"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و هفتم، شماره ۱، بهار ۱٤۰٤

مقاله پژوهشی

ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری و وراثت‌پذیری 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]، ولی‌الله رامئه[۴] و نادعلی باقری[۵]

چکیده

صمدی گرجی، م.، ن. بابائیان جلودار، غ. کیانی، و. رامئه و ن. باقری. ۱٤۰٤. ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری و وراثت‌پذیری صفات زراعی و روغن دانه در ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) . **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۷ (۱): ۱۰۹ -۹۳.**

به‌منظور ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری و شناسایی ارقام برتر والدینی و تلاقی‌های آنها، تلاقی‌های دای‌آلل یک طرفه با استفاده از هشت رقم کلزا انجام شد. نتاج F1 همراه با ۳٦ ژنوتیپ والدینی در سال‌های زراعی ۱٤۰۲-۱٤۰۱ و ۱٤۰۳-۱٤۰۲ 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 دای‌آلل 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 ۰/٤۹ 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 آرجی‌اس، آسا و اکاپی به‌ترتیب ۱/۳۹، ۲/٤۲ و ۰/۵۷ و مثبت و معنی‌دار بود. تلاقی‌های آرجی‌اس×آسا، آسا×نیما و بهاران×زرفام، با داشتن مقادیر بالاتر ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار (به‌ترتیب ٤/٦۸، ٦/۱ و ۷/٦) به عنوان ترکیبات برتر برای این صفت شناخته شدند. بیشترین میزان هتروزیس میانگین والدین برای محتوای روغن دانه در تلاقی‌های آسا×نیما (Ht=۸/۸٦) و نیما×اس‌ال‌ام۰٤٦ (Ht=۷/۹٦) بود و تلاقی‌های نیما×اس‌ال‌ام۰٤٦ (Htb=۷/۷۳) و بهاران×زرفام (Htb=٦/۰۰) 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 دای‌آلل، عملکرد دانه، کلزا و هتروزیس

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰٦/۰۳ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانشجوی دکتری دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاوزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
۲- استاد دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاوزی 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 کشاوزی و منابع طبیعی، ساری، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

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 (h^2) 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 poassible 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 ResourcesUniversity, Sari, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

مقدمه

گیاه دانه روغنی کلزا (*Brassica napus* L.) حدود ۷۵۰۰ سال پیش، از دورگ گیری طبیعی بین شلغم روغنی (*B. rapa*) وکلم 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 تصمیم-گیری 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 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) نشان دهنده اثر افزایشی ژن و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) نشان دهنده 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 ترکیب پذیری عمومی برای پروتئین دانه و اسید اولئیک روغن و تلاقی DUNCLED×2702 بالاترین مقدار ترکیب پذیری خصوصی برای محتوای روغن دانه را داشتند. رامئه (Rameeh, 2023) طی آزمایشی گزارش کرد که وراثت‌پذیری خصوصی بالا برای صفات فنولوژیکی، نشان دهنده اهمیت اثرات افزایشی و کارایی گزینش 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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

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 تا نسل‌های در حال تفکیک بعدی موثرتر خواهد بود. ماهیت و بزرگی عمل ژن، 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 رامئه (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 دای‌آلل 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 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 25 × Pusa Bold، PM 24× Kranti و PM 22× Sarama 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 دای‌آلل اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲ 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 ۱۴۰۲-۱۴۰۱، کشت ارقام کلزا و دورگ‌گیری بین آن-ها 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 ام۰۴۶ بودند که از آنها به‌عنوان والدین تلاقی‌ها استفاده شد (جدول ۱). بذر ارقام کلزا از مرکز تحقیقات کشاورزی ومنابع طبیعی مازندارن تهیه شد. در مرحله گلدهی بوته‌ها، تلاقی‌های بین ارقام بهاره و زمستانه به‌صورت طرح دای‌آلل 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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

