

ارزیابی قابلیت ترکیب پذیری و وراثت پذیری صفات زراعی و روغن دانه در ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)

Assessment of combining ability and heritability for agronomic traits and seed oil content in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars

مهتابه صمدی گرجی^۱، نادعلی بابائیان جلودار^۲، غفار کیانی^۳، ولی الله رامنه^۴ و نادعلی باقری^۵

چکیده

صمدی گرجی، م، ن. بابائیان جلودار، غ. کیانی، و. رامنه و ن. باقری. ۱۴۰۴. ارزیابی قابلیت ترکیب پذیری و وراثت پذیری صفات زراعی و روغن دانه در ارقام کلزا (*Brassica napus* L.). نشریه علوم زراعی ایران. ۲۷ (۱): ۹۳-۱۰۹.

به منظور ارزیابی قابلیت ترکیب پذیری و شناسایی ارقام برتر والدینی و تلاقی‌های آنها، تلاقی‌های دای آلل یک طرفه با استفاده از هشت رقم کلزا انجام شد. نتاج F1 همراه با ۳۶ ژنوتیپ والدینی در سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات گیاهی اندازه‌گیری شده شامل تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته، طول ساقه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، محتوای روغن و پروتئین دانه بودند. نتایج تجزیه دای آلل نشان داد که ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بوده و هر دو نوع اثر افزایشی و غیر افزایشی در بیان ژنتیکی صفات نقش داشتند. میزان وراثت‌پذیری خصوصی (h^2) بین حداقل ۰/۲۸ برای محتوای روغن دانه تا حداکثر ۰/۴۹ برای تعداد روز تا رسیدگی و طول ساقه اصلی و میزان غالبیت بین حداقل ۲/۲۸ برای محتوای روغن دانه تا حداکثر ۰/۷۱ برای تعداد روز تا رسیدگی متغیر بود. نتایج نشان داد که ترکیب‌پذیری عمومی در والدین برای هر صفت به طور قابل توجهی متفاوت بود و والدین برای اغلب صفات، دارای ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌دار در جهت مثبت و یا منفی بودند. ترکیب‌پذیری عمومی برای محتوای روغن دانه در ارقام آرچی‌اس، آسا و اکاپی به ترتیب ۱/۳۹، ۲/۴۲ و ۰/۵۷ و مثبت و معنی‌دار بود. تلاقی‌های آرچی‌اس×آسا، آسا×نیما و بهاران×زرغام، با داشتن مقادیر بالاتر ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار (به ترتیب ۴/۶۸، ۶/۱ و ۷/۶) به عنوان ترکیبات برتر برای این صفت شناخته شدند. بیشترین میزان هتروزیس میانگین والدین برای محتوای روغن دانه در تلاقی‌های آسا×نیما ($Ht=۸/۸۶$) و نیما×اس‌ال ۰۴۶م ($Ht=۷/۹۶$) بود و تلاقی‌های نیما×اس‌ال ۰۴۶م ($Htb=۷/۷۳$) و بهاران×زرغام ($Htb=۶/۰۰$) بیشترین میزان هتروزیس والد برتر را داشتند. ارقام نیما، اکاپی و دلگان با وجود ترکیب‌پذیری عمومی نامناسب در برخی از صفات، در اکثر صفات تلاقی‌های مناسبی شناخته شدند. از نظر ترکیب‌پذیری خصوصی، تلاقی‌های دلگان×اکاپی و نیما×اکاپی تلاقی‌های برتر بودند و هتروزیس میانگین والدین و والد برتر مثبت و معنی‌داری برای عملکرد دانه و اکثر صفات مورد بررسی داشتند. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که می‌توان از والدین تلاقی‌های یاد شده در برنامه‌های تولید ارقام جدید پرمحصول کلزا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اثر افزایشی، تلاقی دای آلل، عملکرد دانه، کلزا و هتروزیس

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳

۱- دانشجوی دکتری دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران

۲- استاد دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران (مکاتبه کننده، nbabaeian@yahoo.com)

۳- دانشیار دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۵- دانشیار دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران

Evaluation of combining ability and heritability for agronomic traits and seed oil content in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars

Samadi Gorji, M.¹, BabaeianJelodar, N.², Kiani, Gh.³, Rameeh, V.⁴ and Bagheri, N.⁵

ABSTRACT

Samadi Gorji, M., Babeian Jelodar, N., Kiani, Gh., Rameeh, V. and Bagheri, N. 2025. Assessment of combining ability and heritability for agronomic traits and seed oil content in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 27(1): 93-109. (In Persian).

Introduction: Rapeseed (*Brassica napus* L.) is an important oilseed crop with many nutritional, economical, ecological and biological benefits. Combining ability analysis is a valuable approach as it facilitates the identification of the suitable parents for the breeding process. This approach allows plant breeders to exploit heterosis and select the superior crosses for immediate utilization or future breeding programs. To identify suitable parental cultivars and superior hybrid combinations, the estimation of combining ability and heterosis of quantitative and qualitative traits was carried out through one-way diallel crosses in eight rapeseed cultivars.

Materials and Methods: Eight canola cultivars (RGS, Asa, Baharan, Dalgan, Zarfam, Nima, SLM046, and Okapi) were crossed in 2022-2023 growing season as a one-way diallel design. The hybrids of the first generation (F1) along with eight parents (36 genotypes in total) were evaluated using randomized complete block design with three replications in Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, in 2023-2024 growing season. The measured traits included days to flowering, days to physiological maturity, plant height, length of the main stem, number of branches.plant⁻¹, number of silique.main stem⁻¹, number of silique.branch⁻¹, silique length, number of seed.silique⁻¹, of 1000- seed weight, seed yield, seed oil and protein content.

Results: Analysis of variance showed that in both general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) there were significant differences among the parents and hybrids for all studied traits. Therefore, additive and non-additive components play roles in the inheritance of all traits. The results showed that the parents had significant general combining ability in the positive or negative direction for most of traits. In addition, the narrow-sense heritability (h²) ranged from minimum of 0.28 for seed oil content to maximum of 0.49 for days to physiological maturity and main stem length, and the degree of dominance gene effect ranged from minimum of 28.2 for seed oil content to maximum of 0.71 for days to physiological maturity. Positive and significant general combining ability for seed oil content was observed in the cv. RGS (1.39), cv. Asa (2.42), and cv. Okapi (0.57). Also, RGS×Asa (4.68), Asa×Nima (1.6), and Baharan×Zarfam (7.6), with high positive and significant specific combining ability, were identified as superior combinations for this trait. The highest heterosis of the mid parents was observed in Asa×Nima (Ht=8.86) and Nima×SLM046 (Ht=7.96). Nima×SLM046 (Ht=7.73) and Baharan×Zarfam (Ht=6.00) had the highest of heterosis of the superior parent. In addition, Dalgan×Okapi, Asa×SLM046, and Nima×Okapi were found to be suitable combinations for these traits, with significant positive combining ability and high and significant values of heterosis of mid parents and superior parents.

Conclusion: Significant variances of general and special combining ability in all traits showed that both additive and non-additive gene effects played roles in the gene expression of the studied traits. In addition, considering the low narrow-sense heritability and the degree of dominance greater than one for most traits, revealed the greater importance of the non-additive gene effects in controlling these traits.. Therefore, it may not possible to select suitable recombinants in the early generations for the studied traits. To improve these traits in segregating generations, indirect selection of traits that are positively correlated with seed yield should be utilized, and non-additive effects of genes in the occurrence of heterosis can be used for hybrid development. Examination of all crosses in all traits related to seed yield showed that cultivars with high positive general combining ability produced suitable combinations for some traits. Thus, cv. Nima, cv. Okapi and cv. Dalgan, produced suitable crosses in most traits. Also, considering the positive and significant heterosis values in some cross combinations of these cultivars for seed yield and most of the studied traits, it would be possible to develop cultivars by selecting in the segregating generations.

Key words: Additive effect, Diallel crosses, Heterosis, Rapeseed and Seed yield

Received: June, 2025 Accepted: August, 2025

1. PhD Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2. Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(Corresponding author, ✉ nbabaeian@yahoo.com)

3. Associate Prof., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4. Associate Prof., Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran

5. Associate Prof., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

مقدمه

به‌نژادی محسوب می‌شود. این رویکرد به به‌نژادگران امکان می‌دهد تا با استفاده از پدیده هتروزیس، سودمندترین تلاقی‌ها را برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی انتخاب کنند. انتخاب والدین با قابلیت ترکیب‌پذیری برتر، احتمال تولید نتاجی با ویژگی‌های مطلوب را افزایش می‌دهد. قابلیت ترکیب‌پذیری ژن‌ها تحت تاثیر فعالیت آنها قرار می‌گیرد و قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) نشان‌دهنده اثر افزایشی ژن و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) نشان‌دهنده اثر غیر افزایشی ژن است (Begna, 2021). در نظر گرفتن قابلیت ترکیب‌پذیری برای به‌نژادگران جنس براسیکا (*Brassica*) در انتخاب ژنوتیپ‌های والدینی و هیبریدهای مطلوب ضروری است (Sabaghnia *et al.* 2010; Muhammad *et al.*, 2014; Khalil and Raziuddin, 2017). شاه و همکاران (Shah *et al.*, 2023) با ارزیابی تنوع ژنتیکی در پنج ژنوتیپ کلزا و هیبریدهای دای‌آلل آنها گزارش کردند که برای کلیه صفات کیفی مورد بررسی، وراثت‌پذیری خصوصی و نوع عمل ژن غیر افزایشی بود. در بین ژنوتیپ‌های والدینی، والد Ancestor 2702 بالاترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی برای پروتئین دانه و اسید اولئیک روغن و تلاقی DUNCLED×2702 بالاترین مقدار ترکیب‌پذیری خصوصی برای محتوای روغن دانه را داشتند. رامهه (Rameeh, 2023) طی آزمایشی گزارش کرد که وراثت‌پذیری خصوصی بالا برای صفات فنولوژیکی، نشان‌دهنده اهمیت اثرات افزایشی و کارایی‌گزینش برای بهبود این صفات در کلزا است. وجود اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن برای وراثت صفات کمی در کلزا با بزرگی اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و ترکیب‌پذیری خصوصی توسط کاور و همکاران (Kaur *et al.*, 2023) گزارش شده است. عظیم و همکاران (Azim *et al.*, 2024) در یک آزمایش دای‌آلل کامل ۵ × ۵، عمل ژن، قابلیت ترکیب‌پذیری و هتروزیس برای صفات مورفولوژیکی و عملکرد دانه

