

تشکر و قدردانی

این تحقیق منتج از پروژه مصوب موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به شماره ۰۰۰۹۰۷-۰۰۹-۱۵-۰-۱۵ می باشد که بدین وسیله سپاسگزاری می شود.

وضعیت رسیدگی و نیز مشاهدات اصلاحگر بوده است. لاین های منتخب به همراه شاهدها (ارقام معرفی شده گلرنگ در موسسه دیم) در دو سال آینده می بایست در آزمایش سازگاری در چندین منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته تا نهایتاً لاین و یا لاین های سازگار شناسایی شوند.

منابع

- Alizadeh K. 2005. Safflower as a new crop in the cold drylands of Iran. Sesame and Safflower Newslatter 20: 92-94
- Ashrafi E, Razmjoo J. 2015. Seed treatment to overcome salt and drought stresses during germination in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Plant Nutrition 38:2151-8
- Bagheri A, Yazdi-Samadi B, Taeb M, Ahmadi MR. 2001. Investigation of genetic diversity in native safflower populations of Iran. Iranian Journal of Agricultural Science 32: 447-456
- Baljani R, Shekari F, Sabaghnia N. 2016. Multivariate analysis of yield components and some morphological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. Philippine Agricultural Scientist 99: 326-331
- Emongor VE, Emongor RA. 2023. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In Neglected and Underutilized Crops. Academic Press, pp 731
- Eslam BP, Monirifar H, Ghassemi MT. 2010. Evaluation of late season drought effects on seed and oil yields in spring safflower genotypes. Turkish Journal of Agriculture Forestry 34: 373-380
- Ghanbari A, Soltani-Najafabadi M, Abbasi AR, Bihamta MR. 2022. Functional factor analysis in safflower. Journal of Crop Breeding 14: 163-173
- Hassani SMR, Talebi R, Pourdad SS, Najiamand F. 2020. In-depth genome diversity, population structure and linkage disequilibrium analysis of worldwide diverse safflower (*Carthamus tinctorius* L.) accessions using NGS data generated by DArTseq technology. Molecular Biology Reports 47: 2123-2135
- Hatfield JL, Prueger JH. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes 10: 4-10
- Houmanat K, Charafi J, Mazouz H, El Fectali M, Nabloussi A. 2016. Genetic diversity analysis of safflower (*Carthamus tinctorius*) accessions from different geographic origins using ISSR markers. International Journal of Agriculture Biology 18: 881-7
- Janmohammadi M. 2015. Evaluation of the impact of chemical and biological fertilizer application on agronomical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Proceedings of the Latvian Academy of Sciences 69: 331-335
- Johnson RC, Bergman JW, Flynn CR. 1999. Oil and meal characteristics of core and non-core safflower accessions from the USDA collection. Genetic Resources and Crop Evolution 46: 611-618
- Kaya MD, Ipek A, Öztürk A. 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 27: 221-227
- Koç H. 2021. Selection criteria for yield in safflower (*Charthamus tinctorius* L.) genotypes under rainfed conditions. Grasas Aceites 72 (3): 421