دستی انجام شد. در هر تلاقی ۱۰ تا ۳۶ غنچه گل مورد استفاده قرار گرفت. بذرهای مربوط به هر تلاقی (F1) و بذرهای حاصل از بوته‌های مادری به‌طور جداگانه برداشت و ذخیره‌سازی شدند. در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ بذرهای والدینی (هشت رقم) همراه با نتاج F1 (۲۸ دورگ) مجموعا 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 دای‌آلل با استفاده از روش دوم و مدل یک گریفینگ انجام شد. آزمون معنی‌دار 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 معنی‌دار (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 صفت مورد ارزیابی، بین والدین و ترکیبات تلاقی ارقام کلزا تفاوت معنی‌داری 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 دای‌آلل برای تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری انجام شد. میانگین صفات اندازه‌گیری 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 فنوتیپی بین صفات گیاهی محاسبه شد (جدول ۳). بر اساس ضرایب همبستگی، بین عملکرد دانه دانه با صفات تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، طول ساقه اصلی، تعداد خورجین در ساقه اصلی، طول خورجین و وزن هزار دانه همبستگی معنی‌داری 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 معنی‌داری 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.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

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	تیپ 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
Dalgan	دلگان	Iran	ایران	Spring	بهاره	medium	متوسط	Early to medium	نسبتا زود	Early to medium	زودرس تا میان‌رس
Zarfam	زرفام	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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات گیاهی در ارقام کلزا

Table 3. Correlation coffiecints 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**	-0269**	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 **: به‌ترتیب 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

		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
Seed yield	عملکرد دانه	0.448**	0.437**	-0.507**	0.565**	-0.268**	0.619**	-0.102	-0.089	-0.054	0.401**	-0.040

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

نتایج حاصل از تجزیه ژنتیکی صفات گیاهی مورد مطالعه در ارقام و نتاج کلزا با استفاده از روش دوم و مدل یک گریفینگ 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 نسبتا 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. ژی 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 الشراری و همکاران (Alsharari *et al.*, 2023) گزارش کردند که اثرات غیر افزایشی ژن در کنترل صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا 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 آرجی‌اس 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 آرجی‌اس و دلگان ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری داشتند. ترکیب‌پذیری خصوصی در تلاقی‌های آرجی‌اس×آسا، بهاران×اکاپی، دلگان×زرفام، دلگان×اکاپی، زرفام×نیما و نیما×اکاپی به‌صورت 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 اس‌ال‌ام۰۴۶ با دارا بودن بیشترین ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار به‌عنوان بهترین و ارقام آرجی‌اس و زرفام با بالاترین ترکیب‌پذیری منفی به‌عنوان نامناسب‌ترین ارقام برای این صفت شناخته شدند.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

تلاقی‌های دلگان×اکاپی، آسا×اس‌ال‌ام۰۴۶ و نیما×اکاپی با داشتن ترکیب‌پذیری مثبت معنی‌دار، به عنوان ترکیبات برتر برای صفت شناخته شدند. در بررسی تعداد خورجین در ساقه اصلی رقم بهاران با داشتن بیشترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌دار در جهت مثبت، به‌عنوان بهترین رقم ترکیب شونده جهت افزایش تعداد خورجین در ساقه اصلی و رقم نیما با داشتن ترکیب‌پذیری بالای منفی، به‌عنوان نامناسب‌ترین رقم شناخته شد. ترکیب‌پذیری خصوصی برای تعداد خورجین در ساقه اصلی در اکثر تلاقی‌ها بصورت مثبت و منفی معنی‌دار بوده و تلاقی‌های اس ال ام۰۴۶×اکاپی، آسا×زرفام و آسا×بهاران با داشتن بالاترین میزان ترکیب‌پذیری 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. ترکیب‌پذیری خصوصی در هشت ترکیب تلاقی‌ها برای تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی به‌صورت مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. اغلب تلاقی‌های با ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای این صفت دارای حداقل یک والد با ترکیب‌پذیری عمومی مثبت معنی‌دار بودند. در آزمایش رامئه (Rameeh, 2016)، ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌داری برای صفت تعداد خورجین در بوته گزارش شد که اغلب تلاقی‌های با ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار، دارای حداقل یک والد با ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بودند. با توجه به مطلوب بودن مقادیر مثبت ترکیب‌پذیری 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×زرفام، نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶ و نیما×اکاپی با داشتن مقادیر بالای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار، به‌عنوان ترکیبات برتر برای این صفت شناخته شدند. از نظر عملکرد دانه، ارقام دلگان و آسا دارای بهترین ترکیب‌پذیری بودند. تلاقی‌های بهاران×زرفام، دلگان×اس‌ال‌ام۰۴۶، دلگان×اکاپی و نیما×اکاپی نیز مقادیر بالای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار 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 به‌صورت مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. در صورتی که هتروزیس والد برتر برای این صفت تنها در تلاقی آرجی‌اس×بهاران (Htb= – ۱۶/۰۰) به‌صورت معنی‌دار 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 معنی‌داری 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 معنی‌دار 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×زرفام (Htb= –۸/۷۳) به‌صورت معنی‌دار و منفی مشاهده شد. بنابراین تلاقی آرجی‌اس×آسا با توجه به مقدار بالا و بسیار معنی‌دار در جهت منفی هر دو نوع هتروزیس، دارای اهمیت بوده و به‌نظر می‌رسد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