گیاه دانه روغنی کلزا (*Brassica napus* L.) حدود ۷۵۰۰ سال پیش، از دورگ گیری طبیعی بین شلغم روغنی (*B. rapa*) و کلم وحشی (*B. oleraceae*) بدست آمده است (Chalhoub *et al.*, 2014). دانه کلزا حاوی ۴۰ تا ۴۵ درصد روغن و ۱۸ تا ۲۵ درصد پروتئین است و در تولید روغن خوراکی، خوراک دام و تولید بیودیزل مورد استفاده قرار می‌گیرد و گسترش سطح زیر کشت و بهبود ژنتیکی آن یک موضوع ضروری در سراسر جهان محسوب می‌شود (Raboanatahiry *et al.*, 2021; Ihien Katche and Mason, 2023). سطح زیر کشت کلزا در ایران ۱۵۵۰۰۰ هکتار و میزان تولید آن ۲۹۰ هزار تن و میزان عملکرد آن ۱۸۷۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAOSTAT, 2023). کلزا با دارا بودن صفات مثبت زراعی مانند تحمل سرما و کم‌آبی، ارزش تناوبی بالا، دامنه گسترده سازگاری نسبت به بافت خاک و اقلیم، قابلیت کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ، دارا بودن ژنوتیپ‌های بهاره و پاییزه، استفاده کارآمد از رطوبت خاک، هزینه پایین تولید و عملکرد بیشتر روغن در واحد سطح، نسبت به سایر دانه‌های روغنی برتری داشته و می‌تواند برای کاشت در اکثر استان‌های کشور در نظر گرفته شود. بنابراین تحقیق، توسعه و زراعت کلزا گزینه مناسبی برای خودکفایی در تامین روغن نباتی خوراکی مورد نیاز کشور محسوب می‌شود.

اغلب صفات زراعی در کلزا، کمی بوده و توسط تعداد زیادی از ژن‌ها کنترل می‌شوند، بنابراین شناخت ماهیت ژنتیکی و نحوه توارث صفات از مبانی تصمیم‌گیری در انتخاب روش‌های به‌نژادی بوده و با شناسایی صفات، می‌توان بهترین روش‌ها را انتخاب کرده و مطابق با آن، نتایج را پیش‌بینی کرد (Jamshidmoghaddam *et al.*, 2018). ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی، یک روش ارزشمند برای تسهیل در شناسایی والدین برتر در فرایند

بالایی مشاهده شد. در آزمایش مندال و همکاران (Mandal *et al.*, 2023) مقدار هتروزیس میانگین والدین و والد برتر بالا و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی برای عملکرد دانه و اجزای آن قابل توجه بود. نتایج نشان داد که هیبریدهای JD-6 × Pusa Bold، PM 30 × Seeta، PM 22× و PM 24× Kranti، PM 25 × Pusa Bold برای بهره‌برداری در برنامه‌های به‌نژادی بسیار امیدوارکننده هستند.

این آزمایش با هدف ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری و برآورد هتروزیس میانگین والدین و والد برتر در نتاج F1 کلزا برای عملکرد دانه، و صفات مرتبط با عملکرد دانه و محتوای روغن دانه از طریق تلاقی‌های دای آل اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵ دقیقه شرقی به ارتفاع ۱۳/۲ متر از سطح دریا انجام شد. شرایط آب و هوایی منطقه معتدل مرطوب است و خاک محل آزمایش لومی-رسی بود. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲، کشت ارقام کلزا و دورگ‌گیری بین آن‌ها انجام شد. ارقام کلزای مورد استفاده در آزمایش شامل چهار رقم کلزای بهاره آسا، بهاران، دلگان و آر جی اس و چهار رقم کلزای زمستانه زرفام، نیما، اکاپی و اس ال ام ۰۴۶ بودند که از آنها به‌عنوان والدین تلاقی‌ها استفاده شد (جدول ۱). بذر ارقام کلزا از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران تهیه شد. در مرحله گلدهی بوته‌ها، تلاقی‌های بین ارقام بهاره و زمستانه به صورت طرح دای آل یک‌طرفه انجام شد. به‌منظور هم‌زمانی گلدهی برای انجام تلاقی بین ارقام بهاره و زمستانه، کاشت بذرهای والدینی ارقام زمستانه در دو تکرار با تاریخ کاشت‌های مختلف انجام شد. تلاقی‌های بین ارقام با اخته کردن گل‌ها و گرده‌افشانی

کلزا را مورد ارزیابی قرار داده و گزارش کردند که صفات مورد بررسی تحت تاثیر عوامل ژنتیکی افزایشی و غیر افزایشی قرار داشته و اثرات غیر افزایشی به طور ویژه برجسته بودند. بر این اساس به تعویق انداختن گزینش تانسل‌های در حال تفکیک بعدی موثرتر خواهد بود. ماهیت و بزرگی عمل‌ژن، مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی و ترکیب‌پذیری خصوصی، از عوامل مهم در انتخاب والد و تلاقی‌های مطلوب برای ارزیابی هتروزیس هستند (Rahaman, 2016., Alam *et al.*, 2008). افزایش عملکرد دانه بدون افزایش سطح زیر کشت، با استفاده از اثر هتروزیس، سال‌ها است که با موفقیت در به‌نژادی گیاهان زراعی از جمله کلزا استفاده می‌شود. اثر هتروزیس به‌طور فزاینده‌ای به برهمکنش بین ژنوتیپ‌های والدینی وابسته است (Fujimoto *et al.*, 2018). در پدیده هتروزیس، هیبریدهای F1 تولید شده از دو ژنوتیپ غیر مشابه، عملکرد فنوتیپی برتر را در مقایسه با هر یک از والدین نشان می‌دهند (Channa *et al.*, 2018). در آزمایش انجام شده توسط رامنه (Rameeh, 2023) با توجه به اثر مثبت و معنی‌دار هتروزیس برای صفات فنولوژیکی و ارتفاع بوته در والدین کلزای زمستانه، گزارش شد که نتاج F1 دوره رشد کوتاه‌تر و بلوغ زودتری نسبت به والدین داشتند. مندال و کار (Mandal and Kar 2023) در ارزیابی اثر هتروزیس و قابلیت ترکیب‌پذیری برای صفات عملکرد دانه و اجزای آن در خردل هندی، بیشترین هتروزیس برتر از والد را در تلاقی TN-3 X NPJ-112 برای عملکرد دانه گزارش کردند. کاور و همکاران (Kaur *et al.*, 2023) با ارزیابی هتروزیس و قابلیت ترکیب‌پذیری صفات کمی در کلزا با استفاده از تلاقی نیمه دای آل گزارش کردند اکثر صفات، هتروزیس مثبت و معنی‌داری در مقایسه با والدین برتر و شاهد تجاری داشتند. در آزمایش آنان برای عملکرد دانه و اجزای عملکرد در کلیه هیبریدها هتروزیس

صفت مورد ارزیابی، بین والدین و ترکیبات تلاقی ارقام کلزا تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت که این موضوع نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در والدین و ترکیب تلاقی‌ها بود. بر این اساس مرحله بعدی تجزیه دای آلل برای تعیین قابلیت ترکیب پذیری انجام شد. میانگین صفات اندازه-گیری شده در هشت والد و ۲۸ ترکیب تلاقی (F1) کلزا در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج، تعداد شاخه‌های فرعی بیشترین (۱۰/۹۶ درصد) و ارتفاع بوته کمترین (۱/۵۸ سانتی‌متر) ضریب تغییرات را داشتند. بطور کلی میانگین تلاقی‌ها برای کلیه صفات مورد ارزیابی از میانگین والدین بیشتر بود که این موضوع را می‌توان به اثرات بیشتر غیر افزایشی ژن در کنترل صفات نسبت داد. تفاوت میانگین والدین و تلاقی‌ها برای صفات ارتفاع بوته، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و عملکرد دانه بیشتر و برای صفات تعداد شاخه‌های فرعی، طول خورجین، وزن هزار دانه، محتوای روغن و پروتئین دانه کمتر بود.

با توجه به اهمیت عملکرد دانه، ابتدا همبستگی فوتویی بین صفات گیاهی محاسبه شد (جدول ۳). بر اساس ضرایب همبستگی، بین عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، طول ساقه اصلی، تعداد خورجین در ساقه اصلی، وزن هزار دانه همبستگی معنی داری وجود داشت. با توجه به اهمیت بیشتر همبستگی جزئی صفات با عملکرد دانه، با اجرای همبستگی جزئی، شناسایی صفات مهم‌تر انجام شد. نتایج نشان داد که صفات تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، طول ساقه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و روغن دانه همبستگی جزئی معنی داری با عملکرد دانه داشتند (جدول ۴). با توجه به اهمیت بالای این صفات و نقش مهم آنها در عملکرد دانه، در ادامه تنها نتایج مربوط به صفات یاد شده ارائه شده است.