- Kumar S, Ambreen H, Murali TV, Bali S, Agarwal M, Kumar A, Goel S. 2015. Assessment of genetic diversity and population structure in a global reference collection of 531 accessions of *Carthamus tinctorius* L. (safflower) using AFLP markers. *Plant Cell Reports* 34: 945-957
- Li JY, Yu J, Du, XS Zhang, HM, Wang B, Guo H, Bai J, Wang JH, Liu A, Wang YL, 2016. Safflower polysaccharide induces NSCLC cell apoptosis by inhibition of the Akt pathway. *Oncology Reports* 36:147-154
- Majidi MM, Zadhoush S. 2014. Molecular and morphological variation in a world-wide collection of safflower. *Crop Science* 54:2109–2119
- Mali BB, Wadikar PB, Gorte AS, Yadav UV. 2022. Relationship among traits using correlation and path coefficient analysis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agriculture Research and Technology* 47:39-42
- Manikanta C, Pasala R, Kaliamoorthy S, Basavaraj PS, Pandey BB, Vadlamudi DR, Nidamarty M, Guhey A, Kadirvel P. 2023. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) crop adaptation to residual moisture stress: conserved water use and canopy temperature modulation are better adaptive mechanisms. *PeerJ Publishing* 11:15928
- Ministry of Agriculture Jihad (2023). *Agricultural Statistics Yearbook 2022-2023* (In Persian).
- Mosupiemang M, Emongor VE, Malambane G. 2022. A review of drought tolerance in safflower. *International Journal of Plant & Soil Science* 34:140-149
- Öztürk E, Özer H, Polat T. 2008. Growth and yield of safflower genotypes grown under irrigated and non-irrigated conditions in a highland environment. *Plant Science* 54:453-460
- Pourdad SS, Jamshid Moghaddam M. 2013. Study on Genotype×Environment Interaction through GGE Biplot in Spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crop Production and Processing* 2:99-108
- Rafiei F, Saeidi Gh. 2005. Genotypic and phenotypic relationships among agronomic traits and yield components in safflower (*carthamus tinctorious* l.). *The scientific journal of agriculture* 28:137-148
- Rostami Ahmadvandi H, Alavi SM, Jabbari H, Jamshid Moghaddam M. 2023. Quantitative and Qualitative Evaluation of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Mutants in Comparison with Commercially Released Cultivars in Iran. *Agrotechniques in Industrial Crops* 3: 38-43
- Sabaghnia N, Ahadnezhad A, Janmohammadi M. 2024. Genetic diversity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm for vegetative and agronomic characteristics in semi-arid regions. *Plant Genetic Resources* 39:1-10
- Salehi F, Rahnama A, Meskarbashee M, Mehdi Khanlou K, Ghorbanpour M. 2023. Physiological and metabolic changes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to terminal heat stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 42:6585-600
- Wang X, Li, T. 2019. Impact of climate change on crop phenology and recommended adaptation strategies for sustainable agriculture. *Sustainability* 11: 5661
- Yildiz M, Altaf MT, Baloch FS, Koçak M, Sadık G, Kuzgun C, Tunçtürk M. 2022. Assessment of genetic diversity among 131 safflower (*Carthamus tinctorius* L.) accessions using peroxidase gene polymorphism (POGP) markers. *Molecular Biology Reports* 49:6531-6539
- Zanetti F, Angelini LG, Berzuini S, Foschi L, Clemente C, Ferioli F, Tavarini S. 2022. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) a winter multipurpose oilseed crop for the Mediterranean region: Lesson learnt from on-farm trials. *Industrial Crops and Products* 184: 115042
- Zhang Z. 2001. Genetic diversity and classification of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm by isozyme techniques. 5th International Safflower Conference. July 23-27, 2001, Williston. North Dacota, Sidney, Montana, pp157-162



Evaluation of Important Agronomic Traits and seed Oil Content of Advanced Safflower (*Carthamus tinctorius*) Lines under Rainfed Conditions in Cold and Cold-Temperate Regions

Hossein Rostami-Ahmadvandi^{1*}, Reza Amiri², Sadegh Shahbazi Dorbash³, Mehdi Jamshid Moghaddam¹, Khoshnood Alizadeh Dizaj⁴, Ali Eftekhariinia⁵

1- Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Deputy, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Kermanshah, Iran

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

3- Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Maragheh, Iran

4- Crop and Horticultural Science Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Oromyeh, Iran

5- Seed and Plant Certification and Registration Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Lorestan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Safflower is currently recognized as a climate-resilient crop due to its ability to perform relatively well across a wide range of regions and diverse climatic conditions. The production and introduction of new safflower varieties suitable for Iran's climatic conditions and the changing climate in recent years is essential, with a prerequisite being a thorough examination of the genetic diversity of native and imported ecotypes. This study was conducted to evaluate safflower lines for various important agronomic traits and oil content, aiming to select desirable genotypes for use in breeding programs during the adaptation phase.

Methodology: In this experiment, 18 safflower lines (selected in a preliminary trial) along with the introduced cultivars Sina, Omid, and Faraman by Dryland Agricultural Research Institute (DARI) were evaluated in a randomized complete block design with three replications during the 2021-2022 growing season at three locations: the Dryland Agricultural Research Institute (Sararood Station, Kermanshah, Iran), the Agricultural and Natural Resources Research Center of Lorestan, Iran, and the research farm of the Dryland Agricultural Research Institute (Maragheh, East Azerbaijan Province, Iran).

Research findings: The results of the combined analysis of variance showed that the effect of location was significant for all measured traits except seed oil content. The genotype-by-location interaction was not significant for phenological traits (days to flowering and days to physiological maturity) and thousand-seed weight, indicating relatively similar behavior of the genotypes for these traits across the experimental locations. The genotypic variation range was high for seed oil content (75.65%) and thousand-seed weight (68.25%), while it was low (less than 10%) for other traits. Based on the results biplot of genotype $\times$ trait performance, Line 1 showed high specific adaptability to Kermanshah. The Sina cultivar and Line 7 performed superiorly in Lorestan, while Line 6 was distinguished in Maragheh. Correlation analysis of agronomic traits also revealed a significant positive correlation between plant height and yield, as well as between plant height and the number of sub-branches. Based on the preliminary adaptation results of safflower lines under rainfed conditions in the three regions and their mean rankings, some lines were selected for further breeding programs at the Dryland Agricultural Research Institute of Iran.

Keywords: Oilseed Crops, Genetic Diversity, Safflower, Rainfed Agriculture.

* Corresponding author: h.rostami83@gmail.com
Submit date: 2025/03/19 Accept date: 2025/08/04