جدول ۵- ترکیب‌پذیری 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	آرجی‌اس RGS	آسا Asa	بهاران Baharan	دلگان Dalgan	زرفام Zarfam	نیما Nima	اس‌ال‌ام۰۴۶ SLM046	اکاپی Okapi	خطای معیار SE(gi)
Days to maturity	روز تا رسیدگی	-5.90**	-1.66^{ns}	-0.53^{ns}	-.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 شاخه‌های 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 شاخه‌های 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 غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

جدول ۶- ترکیب‌پذیری 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 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}	عملکرد دانه Seed yield	روغن دانه Seed oil content
RGS×Asa	آرجی‌اس×آسا	-4.28 ns	-20.02**	-6.55**	0.18 ns	1.13 ns	-6.72 ns	-268.51**	4.68**
RGS×Baharan	آرجی‌اس×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	آرجی‌اس×دلگان	-4.05 ns	7.55**	14.92**	0.12 ns	5.25**	5.76 ns	390.14**	2.84**
RGS× Zarfam	آرجی‌اس×زرفام	8.88 ns	1.07 ns	6.24**	-1.09*	-0.82 ns	-5.06 ns	167.48*	-3.9**
RGS× Nima	آرجی‌اس×نیما	1.41 ns	16.76**	1.54 ns	0.86*	3.12**	-51.04**	40.14 ns	-0.76 ns
RGS× SLM046	آرجی‌اس×اس‌ال‌ام۰۴۶	-0.25 ns	2.53*	3.44**	0.09 ns	-2.04 ns	-56.07**	-310.51**	1.96**
RGS× Okapi	آرجی‌اس×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×زرفام	6.31 ns	12.34**	7.96**	-0.40 ns	13.33**	-14.70 ns	241.48**	-0.5 ns
Asa× Nima	آسا×نیما	1.18 ns	13.26**	5.49**	0.21 ns	4.18**	-24.22*	434.14**	6.1**
Asa× SLM046	آسا×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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×زرفام	12.51*	4.23**	2.11 ns	0.03 ns	1.08 ns	8.42 ns	531.48**	7.6**
Baharan×Nima	بهاران×نیما	0.04 ns	9.02**	1.88 ns	0.55 ns	3.50**	69.60**	-255.85**	1.34 ns
Baharan×SLM046	بهاران×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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×زرفام	5.54 ns	-8.57**	-10.16**	-0.59 ns	-2.72*	-27.78*	20.14 ns	-1.78*
Dalgan ×Nima	دلگان×نیما	0.41 ns	11.34**	-0.62 ns	-0.47 ns	-0.23 ns	-56.00**	-347.18**	-3.74**
Dalgan×SLM046	دلگان×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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	زرفام×نیما	7.01 ns	-10.07**	-6.00**	0.30 ns	-8.77**	13.43 ns	-323.18**	-3.09**
Zarfam×SLM046	زرفام×اس‌ال‌ام۰۴۶	2.01 ns	16.08**	6.96**	0.27 ns	3.01*	6.17 ns	399.48**	0.54 ns
Zarfam ×Okapi	زرفام×اکاپی	2.08 ns	-1.97 ns	-9.77**	0.70 ns	-2.32*	-35.71**	-431.85**	-0.18 ns
Nima×SLM046	نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶	-2.11 ns	5.04**	11.53**	-0.40 ns	4.66**	-11.44 ns	32.14 ns	4.58**
Nima ×Okapi	نیما×اکاپی	-5.05 ns	-3.18*	-1.73 ns	1.28**	7.19**	160.63**	480.81**	4.35**
SLM046×Okapi	اس‌ال‌ام۰۴۶×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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