دستی انجام شد. در هر تلاقی ۱۰ تا ۳۶ غنچه گل مورد استفاده قرار گرفت. بذرهاى مربوط به هر تلاقی (F1) و بذرهاى حاصل از بوته‌های مادری به‌طور جداگانه برداشت و ذخیره‌سازی شدند. در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ بذرهاى والدینی (هشت رقم) همراه با نتاج F1 (۲۸ دورگ) مجموعاً ۳۶ ژنوتیپ در سه ردیف دو متری با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف هشت سانتی‌متر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کاشته شدند. کلیه عملیات زراعی از قبیل کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها برای کلیه کرت‌ها به‌طور یکسان انجام شد. صفات فنولوژیک شامل تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی همراه با صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، طول ساقه اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، با برداشت تصادفی پنج بوته از مرکز هر کرت و عملکرد دانه، محتوای روغن و پروتئین دانه در سه تکرار اندازه‌گیری شدند. روغن دانه به روش سوکسله (Soxhlet, 1879)، پروتئین دانه به روش کج‌دال (Kjeldahl, 1883) اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس و ارزیابی تفاوت نتاج F1 و والدین، تجزیه همبستگی (پیرسون) و تجزیه دای آلل با استفاده از روش دوم و مدل یک گریفینگ انجام شد. آزمون معنی دار بودن اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و ترکیب‌پذیری خصوصی با استفاده از روش t-استیودنت انجام شد. هتروزیس میانگین والدین و هتروزیس والد برتر برآورد شد و برای آزمون هتروزیس از روش حداقل اختلاف معنی دار (LSD) استفاده شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای DIALL(1.1) و SPSS (16) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برای کلیه ۱۳

"ارزیابی قابلیت ترکیب پذیری و وراثت پذیری صفات زراعی... صمدی گرجی و همکاران، ۱۴۰۴، ۱۰۹-۹۳"

جدول ۱- مشخصات ارقام والدینی کلزای مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Characteristics of parental rapeseed cultivars used in the experiment

Rapeseed cultivars	ارقام کلزا	Origin	مبدأ	Growth type	نپ رشدی	Plant height	ارتفاع بوته	Flowering	گلدهی	Maturity	رسیدگی
RGS	آر جی اس	Germany	آلمان	Spring	بهاره	Short to medium	کوتاه تا متوسط	Early	زود	Early	زودرس
Asa	آسا	Iran	ایران	Spring	بهاره	Short to medium	کوتاه تا متوسط	Early	زود	Early	زودرس
Baharan	بهاران	Iran	ایران	Spring	بهاره	medium	متوسط	Early to medium	نسبتا زود	Early to medium	زودرس تا میانرس
Dalghan	دلگان	Iran	ایران	Spring	بهاره	medium	متوسط	Early to medium	نسبتا زود	Early to medium	زودرس تا میانرس
Zarfam	زرغام	Iran	ایران	Winter	زمستانه	Medium to tall	متوسط تا بلند	Medium	متوسط	Medium to late	میانرس تا دیررس
Nima	نیما	Iran	ایران	Winter	زمستانه	Medium to tall	متوسط تا بلند	Medium to late	متوسط تا دیر	Late	دیررس
SLM046	اس ال ام ۰۴۶	Germany	آلمان	Winter	زمستانه	Medium to tall	متوسط تا بلند	Medium to late	متوسط تا دیر	Late	دیررس
Okapi	اکاپی	French	فرانسه	Winter	زمستانه	Medium to tall	متوسط تا بلند	late	دیر	Late	دیررس

جدول ۲- میانگین صفات گیاهی والدین و نتاج F1 در کلزا

Table 2. Mean of plant traits in parents and F1 rapeseed

Plant traits	صفات گیاهی	میانگین والدین Mean of parents	میانگین تلاقی Mean of F1	میانگین کل Mean total	ضریب تغییرات CV (%)
Days to flowering	روز تا گلدهی	136.5	141.5	140.4	1.73
Days to maturity	روز تا رسیدگی	211.8	215.7	214.8	4.51
Plant height (cm)	ارتفاع بوته	140.8	155.6	152.3	1.58
Length of main stem (cm)	طول ساقه اصلی	46.9	54.4	52.8	4.36
No. lateral branches	تعداد شاخه‌های فرعی	6.7	7.8	7.6	10.96
No. silique.main stem ⁻¹	تعداد خورجین در ساقه اصلی	37.0	46.0	44.0	5.05
No. silique. lateral branches ⁻¹	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی	217.2	259.8	250.3	8.37
Silique length (cm)	طول خورجین	6.1	6.1	6.1	6.99
No. seed.silique ⁻¹	تعداد دانه در خورجین	24.1	25.4	25.1	4.07
1000 seed weight (g)	وزن هزار دانه	4.3	4.49	4.45	5.73
Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه	1488.3	1822.8	1748.5	8.86
Seed oil content (%)	روغن دانه	47.5	48.4	48.2	2.78
Seed protein content (%)	پروتئین دانه	13.9	14.0	13.9	2.27

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات گیاهی در ارقام کلزا

Table 3. Correlation coefficients between plant traits of rapeseed cultivars

Plant traits	صفات گیاهی	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	طول ساقه اصلی Length of main stem	تعداد شاخه‌های فرعی No. lateral branches	تعداد خورجین در ساقه اصلی No. silique.main stem ⁻¹	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی No. silique.lateral branches ⁻¹	طول خورجین Silique length	تعداد دانه در خورجین No. seed.silique ⁻¹	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	روغن دانه Seed oil content
Days to maturity	روز تا رسیدگی	0.433**	1										
Plant height	ارتفاع بوته	0.313**	0.250**	1									
Length of main stem	طول ساقه اصلی	-0.544**	-0.289**	0.156	1								
No. lateral branches	تعداد شاخه‌های فرعی	0.521**	0.266**	0.372**	-0.202*	1							
No. silique.main stem ⁻¹	تعداد خورجین در ساقه اصلی	-0.346**	-0.130	0.307**	0.688**	-0.005	1						
No. silique.lateral branches ⁻¹	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی	0.572**	0.335**	0.338**	-0.269**	0.715**	0.065	1					
Silique length	طول خورجین	-0.147	-0.103	0.136	0.133	0.046	0.160	0.152	1				
No. seed.silique ⁻¹	تعداد دانه در خورجین	-0.098	-0.047	0.122	0.326**	0.009	0.232*	0.042	0.276**	1			
1000 seed weight	وزن هزار دانه	0.005	-0.110	0.231*	0.115	0.112	-0.004	0.061	0.115	-0.127	1		
Seed yield	عملکرد دانه	-0.234*	0.014	0.359**	0.499**	0.107	0.547**	0.111	0.213*	0.049	0.197*	1	
Seed oil content	روغن دانه	0.406**	0.220*	0.123	-0.301**	0.131	-0.106	0.104	-0.203*	0.005	-0.156	-0.071	1
Seed protein content	پروتئین دانه	-0.050	-0.107	0.045	0.045	0.068	0.087	-0.051	0.083	-0.077	-0.118	0.047	-0.029

*, **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- ضرایب همبستگی جزئی عملکرد دانه با سایر صفات گیاهی در ارقام کلزا

Table 4. Partial correlation coefficients between seed yield and other plant traits of rapeseed cultivars

Seed yield	عملکرد دانه	روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	طول ساقه اصلی Length of main stem	تعداد شاخه‌های فرعی No. lateral branches	تعداد خورجین در ساقه اصلی No. silique.main stem ⁻¹	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی No. silique.lateral branches ⁻¹	طول خورجین Silique length	تعداد دانه در خورجین No. seed.silique ⁻¹	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	روغن دانه Seed oil content	پروتئین دانه Seed protein content
0.448**	0.437**	-0.507**	0.565**	-0.268**	0.619**	-0.102	-0.089	-0.054	0.401**	-0.040		

۵۰ درصد گلدهی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و محتوای روغن دانه بیشتر بود.

مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی عملکرد دانه و صفات دارای همبستگی جزئی معنی‌دار با آن نشان داد که ارقام والدینی برای اغلب صفات، دارای ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌داری در جهت مثبت و یا منفی بودند (جدول ۵). صفات زودرسی و ارتفاع بوته کمتر در کلزا در اولویت قرار دارند و ارقام و تلاقی‌های با مقادیر منفی بیشتر، برای قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی این صفات، برای اهداف به‌نژادی مطلوب هستند. نتایج نشان داد که ارقام آرچی‌اس و زرفام از نظر تعداد روز تا رسیدگی دارای ترکیب‌پذیری عمومی بالایی در جهت منفی بودند. تلاقی بهاران×زرفام نیز دارای ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌دار برای این صفت بود. از نظر صفت ارتفاع بوته نیز ارقام آرچی‌اس و دلگان ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری داشتند. ترکیب‌پذیری خصوصی در تلاقی‌های آرچی‌اس×آسا، بهاران×کاپی، دلگان×زرفام، دلگان×کاپی، زرفام×نیما و نیما×کاپی به صورت منفی و معنی‌دار مشاهده شد. در آزمایش قلی‌زاده سرچشمه و همکاران (Gholizadeh Sarcheshmeh *et al.*, 2024) ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی منفی و معنی‌دار بین والدها و تلاقی‌ها در ارتفاع بوته و رسیدگی فیزیولوژیک ارقام کلزا گزارش شد. در آزمایش حاضر از لحاظ طول ساقه اصلی در شش رقم ترکیب‌پذیری معنی‌داری در جهت مثبت و منفی مشاهده شد. رقم بهاران بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری در جهت مثبت و رقم نیما بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری در جهت منفی را داشتند. با توجه به همبستگی مثبت عملکرد دانه با تعداد شاخه‌های فرعی، ارقام نیما و اس‌ال‌ام ۴۶ با دارا بودن بیشترین ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار به‌عنوان بهترین و ارقام آرچی‌اس و زرفام با بالاترین ترکیب‌پذیری منفی به‌عنوان نامناسب‌ترین ارقام برای این صفت شناخته شدند.

نتایج حاصل از تجزیه ژنتیکی صفات گیاهی مورد مطالعه در ارقام و نتاج کلزا با استفاده از روش دوم و مدل یک‌گرفینگ نشان داد که میانگین مربعات قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی برای کلیه صفات معنی‌دار بوده و به‌نظر می‌رسد که جزء افزایشی و غیر افزایشی در وراثت کلیه صفات نقش دارند. نسبت معنی‌دار میانگین مربعات قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی به میانگین مربعات قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی برای کلیه صفات به جز محتوای روغن دانه، نشان دهنده اهمیت اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات است. میزان وراثت‌پذیری خصوصی (h^2) بین حداقل ۰/۲۸ برای محتوای روغن دانه تا حداکثر ۰/۴۹ برای صفات تعداد روز تا رسیدگی و طول ساقه اصلی متغیر بود. با توجه به اینکه مقدار وراثت‌پذیری خصوصی برای اکثر صفات نسبتاً پایین بود، به‌نظر می‌رسد که اثر محیط بر این صفات بالا بوده و بیشترین تاثیر محیطی را می‌توان در صفت محتوای روغن دانه مشاهده نمود. میزان غالبیت در اکثر صفات بالا بوده و بیشترین میزان غالبیت (D) در محتوای روغن دانه ۲/۲۸ و کمترین مقدار آن در تعداد روز تا رسیدگی (۰/۷۱) مشاهده شد. وراثت‌پذیری خصوصی پایین و درجه غالبیت بالا برای اکثر صفات نشان می‌دهد که اثرات غیر افزایشی نیز در کنترل این صفات نقش قابل توجهی دارند. ژنی و همکاران (Xie *et al.*, 2018) و رامئه (Rameeh, 2016) اهمیت بیشتر اثرات افزایشی ژن در وراثت تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد شاخه‌های فرعی، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و محتوای روغن دانه را گزارش کرده‌اند. چانا و همکاران (Channa *et al.*, 2018)، دزفولی و همکاران (Dezfouli *et al.*, 2019)، مندال و همکاران (Mandal *et al.*, 2023) و الشرارای و همکاران (Alsharari *et al.*, 2023) گزارش کردند که اثرات غیر افزایشی ژن در کنترل صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا

معنی دار، به عنوان ترکیبات برتر برای این صفت شناخته شدند. از نظر عملکرد دانه، ارقام دلگان و آسا دارای بهترین ترکیب پذیری بودند. تلاقی‌های بهاران×زرغام، دلگان×اس‌ال‌ام۰۴۶، دلگان×اکاپی و نیما×اکاپی نیز مقادیر بالای ترکیب پذیری خصوصی مثبت و معنی دار را داشتند (جدول ۶).

ارزیابی هتروزیس میانگین والدین (هتروزیس استاندارد، Ht) و هتروزیس والد برتر (هتروبلشیوزیس، Htb) برآورد شده برای تلاقی‌های کلزای مورد بررسی نشان داد که مقادیر هتروزیس میانگین والدین بالاتر از هتروزیس والد برتر بود (جدول ۷). میزان هتروزیس میانگین والدین برای تعداد روز تا رسیدگی در پنج تلاقی به صورت مثبت و معنی دار مشاهده شد. در صورتی که هتروزیس والد برتر برای این صفت تنها در تلاقی آرجی‌اس×بهاران (Htb = -۱۶/۱۰۰) به صورت معنی دار و در جهت منفی مشاهده شد. با توجه به اینکه هتروزیس منفی برای تعداد روز تا رسیدگی برای تولید هیبریدها و ارقام زودرس مطلوب است، این تلاقی دارای اولویت خواهد بود. سعید و همکاران (Saeed et al., 2013) هتروزیس میانگین والدین و والد برتر منفی بسیار معنی داری برای روز تا ۵۰ درصد گلدهی و هتروزیس میانگین والدین منفی برای روز تا رسیدگی در کلزا گزارش کردند. پاکوتاهی به دلیل ایجاد افزایش تحمل به خوابیدگی بوته و کودپذیری بالاتر، از جمله صفات مطلوب در کلزا است. با توجه به مطلوبیت ارتفاع بوته کمتر در کلزا، تلاقی‌های با هتروزیس منفی و معنی دار در اولویت خواهند بود. در این رابطه هتروزیس میانگین والدین در تلاقی آرجی‌اس×آسا با Ht = -۶/۹۳ و هتروزیس والد برتر در تلاقی‌های آرجی‌اس×آسا (Htb = -۲۳/۳۰) و آرجی‌اس×زرغام (Htb = -۸/۷۳) به صورت معنی دار و منفی مشاهده شد. بنابراین تلاقی آرجی‌اس×آسا با توجه به مقدار بالا و بسیار معنی دار در جهت منفی هر دو نوع هتروزیس، دارای اهمیت بوده و به نظر می‌رسد

تلاقی‌های دلگان×اکاپی، آسا×اس‌ال‌ام۰۴۶ و نیما×اکاپی با داشتن ترکیب پذیری مثبت معنی دار، به عنوان ترکیبات برتر برای صفت شناخته شدند. در بررسی تعداد خورجین در ساقه اصلی رقم بهاران با داشتن بیشترین میزان ترکیب پذیری عمومی معنی دار در جهت مثبت، به عنوان بهترین رقم ترکیب شونده جهت افزایش تعداد خورجین در ساقه اصلی و رقم نیما با داشتن ترکیب پذیری بالای منفی، به عنوان نامناسب‌ترین رقم شناخته شد. ترکیب پذیری خصوصی برای تعداد خورجین در ساقه اصلی در اکثر تلاقی‌ها بصورت مثبت و منفی معنی دار بوده و تلاقی‌های اس‌ال‌ام۰۴۶×اکاپی، آسا×زرغام و آسا×بهاران با داشتن بالاترین میزان ترکیب پذیری در جهت مثبت و افزایش این صفت دارای اولویت هستند. از لحاظ تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، با توجه به همبستگی مثبت آن با عملکرد دانه، ارقام نیما، اس‌ال‌ام۰۴۶ و اکاپی ترکیب پذیرتر از بقیه در جهت مثبت بودند. ترکیب پذیری خصوصی در هشت ترکیب تلاقی‌ها برای تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی به صورت مثبت و معنی دار مشاهده شد. اغلب تلاقی‌های با ترکیب پذیری خصوصی مثبت و معنی دار برای این صفت دارای حداقل یک والد با ترکیب پذیری عمومی مثبت معنی دار بودند. در آزمایش رامنه (Rameeh, 2016)، ترکیب پذیری خصوصی معنی داری برای صفت تعداد خورجین در بوته گزارش شد که اغلب تلاقی‌های با ترکیب پذیری خصوصی مثبت و معنی دار، دارای حداقل یک والد با ترکیب پذیری عمومی مثبت و معنی دار بودند. با توجه به مطلوب بودن مقادیر مثبت ترکیب پذیری محتوای روغن دانه و با در نظر گرفتن همبستگی مثبت آن با عملکرد دانه، ارقام آرجی‌اس، آسا و اکاپی در ردیف والد‌های مطلوب برای بهبود این صفت قرار داشتند. همچنین تلاقی‌های آرجی‌اس×آسا، آسا×نیما، بهاران×زرغام، نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶ و نیما×اکاپی با داشتن مقادیر بالای ترکیب پذیری خصوصی مثبت و

"ارزیابی قابلیت ترکیب پذیری و وراثت پذیری صفات زراعی... صمدی گرجی و همکاران، ۱۴۰۴، ۱۰۹-۹۳"

جدول ۵- ترکیب پذیری عمومی عملکرد دانه و اجزای عملکرد در ارقام والدینی کلزا

Table 5. General combining ability of seed yield and yield components in parental rapeseed cultivars

Plant traits	صفات گیاهی	آرجی اس RGS	آسا Asa	بهاران Baharan	دلگان Dalgan	زرغام Zarfam	نیما Nima	اس ال ام ۰۴۶ SLM046	اکاپی Okapi	خطای معیار SE(gi)
Days to maturity	روز تا رسیدگی	-5.90**	-1.66 ^{ns}	-0.53 ^{ns}	-0.90 ^{ns}	-6.16**	6.30	2.96 ^{ns}	5.90**	1.65
Plant height	ارتفاع بوته	-14.52**	5.10**	0.53 ^{ns}	-1.70**	1.84**	1.52	6.46**	0.72 ^{ns}	0.41
Length of main stem	طول ساقه اصلی	2.94**	0.28 ^{ns}	7.26**	6.37**	-0.24 ^{ns}	-8.68	-3.53**	-4.38**	0.39
No. lateral branches	تعداد شاخه های فرعی	-0.55**	-0.07 ^{ns}	-0.41**	-0.24 ^{ns}	-0.42**	0.98	0.31*	0.42 ^{ns}	0.14
No. silique.main stem ⁻¹	تعداد خورجین در ساقه اصلی	-1.11**	1.70**	7.41**	2.98**	-2.07**	-6.95	0.28 ^{ns}	-2.24**	0.37
No. silique.lateral branches ⁻¹	تعداد خورجین در شاخه های فرعی	-70.38**	-8.34*	-21.24**	-18.09**	-33.56**	73.31	36.27**	42.03**	3.58
Seed yield	عملکرد دانه	-216.33**	256.33**	13.00 ^{ns}	397.66**	-113.00**	-259.00	-35.00 ^{ns}	-43.66 ^{ns}	26.45
Seed oil content	روغن دانه	1.39**	2.42**	-0.61**	-2.83**	0.32 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-1.25**	0.57*	0.22

ns, *, **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۶- ترکیب پذیری خصوصی عملکرد دانه و اجزای عملکرد در تلاقی‌های کلزا