که عمل ژن در این تلاقی به‌صورت فوق غالبیت بوده است. رامئه (Rameeh, 2023) در یک آزمایش اثرات منفی و مثبت معنی‌دار هتروزیس برای ارتفاع بوته، به‌ترتیب در والدین بهاره و زمستانه کلزا گزارش کرد. در ارزیابی صفت طول ساقه اصلی، میزان هتروزیس میانگین والدین و والد برتر در اکثر تلاقی‌ها به‌صورت مثبت و منفی معنی‌دار بود که این موضوع نشان دهنده وجود عمل ژن غالبیت و غالبیت نسبی است. عدم معنی‌دار بودن هر دو هتروزیس در تعدادی از تلاقی‌ها می‌تواند به‌دلیل وجود عمل ژن غیر افزایشی در بروز این صفت باشد. بیشترین میزان هتروزیس میانگین والدین در تلاقی‌های دلگان×آرجی‌اس (Ht= ۲۲/۲۵) و آسا×اس‌ال‌ام۰۴۶ (Ht= ۱۸/۰۰) مشاهده شد. از نظر تعداد شاخه‌های فرعی، ۱۰ تلاقی هتروزیس میانگین والدین و شش تلاقی هتروزیس والد برتر را به‌صورت مثبت و معنی‌دار نشان دادند. از بین این تلاقی‌ها، چهار تلاقی آسا×اس‌ال‌ام۰۴۶ (Ht= ۲/۸۶ و Htb= ۲/۳۳)، بهاران×دلگان (Ht= ۲/۳۶ و Htb= ۲/۲۰)، دلگان×اکاپی (Ht= ۲/۹۶ و Htb= ۲/۴۳) و نیما×اکاپی (Ht= ۲/۶۳ و Htb= ۱/۹۰)، با توجه به مقادیر بالا و بسیار معنی‌دار هر دو نوع هتروزیس دارای الویت شناخته شدند و بر این اساس نوع عمل ژن فوق غالبیت برای آنها پیشنهاد می‌شود. 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 معنی‌دار برای تعداد شاخه‌های اولیه را نشان دادند.