Table 6. Specific combining ability of seed yield and yield components in rapeseed crosses

Crosses	تلاقی‌ها	روز تا رسیدگی	ارتفاع بوته	طول ساقه اصلی	تعداد شاخه‌های فرعی	تعداد خورجین در ساقه اصلی	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی	عملکرد دانه Seed yield	روغن دانه Seed oil content
		Days to maturity	Plant height	Length of main stem	No. lateral branches	No. silique. main stem ⁻¹	No. silique.lateral branches ⁻¹		
RGS×Asa	آرجی اس×آسا	-4.28 ^{ns}	-20.02**	-6.55**	0.18 ^{ns}	1.13 ^{ns}	-6.72 ^{ns}	-268.51**	4.68**
RGS×Baharan	آرجی اس×بهاران	-10.08 ^{ns}	4.36**	2.02 ^{ns}	0.56 ^{ns}	0.02 ^{ns}	7.61 ^{ns}	174.81*	0.53 ^{ns}
RGS×Dalgan	آرجی اس×دلگان	-4.05 ^{ns}	7.55**	14.92**	0.12 ^{ns}	5.25**	5.76 ^{ns}	390.14**	2.84**
RGS× Zarfam	آرجی اس×زرغام	8.88 ^{ns}	1.07 ^{ns}	6.24**	-1.09*	-0.82 ^{ns}	-5.06 ^{ns}	167.48*	-3.9**
RGS× Nima	آرجی اس×نیمما	1.41 ^{ns}	16.76**	1.54 ^{ns}	0.86*	3.12**	-51.04**	40.14 ^{ns}	-0.76 ^{ns}
RGS× SLM046	آرجی اس×اس ال ام ۰۴۶	-0.25 ^{ns}	2.53*	3.44**	0.09 ^{ns}	-2.04 ^{ns}	-56.07**	-310.51**	1.96**
RGS× Okapi	آرجی اس×اکاپی	5.81 ^{ns}	7.36**	2.47*	-0.47 ^{ns}	-2.38*	-43.66**	-268.51**	1.54*
Asa×Baharan	آسا×بهاران	0.68 ^{ns}	5.07**	-1.98 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	10.11**	-58.73**	68.81 ^{ns}	-1.69*
Asa×Dalgan	آسا×دلگان	4.38 ^{ns}	0.29 ^{ns}	-11.62**	0.68 ^{ns}	-17.86**	-44.87**	-175.85*	-2.68**
Asa× Zarfam	آسا×زرغام	6.31 ^{ns}	12.34**	7.96**	-0.40 ^{ns}	13.33**	-14.70 ^{ns}	241.48**	-0.5 ^{ns}
Asa× Nima	آسا×نیمما	1.18 ^{ns}	13.26**	5.49**	0.21 ^{ns}	4.18**	-24.22*	434.14**	6.1**
Asa× SLM046	آسا×اس ال ام ۰۴۶	-2.81 ^{ns}	5.36**	8.87**	1.75**	5.14**	100.68**	63.48 ^{ns}	1.77*
Asa× Okapi	آسا×اکاپی	1.58 ^{ns}	16.37**	7.96**	0.37 ^{ns}	0.23 ^{ns}	48.12**	252.14**	-5.38**
Baharan×Dalgan	بهاران×دلگان	-0.08 ^{ns}	0.41 ^{ns}	5.89**	1.12*	8.62**	125.48**	14.14 ^{ns}	-1.04 ^{ns}
Baharan×Zarfam	بهاران×زرغام	12.51*	4.23**	2.11 ^{ns}	0.03 ^{ns}	1.08 ^{ns}	8.42 ^{ns}	531.48**	7.6**
Baharan×Nima	بهاران×نیمما	0.04 ^{ns}	9.02**	1.88 ^{ns}	0.55 ^{ns}	3.50**	69.60**	-255.85**	1.34 ^{ns}
Baharan×SLM046	بهاران×اس ال ام ۰۴۶	-0.61 ^{ns}	-1.38 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.56 ^{ns}	-1.93 ^{ns}	97.41**	-53.18 ^{ns}	-5.18**
Baharan×Okapi	بهاران×اکاپی	-3.55 ^{ns}	-4.77**	1.48 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-5.87**	-65.41**	-144.51 ^{ns}	-4.44**
Dalgan ×Zarfam	دلگان×زرغام	5.54 ^{ns}	-8.57**	-10.16**	-0.59 ^{ns}	-2.72*	-27.78*	20.14 ^{ns}	-1.78*
Dalgan ×Nima	دلگان×نیمما	0.41 ^{ns}	11.34**	-0.62 ^{ns}	-0.47 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-56.00**	-347.18**	-3.74**
Dalgan×SLM046	دلگان×اس ال ام ۰۴۶	-3.58 ^{ns}	8.97**	-0.88 ^{ns}	0.02 ^{ns}	5.79**	-35.92**	635.48**	2.49**
Dalgan ×Okapi	دلگان×اکاپی	0.81 ^{ns}	-2.82*	8.91**	1.58**	8.11**	85.31**	764.14**	1.17 ^{ns}
Zarfam×Nima	زرغام×نیمما	7.01 ^{ns}	-10.07**	-6.00**	0.30 ^{ns}	-8.77**	13.43 ^{ns}	-323.18**	-3.09**
Zarfam×SLM046	زرغام×اس ال ام ۰۴۶	2.01 ^{ns}	16.08**	6.96**	0.27 ^{ns}	3.01*	6.17 ^{ns}	399.48**	0.54 ^{ns}
Zarfam ×Okapi	زرغام×اکاپی	2.08 ^{ns}	-1.97 ^{ns}	-9.77**	0.70 ^{ns}	-2.32*	-35.71**	-431.85**	-0.18 ^{ns}
Nima×SLM046	نیمما×اس ال ام ۰۴۶	-2.11 ^{ns}	5.04**	11.53**	-0.40 ^{ns}	4.66**	-11.44 ^{ns}	32.14 ^{ns}	4.58**
Nima ×Okapi	نیمما×اکاپی	-5.05 ^{ns}	-3.18*	-1.73 ^{ns}	1.28**	7.19**	160.63**	480.81**	4.35**
SLM046×Okapi	اس ال ام ۰۴۶×اکاپی	-0.38 ^{ns}	-2.42 ^{ns}	-2.40*	-0.37 ^{ns}	16.35**	73.43**	-49.85 ^{ns}	-1.4*
SE(sij)	خطای معیار	5.07	1.25	1.20	0.43	1.16	10.97	81.09	0.70

ns, *, **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

که عمل ژن در این تلاقی به صورت فوق غالبیت بوده است. رامنه (Rameeh, 2023) در یک آزمایش اثرات منفی و مثبت معنی دار هتروزیس برای ارتفاع بوته، به ترتیب در والدین بهاره و زمستانه کلزا گزارش کرد. در ارزیابی صفت طول ساقه اصلی، میزان هتروزیس میانگین والدین و والد برتر در اکثر تلاقی ها به صورت مثبت و منفی معنی دار بود که این موضوع نشان دهنده وجود عمل ژن غالبیت و غالبیت نسبی است. عدم معنی دار بودن هر دو هتروزیس در تعدادی از تلاقی ها می تواند به دلیل وجود عمل ژن غیر افزایشی در بروز این صفت باشد. بیشترین میزان هتروزیس میانگین والدین در تلاقی های دلگان × آرجی اس ($H_t = 22/25$) و آسا × اس ال ام ۰۴۶ ($H_t = 18/00$) مشاهده شد. از نظر تعداد شاخه های فرعی، ۱۰ تلاقی هتروزیس میانگین والدین و شش تلاقی هتروزیس والد برتر را به صورت مثبت و معنی دار نشان دادند. از بین این تلاقی ها، چهار تلاقی آسا × اس ال ام ۰۴۶ ($H_t = 2/86$ و $H_t = 2/33$)، بهاران × دلگان ($H_t = 2/36$ و $H_t = 2/20$)، دلگان × اکاپی ($H_t = 2/96$ و $H_t = 2/43$) و نیمما × اکاپی ($H_t = 2/63$ و $H_t = 1/90$)، با توجه به مقادیر بالا و بسیار معنی دار هر دو نوع هتروزیس دارای الویت شناخته شدند و بر این اساس نوع عمل ژن فوق غالبیت برای آنها پیشنهاد می شود. در آزمایش کاور و همکاران (Kaur et al., 2023) در کلزا از ۱۰ تلاقی، هشت هیبرید F1 هتروزیس میانگین والدین و والد برتر مثبت و معنی دار برای تعداد شاخه های اولیه را نشان دادند.

دامنه هتروزیس میانگین والدین برای تعداد خورجین در ساقه اصلی ۱۲/۰۵- تا ۲۹/۴۳ درصد بود. تمام تلاقی ها به جز آسا × دلگان و زرفام × نیمما هتروزیس مثبت و معنی داری داشتند و بیشترین مقدار آن در تلاقی اس ال ام ۰۴۶ × اکاپی ($H_t = 29/43$) به دست آمد. دامنه هتروزیس والد برتر در نیمی از تلاقی ها ۱۵/۶۶- تا ۲۹/۳۳ درصد به صورت مثبت و منفی معنی دار بود و تلاقی اس ال ام ۰۴۶ × اکاپی ($H_t = 29/33$) بیشترین

مقدار را داشت. از لحاظ تعداد خورجین در ساقه فرعی در ۱۲ ترکیب تلاقی، هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی دار بود. تلاقی های نیمما × اکاپی ($H_t = 241/55$)، بهاران × اس ال ام ۰۴۶ ($H_t = 188/08$) و اس ال ام ۰۴۶ × اکاپی ($H_t = 172/08$) با بیشترین مقدار هتروزیس برای بهبود این صفت دارای اولویت شناخته شدند. علاوه بر این، هتروزیس والد برتر در هفت تلاقی به صورت مثبت و معنی دار مشاهده شد و تلاقی های نیمما × اکاپی ($H_t = 179/83$) و اس ال ام ۰۴۶ × اکاپی ($H_t = 166/33$) بیشترین میزان هتروزیس را داشتند. هتروزیس میانگین والدین از لحاظ عملکرد دانه در اکثر تلاقی ها به صورت مثبت و معنی دار بود. تلاقی های دلگان × اس ال ام ۰۴۶ ($H_t = 114/00$) و دلگان × اکاپی ($H_t = 124/00$) بیشترین میزان هتروزیس میانگین والدین را داشتند. هتروزیس والد برتر نیز در نه تلاقی به صورت مثبت و معنی دار مشاهده شد و تلاقی های دلگان × اکاپی ($H_t = 973/33$)، دلگان × اس ال ام ۰۴۶ ($H_t = 680/00$)، زرفام × اس ال ام ۰۴۶ ($H_t = 853/33$)، بهاران × زرفام ($H_t = 573/33$) و نیمما × اکاپی ($H_t = 566/66$) بیشترین میزان هتروزیس را داشتند. نتایج آزمایش های انجام شده در کلزا نشان دهنده هتروزیس مثبت و منفی معنی دار برای عملکرد دانه بوده است. کاور و همکاران (Kaur et al., 2023) با ارزیابی هتروزیس و ترکیب پذیری صفات کمی کلزا، در ده ترکیب تلاقی، هتروزیس والد برتر مثبت معنی داری را برای عملکرد دانه گزارش کردند و هیچ یک از ترکیبات تلاقی، هتروزیس منفی معنی داری نسبت به والد برتر نداشتند. نسیم و همکاران (Nasim and Farhatullah, 2013) هتروزیس والد برتر قابل توجهی را برای ۱۴ هیبرید کلزا با دامنه ۲۵/۹ تا ۱۴۵/۸ درصد گزارش کردند. در آزمایش مرجانوویچ-جروملا و همکاران (Marjanovic-Jeromela et al., 2007) اثرات مثبت و منفی هتروزیس برای عملکرد دانه گزارش شد.

هتروزیس مثبت در محتوای روغن دانه برای دستیابی به ارقام با روغن بالا مطلوب است. در آزمایش حاضر برای محتوای روغن دانه، اغلب تلاقی‌ها هتروزیس میانگین والدین و هتروزیس والد برتر معنی‌دار مثبت و منفی داشتند و بیشترین میزان هتروزیس میانگین والدین در تلاقی‌های آسا×نیما ($Ht=8/86$) و نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶ ($Ht=7/96$) بود. تلاقی‌های نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶ ($Htb=6/00$) و بهاران×زرغام ($Htb=7/73$) بیشترین میزان هتروزیس والد برتر را داشتند، بنابراین این تلاقی‌ها با دارا بودن هتروزیس مثبت و معنی‌دار برای روغن دانه در زمره تلاقی‌های برتر قرار گرفتند. وجود هتروزیس مثبت و منفی برای روغن دانه با نتایج آزمایش شاه و همکاران (Shah et al., 2023) مطابقت دارد. آنها بیشترین مقدار هتروزیس میانگین والدین ($6/5$) را برای تلاقی 2702×2722 و کمترین مقدار آن را به صورت منفی ($-2/3$) برای تلاقی $P1-801 \times P1-119$ گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری یکی از روش‌های اصلی شناسایی ژنوتیپ‌های امیدبخش گیاهان زراعی است. انتخاب بر اساس هتروزیس دورگ‌ها در انتخاب از طریق قابلیت ترکیب‌پذیری در صفات با ارزش اقتصادی، از جمله زودرسی و عملکرد دانه ضروری است. در آزمایش حاضر نتیجه واریانس‌های قابل توجه ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای کلیه صفات نشان داد که هر دو اثر ژن افزایشی و غیر افزایشی در بیان ژنتیکی صفات نقش داشتند. با توجه به پایین بودن قابلیت توارث خصوصی و درجه غالبیت بیشتر از یک برای اکثر صفات، اهمیت بیشتر اثر ژن غیر افزایشی در کنترل این صفات بیشتر نمود داشت، بنابراین امکان‌پذیر است که ترکیب‌های مناسب در نسل‌های اولیه برای این صفات وجود ندارد. برای بهبود این صفات در نسل‌های در حال تفکیک باید از گزینش غیرمستقیم

صفاتی که با عملکرد دانه همبستگی مثبت دارند، استفاده کرد. به‌علاوه از اثرات غیرافزایشی ژن‌ها در بروز هتروزیس نیز می‌توان استفاده کرد. نتایج نشان داد که قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی در ارقام کلزای والدینی برای هر صفت به طور قابل توجهی متفاوت بود، بطوری که والدین برای اغلب صفات، دارای ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌داری در جهت مثبت و یا منفی بودند. به‌طور کلی برخی از ارقام در بعضی صفات ترکیب‌پذیرتر از سایر ارقام بودند، اما برای صفات دیگر نامناسب بودند. زودرسی همراه با عملکرد دانه بالا از ویژگی‌های مطلوب در کلزا هستند و انتخاب ارقام زودرس برای اجتناب از تنش‌های زنده و غیر زنده انتهای فصل اولویت دارند. قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای تعداد روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته (به‌طور همزمان)، فقط در رقم RGS آرچی‌اس مشاهده شد، بنابراین می‌توان از این رقم به عنوان منبع آلل‌های مطلوب برای دستیابی به زودرسی و ارتفاع بوته کوتاه‌تر استفاده کرد. به‌علاوه تلاقی آرچی‌اس×آسا با توجه به ترکیب‌پذیری خصوصی بالا و معنی‌دار منفی و ضمناً دارا بودن هر دو نوع هتروزیس معنی‌دار و منفی، از نظر کاهش ارتفاع بوته دارای اولویت شناخته شد. ارزیابی کل تلاقی‌ها در کلیه صفات مرتبط با عملکرد دانه نشان داد که ارقام دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت بالا، تلاقی‌های مناسبی برای بعضی از صفات و تلاقی‌های نامناسبی برای سایر صفات بودند. به‌طوری که ارقام نیما، اکاپی و دلگان با وجود ترکیب‌پذیری عمومی نامناسب برای بعضی از صفات، والدین مناسبی برای تلاقی‌ها در اکثر صفات بودند. بهترین تلاقی‌ها از نظر قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی دلگان×اکاپی و نیما×اکاپی بودند. نتایج برآورد هتروزیس نشان داد که این تلاقی‌ها مقادیر هتروزیس میانگین والدین و والد برتر مثبت و معنی‌داری برای عملکرد دانه و اکثر صفات مورد ارزیابی داشتند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که با گزینش در

"ارزیابی قابلیت ترکیب پذیری و وراثت پذیری صفات زراعی... صمدی گرجی و همکاران، ۱۴۰۴، ۱۰۹-۹۳"

جدول ۷- هتروزیس میانگین والدین (Ht) و هتروزیس والد برتر (Htb) در تلاقی‌های دای آلل یک طرفه هشت رقم کلزا

crosses of eight rapeseed cultivars Table 7. Heterosis mid parents (Ht) and superior parents (Htb) in one-way diallel