دامنه هتروزیس میانگین والدین برای تعداد خورجین در ساقه اصلی ۱۲/۰۵- تا ۲۹/۴۳ درصد بود. تمام تلاقی‌ها به جز آسا×دلگان و زرفام×نیما هتروزیس مثبت و معنی‌داری داشتند و بیشترین مقدار آن در تلاقی اس‌ال‌ام۰۴۶×اکاپی (Ht= ۲۹/۴۳) به‌دست آمد. دامنه هتروزیس والد برتر در نیمی از تلاقی‌ها ۱۵/۶۶- تا ۲۹/۳۳ درصد به‌صورت مثبت و منفی معنی‌دار بود و تلاقی اس‌ال‌ام۰۴۶×اکاپی (Htb= ۲۹/۳۳) بیشترین مقدار را داشت. از لحاظ تعداد خورجین در ساقه فرعی در ۱۲ ترکیب تلاقی، هتروزیس میانگین والدین مثبت و معنی‌دار بود. تلاقی‌های نیما×اکاپی (Ht= ۲۴۱/۵۵)، بهاران×اس‌ال‌ام۰۴۶ (Ht= ۱۸۸/۰۸) و اس‌ال‌ام۰۴۶×اکاپی (Ht= ۱۷۲/۰۸) با بیشترین مقدار هتروزیس برای بهبود این صفت دارای اولویت شناخته شدند. علاوه بر این، هتروزیس والد برتر در هفت تلاقی بصورت مثبت و معنی‌دار مشاهده شد و تلاقی‌های نیما×اکاپی (Htb=۱۷۹/۸۳) و اس‌ال‌ام۰۴۶×اکاپی (Htb=۱۶۶/۳۳) بیشترین میزان هتروزیس را داشتند. هتروزیس میانگین والدین از لحاظ عملکرد دانه در اکثر تلاقی‌ها بصورت مثبت و معنی‌دار بود. تلاقی‌های دلگان×اس‌ال‌ام۰۴۶ (Ht=۱۱۴۰/۰۰) و دلگان×اکاپی (Ht=۱۲۴۰/۰۰) بیشترین میزان هتروزیس میانگین والدین را داشتند. هتروزیس والد برتر نیز در نه تلاقی بصورت مثبت و معنی‌دار مشاهده شد و تلاقی‌های دلگان×اکاپی (Htb=۹۷۳/۳۳)، دلگان×اس‌ال‌ام۰۴۶ (Htb=۸۵۳/۳۳)، زرفام× اس‌ال‌ام۰۴۶ (Htb=۶۸۰/۰۰)، بهاران×زرفام (Htb=۵۷۳/۳۳) و نیما×اکاپی (Htb=۵۶۶/۶۶) بیشترین میزان هتروزیس را داشتند. نتایج آزمایش‌های انجام شده در کلزا نشان دهنده هتروزیس مثبت و منفی معنی‌دار برای عملکرد دانه بوده است. کاور و همکاران (Kaur *et al.*, 2023) با ارزیابی هتروزیس و ترکیب‌پذیری صفات کمی کلزا، در ده ترکیب تلاقی، هتروزیس والد برتر مثبت معنی‌داری را برای عملکرد دانه گزارش کردند و هیچ یک از ترکیبات تلاقی، هتروزیس منفی معنی‌داری نسبت به والد برتر نداشتند. نسیم و همکاران (Nasim and Farhatullah, 2013) هتروزیس والد برتر قابل‌توجهی 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.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

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=۸/۸۶) و نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶ (Ht=۷/۹۶) بود. تلاقی‌های نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶ (Htb=۷/۷۳) و بهاران×زرفام (Htb=۶/۰۰) 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 (۶/۵) را برای تلاقی 2722×2702 و کمترین مقدار آن را به‌صورت منفی (۲/۳-) برای تلاقی P1-801×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 امکان گزینش نوترکیب‌های 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 قابل‌توجهی متفاوت بود، بطوری که والدین برای اغلب صفات، دارای ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌داری در جهت مثبت و یا منفی بودند. به‌طورکلی 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 آرجی‌اس مشاهده شد، بنابراین می‌توان از این رقم به عنوان منبع آلل‌های مطلوب برای دستیابی به زودرسی و ارتفاع بوته کوتاه‌تر استفاده کرد. به‌علاوه تلاقی آرجی‌اس×آسا با توجه به ترکیب‌پذیری خصوصی بالا و معنی‌دار منفی و ضمنا 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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

جدول ۷- هتروزیس میانگین والدین (Ht) و هتروزیس والد برتر (Htb) در تلاقی‌های دای‌آلل 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 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}		عملکرد دانه Seed yield		روغن دانه Seed oil content	
		Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb	Ht	Htb
RGS×Asa	آرجی‌اس ×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	آرجی‌اس ×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	آرجی‌اس ×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	آرجی‌اس ×زرفام	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	آرجی‌اس ×نیما	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	آرجی‌اس ×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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	آرجی‌اس ×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×زرفام	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×نیما	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×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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×زرفام	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×نیما	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×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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×زرفام	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×نیما	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×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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	زرفام×نیما	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	زرفام×اس‌ال‌ام۰۴۶	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	زرفام×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	نیما×اس‌ال‌ام۰۴۶	-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	نیما×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	اس‌ال‌ام۰۴۶×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، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

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

سپاسگزاری

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

منابع مورد استفاده

References

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

Dezfouli, P.M., Sedghi, M., Shariatpanahi, M.E., Niazian, 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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

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 Improvment Journal*, 34(1), pp.15-36. [In Persain]. 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.aejaes.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 Persion]. https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111283

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]

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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-02-02]