Crosses	تلاقی‌ها	روز تا رسیدگی		ارتفاع بوته		طول ساقه اصلی		تعداد شاخه‌های فرعی		تعداد خورجین در ساقه اصلی		تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی		عملکرد دانه		روغن دانه	
		Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb
RGS×Asa	آرجی اس×آسا	-3.16 ^{ns}	-5.00 ^{ns}	-6.93 ^{**}	-23.30 ^{**}	2.00 ^{ns}	1.16 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.80 ^{ns}	6.28 ^{**}	6.10 ^{**}	-44.13 [*]	-69.00 ^{**}	-133.33 ^{ns}	-433.33 ^{**}	6.98 ^{**}	4.80 ^{**}
RGS×Baharan	آرجی اس×بهاران	-11.00 ^{ns}	-16.00 [*]	13.51 ^{***}	-2.23 ^{ns}	11.15 ^{**}	3.90 ^{**}	1.25 ^{ns}	0.83 ^{ns}	4.98 ^{**}	-0.73 ^{ns}	16.41 ^{ns}	-17.83 ^{ns}	240.00 ^{ns}	113.33 ^{ns}	1.53 ^{ns}	1.10 ^{ns}
RGS×Dalgan	آرجی اس×دلگان	-3.83 ^{ns}	-7.33 ^{ns}	16.76 ^{**}	3.33 ^{ns}	22.55 ^{**}	14.70 ^{**}	0.81 ^{ns}	0.56 ^{ns}	8.06 ^{**}	4.63 ^{**}	-18.53 ^{ns}	-20.53 ^{ns}	696.66 ^{**}	426.66 ^{**}	3.88 ^{**}	2.06 ^{ns}
RGS×Zarfam	آرجی اس×زرغام	19.33 [*]	7.33 ^{ns}	9.26 ^{**}	-8.73 ^{**}	11.60 ^{**}	8.10 ^{**}	-1.21 ^{ns}	-1.60 [†]	0.95 ^{ns}	0.36 ^{ns}	-56.16 ^{**}	-69.50 ^{**}	300.00 [†]	233.33 ^{ns}	-2.51 [*]	-3.50 ^{**}
RGS×Nima	آرجی اس×نیمیا	1.50 ^{ns}	-9.33 ^{ns}	32.21 ^{***}	21.80 ^{**}	10.58 ^{**}	1.96 ^{ns}	1.51 [†]	0.50 ^{ns}	7.61 ^{**}	-0.56 ^{ns}	-63.10 ^{**}	-144.26 ^{**}	36.66 ^{ns}	-40.00 ^{ns}	3.15 ^{**}	1.26 ^{ns}
RGS×SLM046	آرجی اس×اس‌ال‌ام ۰۴۶	-2.83 ^{ns}	-13.00 ^{ns}	16.01 ^{**}	-1.33 ^{ns}	16.06 ^{**}	9.00 ^{**}	0.65 ^{ns}	0.20 ^{ns}	6.78 ^{**}	1.50 ^{ns}	-49.80 ^{**}	-75.60 ^{**}	-150.00 ^{ns}	-166.66 ^{ns}	4.88 ^{**}	2.76 [†]
RGS×Okapi	آرجی اس×اکاپی	5.50 ^{ns}	-5.33 ^{ns}	14.41 ^{**}	-3.60 ^{ns}	9.70 ^{**}	7.2 ^{**}	0.35 ^{ns}	0.06 ^{ns}	4.01 ^{**}	-1.36 ^{ns}	-25.28 ^{ns}	-44.73 [*]	-136.66 ^{ns}	-140.00 ^{ns}	2.18 ^{ns}	0.20 ^{ns}
Asa×Baharan	آسا×بهاران	2.16 ^{ns}	-1.00 ^{ns}	163.06 ^{**}	17.48 ^{**}	3.65 ^{ns}	-2.76 ^{ns}	0.96 ^{ns}	0.63 ^{ns}	18.06 ^{**}	12.16 ^{**}	-12.75 ^{ns}	-71.86 ^{**}	306.66 [*]	133.33 ^{ns}	-1.85 ^{ns}	-3.60 ^{**}
Asa×Dalgan	آسا×دلگان	7.00 ^{ns}	5.33 ^{ns}	156.03 ^{**}	12.76 ^{**}	-7.48 ^{**}	-14.50 ^{**}	1.93 ^{**}	1.76 [*]	-12.05 ^{**}	-15.66 ^{**}	-32.00 ^{ns}	-54.86 ^{**}	303.33 [*]	273.33 ^{ns}	-2.80 [*]	-6.80 ^{**}
Asa×Zarfam	آسا×زرغام	19.16 [*]	5.33 ^{ns}	171.63 ^{**}	23.80 ^{**}	9.83 ^{**}	7.16 ^{**}	0.03 ^{ns}	-0.43 ^{ns}	18.10 ^{**}	17.70 ^{**}	-28.63 ^{ns}	-40.16 [*]	546.66 ^{**}	180.00 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	-1.46 ^{ns}
Asa×Nima	آسا×نیمیا	3.66 ^{ns}	-5.33 ^{ns}	172.23 ^{**}	31.98 ^{**}	11.05 ^{**}	1.60 ^{ns}	1.43 [†]	0.33 ^{ns}	11.66 ^{**}	3.66 [*]	0.90	-55.40 ^{**}	603.33 ^{**}	226.66 ^{ns}	8.86 ^{**}	4.80 ^{**}
Asa×SLM046	آسا×اس‌ال‌ام ۰۴۶	-3.00 ^{ns}	-11.33 ^{ns}	169.26 ^{**}	22.08 ^{**}	18.00 ^{**}	10.10 ^{**}	2.86 ^{**}	2.33 ^{**}	16.96 ^{**}	11.86 ^{**}	144.13 ^{**}	143.20 ^{**}	396.66 ^{**}	80.00 ^{ns}	3.53 ^{**}	-0.76 ^{ns}
Asa×Okapi	آسا×اکاپی	3.66 ^{ns}	-5.33 ^{ns}	174.53 ^{**}	26.68 ^{**}	11.70 ^{**}	8.36 ^{**}	1.76 [†]	1.40 [†]	9.63 ^{**}	4.43 [*]	103.68 ^{**}	98.26 ^{**}	556.66 ^{**}	260.00 [*]	-5.90 ^{**}	-6.10 ^{**}
Baharan×Dalgan	بهاران×دلگان	0.50 ^{ns}	-1.00 ^{ns}	151.60 ^{**}	8.95 ^{**}	10.60 ^{**}	10.00 ^{**}	2.36 ^{**}	2.20 ^{**}	14.25 ^{**}	11.96 ^{**}	184.58 ^{**}	148.33 ^{**}	423.33 ^{**}	280.00 [*]	-2.45 [*]	-4.70 ^{**}
Baharan×Zarfam	بهاران×زرغام	23.33 ^{**}	6.33 ^{ns}	158.96 ^{**}	11.75 ^{**}	4.55 ^{**}	0.80 ^{ns}	0.46 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	5.66 ^{**}	-0.63 ^{ns}	40.71 [*]	-6.86 ^{ns}	766.66 ^{**}	573.33 ^{**}	6.55 ^{**}	6.00 ^{**}
Baharan×Nima	بهاران×نیمیا	0.50 ^{ns}	-5.33 ^{ns}	163.43 ^{**}	23.80 ^{**}	8.00 ^{**}	-7.86 ^{**}	1.76 [†]	0.33 ^{ns}	10.80 ^{**}	-3.10 ^{ns}	140.95 ^{**}	25.53 ^{ns}	-156.66 ^{ns}	-360.00 ^{**}	2.81 [*]	0.50 ^{ns}
Baharan×SLM046	بهاران×اس‌ال‌ام ۰۴۶	-2.83 ^{ns}	-8.00 ^{ns}	157.96 ^{**}	11.40 ^{**}	10.68 ^{**}	-3.63 ^{ns}	1.66 ^{**}	0.80 ^{ns}	9.70 ^{**}	-1.30 ^{ns}	187.08 ^{**}	127.03 ^{**}	210.00 ^{ns}	66.66 ^{ns}	-4.71 ^{**}	-7.26 ^{**}
Baharan×Okapi	بهاران×اکاپی	-3.50 ^{ns}	-9.33 ^{ns}	148.83 ^{**}	1.60 ^{ns}	5.78 ^{**}	-3.96 [*]	1.30 ^{ns}	0.60 ^{ns}	3.33 ^{ns}	-7.76 ^{**}	36.36 [*]	-17.33 ^{ns}	90.00 ^{ns}	-33.33 ^{ns}	-6.25 ^{**}	-7.80 ^{**}
Dalgan×Zarfam	دلگان×زرغام	17.50 [*]	2.00 ^{ns}	143.90 ^{**}	-1.00 ^{ns}	-9.21 ^{**}	-13.56 ^{**}	-0.16 ^{ns}	-0.80 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	-4.30 [*]	-28.60	-39.93 [*]	496.66 ^{**}	160.00 ^{ns}	-2.80 [*]	-5.60 ^{**}
Dalgan×Nima	دلگان×نیمیا	2.00 ^{ns}	-5.33 ^{ns}	163.50 ^{**}	26.18 ^{**}	4.00 ^{**}	-12.46 ^{**}	0.73 ^{ns}	-0.53 ^{ns}	4.91 ^{**}	-6.70 ^{**}	-17.76	-96.93 ^{**}	-6.66 ^{ns}	-353.33 ^{**}	-2.23 [*]	-2.30 [*]
Dalgan×SLM046	دلگان×اس‌ال‌ام ۰۴۶	-4.66 ^{ns}	-11.33 ^{ns}	166.06 ^{**}	21.81 ^{**}	7.31 ^{**}	-7.60 ^{**}	1.13 ^{ns}	0.43 ^{ns}	15.28 ^{**}	6.56 ^{**}	20.63	-3.16 ^{ns}	1140.00 ^{**}	853.33 ^{**}	3.00 ^{**}	2.70 [*]
Dalgan×Okapi	دلگان×اکاپی	2.00 ^{ns}	-5.33 ^{ns}	148.53 ^{**}	3.61 ^{ns}	11.71 ^{**}	1.36 ^{ns}	2.96 ^{**}	2.43 ^{**}	15.18 ^{**}	6.36 ^{**}	153.98 ^{**}	136.53 ^{**}	1240.00 ^{**}	973.33 ^{**}	-0.60 ^{ns}	-4.40 ^{**}
Zarfam×Nima	زرغام×نیمیا	18.83 [*]	-4.00 ^{ns}	145.63 ^{**}	3.75 ^{ns}	-3.65 ^{ns}	-15.76 ^{**}	0.70 ^{ns}	0.06 ^{ns}	-4.66 [*]	-12.26 ^{**}	24.86 ^{ns}	-42.96 [*]	-156.66 ^{ns}	-166.66 ^{ns}	-1.23 ^{ns}	-4.10 ^{**}
Zarfam×SLM046	زرغام×اس‌ال‌ام ۰۴۶	11.16 ^{ns}	-11.00 ^{ns}	176.73 ^{**}	27.91 ^{**}	12.90 ^{**}	2.33 ^{ns}	0.56 ^{ns}	0.50 ^{ns}	11.46 ^{**}	6.76 ^{**}	35.93 [*]	23.46 ^{ns}	730.00 ^{**}	680.00 ^{**}	1.40 ^{ns}	-1.70 ^{ns}
Zarfam×Okapi	زرغام×اکاپی	13.50 ^{ns}	-9.33 ^{ns}	152.93 ^{**}	3.45 ^{ns}	-9.23 ^{**}	-15.23 ^{**}	1.26 ^{ns}	1.16 ^{ns}	3.70 [*]	-1.10 ^{ns}	6.15 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-130.00 ^{ns}	-200.00 ^{ns}	-1.60 ^{ns}	-2.60 [*]
Nima×SLM046	نیمیا×اس‌ال‌ام ۰۴۶	-3.33 ^{ns}	-4.00 ^{ns}	165.36 ^{**}	24.13 ^{**}	21.15 ^{**}	19.60 ^{**}	0.66 ^{ns}	0.10 ^{ns}	15.83 ^{**}	12.93 ^{**}	57.36 ^{**}	2.00 ^{ns}	226.66 ^{ns}	166.66 ^{ns}	7.96 ^{**}	7.73 ^{**}
Nima×Okapi	نیمیا×اکاپی	-4.00 ^{ns}	-4.00 ^{ns}	151.40 ^{**}	9.50 ^{**}	2.48 ^{ns}	-3.63 ^{ns}	2.63 ^{**}	1.90 ^{**}	15.93 ^{**}	13.13 ^{**}	241.55 ^{**}	179.83 ^{**}	646.66 ^{**}	566.66 ^{**}	5.46 ^{**}	1.60 ^{ns}
SLM046×Okapi	اس‌ال‌ام ۰۴۶×اکاپی	-2.00 ^{ns}	-2.66 ^{ns}	157.10 ^{**}	8.26 ^{**}	3.26 ^{ns}	-1.30 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.70 ^{ns}	29.43 ^{**}	29.33 ^{**}	172.68 ^{**}	166.33 ^{**}	280.00 [*]	260.00 [*]	-1.30 ^{ns}	-5.40 ^{**}

ns, *, **, ***: Non-significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

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

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به خاطر تامین منابع مالی و امکانات اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

نسل‌های در حال تفکیک در بین نتایج حاصل از تلاقی اکایی، نیما و دلگان، می‌توان به تولید ارقام مناسب کلزا از لحاظ عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن دست یافت.

References

منابع مورد استفاده

- Alam, A.K.M.M., Ahmed, S., Begum, M., and Sultan, M. 2008.** Heterosis and combining ability for grain yield and its contributing characters in maize. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 33(3), pp.375-379. <https://doi.org/10.3329/bjar.v33i3.1596>
- Alsharari, S.F., Ibrahim, A.A., and Okasha, S.A. 2023.** Combining ability for yield, oil content, and physio-biochemical characters of canola (*Brassica napus* L.) under salt stress conditions. *Sabrao Journal of Breeding & Genetics*, 55(4), pp.1003-1024. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.4.1>
- Azim, J.B., Chowdhury, N., and Robin, A.H.K. 2024.** Combining ability and heterosis studies for yield improvement in rapeseed. *Research Square*, pp.1-24. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4818498/v1>
- Begna, T. 2021.** Combining ability and heterosis in plant improvement. *Open Journal of Plant Science*, 6(1), pp.108-117. <https://dx.doi.org/10.17352/ojps.000043>
- Chalhoub, B., Denoeud, F., Liu, S., Parkin, I.A., Tang, H., Wang, X., and Wincker, P. 2014.** Early allopolyploid evolution in the post-Neolithic *Brassica napus* oilseed genome. *Science*, 345(6199), pp.950-953. <https://doi.org/10.1126/science.1253435>
- Channa, S.A., Tian, H., Mohammed, M.I., Zhang, R., Faisal, S., Guo, Y., Klima, M., Stamm, M., and Hu, S. 2018.** Heterosis and combining ability analysis in Chinese semi-winter× exotic accessions of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*, 214, pp.1-19. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2216-1>
- Dezfooli, P.M., Sedghi, M., Shariatpanahi, M.E., Niazi, M., and Alizadeh, B. 2019.** Assessment of general and specific combining abilities in doubled haploid lines of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products*, 141, 111754. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111754>
- FAO. 2023.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT statistics database. Available online at: <http://www.faostat.fao.org>
- Fujimoto, R., Uezono, K., Ishikura, S., Osabe, K., Peacock, W.J., and Dennis, E.S. 2018.** Recent research on the mechanism of heterosis is important for crop and vegetable breeding systems. *Breeding Science*, 68(2), pp.145-158. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.17155>
- Gholizadeh Sarcheshmeh, P., Amiri Oghan, H., Shekari, F. and Gholizadeh, A. 2024.** Combining ability and heterosis of spring oilseed rape genotypes under normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 16(1), pp.74-85. [In Persian]. doi: 10.61186/jcb.16.49.74
- Ihien Katche, E., and Mason, A.S. 2023.** Resynthesized rapeseed (*Brassica napus*): breeding and

- genomics. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 42(2), pp.65-92. <https://doi.org/10.1080/07352689.2023.2186021>
- Jamshidmoghaddam, M., Farshadfar, E., and Najafi, A. 2018.** Genetic analysis of agronomic and physiologic characteristics in rapeseed (*Brassica napus* L.) under drought stress and non-stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*, 34(1), pp.15-36. [In Persian]. doi: 10.22092/SPIJ.2018.118627
- Kaur, S., Kumar, R., Sharma, M., Singh, V., and Gupta, S. 2023.** Heterosis and combining ability for quantitative traits in canola (*Brassica napus* L.) using half diallel mating design. *Journal of Oilseed Brassica*, 14(1), pp.59-67. <https://doi.org/93.117.121.141>, on 06/14/25
- Khalil, I.A., and Raziuddin, R. 2017.** Combining ability for seed yield in indigenous and exotic *Brassica napus* genotypes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 23(1), pp.177-182. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2017.33.1.177.182>
- Kjeldahl, J. 1883.** "Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances), *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22(1), pp.366-383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
- Mandal, S., and Kar, S. 2023.** Heterosis and combining ability analysis in seed yield and its component traits in Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern & Coss.). *The Pharma Innovation Journal*. 12(8), pp.579-583.
- Mandal, K., Subba, V., Dasgupta, T., and Kundagrami, S. 2023.** Combining ability and heterosis for seed yield and yield components in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) czern and coss]. *Agricultural Reviews*, 44(1), pp.100-106. <https://doi.org/20.1001.1.16807073.2015.17.7.15.8>
- Marjanović-Jeromela, A., Marinković, R., and Miladinović, D. 2007.** Combining abilities of rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties. *Genetika-Belgrade*, 39(1), pp.53-62. <https://doi.org/10.2298/GENSR0701053M>
- Muhammad, A., Raziuddin, M. A., Raza, H., Rahman, A.U., and Ali, I. 2014.** Combining ability and heritability studies for important traits in F2 of *Brassica napus* L. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 14, pp.7-11. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeaes.2014.14.06.12342>
- Nasim, A. and Farhatullah. A. 2013.** Combining ability studies for biochemical traits in *Brassica rapa* (L.) ssp *dichotoma* (roxb.) Hanelt. *Pakistan Journal of Botany*, 45(6), pp.2125-2130. <https://www.researchgate.net/publication/260981380>
- Raboanatahiry, N., Li, H., Yu, L., and Li, M. 2021.** Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement. *Agronomy*, 11(9), pp.1776. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>.
- Rahaman, A. 2016.** Study of nature and magnitude of gene action in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) through experiment of line x tester mating design. *International Journal of Applied Research*, 2(2), pp.405-410.
- Rameeh, V. 2016.** Estimation of combining ability of rapeseed advanced lines for yield and yield components. *Seed and Plant Journal*, 31(4), pp.665-679. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111283>

- Rameeh, V. 2023.** Heterotic patterns in rapeseed (*Brassica napus* L.): Crosses between spring-type and winter-type genotypes. *Journal of Agricultural Sciences* (Belgrade), 68(3), pp.253-263. <https://doi.org/10.2298/JAS2303253R>
- Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., and Mohghaddam, M. 2010.** Heterosis and combining ability analysis for oil yield and its components in rapeseed. *Australian Journal of Crop Science*, 4(6), pp.390-397. <https://www.researchgate.net/publication/259356401>
- Saeed, F., Tahir, M.H. N., Kang, S.A., Riaz, M., Farooq, J., and Saeed, M. 2013.** Heterosis and combining ability for seed yield and its components in *Brassica juncea* L. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), pp.203-208.
- Shah, M.A., Ahmad, A., Ullah, F., Younas, O., Rehman, U.F., and Rasheed, S.M. 2023.** Elucidating genetic variability of *Brassica napus* L. progenitors and their crosses for enhanced qualitative traits. *Journal of Soil, Plant and Environment*, 2(1), pp.65-78. <https://doi.org/10.56946/jspae.v2i1.155>
- Soxhlet, F. 1879.** Die gewichtsanalytische bestimmung des milchfettes. *Polytechnisches Journal*, (Dingler's) 232, pp.461-465.
- Xie, F., Zha, J., Tang, H., Xu, Y., Liu, X., and Wan, Z. 2018.** Combining ability and heterosis analysis for mineral elements by using cytoplasmic male-sterile systems in non-heading Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Crop and Pasture Science*, 69(3), pp.296-302. <https://doi.org/10.1071/CP17357>